

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas

LA MINERÍA DE LOS METALES EN LA PROVINCIA DE
MADRID: PATRIMONIO MINERO Y PUESTA EN VALOR
DEL ESPACIO SUBTERRÁNEO

TESIS DOCTORAL

Autor: Luis Jordá Bordehore

Ingeniero de Minas

2008

Departamento de Ingeniería Geológica. Escuela Técnica
Superior de Ingenieros de Minas

LA MINERÍA DE LOS METALES EN LA PROVINCIA DE
MADRID: PATRIMONIO MINERO Y PUESTA EN VALOR
DEL ESPACIO SUBTERRÁNEO

Autor: Luis Jordá Bordehore. Ingeniero de Minas

Director: Octavio Puche Riart. Ingeniero de Minas

2008

*“Para hacer geología hace falta, ante todo,
buenas piernas y espíritu de observación”*

Jules Cornet. Ingeniero de minas belga,
“creador” de la carta geológica del Congo.

Esta versión del texto de la tesis es la número dieciséis, y terminó de imprimirse en Bustarviejo el día 15 de Mayo de 2008, festividad de San Isidro Labrador.

INDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	IX
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXIII
<i>OBJETIVOS GENERALES:</i>	xxv
<i>DESARROLLO</i>	xxvii
ESTRUCTURA DE LA TESIS	XXIX
ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	XXXV
<i>CONOCIMIENTO HISTÓRICO MINERO DE MADRID.</i>	xxxvii
<i>SALVAGUARDA DEL PATRIMONIO DE LA COMUNIDAD DE MADRID</i>	xxxix
CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA.....	1
1.1.- INTRODUCCIÓN	3
1.2.- ARCHIVOS	5
1.2.1.- <i>BIBLIOTECA FACULTAD GEOGRAFÍA E HISTORIA UCM.</i>	9
1.2.2.- <i>BIBLIOTECA HISTÓRICA MUNICIPAL DE MADRID.</i>	9
1.2.3.- <i>MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES.</i>	10
1.2.4.- <i>ARCHIVO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS DE LA C.A.M.</i>	10
1.2.5.- <i>BIBLIOTECA NACIONAL</i>	11
1.2.6.- <i>INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA.</i>	13
1.2.7.- <i>BIBLIOTECA HISTÓRICA DE LA ESCUELA DE MINAS</i>	14
1.2.8.- <i>ARCHIVO DE SIMANCAS Y REAL CHANCILLERÍA DE VALLADOLID</i>	15
1.2.9.- <i>DOCUMENTOS Y LIBROS MÁS IMPORTANTES SEGÚN ÉPOCAS</i>	16
FUENTES DOCUMENTALES SOBRE LOS SIGLOS XV A XVIII	16
FUENTES DOCUMENTALES DEL SIGLO XIX	20
FUENTES DOCUMENTALES DEL SIGLO XX	23
1.3.- <i>TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPLEADAS</i>	25
1.3.1.- <i>MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).</i>	25
1.3.2.- <i>FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX).</i>	28
1.3.3.- <i>DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).</i>	30
1.4.- <i>SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: SIGPAC</i>	33
1.5.- <i>ESPELEOLOGÍA DE LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS</i>	35
1.5.1.- <i>TÉCNICAS DE TRABAJOS VERTICALES</i>	38
1.5.2.- <i>EQUIPO COLECTIVO</i>	39
1.5.3.- <i>EQUIPO DE INSTALACIÓN DE ANCLAJES</i>	42
1.6.- <i>EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE MINAS ABANDONADAS</i>	43
1.6.1.- <i>DETECCIÓN POR GEOFÍSICA DE GALERÍAS DE MINA ABANDONADAS.</i>	43
1.6.2.- <i>MINAS SELECCIONADAS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.</i>	46
1.6.3.- <i>VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS.</i>	50
1.6.4.- <i>ÓRDENES DE MAGNITUD EN LA DETECCIÓN DE CAVIDADES MEDIANTE TÉCNICAS GEOFÍSICAS.</i>	52
1.6.5.- <i>TÉCNICAS EMPLEADAS</i>	54
1.6.6.- <i>PROSPECCIÓN MEDIANTE GEORRADAR</i>	55
FUNDAMENTOS DE GEORRADAR.....	56
ANTECEDENTES SOBRE APLICACIONES DEL GEORRADAR	57
MEDIDAS Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL DEL GEORRADAR.....	60
DETECCIÓN DE CAVIDADES POR GEORRADAR	62
RESOLUCIÓN DEL GEORRADAR	63
OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE LA RESOLUCIÓN.....	66
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO EMPLEADO	71

1.6.7.- TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	72
INTRODUCCIÓN	72
FUNDAMENTOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	73
FUNDAMENTOS DE LA INVERSIÓN	75
PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN E ÍNDICE DOI (DEPTH OF INVESTIGATION)	77
1.7.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	81
1.7.1.- FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA	81
DISPOSITIVO DE LAS REDES	83
REDES EXTERNAS	84
TRANSMISIÓN AL INTERIOR	85
1.7.2.- FUNDAMENTO DE LOS MÉTODOS PLANIMÉTRICOS	86
MÉTODO DE RADIACIÓN	86
ERRORES EN RADIACIÓN	87
MÉTODO ITINERARIO.....	88
ERROR ANGULAR EN LOS ITINERARIOS GONIOMÉTRICOS	90
ERROR ANGULAR EN LOS ITINERARIOS CON BRÚJULA.....	91
1.7.3.- TRANSPORTE GRÁFICO DE UN ITINERARIO; COMPENSACIÓN DEL CIERRE	92
1.7.4.- APLICACIÓN EN BUSTARVIEJO.....	93
1.7.5.- DECLINACIÓN MAGNÉTICA EN BUSTARVIEJO	93
1.8.- REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA TRIDIMENSIONAL.....	95
1.9.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE MINAS ABANDONADAS	97
1.9.1.- INTRODUCCIÓN	97
1.9.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MINAS ABANDONADAS	97
CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS PARA MACIZOS ROCOSOS	98
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q	101
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR	109
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR	113
ESTADILLO DE ESTACIÓN GEOMECÁNICA: ADAPTACIÓN A MINAS ABANDONADAS.	117
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO. SUPERFICIES DE DISCONTINUIDAD.....	119
CARACTERES GEOMECÁNICOS DE LAS DISCONTINUIDADES.....	120
CÁLCULO DEL RQD	123
RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL DE LA MATRIZ ROCOSA.....	124
CIRCULACIÓN DE AGUA.....	128
CROQUIS DEL EMPLAZAMIENTO	132
1.9.3.- PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LAS DISCONTINUIDADES	135
DIAGRAMA DE DENSIDAD DE POLOS.....	137
1.9.4.- ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS	139
CRITERIO DE MOHR - COULOMB	140
CRITERIO DE HOEK – BROWN	143
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA.....	158
RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS	159
VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS.....	160
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA.....	161
FRACTURACIÓN	163
FAMILIAS DE FRACTURAS.....	163
RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION).....	165
PERSISTENCIA O ESPACIADO	166
PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN	166
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO.....	171
PARTICULARIZACIÓN DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS.....	172
PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO DE HOEK Y BROWN	174
RESULTADOS PRELIMINARES	177
1.9.5.- ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ROTURAS DE TALUDES EN ROCA	179
ROTURA PLANA.....	180
ROTURA EN CUÑA	182
1.9.6.- INESTABILIDADES CONTROLADAS ESTRUCTURALMENTE EN TÚNELES Y GALERÍAS MINERAS	185
CÁLCULO DE CUÑAS DE BÓVEDA MEDIANTE ESTEREOGRAMA	186
PROGRAMA UNWEDGE 3.0 (ROCSCIENCE).....	190
1.9.7.- TIPO DE SOSTENIMIENTOS Y ESTABILIDAD SEGÚN CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	191

TIPO DE SOSTENIMIENTO SEGÚN ÍNDICE RMR. BENIAWSKI	191
METODOLOGÍA ESTIMACIÓN PRESIÓN SOSTENIMIENTOS. RMR BENIAWSKI	193
METODOLOGÍA ESTIMACIÓN PRESIÓN SOSTENIMIENTOS. ÍNDICE Q DE BARTON	194
1.9.8.- ESTIMACIONES DEL ESTADO TENSIONAL.	199
METODOLOGÍA ESTIMACIÓN K_0 (SHEOREY).....	199
1.9.9.- SOSTENIMENTOS	201
CUADROS DE MADERA	203
PROCESO DE COLOCACIÓN	205
CUADROS METÁLICOS.....	207
MONTAJE DE UN CUADRO.....	211
CUADROS EMPLEADOS EN LAS RESTAURACIONES DE MADRID	213
BULONES	216
CRITERIO PARA BULONADO DE UNA CUÑA DE BÓVEDA	217
CRITERIO PARA BULONADO DE UNA CUÑA DE HASTIAL	219
1.9.10.- TALUDES Y DESMONTES EN SUELO	221
CAPÍTULO 2: CONTEXTOS GEOLÓGICOS Y METALOGENÉTICOS	225
2.1.-MARCO GEOLÓGICO	227
2.2.- EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE GUADARRAMA	229
2.3.- MINERALIZACIONES METÁLICAS.....	233
2.4.- INDICIOS MÁS REPRESENTATIVOS	241
2.4.1.- COBRE	241
2.4.2.- ESTAÑO – VOLFRAMIO.....	242
2.4.3.- PLATA.....	244
2.4.4.- ARSÉNICO	244
2.4.5.- BARITA- FLUORITA Y PLOMO	245
CAPÍTULO 3.- HISTORIA DE LA MINERÍA DE LOS METALES Y LA METALURGIA EN MADRID	247
3.1.- MINERÍA EN EL SIGLO XV.....	249
3.1.1- DESPERTAR DEL INTERÉS DE LA CORONA POR LAS MATERIAS PRIMAS ...	249
3.1.2.- LA TOPONIMIA MINERA	250
3.2.3.- PRIMERAS EXPLORACIONES DOCUMENTADAS	252
3.2.- LA MINERÍA Y METALURGIA MADRILEÑAS EN LOS SIGLOS XVI Y XVII	257
3.2.1- CONTEXTO POLÍTICO Y ECONÓMICO EN CASTILLA EN LOS SIGLOS XVI Y XVII	257
3.2.2.- MARCO LEGAL DE LA MINERÍA.....	258
LAS ORDENANZAS DE 1584	259
ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CORONA DE CASTILLA	261
3.2.3.- LOS BUSCADORES DE MINAS	263
3.2.4.- EVOLUCIÓN DE LAS EXPLOTACIONES ENTRE 1504 Y FINAL DEL SIGLO XVII	264
MINERÍA Y METALURGIA DE LA PLATA	265
MINERÍA Y METALURGIA DEL COBRE.....	265
MINERÍA Y METALURGIA DEL PLOMO.....	268
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA MINERÍA DE LOS SIGLOS XVI Y XVII	269
3.2.5.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS NOCIONES ANTIGUAS DE MINERALOGÍA	271
3.2.6.- MINERÍA DE LA PLATA	272
SOMOSIERRA MADRILEÑA: LA ACEBEDA Y ROBREGORDO	272
MINA DE LA PLATERA	274
EL CARCABÓN	276
MINAS DE LA DEHESA DE NAVALVILLAR O NUESTRA SEÑORA DE LOS REMEDIOS (COLMENAR VIEJO)	277
MINAS Y FUNDICIÓN DEL ARROYO DE LOS MADERONES O CERRILLO DEL ESCORIAL	277
MINA DEL ARROYO DE LOS LOBOS.....	280
ARROYO DE VALDEMORO Y OTRAS MINAS DE GUADALIX DE LA SIERRA	282
CUESTA DE LA PLATA (BUSTARVIEJO).....	282
PORTILLO DE LA MINA (MORALZARZAL)	286

MIRAFLORES DE LA SIERRA.....	288
FUENTE DE LA PLATA DE COLMENAREJO.....	289
MINA DE EL ESCORIAL.....	290
NAVALAGAMELLA.....	292
3.2.7.- <i>MINERÍA DE COBRE</i>	293
MINA SAN MARCELINO, ALTO DEL PEÑALVENTO (COLMENAR VIEJO).....	293
MINAS DE COBRE ANTIGUAS DE COLMENAREJO.....	294
MINAS DE LA OSERA.....	294
MINA ANTIGUA PILAR Y OTRAS.....	295
MINA DEL ARROYO TROFAS (TORRELODONES).....	297
MINA DE CASA BLANCA DE EL PARDO (HOYO DE MANZANARES).....	299
3.2.8.- <i>MINERÍA DE PLOMO</i>	303
GALENA ARGENTÍFERA EN CADALSO DE LOS VIDRIOS Y CENICIENTOS.....	303
MINERÍA ANTIGUA DE COLMENAR DEL ARROYO.....	304
MINA LA MONTAÑESA (NAVALAGAMELLA).....	306
3.3.- LA MINERÍA Y METALURGIA MADRILEÑAS EN EL SIGLO XVIII.....	309
3.3.1.- <i>CONTEXTO CIENTÍFICO EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA EN EL SIGLO XVIII</i>	309
3.3.2.- <i>INICIO DE LA METALURGIA DE LA PLATA A MAYOR ESCALA EN BUSTARVIEJO</i>	310
3.3.3.- <i>LAS VICISITUDES DE CAPUA Y ARENI: LA COMPAÑÍA</i>	314
3.3.4.- <i>RESPUESTAS AL CUESTIONARIO DEL CARDENAL LOREZANA</i>	319
3.4.- LA MINERÍA DE LOS METALES Y LA METALURGIA EN EL SIGLO XIX.....	323
3.4.1.- <i>CONTEXTO POLÍTICO Y CIENTÍFICO (1840 – 1872)</i>	323
CONTEXTO CIENTÍFICO Y CULTURAL EN LA MINERÍA Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA.....	327
3.4.2.- <i>EL RESURGIR DEL ESPÍRITU MINERO: EN LA PROVINCIA DE MADRID</i>	329
RELACIÓN ENTRE LA MINERÍA Y LA ESPECULACIÓN: TERTULIAS DE CAFÉ Y SOCIEDADES.....	333
ESTABILIZACIÓN DE LOS REGISTROS MINEROS HACIA 1860.....	337
3.4.3.- <i>CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA EN MADRID EN EL SIGLO XIX</i>	349
3.4.5.- <i>MINERÍA DE PLATA EN EL SIGLO XIX</i>	353
MINAS DE LA ACEBEDA Y ROBREGORDO.....	353
MINAS DE CABEZA DE RULLUECO.....	356
MINERÍA DE PLATA EN MONTEJO DE LA SIERRA Y PRÁDENA DEL RINCÓN.....	359
MINA SAN FRANCISCO.....	365
NOTAS SOBRE LA MINERALOGÍA DE LA MINA SAN FRANCISCO DE HORCAJUELO.....	372
MINAS DE ARSÉNICO Y PLATA DE BUSTARVIEJO.....	374
FÁBRICAS DE BENEFICIO EN BUSTARVIEJO.....	380
3.4.5.- <i>MINERÍA DE COBRE</i>	385
NOTAS GENERALES SOBRE LA COMARCA CUPRÍFERA DE LOZOYA.....	385
MINAS DE GARGANTA DE LOS MONTES.....	387
MINA DE LA ALDEA DE EL CUADRÓN.....	388
MINAS DE COLMENAREJO Y GALAPAGAR.....	390
MINAS DE COLMENAREJO AL FINAL DEL SIGLO XIX.....	394
LA FUNDICIÓN DE COLMENAREJO.....	396
MINAS DE COBRE DE COLMENAR VIEJO.....	399
MINA SAN MARCELINO DE PEÑALVERO.....	399
3.4.6.- <i>MINERÍA DE PLOMO Y PLOMO ARGENTÍFERO</i>	401
MINAS DE GALENA ARGENTÍFERA DE GARGANTILLA.....	401
FÁBRICA DE AMALGAMACIÓN LA CONSTANCIA. GARGANTILLA.....	410
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA Y ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS DE GARGANTILLA DE LOZOYA.....	411
MINERÍA EN COLMENAR DEL ARROYO.....	413
MINAS DE CALDALSO DE LOS VIDRIOS Y CENICIENTOS.....	415
MINAS DE GUADALIX DE LA SIERRA Y FUNDICIÓN DEL ARROYO HORCAJO.....	417
3.5.- LA MINERÍA MADRILEÑA EN EL SIGLO XX.....	423
3.5.1.- <i>CONTEXTO ECONÓMICO, POLÍTICO Y CIENTÍFICO DE LA MINERÍA MADRILEÑAS EN EL SIGLO XX</i>	423
3.5.2.- <i>EVOLUCIÓN DE LA MINERÍA METÁLICA MADRILEÑA EN EL SIGLO XX</i>	426
PRIMERAS DÉCADAS.....	426

FINAL DE LA GUERRA CIVIL Y SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX.....	434
3.5.3.- MINERÍA DE PLOMO EN EL SIGLO XX	443
MINA SAN EUSEBIO	444
MINAS DE NUESTRO PADRE JESÚS	447
MINA LA MONTAÑESA. NAVALAGAMELLA	450
3.5.4.- MINERÍA DE COBRE EN EL SIGLO XX	454
MINA ANTIGUA PILAR (COLMENAREJO).....	454
PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN COLMENAREJO.....	465
FUNDICIÓN DE COBRE DE TORRELODONES.....	467
MINA DESCUIDO (FERNANDITO). GARGANTA DE LOS MONTES.....	469
TRATAMIENTO DE LA MENA EN GARGANTA DE LOS MONTES.....	478
PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN MINA FERNANDITO 2006- 2007.....	481
3.5.5.- MINERÍA DE ESTAÑO Y VOLFRAMIO.....	485
MINA DE VOLFRAMIO Y COBRE PRIMERA. CABEZA LIJAR. GUADARRAMA.....	485
MINAS DE ESTAÑO Y VOLFRAMIO DESDE HOYO DE MANZANARES A COLMENAR VIEJO	486
MINAS Y LAVADEROS DE TORRELODONES Y HOYO DE MANZANARES.....	487
MINA ASTURIAS O LAVADERO DE VALTRAVIESA	487
MINA MARIBEL.....	489
FUNDICIÓN DE ESTAÑO DE VILLAVERDE.....	492
CAPÍTULO 4.- CONSIDERACIONES HISTÓRICAS SOBRE LOS MÉTODOS DE LABOREO Y BENEFICIO DE METALES	495
4.1.- PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS.....	496
4. 2.- ILUMINACIÓN EN LAS MINAS	497
4.2.1.- LÁMPARA DE ACEITE	497
4.2.2.- CARBUREROS.....	498
4.3.- MÉTODOS DE ARRANQUE, LABOREO Y SOSTENIMIENTO	499
4.3.1.- EXCAVACIÓN POR MARTILLO Y PUNTEROLA.....	499
4.3.2.- BARRENOS ANTIGUOS Y MODERNOS.....	500
4.3.3.- LABOREO DE UN FILÓN METÁLICO DE INTERIOR	501
4.3.5.- ENTIBADOS EN MADERA, CUADROS Y MAMPOSTAS	504
4.3.6.- EMBOQUILLES EN ROCA Y EN SUELO, ROCA FRACTURADA	506
4.4.- TRANSPORTE INTERIOR Y EXTERIOR. MÁQUINAS DE ELEVACIÓN	509
4.4.1.- MALACATES.....	509
4.4.2.- TORNOS DE INTERIOR.....	511
4.4.3.- TRANSPORTE EN LA MINA: CANASTOS Y VAGONETAS.....	514
4.4.3.- TRANSPORTE A LAS FÁBRICAS DE BENEFICIO	515
4.4.4.- DESAGÜE	515
4.5.- MINERALURGIA	517
4.5.1.- CONCENTRACIÓN DE MINERALES METÁLICOS	517
4.5.2.- MOLIENDA	519
4.5.4.- CONCENTRACIÓN PRIMARIA POR GRAVEDAD. MESAS DE SACUDIDAS ...	521
CAPITULO 5.- VALORACIÓN DE LA MINERÍA METÁLICA Y ESPACIO SUBTERRÁNEO DE LA COMUNIDAD DE MADRID- PROPUESTA DE FUTURAS ACTUACIONES	523
5.1.- CRITERIOS INTRINSECOS DE VALORACIÓN	525
5.2.- INTERVENCIÓN SOMERA: 45 – 60 PUNTOS.....	531
5.3.- INTERVENCIÓN MEDIA: 61- 80 PUNTOS.....	535
5.4.- MINAS A PONER EN VALOR: MÁS DE 81 PUNTOS.....	543
5.5.- PUESTA EN VALOR DEL PATRIMONIO. ITINERARIOS	545
ITINERARIO 1: VALLE LOZOYA	546
ITINERARIO 2: HORCAJUELO DE LA SIERRA	547
ITINERARIO 3: FRANJA DE HOYO DE MANZANARES HASTA COLMENAREJO.....	547
ITINERARIO 4: COLMENAR VIEJO	548
5.6.- NORMATIVA APLICABLE A LA RESTAURACIÓN DE MINAS ABANDONADAS	549
BOSQUEJO NORMATIVA APLICABLE	555

CAPÍTULO 6.- ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ESTABILIDAD GENERAL DE LA MINA PRIMERA (CABEZA LIJAR), GUADARRAMA	557
6.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MINA Y DE LAS LABORES SUBTERRÁNEAS ..	559
6.2.- MATERIALES Y GEOLOGÍA	563
6.2.1.- MINERALOGÍA Y METALOGENIA	563
6.2.2.- CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO.....	565
6.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA.....	567
6.3.1.- RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS	568
6.3.2.- VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS.....	569
6.3.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS FINALES ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA....	571
6.4.- FRACTURACIÓN	573
6.4.1.- RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION).....	577
6.4.2.- PERSISTENCIA Y ESPACIADO	579
6.4.3.- PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN	579
6.5.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO	585
6.5.1.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	585
6.5.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (Q):.....	589
RQD.....	589
NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS J_N :.....	589
RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS: J_R	589
AGUA EN LAS JUNTAS J_W	590
METEORIZACIÓN DE LAS JUNTAS J_A	590
TENSIONES EN LA EXCAVACIÓN SRF	590
DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN DE Q:.....	591
6.5.3.- PRESIONES SOBRE SOSTENIMIENTOS Y RECOMENDACIONES A PARTIR DE Q.....	592
6.5.4.- PRESIONES SOBRE SOSTENIMIENTOS A PARTIR DE RMR	593
6.5.5.- PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO EMPÍRICO DE HOEK Y BROWN	594
6.6.- RESUMEN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS GALERÍAS MINA CABEZA LIJAR....	597
6.7.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LA MINA. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES.....	599
6.7.1.- GALERÍA EN FILÓN.....	603
PRIMERA COMBINACIÓN: $J_2J_3J_4$	604
SEGUNDA COMBINACIÓN: $J_1J_2J_4$	607
TERCERA COMBINACION: $J_1J_3J_4$	609
6.7.2.- GALERÍA EN ESTÉRIL O GALERÍA DE ARRASTRE.....	610
PRIMERA COMBINACIÓN: $J_2J_3J_4$	611
SEGUNDA COMBINACIÓN: $J_1J_3J_4$	614
6.8.- CONCLUSIONES MINA DE CABEZA LIJAR.....	617
6.9.- EXCAVACIÓN DE UNA GALERÍA SECUNDARIA. METODOS DE SOSTENIMIENTO	619
RECOMENDACIONES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE BENIAWSKI.....	620
6.10.- SELECCION DE IMÁGENES DE LA MINA DE CABEZA LIJAR	625
CAPÍTULO 7.- ESTUDIO GEOTÉCNICO Y PUESTA EN VALOR DE LA MINA DE PLATA DE BUSTARVIEJO	631
7.1.- INTRODUCCION	633
7.2.- LOCALIZACIÓN DE LA MINA	635
7.3.- DESCRIPCIÓN DE LA MINA DE INTERIOR	639
7.4.- MARCO GEOLÓGICO	643
7.4.1.- ROCAS ÍGNEAS PREHERCÍNICAS: ORTONEISES BANDEADOS Y ORTONEISES GLANDULARES	643
7.4.2.- ROCAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS: LEUCOGRANITOS	644
7.4.3.- DEPÓSITOS CUATERNARIOS COLUVIALES Y RELLENOS ANTRÓPICOS	645
7.4.4.- TECTÓNICA	646
7.4.5.- FILONES.....	646
7.5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA CALICATA Y EMBOQUILLE ACCESO	647
7.5.1.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA	647
RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS	649

VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS.....	650
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA.....	653
7.6.- FRACTURACIÓN	655
7.6.1.- FAMILIAS DE FRACTURAS.....	655
7.6.2.- RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION).....	657
7.6.3.- PERSISTENCIA Y ESPACIADO	659
7.6.4.- PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN	659
7.7.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO	663
7.7.1.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI).....	663
7.7.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR (ROMANA).....	664
7.7.3.- PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO DE HOEK Y BROWN.....	665
7.8.- ESTABILIZACIÓN DEL EMBOQUILLE.....	667
7.9.- DESMONTES EN SUELO: ESTABILIDAD DE LAS ESCOMBRERAS	673
7.10.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LAS GALERÍAS	675
7.10.1.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA	677
RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS.....	677
VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS.....	677
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA.....	680
7.10.2.- FRACTURACIÓN.....	681
FAMILIAS DE FRACTURAS.....	681
RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION).....	683
PERSISTENCIA Y ESPACIADO	684
PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN	686
7.10.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO EN GALERÍAS	690
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR EN LAS GALERIAS DE BUSTARVIEJO	690
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q EN LAS GALERÍAS DE BUSTARVIEJO	692
PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO	693
ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE SOSTENIMIENTO A PARTIR DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	694
PRESIÓN SOBRE SOSTENIMIENTOS A PARTIR DE CLASIFICACIONES GEOMECANICAS EN BUSTARVIEJO	697
7.10.4.- CALCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES.....	699
CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES EN LAS GALERÍAS	700
GALERÍA DE ARRASTRE: GRANDES CÁMARAS O ANCHURONES VACIADOS (CÁMARAS VACIAS), SECCIÓN J-J'	704
GRAN SALA (POZO MAESTRO).....	710
CÁLCULOS MANUALES DE CUÑAS DE BÓVEDA	717
7.11.- CONCLUSIONES DE LOS CALCULOS GEOTÉCNICOS EN LA MINA DE BUSTARVIEJO.....	721
7.12.- RECORRIDO TURÍSTICO SUBTERRÁNEO EN BUSTARVIEJO	723
CAPITULO 8: CONCLUSIÓN	725
8.1.- RECAPITULACIÓN:.....	727
8.2.- PATRIMONIO MINERO MATERIAL	729
ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS	735
8.3.- PATRIMONIO MINERO INMATERIAL	737
8.4.- SUPERFICIE AFECTADA POR LA MINERÍA ANTIGUA	739
8.5.- PUESTA EN VALOR DE LAS MINAS ABANDONADAS	745
8.6.- GEOTECNIA Y ESTABILIDAD DE MINADOS	749
8.7.- NORMATIVA APLICABLE A LA RESTAURACION DE MINAS ABANDONADAS	751
8.8.- METODOLOGÍA Y CUERPO DOCTRINAL EN MATERIA DE ESPELEOLOGÍA MINERA	753
CAPITULO 9: BIBLIOGRAFÍA.....	755
EPILOGO.....	775

RESUMEN

La presente tesis desarrolla desde un punto de vista multidisciplinar la puesta en valor del patrimonio minero abandonado. El ámbito de trabajo es la franja madrileña del dominio de la Sierra de Guadarrama y el objeto del estudio las minas de metales trabajadas desde 1417 hasta finales del siglo XX. La tesis abarca desde el estudio histórico y antecedentes de cada una de las labores mineras, hasta el estudio de estabilidad geotécnica y eventual puesta en valor para el uso y disfrute por investigadores y público en general de las minas más relevantes.

Se establece una metodología de trabajo, recopilación archivística y elaboración de fichas, así como una puesta al día de las técnicas de estudio de minas abandonadas. Estas últimas técnicas descritas tienen además aplicaciones en ingeniería civil, en el estudio de túneles, hundimientos, socavones y problemas geotécnicos ligados al karst. Una vez reconocidas las labores mineras más relevantes, se pasa al estudio de las más interesantes: de su estado general de estabilidad geotécnica y a establecer diversas recomendaciones sobre su mantenimiento, restauración y posibilidades de explotación didáctica y científica. Así pues se puede decir que todas y cada una de las partes de esta tesis con abundantes aportaciones históricas, que tienen una aplicación ingenieril de enorme actualidad.

La tesis comienza desde un punto de vista general con el estudio archivístico de más de 300 referencias a minas y fábricas de beneficio. Después se procede a verificar en campo cada una de ellas y se catalogan finalmente a 57 minas y

8 fundiciones y fábricas de beneficio. De todas ellas sólo dos serán topografiadas, modelizadas en 3 dimensiones y definidas sus características geotécnicas: la mina Indiana de Bustarviejo y la mina Primera de Guadarrama (conocida popularmente como “mina de Cabeza Lijar”). En ellas se harán estudios pormenorizados de su posible puesta en valor. En las consideraciones finales se concluye el trabajo de investigación y se subrayan las posibles líneas de trabajo futuro en el ámbito de la historia de la minería y geología, de la puesta en valor del patrimonio minero y de la estabilidad geotécnica de minados antiguos abandonados.

ABSTRACT

This thesis develops from a multidisciplinary point of view the restoration of the abandoned mining heritage. The area of study is the Sierra de Guadarrama mountain range, located in the Madrid province. We will focus on the metallic mines worked between 1417 till last decades of the 20th Century. In this investigation the purpose is multiple, focusing on the heritage, geotechnics and way of public divulgation.

It is established a unique methodology with archive research together with mining caving. Once the main mines are covered we focus on the two most important ones, where we carry out more exclusive geomechanic research. We show the results and possibilities of public visit to the abandoned mine of Bustarviejo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Octavio Puche Riart, profesor del Departamento de Ingeniería Geológica de la Escuela de Minas de Madrid, director de esta tesis, por guiarme, abrirme el mundo de la investigación y por su gran dedicación cuando estaba de becario en el Departamento a su cargo y por su gran paciencia cuando he proseguido la tesis, a trancas y barrancas ya en el mundo de la empresa privada.

A mi familia:

A mi hermano Rafael Jordá, geólogo, y con quien comparto mi afición por la mineralogía y las minas abandonadas desde hace 20 años, me ha acompañado en las exploraciones más comprometidas a lo largo de estos años. A mi padre, Luis Jordá de Noreña, ingeniero de caminos, a quien debo mi afición por la geología desde que me apuntara a una excursión de la Sociedad Española de Mineralogía a Layos, Toledo en 1989, por todo su apoyo en el colegio y en la carrera, y gracias al cual dispongo de una fabulosa biblioteca geológica y minera. A mi madre, Mercedes Bordehore, por los miles de horas dedicadas a mi, desde siempre, y apoyarme toda la vida; y quien también me acompañó en los primeros años de tesis. A mi hermano Alberto Jordá que también ha estado a mi lado en la carrera, en la tesis y siempre que le he necesitado. A Ana López, mi compañera de aventuras y desventuras y sin cuyo apoyo nada hubiera sido posible desde hace 4 años, a ella le debo el último empujón de la tesis, y soportar mis desvelos.

A mis amigos y compañeros de aventuras y profesión:

Al profesor de la Escuela de Minas de Madrid y compañero, Luis Felipe Mazadiego, quien tanto me ha ayudado en mis comienzos investigadores, por su apoyo y confianza en la etapa en la que colaboré en sus proyectos, entre ellos la revista De Re Metallica. En general a todos los consocios de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero, por los buenos momentos pasados en varios congresos, y los que espero seguir disfrutando.

A Manuel Arlandi, ingeniero de minas y compañero del Grupo Mineralogista de Madrid, un gran experto en obras subterráneas, quien me ha ayudado en los capítulos referentes a geotecnia. A él y a Fernando Gómez agradezco una instructiva visita a la mina de Bustarviejo, donde intercambiamos opiniones y aprendí mucho.

A Ramón Jiménez, con quien salgo a buscar minerales desde los 17 años, quien probablemente sea uno de los más grandes conocedores de la mineralogía y minería de la Sierra de Guadarrama.

A los amigos y colegas de afición y profesión que me han acompañado a bibliotecas, minas abandonadas, a entrenarme, a estudiar, a relajarme y sobre todos a todos los que me han ayudado en mis épocas de clausura: Raúl

Martín, Marta Arenas, Ramón Arenas, Carlos Alonso, Virginia Blanco y Alberto Castro.

A los que me enseñaron a observar minas y minerales en el Grupo Mineralogista de Madrid, y que en su día confiaron en las nuevas generaciones: Gonzalo García y Luis Cólliga, Félix Marcos Bermejo, Carolina Daneyko, Migueles, Iván Carrasco, Miguel Checa, Ángel Cutillas y Marisol, Adolfo Zamora y Rosa, Antonino Bueno, y muchos otros tantos.

Muchos investigadores me han ayudado y guiado en estos años, entre ellos los arqueólogos Fernando Colmenarejo y Juan Carlos Guisado di Monti. A Loreto Bermúdez de Castro, por la lectura y corrección del texto. Ángel Turrado, delineante, por las fantásticas láminas que me ha ayudado a hacer y por su paciencia.

Quiero también expresar mi gratitud a las personas que han estado involucradas en el proyecto de la mina de Bustarviejo y muy especialmente a Carlos López Jimeno, Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid y a la corporación municipal de Bustarviejo, especialmente al ex alcalde Julio de Mateo y al ex concejal Francisco Cobertera.

Seguramente quedarán muchos en el tintero, mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de un modo u otro han hecho posible esta ingente investigación y trabajo de campo.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN.

Las minas de metales de la provincia de Madrid se ubican en el dominio hercínico del Sistema Central, principalmente en la Sierra de Guadarrama, abarcando pequeñas partes de Gredos y Somosierra. Se distribuyen en una faja de aproximadamente 150 Km. de largo por 30 de ancho, limitada por los relieves más altos y por el escalón tectónico alpino tras el que dan comienzo los terrenos terciarios de la cuenca del río Tajo. Existen más de un centenar de explotaciones mineras reconocibles de muy dispar entidad: desde una galería a favor de un único filón, hasta sistemas de galerías y pozos con escombreras de más de 2000 m³ en Colmenarejo, Horcajuelo o Bustarviejo. También aparecen registros y calicatas lo que sumado al centenar anterior da un orden de magnitud de trescientos registros mineros todavía reconocibles de alguna manera.

Entre los metales beneficiados han estado la plata, cobre, arsénico, hierro, plomo, cinc, estaño y volframio, incluso se llegó a beneficiar algo de oro anecdóticamente. El presente trabajo arranca en el siglo XV, fecha de las primeras referencias escritas fidedignas de las que tenemos noticias. Las últimas explotaciones de metales se abandonaron hace no muchas décadas: En los ochenta el estaño¹, hacia 1965 el cobre y a principios de los sesenta el plomo.

¹ En la década de los ochenta todavía quedaban algunas labores de casiterita aluvionar de minúsculo tonelaje (Colmenar Viejo, Galapagar y Lozoyuela).

La Sierra de Guadarrama posee un valiosísimo y desconocido Patrimonio Minero que puede desaparecer si no se toman las debidas medidas. Todavía pueden estudiarse minas y fundiciones que se remontan al siglo XVI, se pueden recorrer minas de plata y cobre subterráneas del siglo pasado y modernas instalaciones de beneficio de mineral de cobre, o estaño del siglo XX; entre otros muchos vestigios. Este Patrimonio puede “ser aprovechado” para una explotación turística, didáctica o científica, del mismo modo que se lleva a cabo en otros lugares de España y sobre todo de Europa del Norte y Central.

Entre las minas descritas en este trabajo hay desde labores con varios pozos y hasta tres niveles de galerías (como por ejemplo las minas de Colmenarejo), fundiciones como la de Colmenar Viejo (SXVII), Guadalix (posiblemente XX); plantas de tratamiento y galerías de cierto desarrollo, hasta pequeños pozos, calicatas y socavones excavados a martillo y punterola en los siglos XVI y XVII. Creemos que haber recogido referencias de este patrimonio tendrá un valor notable en posteriores aprovechamientos turísticos. Pero no solo se han realizado estudios históricos y patrimoniales, sino de los contextos geológicos y mineralógicos de las labores.

La Comunidad de Madrid es actualmente una provincia minera importante en rocas industriales. En cuanto a los metales, cada vez son más escasas las referencias a esta minería, hasta el punto de que buena parte de sus explotaciones han sido completamente olvidadas. Sin embargo, un vistazo por su historia y un recorrido por sus numerosas labores mineras abandonadas, nos

permite comprobar que no ocupa el lugar que debiera en el escalafón minero-mineralógico.

La minería en la provincia de Madrid ha seguido una historia paralela a la del resto del país, pero la envergadura de sus explotaciones ha sido siempre de muy pequeña escala. Perdidas sus trazas durante decenios, estas minas han ofrecido una resistencia numantina a los ataques del hombre, a las palas excavadoras de diversas obras civiles o a los vertederos de residuos sólidos que las suelen poblar². En cuanto a las especies minerales que han aparecido, podemos destacar dentro de las muestras históricas los minerales de plata de la Sierra Norte, los cuales permanecen conservados en algunos museos: como es el caso del Museo Geominero donde podemos observar grandes ejemplares de pirargirita y argentita. La esfalerita, calcopirita y galena también han sido explotadas exhaustivamente desde la antigüedad y por lo tanto sus yacimientos han suministrado numerosas muestras. En lo que se refiere a hallazgos más recientes destaca el redescubrimiento de una mina en Hoyo de Manzanares en cuya escombrera se han podido recoger en la última década hermosos cristales idiomorfos de molibdenita de hasta 4 cm.

Actualmente el interés mineralógico de los yacimientos metálicos de la Comunidad de Madrid se basa más en la abundancia y variedad de las especies minerales que han aparecido, que en su calidad. Se presenta a continuación de forma resumida el Patrimonio Minero - Metalúrgico de las localidades

² Como son los casos de la mina de plata de La Perla de Prádena del Rincón o la mina de magnesita del Puerto de la Cruz Verde. Afortunadamente otras instalaciones como el precioso Pozo Maestro de las minas de cobre de Colmenarejo aún siguen en pie, siendo testigos mudos de un pasado minero más glorioso

serranas de la Provincia de Madrid. Serán las minas que se vayan a desarrollar a lo largo de la tesis. Se empieza al Norte en la linde con la Sierra de Somosierra y se prosigue de Norte a Sur progresivamente en diagonal toda la Sierra de Guadarrama hacia Colmenar del Arroyo y Cenicientos.

La Somosierra madrileña alberga ricos yacimientos de plata, prolongación de los de la famosa localidad de Hiendelaencina, en Guadalajara. Hay minas de plata en La Acebeda, Robregordo, Horcajuelo, Montejo de la Sierra y Prádena del Rincón. La mejor conservada es la mina San Francisco, en Horcajuelo, del siglo XIX. Es visible desde este pueblo, en un cerro llamado El Frontón. Las voluminosas escombreras son el hito a seguir desde la lejanía. Una curiosidad es una de las galerías de la vecina mina de Robregordo, visible en el talud de la carretera N-I, al ser cortada por la obra de la vía pública.

Hacia el Suroeste en el valle de Lozoya, rico en minas de plomo argentífero (Gargantilla) y de cobre. De este último mineral es la mina Fernandito en Garganta de los Montes, una mina legendaria, por las historias que en ella acontecieron y el largo tiempo que estuvo en explotación: Las instalaciones exteriores datan de 1960 y se encuentran en perfectas condiciones. Esta interesante labor minera se ubica a dos kilómetros al Sudeste del municipio. Próximas a estas se encuentran las minas de cobre de Lozoyuela, visibles desde la carretera N-I, y la mina Chilena, una explotación de cobre, plomo y zinc en las afueras del pueblo de El Cuadrón.

En las faldas del Pico de Cabeza Braña, en la localidad de Bustarviejo quedan todavía pozos, bocamina, escombreras y restos diversos de sus minas de arsénico y plata. El lugar se llama la Cuesta de la Plata, un interesante paraje minero, que ha estado en explotación de forma intermitente entre el siglo XV y finales del XIX. En un principio eran varias minas, que se comunicaron entre sí hasta hacerse una sola. Ha recibido muchos nombres: Cuesta de la Plata, mina Indiana, Elvira y más recientemente mina Mónica. Se fabricaron lingotes que se vendían para acuñación de moneda. Por esa misma carretera, tras dejar el valle de la mina se llega a Miraflores de la Sierra donde hay otras tres minas de cierto interés: La Carcamala, la mina de “El Alemán” y el Cubero.

Las minas de Colmenar Viejo y Guadalix se remontan a los siglos XVI y XVII. Estas zonas se encuentran respectivamente en las faldas Sur y Norte del cerro de San Pedro, majestuoso y aislado centinela de la Sierra de Guadarrama. Las minas de arsénico y plata de Colmenar Viejo son un interesante recorrido, que empieza en la tapia de la Dehesa Comunal, junto a la base de helicópteros de Los Remedios. De las minas de Guadalix pocos restos quedan, si bien lo más interesante es la fundición, junto al arroyo de Valdemoro.

Los terrenos graníticos entre Colmenar Viejo y Cercedilla están surcados por filones de estaño y volframio que fueron objeto de explotación intensiva en la época de la autarquía, en la Segunda Guerra Mundial y posguerra. Docenas de calicatas alineadas son visibles desde las carreteras, como la de Colmenar Viejo a Hoyo de Manzanares; También en los aluviones que jalonan el límite con el Terciario se beneficiaron estos metales.

Las minas de cobre de Colmenarejo se encuentran en la carretera a Villanueva de la Cañada, en un desvío a dos kilómetros de la Universidad. Es, junto con Bustarviejo, el Patrimonio minero de interior más importante de la sierra de Guadarrama.

La zona minera más extensa de la provincia es sin duda la de Colmenar del Arroyo. Existen seis minas. Algunas galerías son visitables, quedan algunos restos de las plantas de tratamiento y sobre todo se pueden encontrar muchos minerales. Las más importantes son las minas de Nuestro Padre Jesús, junto a la Vía Pecuaria Oriental, y la mina de San Eusebio, en la carretera de Robledo de Chavela. La minería metálica madrileña culmina en el vértice de la provincia, en Cadalso de los Vidrios y Cenicientos, con minas de plomo y barita.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

Los objetivos generales que se plantean con esta investigación son:

1. Conocer la información que existe sobre las minas de metales históricas madrileñas y ordenarla.
2. Conocer y comprobar la ubicación de las referencias históricas de los archivos geomineros más importantes
3. Analizar la mineralogía de cada una de estas minas, y en concreto estudiar las características de la mena principal explotada³.
4. Evaluar la distribución espacial y temporal de las principales labores mineras.
5. Evaluar el estado patrimonial y de estabilidad geotécnica y estructural de los restos mineros. Es un estudio imprescindible previo a cualquier proyecto de musealización: ver si tiene valor y si es seguro.
6. Sintetizar los datos obtenidos, realizando propuestas de uso y gestión del patrimonio minero – metalúrgico, en alguno de los casos que consideremos como más significativos.

³ Aquí radica una de las diferencias principales con la mayoría de los estudios llevados a cabo en minas históricas. En ellos se estudia la mineralogía a partir de los restos de las escombreras (que en realidad era lo que “no interesaba” al minero, o en museos). En esta tesis se estudia mediante las técnicas adecuadas los vestigios “in situ” de la mineralización y laboreo minero principal.

DESARROLLO

La investigación de campo y gabinete de la presente tesis doctoral se ha desarrollado principalmente entre los años 2001 y 2006, aunque también se recogen numerosas excursiones y algún artículo divulgativo del doctorando desde 1991 fecha en que comienza a realizar investigaciones históricas mineras en la Sierra de Guadarrama (principalmente con el objetivo de encontrar minas donde buscar minerales para coleccionismo particular). Durante el periodo comprendido entre febrero de 2003 y noviembre de 2004 disfrutó de una beca de Formación de Personal Investigador de la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollada bajo tutela del profesor Octavio Puche Riart en el Departamento de Ingeniería Geológica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, durante la cual la investigación, a tiempo completo resultó más fructífera que en los años anteriores y posteriores.

La investigación parte de la recopilación de la historia de las minas de metales y la metalurgia de Madrid y del inventario exhaustivo de labores mineras de interior, exterior y fábricas de beneficio. Se estudian las características diferenciadoras de cada una de ellas y también los elementos comunes y métodos desarrollados según los siglos (iluminación, arranque, suministro de energía, etc....). Se procede por último a estudiar las características geomecánicas, topografía y estabilidad de dos de estas minas: taludes, emboquilles, galerías y cámaras. Se aportan, asimismo, soluciones para la

puesta en valor de unos pocos vestigios seleccionados según criterios intrínsecos objetivos.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

En el capítulo 1 se describe la metodología de la tesis: Los principales archivos consultados para localizar las labores mineras abandonadas y la metalurgia, que han servido además para desarrollar (Capítulo 3) la historia de la minería de los metales en Madrid entre los siglos XV y XX. Las técnicas empleadas para evaluar la estabilidad de las minas abandonadas: reconocimientos directos: topografía y espeleología, así como indirectos: sistemas de información geográfica y geofísica y, por último, las modernas técnicas de clasificación de macizos rocosos y cálculo de estabilidad (tanto clásicas como modernas).

En el capítulo 2 se desarrolla el marco geológico y metalogenético de los yacimientos metálicos objeto de la investigación.

El capítulo 3 está consagrado a la historia de la minería de Madrid desde 1417 hasta nuestros días.

El capítulo 4 desarrolla el estudio histórico de métodos de beneficio y laboreo propio de la minería madrileña.

El capítulo 5 se dedica a la valoración cuantitativa de este patrimonio, desglosando el interés de estas labores: minas de interior visitables, otras que merecen un sendero temático y minas sin un valor definido.

El capítulo 6 establece el estudio geotécnico y de posible puesta en valor de la mina de volframio de Cabeza Lijar (mina Primera).

El capítulo 7 se centra en el estudio geotécnico y de puesta en valor de la mina de plata de Bustarviejo. Es la que se considera como labor minera mejor conservada y representativa de lo que fue la minería de los metales de Madrid. Es la que posee mayores posibilidades de puesta en valor e interés patrimonial.

Las consideraciones finales se desarrollan en el capítulo 8, en las que se aporta la conclusión al trabajo de investigación y se subrayan las posibles líneas de trabajo futuro en el ámbito de la historia de la minería y geología, de la puesta en valor del patrimonio minero y de la estabilidad geotécnica de minados antiguos abandonados.

La bibliografía está recogida en el capítulo 9.

En anejos se presentan las láminas de la tesis: los planos de labores y reconstrucción de la mina de plata de Bustarviejo, Cabeza Lijar y otras de menor entidad geología de la Sierra de Guadarrama y un mapa con la situación de todas las minas estudiadas.

Minas investigadas:

	Mina	Localidad	Substancia explotada	Época Principal de explotación
1	Mina Sinforosa	Robregordo	Plata	S XVII
2	Minas de Los Prados de la Umbría	La Acebeda	Plata (u oro)	S XVII
3	Mina La Platera	La Acebeda	Plata	S XVII
4	Mina El Carcabón	La Acebeda	Plata	1853- 1861
5	Pocillo Antonia	La Acebeda	Plata	Desconocida, posiblemente S XIX
6	Mina Felicidad	La Acebeda	Plata	S XIX sobre labores importantes del SXVII
7	Mina de Cabeza del Rullueco	Horcajo de la Sierra	Posiblemente plata	S XIX
8	Pozo de la Cazadora	Horcajuelo de la Sierra	Plata	1856 - 1860
9	Mina San Francisco	Horcajuelo de la Sierra	Plata	1857 - 1870
10	Mina Los Astilleros (o Artilleros)	Horcajuelo de la Sierra	Plata	Hacia 1850
11	Cueva de Los Moros	Montejo de la Sierra	Plata	Hacia 1850
12	Mina La Perla	Prádena del Rincón	Plata	1855 - 1901
13	Mina Caridad o Estrella	Lozoyuela	Cobre	Hacia 1899
14	Mina Chilena	El Cuadrón-Garganta de Los Montes	Zinc y Cobre	1847 - 1862
15	Mina Fernandito	Garganta de los Montes	Cobre	1889-1965
16	Mina Celia	Garganta de los Montes	volframio	1948 - 1962
17	Mina San José	Gargantilla de Lozoya	Plomo argentífero	1843 - 1871
18	Mina Mirla	Gargantilla de Lozoya	Plomo y cobre	Posiblemente S XIX
19	Mina Indiana	Bustarviejo	Arsénico y plata	S XVIII
20	Mina Aníbal	Oteruelo del Valle	Arsénico y plata	Hacia 1856
21	Mina El Cubero	Miraflores de La Sierra	Posiblemente arsénico	Mediados del S XIX
22	Mina La Carcamala	Miraflores de La Sierra	Arsénico-volframio (¿)	1856 - 1860

23	Mina "El Alemán"	Miraflores de La Sierra	Posiblemente Arsénico	Desconocida
24	Mina Verdadera	Guadalix de la Sierra	Varios minerales. Se desconoce sustancia principal	S XVII. Reexplotada en S XX (pórfidos)
25	Mina Sardinera	Guadalix de la Sierra	Varios minerales. Se desconoce sustancia principal	S XVII. Reexplotada en S XX (pórfidos)
26	San Isidro	Guadalix de la Sierra	Arsénico(¿)	S XX
27	Mina Navalvillar	Colmenar Viejo	Cobre	S XVII
28	Mina Pocito de Los Lobos	Colmenar Viejo	Posiblemente plata	S XVII
29	Mina San Marcelino	Colmenar Viejo	Cobre	1858 - 1861
30	Mina Asturias	Colmenar Viejo	Estaño, volframio	Hacia 1980
31	Mina Casa Blanca	Hoyo de Manzanares	Cobre	S XVII
32	Mina El Canchal	Hoyo de Manzanares	Volframita	S XX
33	Mina El Pendolero	Hoyo de Manzanares	Estaño y volframio	S XX
34	Mina El Testerillo	Hoyo de Manzanares	Estaño (¿)	Hacia 1940
35	Mina del Arroyo Trofas	Torrelodones	Cobre	Hacia 1663
36	Mina de Cantos Negros	Torrelodones	Volframio	S XX
37	Mina Fé	Moralzarzal	(Plata?)	S XVII. En 1911 un manantial y embotelladora
38	Mina de Los Limos	Collado Mediano	Volframio	Hacia 1940 - 1950
39	Mina de Las Cortes	Navacerrada	Volframio (¿)	Galería de 1856- 1859
40	Mina Primera	Guadarrama	Volframio	Hacia 1950 - 1965
41	Mina La Osera	Galapagar	Cobre	S XVII
42	Mina Antigua Pilar	Colmenarejo	Cobre	1896- 1912
43	Mina María	Colmenarejo	Cobre	1855 - 1958
44	Mina Jaime	Colmenarejo	Cobre	1890
45	Pozo de la Picaza	Colmenarejo	Cobre (¿)	S XVII
46	Minas de la Liebre	Colmenarejo	Cobre	Posiblemente S XX
47	Minas de la Chaparrilla	Colmenarejo	Cobre	S XVII

48	Mina Cabeza Aguda	Colmenarejo	Cobre	Desconocida
49	Mina de Las Viñas	Navalagamella	Bario- Plomo	Hacia 1959
50	Mina la Montañesa	Navalagamella	Bario - Plomo	1959 - 1979
51	Mina de la Cruz Vede	Zarzalejo	Magnesio	S XX
52	Minas de Fuente Canales	Colmenar del Arroyo	Flúor y Plomo	1855 - 1869
53	Mina La Carrala	Colmenar del Arroyo	Plomo	S XIX
54	Mina San Eusebio	Colmenar del Arroyo	Plomo, Flúor y bario	S XX
55	Minas de Nuestro Padre Jesús	Colmenar del Arroyo	Plomo	1953-1959
56	Pozo de la Corvera	Colmenar del Arroyo	Plomo y bario	Desconocida
57	Mina La Asturiana	Robledo de Chavela	Bario y Plomo	1845- 1854

Tabla 1: Minas estudiadas en la tesis. Se ordenan de Norte a Sur y de Este a Oeste, siguiendo la numeración del trabajo y asesoramiento que el doctorando realizó el año 2007 a la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

CONOCIMIENTO HISTÓRICO MINERO DE MADRID.

La minería metálica madrileña desaparece en la década de los sesenta del siglo veinte. Solo prosiguen de manera tímida exiguas explotaciones de casiterita aluvionar en alguna pequeña concesión. De las minas explotadas en el siglo XIX por ejemplo, no se tienen referencias ni siquiera como menciones históricas en la segunda mitad del siglo veinte. Tras varias décadas de un estado de abandono total de la minería metálica madrileña, y de la ausencia de publicaciones referentes a ella va paulatinamente cayendo en el olvido.

Destacamos como excepción el trabajo de SAMPER sobre Bustarviejo que data de 1977, en el que sí se mencionan datos históricos sobre esta explotación. La minería histórica no es recordada ni siquiera como un apartado secundario en los trabajos geológicos. Es VINDEL, en 1980 mediante su tesis doctoral “Estudio mineralógico y metalogenético de las mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama” quien recupera las trazas de numerosas labores mineras. Si bien la tesis de VINDEL es eminentemente mineralógica y metalogenética sí que aporta valiosa información y bibliografía para la localización de numerosos vestigios mineros.

SALVAGUARDA DEL PATRIMONIO DE LA COMUNIDAD DE
MADRID

Con el fin de divulgar la mineralogía y las minas de España se constituye en 1990 el Grupo Mineralogista de Madrid. En el artículo 3 de sus estatutos esta asociación incluye “la protección de yacimientos minerales del expolio indiscriminado y utilizará sus recursos para lograr la conservación de yacimientos históricos o mineralógicamente interesantes”. Con un objetivo no expresamente de protección minera, sino mineralógica, este grupo empezará la edición del boletín AZOGUE, en octubre de 1990, que se editará cuatrimestralmente hasta 1996. En sus páginas se divulgarán la localización, características e historia de numerosas minas de Madrid. Sobre alguna de ellas ya existía bibliografía antigua, mientras que otras como la mina de Robregordo será una referencia inédita.

Destacamos a continuación los trabajos sobre Madrid más importantes escritos por miembros de este colectivo, algunos de los cuales aparecerán referidos en obras recopilatorias como el “Libro Blanco de la Minería de la Comunidad de Madrid” (IGME, 1995) o “Minerales y minas de Madrid” (TÁNAGO, 2002).

MARCOS BERMEJO y otros publican “sobre una mina de W-Mo en Hoyo de Manzanares (1992) y este autor en solitario divulga “La mina de plata de Robregordo” en 1994. SÁNCHEZ GARCÍA aporta nuevos conocimientos a las minas de Colmenarejo con “Mineralogía de la mina Aurora de cobre de Colmenarejo” en 1992; también redescubre en 1993 la “mina La Carrala” en

Colmenar del Arroyo. GARCÍA GARCÍA aporta en “La mina de Cabeza Lijar” (1995) la primera descripción que hemos encontrado sobre esta mina de interior de volframio. JORDÁ BORDEHORE publica en 1991 el primer croquis de acceso y descripción de las minas de cobre de Colmenarejo; en 1992 publica “Excursiones mineralógicas por la provincia de Madrid” en la que describe las minas de Nuestro Padre Jesús en Colmenar del Arroyo y La Montañesa de Navalagamella. Completando estos trabajos JIMÉNEZ escribe “Nuevas excursiones por Madrid” en 1994. Este geólogo también ha divulgado, de manera eminentemente didáctica, muchos yacimientos madrileños en el boletín “Litos” de la Asociación Segoviana de Aficionados a la Mineralogía.

Ya con el fin específico de proteger los yacimientos geológicos y labores mineras desde una perspectiva científica, y divulgativa, se constituye en 1995 la SEDPGYM, Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Desde su creación agrupa a un amplio colectivo que ha ido creciendo hasta constituir cerca de 600 socios. Aglutina a geólogos, ingenieros, arqueólogos, arquitectos, geógrafos y pedagogos, así como representaciones institucionales. Entre sus grandes logros se ha de destacar la creación de un cuerpo doctrinal y una metodología de trabajo en el campo patrimonial. Los congresos y simposios se realizan en cuencas mineras, en su mayor parte abandonadas o en retroceso, donde el paso de los congresistas y actividades deja un poso que incentiva la rehabilitación minera local.

En el ámbito de la minería metálica madrileña son destacar las publicaciones de PUCHE RIART y MAZADIEGO MARTÍNEZ, quienes además de aportar

diversos estudios de patrimonio madrileño, han redescubierto numerosas labores mineras gracias a una concienzuda labor de campo y gabinete. Los estudios sobre minería madrileñas de estos autores se enmarcan en sendos proyectos de investigación de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid en 4 fases. Son trabajos buscando la salvaguardia del Patrimonio, según un esquema de:

- Historia
- Tecnología aplicada
- Descripción de elementos patrimoniales
- Acciones de salvaguardia propuestas (a modo de conclusión).

Destacamos las siguientes colaboraciones a congresos: “Propuesta de catalogación del patrimonio minero – metalúrgico madrileño” en 1998, así como el de las “minas de cobre de Colmenarejo” en 1999 con la primera referencia a la fundición de esta localidad. En 2000 publican el primer artículo en el que se hace expresa mención al patrimonio minero, se tituló “El patrimonio minero de la mina del Cerro de la Plata de Bustarviejo (Madrid)” fue presentado en la III reunión científica de la SEDPGYM, en la Rábida, Huelva (1999). Como novedad, este trabajo cataloga numerosos vestigios mineralúrgicos en las inmediaciones de la mina.

En 2002 JOSÉ GONZÁLEZ DEL TÁNAGO DEL RÍO CHANRAI y JOSÉ GONZÁLEZ DEL TÁNAGO DEL RÍO publican “Minas y minerales de

Madrid”. Se trata de una excelente obra divulgativa con un riguroso trasfondo científico que ha venido a suplir un hueco importante en la bibliografía sobre la provincia de Madrid. La descripción de los minerales es muy meticulosa, con información sobre los parajes o minas en los que radican. Se aprecia un importante esfuerzo personal de campo, bibliográfico y de análisis. En la última parte del libro describe las minas más notables de la provincia. En lo referente a las metálicas destacamos las descripciones y fotografías de las minas de Cabeza Lijar en el Puerto del León, Colmenarejo y Garganta de los Montes y Horcajuelo de la Sierra. Los autores describen fotografían las labores de la mina de plata de Bustarviejo, aportando datos interesantes sobre el estado del entorno de la mina. Resulta muy interesante la fotografía del torno y el pozo superiores que aparecen ya parcialmente destruidos. Este pozo y pórticos que ya no existen habían sido catalogados como un vestigio minero de interés por PUCHE y MAZADIEGO, en 1997.

En 2005 se restaura la torre de la mina de Bustarviejo, que amenazaba ruina. Fue llevado a cabo directamente por la Dirección General de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid, a petición del propio ayuntamiento de Bustarviejo.

Bustarviejo. El consejero de Presidencia anunció una ayuda de un millón de euros para la recuperación y explotación cultural de una antigua mina de plata. La gruta se convertirá en un museo con más de 500 metros de galerías subterráneas

Granados baja a la mina

GONZALO CABEZA

Botas altas, mono blanco, casco y ambiente festivo. Todo era necesario para poder bajar a la mina de plata de Bustarviejo, compuesta por más de 500 metros de galerías oscuras y húmedas con el suelo embarrado y varios niveles de altura. El consejero de Presidencia de la Comunidad de Madrid, Francisco Granados, inspeccionó la zona aunque, eso sí, vestido de calle, sólo con una protección de plástico para el calzado.

El objetivo de la visita era mostrar la mina, que se pretende rehabilitar para crear en ella un espacio turístico. El alcalde de la localidad, Julio de Mateo, destacó que a pesar de que será abierta al público «no se pretende crear un área masificada».

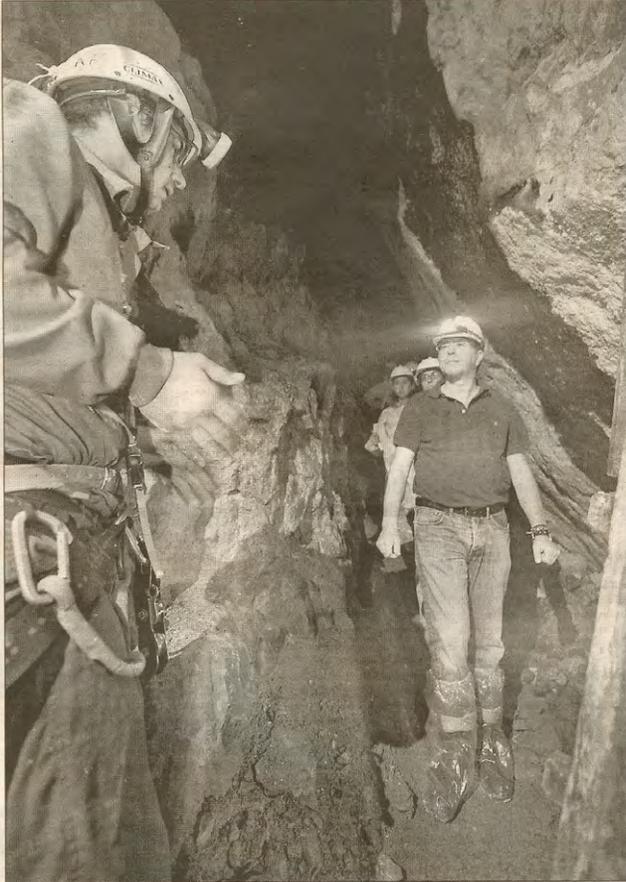
Tampoco podría serlo, los accesos a la entrada de la mina son difíciles, sólo se puede llegar a ellos por medio de vehículos todoterreno, a caballo o a pie. Decían los lugareños que, en realidad, el estado en el que lo pudo ver Granados no es nada en comparación con los 20 ó 30 centímetros de nieve que suele haber en invierno a esas alturas, superiores a los 1.400 metros. El consejero comentó la necesidad de mejorar los caminos para facilitar en lo posible el acceso a la mina.

Otro de los intentos del Ayuntamiento de la localidad es la creación cerca de la mina de un centro de interpretación geológico y minero. Además, Mateo comentó que se va a intentar habilitar la mina para que puedan acceder los minusválidos, y que así «lo pueda ver todo el mundo».

La mina además guarda una profunda historia en sus caminos, ya que fue descubierta en 1417. En ella se encontró arsénico, plata y alguna veta de oro, y a partir del siglo XVII se realizaron trabajos de explotación.

En el siglo XX la mina dejó de explotarse por su baja rentabilidad, aunque hubo en los años setenta algunos tímidos intentos por retomar esta actividad que no tuvieron éxito. De esta época se han encontrado en los últimos estudios algunos vestigios, como vagonetes y otros artilugios del trabajo minero.

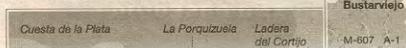
Ahora se vuelve a explotar, aunque de otra manera. Existe un Plan Director de la Comunidad de Madrid para estudiar la viabilidad del proyecto que estará gestionado por



El consejero de Presidencia, Francisco Granados, ayer, en la mina de la plata de Bustarviejo. / CARLOS ALBA

Una mina abierta al público

Los abandonados yacimientos de plata se convertirán en un centro dedicado al turismo medioambiental.



cios tan singulares como este. Además señaló que el centro de interpretación «creará empleo, fomentará el desarrollo sostenible, y potenciará el interés turístico de la zona».

En la expedición que bajó ayer a la mina además del consejero Granados, el alcalde de la localidad

Figura 1: El consejero de presidencia de la Comunidad de Madrid, Enrique Granados visita en 2005 la mina de Bustarviejo.

A raíz de varias gestiones que se inician con la restauración de la Torre de la mina tuvo lugar una intensa campaña de investigación en la mina de

Bustarviejo. Las autoridades locales y regionales han invertido con objeto de poner en valor la mina.

El IGME publica en 2006 el libro “La minería de los metales y la metalurgia en Madrid (1417- 1983), un texto sintético sobre la historia de la minería y metalurgia modernas en la Comunidad de Madrid. Presenta los resultados de la investigación archivística, historia y patrimonio y reconocimiento de campo de las minas y fundiciones abandonadas de Madrid llevadas a cabo, por el doctorando (JORDÁ) y los profesores PUCHE y MAZADIEGO, desde 1991.

En el año 2006, a petición de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, la empresa Geoconsult realiza un estudio geotécnico de la parte subterránea de la mina de plata de Bustarviejo. Se trata de una empresa especializada en diseño de minas y túneles. Es el único trabajo de esta índole que se sepa realizado en Madrid.

Ese mismo año la misma Dirección General encarga a la Escuela de Montes la realización de un inventario de puntos de riesgo y minas abandonadas en la Comunidad de Madrid; asesoran a dicho comité el autor de la presente tesis y el geólogo RAFAEL JORDÁ. En 2007 se inicia la segunda parte de este proyecto, con un informe detallado de las minas que presentan mayor peligrosidad. A partir de este proyecto se establecerán las obras y trabajos inmediatos de estabilización y protección. En 2007, paralelamente, se ha iniciado la restauración del emboquille de la mina de Bustarviejo, a cargo de fondos europeos.



Figura 2: Colocación de una escalera para acceso en las campañas de investigación de la mina (2006).

CAPÍTULO 1: METODOLOGÍA

1.1.- INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe la metodología general para la investigación doctoral. Se trata al final de disciplinas científicas y técnicas muy diversas, por lo que dentro de cada apartado se explicará el porque de su utilización así como en los capítulos en los que se hace referencia y son empleadas.

Contenido	Capítulos en los que se desarrolla
Documentación y localización de vestigios históricos	Capitulo 3, Capitulo 4
Técnicas analíticas	Capitulo 2 y Anejo 2
Sistemas de información geográfica. SIGPAC	Anejo 1.
Trabajos de exploración espeleológica	Anejo 3. Parte de C. VI y VII
Exploración geofísica de minas	3.5
Levantamientos topográficos	Anejo 3
Representación tridimensional	Parte de Capítulos 6 y 7
Criterios Intrínsecos de Valoración	Capitulo 5 completo
Estudio geotécnico	Capitulo 6 y 7 completos

Tabla 2: Contenido de los diversos capítulos y metodologías empleadas.

1.2.- ARCHIVOS

La consulta de archivos es el primer paso en toda investigación de esta magnitud. Por un lado se necesita un conocimiento del estado del arte y por otro catalogar todos los diferentes yacimientos y minas que serán objeto de estudio. La investigación nace en la consulta de las numerosas, aunque muy dispersas fuentes: legajos, libros y artículos, tesis e investigaciones sobre minas en Madrid y la Sierra de Guadarrama. Los más antiguos, manuscritos datan de 1417 y los más modernos de 2007.

Antes, durante y después de las visitas de campo se elaboran mapas y croquis que son mejorados caso de que se produzca más de una visita. En caso de que el indicio prometa un interés excepcional o destacado, se realizan investigaciones monográficas fruto de las cuales aparecen artículos de investigación en revistas especializadas. Lo más frecuente es la realización de planos en dos dimensiones, aunque en algunos casos hemos reproducido minas en tres dimensiones, pues era la única manera de comprenderla e interpretarla.

Se han realizado más de mil fotografías de todas las minas y yacimientos, que constituyen uno de los mayores archivos visuales y legados gráficos de la minería de la Sierra de Guadarrama. También se han realizado encuestas a mineros y gentes del campo, que han proporcionado un legado inmaterial que estaba a punto de perderse para siempre. Algunos de los personajes con los que nos hemos entrevistado al principio de la tesis han fallecido ya.

En este capítulo se recopila la información sobre los archivos geomineros que han servido para el estudio histórico de las minas, así como la catalogación e inventariado de todas ellas en fichas resumen. Se recoge la metodología seguida en la consulta de los principales fondos y archivos bibliográficos geomineros y los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Se explica el funcionamiento de dichos centros: archivos sensu stricto y bibliotecas y se describen los principales documentos consultados en cada uno de los archivos. La investigación bibliográfica doctoral abarca desde 1417 fecha del primer documento encontrado (con yacimiento asociado en buen estado de conservación) hasta nuestros días.

Al tiempo que se consultaban las fuentes bibliográficas se cotejaban los datos en campo. El proceso de consulta de archivos geomineros ha llevado pareja la visita a las minas según estas se iban “descubriendo”. Se localizaban en una primera etapa las labores y al mismo tiempo se verificaba si los datos de los archivos geomineros eran correctos o no. Si la fuente resultaba veraz, se proseguía trabajando con ella, de lo contrario, se abandonaba la vía. Los trabajos de campo se han desarrollado de manera mucho más intensiva una vez terminada esta etapa archivística. Esta información de campo se resume en fichas en anejos. La consulta de los fondos documentales ha sido objeto de un trabajo tutelado de investigación, para la obtención de la suficiencia investigadora, defendida en noviembre de 2005.

Los archivos consultados han sido:

1. Biblioteca y Cartoteca de la Facultad de Geografía e Historia.
Universidad Complutense de Madrid.
2. Biblioteca Histórica Municipal de Madrid.
3. Archivo del Museo Nacional de Ciencias Naturales.
4. Archivo de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la
Comunidad de Madrid (antigua Jefatura de Minas).
5. Biblioteca Nacional de España.
6. Instituto Geológico y Minero de España y biblioteca.
7. Biblioteca Histórica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Minas de Madrid.
8. Archivo de Simancas y Real Chancillería de Valladolid.

1.2.1.- BIBLIOTECA FACULTAD GEOGRAFÍA E HISTORIA UCM.

Su cartoteca nos ha permitido la localización de numerosos vestigios mineros que aparecen en la cartografía topográfica antigua, pero que han sido paulatinamente ignorados en las actualizaciones de las hojas escala 1:25000 y 1:50000 modernos. Un ejemplo de mina localizada gracias a esta búsqueda ha sido la de Las Cortes de Navacerrada y los vestigios de la “Urbanización Las minas” de Galapagar. Tiene gran interés la cartografía de los años 40 a 60 del siglo XX donde aparecen numerosas explotaciones mineras activas en aquellos momentos.

1.2.2.- BIBLIOTECA HISTÓRICA MUNICIPAL DE MADRID

Aun sin contar con archivos de tipo minero, sí resulta sumamente interesante el apartado de Fondos Especiales de Madrid, que comprende 15.900 volúmenes (11.554 libros y 4356 folletos) sobre historia, arte, literatura y costumbrismo de Madrid, así como las obras de la mayor parte de los escritores madrileños.

1.2.3.- MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES.

Se han encontrado algunos archivos muy interesantes, pero muy poco volumen de información. El mayor interés radica en las fichas de los minerales donados a lo largo de los últimos dos siglos a dicho museo⁴. Pero en ellos no se han encontrado referentes a la minería metálica de la provincia de Madrid.

1.2.4.- ARCHIVO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS DE LA C.A.M.

En ella se encuentran los planos de demarcación de todas las explotaciones mineras registradas en Madrid y Toledo (antiguo Distrito Centro) desde 1840 hasta la actualidad. Junto con las referencias de la “Estadística Minera”, agrupa la práctica totalidad de la información con la que se ha trabajado para el siglo XIX. El resto de informes de esa época, en volumen de datos resulta prácticamente insignificante comparado con estos registros.

El archivo de la Dirección general de Minas, antigua Jefatura de Minas, posee los datos de las actividades realizadas por los explotadores y también,

⁴ Expedientes de ingresos y salidas de minerales: contiene “donación de Manuel Caballero Infante, presidente de La Madrileña, explotadora de la mina Indiana en Bustarviejo... remisión de un ejemplar procedente de dicha mina.”

CN0159/024 de 1846: Contiene escrito sobre la donación de ejemplares de mineral de cobre de la mina Unión de Colmenar Viejo, a cargo de Martín Robisco de la sociedad minera La Constancia.

de crucial importancia describen el estado en que se encontraban muchas minas en el momento de reactivarse. En los informes de la década de 1840 se obtienen la información de cómo había quedado la explotación minera en los siglos XVII y XVIII.

La documentación de cada registro contiene una memoria y un plano de demarcación siendo el contenido y calidad del mismo muy desigual entre cada registro. Algunos son de gran valor, mientras que otros son tan vagos que ni siquiera nos han permitido ubicar la mina.

1.2.5.- BIBLIOTECA NACIONAL

La búsqueda más provechosa es la de forma manual en las revistas mineras históricas tales como “La Antorcha”, en la zona de Revistas y Publicaciones Periódicas tomando, como referencia de las más relevantes la publicación de CALVO REBOLLAR. (1999)⁵. Las revistas “Revista Minera” y “Estadística Minera” pueden ser consultadas en otras muchas⁶ bibliotecas, pero además en la Biblioteca Nacional encontramos otras menos importantes y que no figuran en ninguna otra. Son publicaciones de minería de carácter efímero y que no

⁵ “Bibliografía Fundamental de la Antigua mineralogía y minería españolas.”

⁶ Los nombres de estas otras revistas han sido obtenidos partiendo del trabajo de CALVO REBOLLAR (1999). La Revista Minera no es la única de esa temática que aparece en la mitad del siglo XIX, también La Guía del Minero, La Antorcha Minera, El Minero, El Diario de Minas, El Minero Español, etc. Hemos procedido a su consulta en la sala de publicaciones periódicas. Sólo localizamos algunas, las cuales están disponibles en microfilm. La Guía del Minero se publicó semanalmente entre febrero y agosto de 1848 (Consultamos la microficha del 24 de agosto de 1848 Revmicro 485-1 Hn/1882 de Alcalá. No aporta información relevante). Resulta de gran utilidad “La Antorcha” que nos ha aportado datos sobre las minas de cobre de Colmenarejo y las de plata de Horcajuelo de la Sierra. Esta publicación se editaba en dos números por semana entre 1851 y 1857. Se trata de una publicación continuación de El Regalo (que no hemos hallado, nuestra consulta ocupó el microfilm Micro 467 (1)).

presentan tanta información como aquellas. Sin embargo gracias a ellas hemos localizado algún vestigio y podido catalogar algunas labores mineras⁷.

⁷ En Revista Minera, se citan donaciones (sólo en sus primeros números) al Museo de la Escuela de Minas y análisis realizados por su laboratorio.

1.2.6.- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

La principal fuente de información han sido las fichas adjuntas a los planos metalogenéticos (inéditos) escala 1:200.000 de Madrid y Segovia. Se trata de un trabajo recopilatorio y de síntesis, encaminado a actualizar la cartografía metalogenética existente (los trabajos de campo corresponden en su mayoría a la década de 1980-1990). Las fichas incluyen detalles geológicos, metalogenéticos, mineros (descripción de vestigios) y accesos⁸.

También se citan las memorias de los mapas geológicos 1:50.000 que empiezan a editarse en la segunda década del S XX. No se han encontrado profusión de datos. Lo más provechosos es que en algunos de ellos se hace mención a minas “activas”.

⁸ Para muchas minas pequeñas, ilocalizables por foto aérea, este ha sido la única vía posible de reconocimiento: Minas de la Osera (Galapagar), mina de Casa Blanca (Hoyo de Manzanares) etc...

1.2.7.- BIBLIOTECA HISTÓRICA DE LA ESCUELA DE MINAS

Lo más destacable es la facilidad de consulta de los fondos antiguos, “Estadística Minera”⁹ y “Revista Minera”. Esta última tiene los índices escaneados y es posible consultarlos a través de internet. La Biblioteca posee catálogos manuales y el nuevo catálogo de “Proyectos Fin de Carrera” históricos¹⁰; que abarca desde 1871 a 1975. También hay un nuevo catálogo con proyectos de 1976 a 2003. Es la primera biblioteca en exponer en la hemeroteca la Revista de Patrimonio Geológico y Minero “De Re Metallica”. También se ha consultado exhaustivamente: LARRUGA E., (1791): “Memorias Políticas y Económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y Minas de España”.¹¹

⁹ Colección completa desde 1861

¹⁰ Donde hemos encontrado por ejemplo uno de Bustarviejo escrito por VARONA (1964).

¹¹ Este autor aporta una exhaustiva y enciclopédica visión de la minería madrileña desde el siglo XV hasta finales del siglo XVIII. En esta recopilación aúna las descripciones transcritas de los archivos de Simancas (al igual que hace más tarde Tomás Gonzalez) pero aportando una enorme cantidad de datos del momento. Paradójicamente prácticamente no encontramos información sobre Madrid en los capítulos homónimos pero sí en los eferentes a Guadalajara y Segovia, provincias a las que pertenecían los principales distritos mineros de Madrid en aquellos siglos. La mayor aportación a la investigación la hemos encontrado en Bustarviejo, cuya evolución histórica hemos reconstruido prácticamente de año en año en los siglos XVII y XVIII, gracias a LARRUGA.

1.2.8.- ARCHIVO DE SIMANCAS¹² Y REAL CHANCILLERÍA DE VALLADOLID

Se procedió a consultar únicamente en la sección de “documentación del Archivo General de Simancas depositado en la Chancillería” y en concreto las “Contadurías Generales” referentes a minería. Se consultó el índice general del Registro General del Sello y no se encontró ningún referente de minería en Madrid, Segovia, Toledo ni Guadalajara. Se tomó como partida Las referencias de LARRUGA tomo XI (1791) y VV. AA. (1970) “La minería hispana e Iberoamericana. Contribución a su investigación histórica. Estudios – fuentes – bibliografía. VI Congreso Internacional de Minería. Dep. Publicaciones. Ed. Vol. V Archivo General de Simancas. Índice de documentación sobre Minas (1316 – 1832). Cátedra de San Isidoro, León.

¹² Consulta de fondos documentales Geomineros en el Archivo General de Simancas y la Real Chancillería de Valladolid. Agosto de 2004.

1.2.9.- DOCUMENTOS Y LIBROS MÁS IMPORTANTES SEGÚN

ÉPOCAS

Se pasa a describir los documentos más relevantes por siglos¹³. A pesar de haberse consultado una enorme cantidad de textos, realmente unos pocos de ellos nos han brindado la práctica totalidad de la información histórica. Casi se puede decir que un 5 % de la bibliografía ha proporcionado el 95% de la información. También hay que tener en cuenta el reducido peso o impacto que la minería metálica madrileña tuvo en el total nacional.

FUENTES DOCUMENTALES SOBRE LOS SIGLOS XV A XVIII

En el siglo XVI se empiezan a registrar de forma sistemática las demarcaciones mineras. Para el estudio de la minería en los siglos XVI y XVII es imprescindible referirse a los trabajos recopilatorios del Archivo de Simancas. Los documentos manuscritos de Simancas referidos a minería se remontan a principios del siglo XV y terminan en 1718. Hay cuatro publicaciones y autores que brindan abundante información sobre las Reales Cédulas de Minería y con mención expresa a la provincia de Madrid:

¹³ La bibliografía exhaustiva de toda la consulta bibliográfica se presenta en su apartado correspondiente: capítulo 9: Bibliografía.

La primera y sin duda mas detallada e importante es la obra de LARRUGA en 1787, una extensa recopilación minera y económica de todas las provincias de España.

LÓPEZ DE CANCELADA, en 1831, publica “Minas de oro y plata de España”, donde también se incluye un tratado de metalurgia. TOMÁS GONZÁLEZ, en 1832, publica el “Registro y relación general de minas de la Corona de Castilla”. Por último, en 1841, ANTÓN VALLE publica “El Minero Español”, en el que además de agrupar los trabajos de los dos autores anteriores, añade estudios de campo sobre algunas minas. De las cuatro, la obra más extensa y completa es, como ya hemos apuntado la de LARRUGA.

Una vez estudiados estos fondos y sus referencias históricas se pasa al Archivo de Simancas. Es este archivo donde se encuentran los legajos originales a los que estos autores hacen referencia. Lógicamente ellos resumen los contenidos y en esta investigación se ha podido tener acceso a los textos originales.

TOMÁS GONZÁLEZ (1832) en su prólogo reconoce que en el estudio de los Archivos de Simancas encontró minas de esos siglos en las cuales ya aparecían topónimos mineros. Ello lleva a sospechar que las labores son evidentemente anteriores al uso del topónimo. Muchas de las minas tenían pequeñas fundiciones, de ahí los nombres de El Hornillo, Los Quemados, Escoriales, etc. Es muy juiciosa la observación de TOMÁS GONZÁLEZ en la que dice que en muchas localidades la explotación de las minas se remonta

tanto en el tiempo que se ha olvidado su época y se las atribuye relación con los romanos o los moros. Por todo ello se debe desconfiar de citas en las cuales se atribuye la parte antigua de la mina a los romanos, tal es especialmente el caso de la mina de Colmenarejo.

Se han localizado numerosas labores mineras de este periodo, el cual se cree que se había considerado como de menor importancia minera de lo que en realidad fue. Las citas históricas han sido suficientes para localizar y catalogar gran número de explotaciones, algunas de ellas, de cierta entidad. Es cierto que las citas de los Archivos de Simancas no ofrecen la exactitud ni la labor de síntesis de la “Estadística Minera”. Sin embargo, es a través del estudio a posteriori, discriminando las minas que “no volvieron a trabajarse”, cuando se aprecia la verdadera magnitud de aquellas primeras explotaciones¹⁴.

El “Catastro del Marques de la Ensenada”, de 1762, muy útil para el estudio económico y social de la época no aporta gran luz en lo que a minería metálica se refiere.

En 1787 LARRUGA publica “Memorias políticas y económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España”. Gracias a él tenemos la mejor descripción de las minas de la provincia de Madrid del siglo XVIII y del

¹⁴ En el caso de Madrid, minas como “La Osera” (cobre, explotación situada entre Colmenarejo y Galapagar), “Dehesa de Navalvillar” (cobre, plata y arsénico, en Colmenar Viejo), “Peñalvento” (cobre, Colmenar Viejo), “Casa Blanca de El Pardo” (cobre, Hoyo de Manzanares) o “Cuesta de la Plata” (plata y arsénico, Bustarviejo), eran verdaderas minas y no pequeñas labores esporádicas. Por otro lado, señalar que las citas de Simancas reflejaban en muchos otros casos concesiones especulativas (son parajes donde es imposible la existencia de tal mineral) o trabajos esporádicos con la misma “veracidad” que las minas. Esto último fue lo que le restó credibilidad desde el punto de vista histórico-patrimonial.

XVII¹⁵. Aparte de aportar citas diferentes de la clásica obra de GONZÁLEZ (1842) “Relación general y minas de la Corona de Castilla” sobre las minas de los archivos de Simancas, LARRUGA es más prolijo en detalles. Por ejemplo, aporta páginas enteras de descripciones muy concisas sobre Bustarviejo. Es una de las obras de referencia para el estudio histórico de la minería de la Sierra de Guadarrama, donde aporta datos de producción y anécdotas muy representativas de la situación social de la minería. CALVO (1999) apunta que muchas de las referencias sobre las minas que cita LARRUGA fueron obtenidas por éste de fuentes locales, lo que explica el conocimiento tan profundo y descripciones tan minuciosas de algunas localidades.

Las Relaciones topográficas de TOMAS LÓPEZ (1790) y las encuestas del CARDENAL LOREZANA (1782), tienen escaso interés en cuanto a minería metálica se refiere y prácticamente no aportan luz alguna frente a las otras obras del siglo a las que hacemos referencia en el párrafo anterior.

Al final de la centuria, en 1799 empiezan a publicarse “Anales de Historia Natural”, que puede considerarse la primera revista científica editada en España. Se publicaron 21 números, entre 1799 y 1804, y en ellos aparecen citas a minerales de Madrid, como el titanio de Horcajuelo, aunque no encontramos citas expresas a labores mineras. *“Anteriormente se habían publicado los Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia, pero más como medio de difusión de los trabajos de su propio director Luis Proust, que*

¹⁵ La mayor parte de la Sierra por aquel entonces pertenecía a Segovia o Guadalajara, capítulos en los que encontramos nutridas referencias a minería.

con carácter específico de revista, abierta a autores ajenos” (CALVO, 1999, op.cit).

FUENTES DOCUMENTALES DEL SIGLO XIX

En el primer cuarto de siglo la Guerra de Independencia y la subsiguiente inestabilidad política llevaron a la casi paralización de la actividad minera. En el caso concreto de Madrid, la minería de los metales había vivido un desarrollo relativamente prolongado entre 1417 y finales del siglo XVIII. El abandono del sector minero madrileño fue absoluta entre la Guerra de Independencia hasta 1840 (LABORDE, 1808 y DE MENA, 1819).

La “Estadística Minera” empezó a publicarse en 1856 y perdura hasta la actualidad. En la Estadística Minera aparecen sólo aquellas minas que tenían una producción declarada o en las que se llevaban a cabo investigaciones significativas.

Aparecen ya en la década de 1840, publicaciones periódicas, que sirven para, de forma regular, dar a conocer los nuevos hallazgos y técnicas. Entre 1838 y 1842 se publican los “Anales de Minas” y en 1844 y 1845 el “Boletín Oficial de Minas”. La “Revista Minera” comienza su larga andadura en 1850 y la “Estadística Minera” en 1856 (CALVO, 1999) Existieron también otras muchas publicaciones mineras e industriales de carácter más efímero entre 1848 y 1857. El estudio de estas publicaciones de contenido eminentemente comercial-industrial, brinda información de hallazgos poco divulgados en la prensa científica. Un caso es el de la revista “La Antorcha” en la que aparece

prácticamente la única descripción de las minas de plata de Horcajuelo de la Sierra.

En las publicaciones de la época se encuentra la firma de autores ilustres en la geología y minería nacional tales como SCHULZ, AMAR DE LA TORRE, CAVANILLAS, EZQUERRA DEL BAYO, PRADO, MAESTRE, NARANJO y otros. Estos trabajos van a proporcionar prácticamente las únicas informaciones sobre la forma de laboreo de la minería madrileña en el siglo XIX, pues los informes detallados de la Jefatura de Minas de estas explotaciones se han perdido. En la Dirección General de Minas quedan todavía los planos de demarcación, que si bien dan nutrida información sobre la disposición de los pozos y bocaminas, no aportan datos sobre la producción anual ni el desarrollo industrial y social alrededor de las minas.

En la obra de PASCUAL MADDOZ (1847) “Diccionario Geográfico y Estadístico de España y sus posesiones en Ultramar”, las mejores referencias se han encontrado en el apartado de Madrid, con citas a minas y fundiciones. Tal es el caso de la fundición de cobre de Colmenarejo, de la que MADDOZ es la única referencia de la época de explotación. No aparece ninguna referencia minero metalúrgica en: Guadalix, Guadarrama, Galapagar, Chozas, Colmenarejo, Cadalso, Cenicientos, Fresnedillas, El Escorial, Torreldones, Hoyo de Manzanares, El Pardo, Horcajuelo. Sin embargo cita:

Gargantilla: tomo 8 p.315 (1847): “*Se encuentran en él 5 fuentes de buenas aguas, 25 pozos de minas plomizas, los cuales se trabajan desde el año 1842*”

Manzanares El Real: tomo 11 p.200: “*minas de alcohol, plomo y carbón de piedra*”.

Miraflores p.428: “*hay minas de plata, cobre y otros metales*”.

La publicación más relevante y que tendrá más influencia en ese siglo será la “Descripción Física y Geológica de la provincia de Madrid” de CASIANO DE PRADO, en 1864, que servirá además de modelo para otras monografías geológicas provinciales y referencia para muchos otros Geólogos e Ingenieros de Minas. A partir de la publicación de este estudio se produce un cambio de mentalidad, pues supuso un nuevo planteamiento en la metodología descriptiva de la Geología. En la provincia de Madrid varios ingenieros comienzan a completar el trabajo de CASIANO DE PRADO, que si bien fue una obra de referencia, dejaba lagunas en muchos aspectos. Uno de estos era el sentido práctico, de cara a la investigación minera. Entre los investigadores posteriores a PRADO, uno de los más destacados fue AMALIO GIL MAESTRE¹⁶.

BONA, (de) F.J., (1868) aporta una visión más sobre las minas que siguen en actividad:

¹⁶ En el desarrollo de la actividad minera en el siglo XIX en la Sierra Madrileña se distinguen pues, varios períodos claramente identificables y con características propias. La metalurgia, aún más insignificante que la minería va a seguir un desarrollo paralelo a ella. Esto lleva pareja la aparición o no de informes técnicos y científicos sobre las minas que eran objeto de explotación.

Hasta 1840 podemos definirlo como una etapa de escasa minería y con pequeño nivel tecnológico. Entre 1840 y 1860 es la época del auge desmesurado, con cientos de concesiones mineras y paradójicamente casi ausencia de producción. Es pues, un periodo de especulación. Entre 1860 y 1872 son muchas menos las minas demarcadas, pero fueron en su mayor parte activas. Así en la Estadística Minera se recogió producción de mineral de plomo, plata y cobre. Después prosiguió un periodo de decadencia (1872-1886) con la práctica paralización de la minería metálica en la Sierra de Guadarrama. Por último entre 1887 y 1892 hay un tímido resurgir, para volver casi a abandonarse la minería de los metales en el último decenio. La minería vuelve a recuperarse en las dos primeras décadas del siglo XX.

“El beneficio de las minas de metales tomó algún incremento al principio del año último. Tiempo hacía que se hallaba en un abandono casi completo; pero, á datar de aquella fecha, se han registrado varias minas de plata sobre los terrenos que comprendían las abandonadas en los términos de Gargantilla y Bustarviejo. Se ha extraído alguna plata, aunque en corta cantidad, tal vez por no haberse montado la explotación en grande escala. (...) En los términos de Garganta, Canencia y Lozoyuela se han registrado también varias minas de cobre, y continúan explorándose estos mismos terrenos, lo que sin duda aumentará el número de registros”.

FUENTES DOCUMENTALES DEL SIGLO XX

CALDERÓN, S., en 1910, publica “Los Minerales de España“, probablemente uno de los mejores tratados de mineralogía escritos sobre España. Además de la exhaustiva descripción de especies minerales, el autor recorrió la práctica totalidad de los indicios que cita, los cuales eran en la mayoría de las veces minas. Resulta pues además un tratado de minería de la época.

En cuanto a Madrid se encuentran numerosas referencias de gran interés, como la marcasita, acompañando a las platas rojas, en La Acebeda.¹⁷ CALDERÓN cita que en Gargantilla se empiezan a explotar unas minas abandonadas de galena, según apunta “al parecer argentífera”. Refiriéndose a la bornita visita

¹⁷ Las minas hacía poco tiempo que se habían abandonado

la mina El Descuido, donde aparece bornita con calcopirita y que arroja una ley entre 16 y 25 % de Cu, además de 9 onzas de plata por tonelada y 3,50 % de estaño. En el apartado de la calcopirita se menciona que la mina Descuido se encuentra en explotación.

CANTÓ TELLEZ, A., (1958) “El Turismo en la provincia de Madrid” Diputación Provincial de Madrid. Oficina de Prensa. Describe muy someramente las minas abandonadas y en actividad en aquella época¹⁸.

Existen otras numerosísimas publicaciones, como tesis doctorales, monografías y trabajos del IGME y que mencionamos en el apartado de antecedentes y estado del arte. Por otro lado prosiguen con igual interés la “Estadística Minera”, la “Revista Minera e Industrial” sigue hasta 1936, y el “Boletín Oficial de Minas” también hasta 1936.

¹⁸ El siglo XX comienza con la minería de metales en un estado de casi total abandono, muchos de los yacimientos clásicos se han agotado o sus leyes y tonelajes ya no interesan desde un punto de vista moderno. Aún así quedan zonas de criaderos conocidos casi vírgenes, pues se habían beneficiado partes muy superficiales, como los de plomo de Colmenar del Arroyo, cobre de Garganta de los Montes. Las compañías no parecían dispuestas en los primeros años del siglo a la inversión necesaria.

Una novedad respecto al siglo anterior va a ser la de la minería del estaño y del volframio, que si bien comienza en las primeras décadas, no es hasta la autarquía cuando tiene mayor auge. Sobre todo con la Segunda Guerra Mundial. Estas pequeñas labores mediante rafas, catas y pocillos surcarán buena parte de los filones (hasta los más pequeños) próximos a escalón tectónico meridional.

1.3.- TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPLEADAS

Se han analizado algunas muestras de minerales en las escombreras y fundiciones y también de filones “in situ”. El objeto es en algunas de estas minas antiguas corroborar la mena principal. Las muestras han sido analizadas en el laboratorio centralizado de la Escuela de Minas de Madrid¹⁹ entre 2002 y 2003.

1.3.1.- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).

En el microscopio electrónico de barrido se hace incidir un delgado haz de electrones acelerados, con energías desde unos cientos de eV hasta unas decenas de keV (50 KeV), sobre una muestra gruesa, opaca a los electrones. Este haz se focaliza sobre la superficie de la muestra de forma que realiza un barrido de la misma siguiendo una trayectoria de líneas paralelas.

La señal emitida por los electrones y radiación resultantes del impacto se recoge mediante un detector y se amplifica para cada posición de la

¹⁹ El Laboratorio Centralizado de la E.T.S.I. de Minas de Madrid fue creado en 1.986 para prestar servicios de análisis a los Departamentos de la E.T.S.I. de Minas y a la comunidad universitaria e industria en general. En él se realizan análisis mineralógicos, análisis químicos por vía seca y análisis de superficies, según se describe más detalladamente a continuación. Está adscrito a la Subdirección de Investigación, Doctorado, Postgrado y Desarrollo.

sonda. Las variaciones en la intensidad de la señal que se producen conforme la sonda barre la superficie de la muestra, se utilizan para variar la intensidad de la señal en un tubo de rayos catódicos que se desplaza en sincronía con la sonda. De esta forma existe una relación directa entre la posición del haz de electrones y la fluorescencia producida en el tubo de rayos catódicos. El resultado es una imagen topográfica muy ampliada de la muestra.

El aumento de la imagen producido por el microscopio de barrido resulta de la relación entre las dimensiones de la imagen final y el área de la muestra que ha sido barrida. Así, por ejemplo, si la sonda barre un área de 1 mm^2 de la muestra y la imagen en la pantalla es de 100 mm^2 , ésta ha sido ampliada 100 veces. Este microscopio tiene un rango de aumentos que varía desde $\times 10$ hasta $\times 200.000$ con una distancia focal de 35 mm.

Modos de operación: si el microscopio dispone de varios sistemas de detección es posible diferenciar entre energías electrónicas, principalmente entre la señal producida por los electrones secundarios y la generada por los electrones retrodispersados.

Con los electrones secundarios se obtiene una imagen de apariencia tridimensional de la muestra: La intensidad de emisión de los

electrones retrodispersados depende del número atómico medio de los átomos de la muestra, así los átomos más pesados producen mayor cantidad de electrones retrodispersados. Una imagen originada por los electrones retrodispersados revela diferencias en la composición química por diferencias de contraste. No se ha empleado este modo.

El espectro de radiación X emitido por un mineral en el proceso, puede ser utilizado para hacer un microanálisis químico semicuantitativo mediante espectrometría de dispersión de longitudes de onda. Los electrones incidentes excitan los átomos de la muestra y provocan la emisión de rayos X cuya longitud de onda (λ) es característica de los elementos presentes en la muestra y cuya intensidad para una determinada longitud de onda es proporcional a la concentración relativa del elemento a esa λ .

Normalmente se obtiene un análisis cualitativo de los constituyentes mayoritarios y minoritarios de pequeñas áreas (1mm). Sin embargo, en muestras planas y bien pulidas es posible hacer análisis cuantitativos al comparar la intensidad de los rayos X con la producida en una muestra estándar (patrón) de composición conocida. La precisión de un análisis cuantitativo normalmente es mayor del $\pm 2\%$ y los límites de detección están alrededor de las 100 ppm en análisis rutinarios, llegando a ser de 10 ppm en circunstancias excepcionales.

Es la técnica que se ha empleado para diferenciar las especies minerales de cada mina comparándola con los estudios paragenéticos y los resultados del análisis con microscopio binocular.

1.3.2.- FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX).

Se ha utilizado para la determinación de metales en las escorias de fundición y fragmentos minerales de las fábricas de beneficio.

La técnica de FRX, es aplicable a cualquier elemento químico con número atómico mayor de 4 (berilio), aunque en los espectrómetros comerciales normalmente utilizados la zona de aplicación está limitada hasta el número atómico 9 (flúor).

Muchas de las ventajas de esta técnica se derivan de la relativa simplicidad del espectro de emisión de rayos X. En general, cada elemento tiene unas pocas líneas (serie K: 2-3, L: 8-12, M: 2-6), muchas de las cuales son de intensidad muy baja, y además cada serie aparece en zonas de longitud de onda muy diferentes y localizadas. La posición de las líneas no depende del tipo de compuesto en el que se encuentre el elemento (si exceptuamos los 6-8 elementos de menor número atómico), ni por su estado físico.

Debido a la simplicidad del espectro de rayos X, las interferencias espectrales (a no ser que exista un número muy elevado de elementos, 30-40), son relativamente infrecuentes; en el caso de que existan, hay muchas formas de evitarlas o corregirlas.

Existen pocos métodos analíticos que permitan tal variedad de formas y tipos de muestras como la fluorescencia de rayos X. Las muestras pueden estar en forma de sólidos, pastillas, polvos, líquidos, películas finas e incluso gases. El material puede ser metal, mineral, cerámico, vidrio, plástico, tela, papel, o prácticamente cualquier tipo. La forma y el tamaño pueden ser muy variables. El método puede ser aplicado en condiciones especiales como altas y bajas temperaturas, atmósferas especiales, etc.

Es aplicable en un rango extremadamente amplio de concentración y desde el 100% al 0,0001%, en los casos más favorables. Es suficiente la construcción de una única recta de calibración para todo el intervalo de concentraciones sin necesidad de dividirlo en zonas.

1.3.3.- DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).

Por esta metodología sólo se llevó a cabo un análisis, de pirargirita de la mina San Francisco de Horcajuelo de la Sierra.

El método del polvo cristalino presenta características muy interesantes para su utilización; es el único procedimiento de DRX que permite abordar el estudio cristalográfico de las especies que no se presentan o no es posible obtener, en forma de monocristales. En este método la muestra se pulveriza lo más finamente posible de forma que esté constituida idealmente por partículas cristalinas en cualquier orientación. Para asegurar la orientación totalmente al azar de estas pequeñas partículas con respecto al haz incidente, la muestra localizada en la cámara de polvo, generalmente se hace girar en el haz de rayos X durante la exposición.

La mayor aplicación del método del polvo es la identificación mineral, para la cual no es necesario conocer la estructura o simetría del mineral. Cada sustancia mineral tiene su propio diagrama de polvo característico diferente del de cualquier otra. Para una más rápida identificación se comparan los espaciados calculados así como sus intensidades con los

recogidos en fichas preparadas por el Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Además es posible determinar las proporciones relativas de dos o más minerales presentes en una misma muestra comparando las intensidades de las mismas líneas con aquellas de muestras de composición conocida.

1.4.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: SIGPAC

SIGPAC es una herramienta de acceso libre en internet, derivado del SIG oleícola. Dispone de una base de foto aérea georeferenciada sobre la cual es posible, además de obtener las coordenadas UTM de un punto, llevar a cabo mediciones longitudinales y de superficies (mediante unos cursores integrados en la pantalla de trabajo), tal y como se muestra en las imágenes inferiores.



Figura 3: Mediciones SIGPAC en el lavadero de Valtraviesa o mina Asturias.

En lo que se refiere al estudio en “planta” esta herramienta ha sustituido completamente a las clásicas fotos aéreas. No sucede así con el estudio tridimensional.

1.5.- ESPELEOLOGÍA DE LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS

Se trata de un tipo de investigación derivada de las técnicas de espeleología clásica aunque con ciertas variantes, dada la idiosincrasia de las labores mineras abandonadas. Es absolutamente novedoso en España: no existe bibliografía específica y se han llevado a cabo muy pocas publicaciones. En otros países como Francia, Reino Unido y Noruega es algo muy habitual.



Figura 4: Sobre estas líneas el investigador BJORN IVAR BERG, descendiendo el pozo de la mina Herzog Ulrich, en Kongsberg, Noruega (explorando galerías medievales colgadas).

El doctorando estuvo un mes de viaje de estudios durante su beca. En las minas de Kongsberg pudo estudiar la metodología del equipo allí presente

En la Sierra de Guadarrama se trata, posiblemente de las primeras exploraciones de ésta índole publicadas. Viene a llenar un hueco importante: el acceso a los minados antiguos cuya información nos ha estado oculta durante, en algunos casos, más de 200 años (mina de Bustarviejo, Colmenarejo, etc....).

Aunque no se trate de trabajos de la misma clase, la referencia en España para el estudio de minas abandonadas creemos que es la revista “Bocamina” y su equipo de redactores y colaboradores, dirigidos por el ingeniero de minas GONZALO GARCÍA. Por otro lado, en las minas romanas de Lapis Specularis de Cuenca, el equipo que dirige el arqueólogo JUAN CARLOS GUIADO DI MONTI, emplea una metodología equivalente.

En este caso las minas investigadas con estas técnicas han sido: Mina Indiana y pozo grande de Bustarviejo (mina nº 19). Mina Antigua Pilar de Colmenarejo (mina nº 42). Pozo de La Picaza, Colmenarejo (mina nº 45), y las minas de Nuestro Padre Jesús de Colmenar del Arroyo (mina nº 55)

Sin trabajos verticales pero con espeleología horizontal tenemos las minas de:

- Cabeza Lijar o mina Primera, Guadarrama (nº 40).
- Mina La Montañesa, Navalagamella (nº 50).
- San Eusebio, Colmenar del Arroyo. (nº 54).
- Cabeza Rullueco, Horcajo (nº 7).
- San Francisco, Horcajuelo (nº 9).
- Mina Las Cortes de Siete Picos o Collado Albo (nº 39).
- La Carcamala, Miraflores de la Sierra (nº 22).
- El Cubero, Miraflores (nº 21)



Figura 5: El autor de la tesis accediendo a las minas de Colmenarejo por el pozo Jaime (2004).

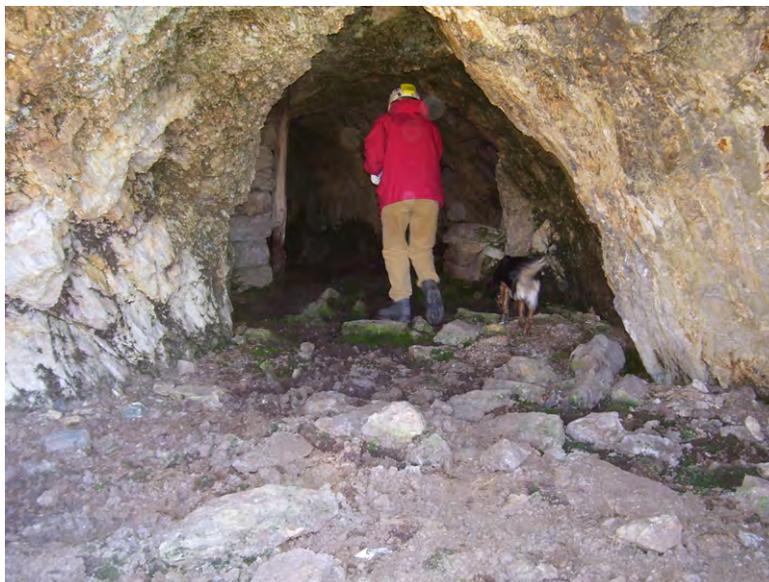


Figura 6: Accediendo al interior de la mina San Francisco de Horcajuelo, sin necesidad de técnicas verticales (2007).

1.5.1.- TÉCNICAS DE TRABAJOS VERTICALES

Las nuevas técnicas de espeleología, especialmente el avance de la seguridad (facilidad de instalación y ligereza) de los equipos personales y sistemas de anclaje, han hecho aplicables estas técnicas a numerosas actividades de índole científico – industrial. Estas técnicas están especialmente indicadas en la exploración subterránea de labores mineras. La mayor aportación consiste en la posibilidad del descenso con seguridad de pozos mineros abandonados, coladeros y chimeneas y filones verticales.

En general se distinguen tres niveles de investigación espeleológica, siendo los dos primeros de ámbito “amateur” o deportivo y el último profesional-industrial. La primera etapa consiste en vislumbrar si la cavidad subterránea

(mina, cueva, etc.) tiene o no continuidad e interés. Se recomienda para ello una campaña de exploración ligera, minimizando el material a dejar instalado. El segundo nivel es el de la exploración, topografía somera y recogida de datos, para lo que se emplea un gran volumen de material, siempre a cargo de espeleólogos expertos. El último nivel consistiría en preparación de trabajos a terceros, o la movilización de grandes equipos con largos tiempos de trabajo en pared: es lo que se denomina “Trabajos Verticales”.

1.5.2.- EQUIPO COLECTIVO

Los anclajes son los elementos mínimos necesarios para equipar, es decir, instalar una cuerda a un punto fijo fiable. La gran ventaja de la espeleología y las técnicas de trabajo vertical radica en el ahorro de tiempo y dinero en la exploración de cavidades o grandes paredes, en contraposición con las aparatosas maniobras con andamios, grúas y cabrestantes. Pero siempre y cuando la instalación de cuerdas reúna los requisitos de calidad de todos y cada uno de los componentes materiales y que el equipo humano reúna la cualificación y experiencia suficientes.

El anclaje clásico en espeleología consta de una parte fija en la roca, el taco autoperforante, más la rosca, y de una parte “externa” que es la “chapa”, y que normalmente se pone al empezar la actividad y se retira al abandonar esta. En función del lugar también existen anclajes “naturales” o de fortuna, como es pasar un cordino alrededor de un árbol si lo hay (no olvidar que el tronco de un árbol puede resistir más que el arnés). En minas abandonadas podemos además encontrar otros elementos que nos faciliten la instalación de la cuerda,

tal y como restos de jaulas, maquinaria, traviesas etc... Pero donde se deberá tener especial cuidado con los roces.

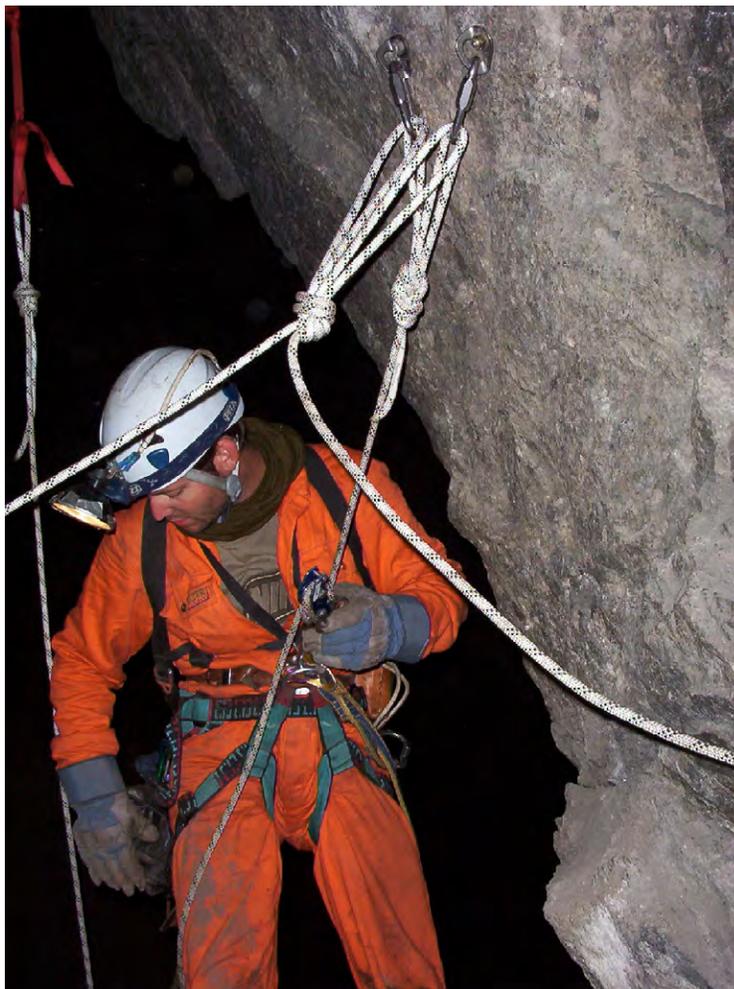


Figura 7: Detalle del anclaje de cabecera de pozo.

Sobre estas líneas: Anclaje de cabecera de pozo donde también está unida una cuerda libre que hace las funciones de cuerda auxiliar para rescates. Se trata de un recorrido habilitado para el “deporte-aventura”. Roca encajante: gneis y anclaje tipo parabolts de métrica 10. (Mina de plata de Kongsberg, Noruega, 2003).



Figura 8: Material empleado en la primera exploración de los pozos de la mina de plata de Bustarviejo, 2004.

1.5.3.- EQUIPO DE INSTALACIÓN DE ANCLAJES

Se utiliza un burilador clásico PETZL para placa de métrica “8 mm” en los trabajos de la primera exploración, mientras que para las siguientes campañas un taladro con percutor y batería HILTI TE 6-A. Se trata del equipo más moderno existente en el mercado en 2004 para trabajos de alpinismo. Es un conjunto autónomo con dos baterías. La métrica habitual de los anclajes de cabecera de pozos y fraccionamientos es de 10 y 12 mm y para pasamanos se emplea la de 8 mm.

Las brocas presentan una de las mayores dificultades a la hora de la colocación de los anclajes debido a la abrasividad de la roca, pues en estas minas, la mayoría de los encajantes son de tipo granítico o rocas metamórficas con vetillas de cuarzo. No existen brocas diseñadas para este tipo de roca así que el desgaste es siempre importante.

La metodología empleada para acceder a las zonas más complicadas es la siguiente: En primer lugar se accede al lugar “remoto” mediante técnicas de escalada y se instalan unos primeros seguros tipo SPIT M8 autoperforantes. Instalados con martillo burilador. Una vez instalada una 1ª cuerda se pasa el material pesado y se instalan seguros más fiables con taladro percutor de batería. Anclajes para trabajos verticales PARABOLT.

1.6.- EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE MINAS ABANDONADAS

Previo a los trabajos sobre puesta en valor de las minas abandonadas es preciso estudiar su estabilidad desde el punto de vista geotécnico. Este tipo de estudios abarcan tres disciplinas. En primer lugar el reconocimiento del terreno, para detectar posibles galerías desconocidas, que incluiría toda la parte de cartografía geológica. En segundo lugar, la topografía de precisión de los minados que van a ser estudiados, y por último, estudiar la estabilidad a corto y largo plazo, indicando las recomendaciones necesarias en caso de minados inestables.

Las técnicas geofísicas se complementan con las observaciones geológicas de superficie y pueden emplearse en cualquier etapa de investigación.

1.6.1.- DETECCIÓN POR GEOFÍSICA DE GALERÍAS DE MINA ABANDONADAS.

El objetivo es probar el alcance de dos métodos geofísicos en zonas donde es conocida la presencia de las galerías. Y de esta manera se cotejará el tipo de anomalía asociada a cada método. Es decir, vamos a utilizar la geofísica en las boquillas de las minas que ya conocemos y ver si la técnica “funciona”. Se pretende detectar la posición de galerías de mina mediante perfiles geofísicos desarrollados sobre la superficie del terreno, perpendiculares al eje de las

mismas. Los métodos escogidos son el georradar (dentro de los métodos electromagnéticos de alta frecuencia) y la tomografía eléctrica (calicata o panel eléctrico en corriente continua). El primer método aporta, habitualmente, mucha más resolución pero tiene una profundidad de investigación limitada; mientras que el eléctrico “penetra” más con menor resolución.



Subsidence pit behind a residence in North Canton, Stark County. This pit was 35 feet in diameter and 25 feet deep. Photo courtesy of Ohio Division of Mines and Reclamation.

Figura 9: Subsistencia a favor de minados antiguos en Ohio. En Estados Unidos ya existe normativa específica de exploración geofísica de minas abandonadas y metodología en varios Estados.

Es frecuente tras más de cien años de abandono de una explotación de una galería, que ésta quede recubierta por desprendimientos del emboquille. La mejor manera de detectar una galería enterrada no es en el propio emboquille hundido, sino llevar a cabo perfiles perpendiculares, unos metros pasado el colapso, donde esta se encuentra (o bien anegada o bien llena de aire), pero no rellena de cascotes. En la imagen superior mostramos un hundimiento del terreno a favor de subsidencias mineras de galerías y cámaras vacías en Ohio,

Estados Unidos²⁰. El colapso de galerías, pocillos y cámaras mineras es uno de los riesgos geotécnicos más importantes en comarcas mineras antiguas que pasan luego a urbanizarse. En España hay muchos casos, sin ir más lejos en Madrid hay una pequeña colonia de chalets desarrollados sobre el filón principal y galerías de las minas de Gargantilla de Lozoya.



Figura 10: Subsistencia minera en Gargantilla de Lozoya en 2005: colapso de techo de la galería más somera.

²⁰ Fuente: (2006) http://www.dnr.state.oh.us/geosurvey/geo_fact

1.6.2.- MINAS SELECCIONADAS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Se han buscado minas de la sierra de Madrid con características geofísicas diferentes: galerías vacías, anegadas de agua y parcialmente inundadas, con objeto de estudiar las diferentes signaturas de las anomalías. La presencia de anomalías en principio nítidas se debe a que un hueco presenta una característica geofísica muy diferenciada del entorno. Una de las limitaciones de los métodos geofísicos radica en que el tamaño de la cavidad a detectar debe de ir en consonancia con la profundidad a la que se encuentra. Una galería de mina tiene unas dimensiones normalmente en torno a los 1,5 a 2 m de altura y nos 2m de anchura. Ello implica que difícilmente puede detectarse a una profundidad mayor de 5 m. Se buscarán minas con galerías horizontales y bocaminas a media ladera. De este modo se comenzará con perfiles próximos a la bocamina, a una cota no superior a los 2 m sobre la clave de la galería, se irán realizando perfiles sucesivos “monte arriba” para estudiar la paulatina pérdida de señal, hasta que esta se haga imperceptible. Se esta manera se establece empíricamente el alcance o resolución de la técnica para el contexto dado.

Las minas seleccionadas han sido las siguientes:

- Mina Fernandito (Garganta de los Montes). Esta mina es la única que no se encuentra a media ladera. Posee tres niveles todos ellos inundados, excepto a priori, algunos centímetros del primero²¹. Existe una calicata por la que se accede a una bocamina vallada. Se conoce la dirección aproximada que sigue esta galería situada a escasos 2 m bajo el terreno. Un camino pasa sobre ella a una distancia de unos 15 m de la bocamina.
- Mina Mirla. Se trata de una bocamina sobre el río Lozoya (Gargantilla de Lozoya). Es el emboquille de la que probablemente fuera la galería de arrastre que comunicaba todos los pozos importantes del gran filón de Gargantilla de Lozoya. Se cree que esta galería pudiera tener más de un kilómetro y comunicar con la mina San José.
- Mina San José (Gargantilla de Lozoya). En 2004 recibimos la petición del ayuntamiento de Gargantilla de Lozoya para observar un socavón aparecido junto a las escombreras de la mina San José. Se han llevado a cabo algunos perfiles de tomografía eléctrica con objeto de estudiar la presencia de otros posibles socavones y la posición de las galerías. El socavón aparecido estaba asociado a una chimenea de ventilación de la mina parcialmente rellena de suelo vegetal.

²¹ Como se verá más adelante, tanto por georradar como por tomografía eléctrica buena parte de de la galería esta libre de agua, como atestigua la señal recibida.

- Mina Primera, Cabeza Lijar (Guadarrama). Posee junto con la mina de Bustarviejo el recorrido horizontal más largo de la Sierra de Guadarrama (80 m) adentrándose en la montaña a media ladera; se trata de un lugar inmejorable para apreciar la pérdida de señal según se asciende y se separa el perfil de la galería.
- Mina de Cabeza del Rullueco (Robregordo – Horcajo de la Sierra). Se trataba de un jugoso objetivo pues la autovía seccionaba la galería y teníamos un camino que pasaba perpendicular a ésta.

Mina	Georradar	Tomografía eléctrica	Observaciones
Minas Mirla y San José, Gargantilla de Lozoya	no	Perfiles sobre galerías y escombreras con 3 m de espaciado de electrodos	Detección de galerías y zonas de fractura
Mina Primera Cabeza Lijar. Guadarrama	Perfiles sobre la galería y varios en la cantera	no	Detección de la galería y los sistemas de fracturación
Mina de Cabeza del Rullueco. Robregordo	No	1 perfil longitudinal roll along con 3 m. de espaciado de electrodos	Se trataba de probar la eficiencia del método con galerías a más de 9 metros de profundidad
Mina Fernandito, Garganta de los Montes	2 perfiles 50 m antena 100 Mhz 1 perfil 50 m antena 400 MHz	1 perfil de 70m con espaciado de 3 m.	Se trataba de detectar la galería del primer nivel a su paso bajo un camino. Se contrastan las dos técnicas empleadas

Tabla 3: Prospecciones geofísicas realizadas para la presente tesis a lo largo del año 2005.

1.6.3.- VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS

Una de las mayores ventajas de la investigación geofísica, frente a las técnicas “intrusivas” es que la información obtenida cubre grandes superficies o volúmenes de terreno a un coste menor. Esta consideración es crucial en terrenos susceptibles de sufrir subsidencias. Ello es debido simplemente a la ley de probabilidades, pues es muy difícil dar con una pequeña cavidad o el inicio de un socavamiento únicamente con sondeos o calicatas.

Mediante las técnicas geofísicas “escaneamos” el terreno en búsqueda de anomalías, y sólo cuando el objetivo es relativamente grande frente a la profundidad de investigación los resultados marcan claramente su desarrollo. En la mayoría de los casos obtenemos mapas de anomalías que delimitan las zonas favorables y desfavorables a investigar, reduciendo enormemente el coste de las campañas de sondeos y aumentando las posibilidades de detectar adecuadamente las cavidades y zonas de fractura y disolución. Bien es cierto que cuando sondeos en el punto conflictivo realmente comprobamos de qué se trata, pero esta probabilidad en una zona kárstica en yesos, puede llegar a ser ínfima si no disponemos del apoyo de la geofísica, en sus más variados métodos.

Según HOBSON (1992) la probabilidad de encontrar un objetivo de 10 m²² utilizando 15 muestreos en un terreno de 0,5 Ha es del 3%, y esta cifra cae a

²² Esa era la dimensión de la cavidad (y del volumen de hormigón ciclópeo que la rellenó) en el trabajo de tomografía eléctrica llevado a cabo en Navalcarnero. Se trataba de una cavidad para

un 1,7% con 85 puntos de muestreo en una parcela de 5 Ha. Se trata de un ejemplo esencialmente en 2D, luego la incertidumbre aumenta notablemente si añadimos como tercera dimensión la profundidad. Como ya hemos subrayado, la geofísica a grandes rasgos no reemplaza los sondeos, que aportan muchos más valores sobre las condiciones geotécnicas y una descripción más precisa al aplomo del punto de medida.

En general los métodos geofísicos tratan de la identificación de anomalías, donde se producen cambios en las propiedades físicas. Estos cambios pueden estar provocados por variaciones en el suelo o la roca (variaciones litológicas, estructuración o densidad de fracturas), o ligados a las denominadas anomalías extremas (que incluyen cavidades vacías o parcialmente rellenas de aire, agua o suelos) o cambios causados por variaciones temporales del nivel freático (y dentro del cual incluimos plumas de contaminación y las intrusiones salinas marinas). Para saber si un método geofísico es aplicable o no para detectar las variaciones de los parámetros físicos, hay que tener en cuenta diversos factores:

1. La profundidad de investigación requerida (hasta dónde puede llegar el método).
2. La resolución lateral y vertical requerida (y que es frecuente simularla antes en gabinete).

almacenamiento de vinos de más de cien años de antigüedad y que no fue detectada en el estudio geotécnico con varios penetrómetros y sondeo. La parcela tenía solamente 1600 m².

3. El contraste entre las propiedades físicas de los objetivos y el medio circundante (es decir, si se va a producir o no una anomalía).
4. El ratio de la señal y el ruido del método en el sitio que aplicamos y que se incluyen las notables limitaciones de muchos métodos en medios urbanos²³.

1.6.4.- ÓRDENES DE MAGNITUD EN LA DETECCIÓN DE CAVIDADES MEDIANTE TÉCNICAS GEOFÍSICAS

Una cavidad de dimensión finita es directamente detectable por un método geofísico si el campo que produce es medible y significativo. Se detectan también un gran número de cavidades de forma indirecta, es decir, deducimos su presencia por las geometrías que acompañan a su formación y a su evolución: zonas de descompresión, drenaje, fallas, disoluciones diferenciales, fracturas, o el seguimiento de formaciones antrópicas o naturales en superficie. De forma general puede decirse que:

²³ Los métodos más aplicados recientemente en zonas urbanas, en función del objetivo son el georradar y el análisis de las ondas sísmicas superficiales y sísmica pasiva.

Cavidades vacías (resistivas)	Ejemplos típicos		Micro-gravimetría	Georradar	Sísmica de alta resolución	Tomografía eléctrica
	antrópicos	naturales				
A menos de 10 m.	Canteras subterráneas, bodegas, minas "vacías"	Cavidades kársticas carbonatadas o en yesos	Si	Sí	Si	No
			Si el tamaño de la cavidad es suficiente	Si el método es eléctricamente resistivo	Si presenta reflectores subyacentes	Salvo si la cavidad es muy grande y próxima a la superficie. Frecuentemente una anomalía difícil de interpretar
A más de 10 m.	Canteras subterráneas, bodegas, minas "vacías"	Cavidades carbonatadas o en yesos	Si	Si	Si	No
			Si el tamaño de la cavidad es suficiente	Muy influido por el tipo de antena y de la resistividad del terreno, en algunos casos hasta 30 m aunque no es frecuente que alcance objetivos a más de 15 m.	Si presenta reflectores subyacentes, hasta una profundidad de 50 m.	
Cavidades conductoras	Ejemplos típicos		Micro-gravimetría	georradar	Sísmica de alta resolución	Tomografía eléctrica
	antrópicos	naturales				
A menos de 10 m.	Canteras subterráneas, bodegas, minas, inundadas o rellenas de arcilla	Fracturas rellenas, bolsadas conductoras (arcillas, zonas de humedad)	No	Si	No habitualmente	Si
				Si el medio encajante es eléctricamente resistivo	Se emplea si los demás métodos no son aplicables. Pues muestran resultados mucho más favorables	Habitualmente excelentes resultados
A más de 10 m.	Canteras subterráneas, bodegas, minas, inundadas o rellenas de arcilla	Fracturas rellenas, bolsadas conductoras (arcillas, zonas de humedad)	No	Si	No habitualmente	Si
				Muy influido por el tipo de antena y de la resistividad del terreno, en algunos casos hasta 30 m aunque no es frecuente que alcance objetivos a más de 15 m.	Por la misma razón que para menos de 10 m.	Si el volumen de la cavidad es importante y si es posible desplegar en superficie un dispositivo de adquisición tan largo.

Tabla 4: Clasificación de la aplicabilidad de los métodos geofísicos de superficie en la detección de cavidades. Conviene tener presente que pueden darse situaciones que influyan favorable o desfavorablemente en la aplicabilidad.

1.6.5.- TÉCNICAS EMPLEADAS

En el estudio llevado a cabo se emplean dos técnicas geofísicas de reconocimiento del subsuelo: el georradar (Ground Penetrating o Probing Radar, GPR) y la tomografía eléctrica²⁴. Son dos técnicas que difieren bastante en cuanto a su concepción y puesta en servicio: las representaciones obtenidas y el tratamiento de los datos también. A partir de los resultados brutos de campo es necesario un tratamiento de los datos y posterior interpretación por personal cualificado.

El georradar es muy empleado en la investigación somera del subsuelo urbano (con las llamadas antenas blindadas), siendo la técnica por excelencia para la localización y cartografía de servicios urbanos enterrados. La tomografía eléctrica (dentro de las técnicas de resistividad) es muy empleada para la correlación litológica, detección de fallas y acuíferos.

Para la auscultación de cavidades, la tomografía eléctrica se presenta como una herramienta muy eficaz aunque con limitaciones que han de ser estudiadas antes de diseñar la campaña²⁵. Por otro lado, el georradar está condicionado por el tipo de antena que empleemos; la profundidad de investigación depende

²⁴ o perfilaje eléctrico moderno.

²⁵ Ideal para detección de cavidades rellenas de material conductivo (arcillas, agua, etc.). La anomalía es menos evidente cuando se trata de una cavidad vacía y su profundidad excede de 2 veces el diámetro de la misma.

de la frecuencia de la antena y de la resistividad y permitividad eléctrica del medio. Los terrenos arcillosos y margas son atenuadores de la señal, mientras que en medios calizos la profundidad de investigación con una antena de 400 MHz permite llegar hasta los 10 metros con una nítida señal.

1.6.6.- PROSPECCIÓN MEDIANTE GEORRADAR



Figura 11: Georradar trabajando en la mina Fernandito (Garganta de los Montes) en 2005. Al fondo ruinas del lavadero de flotación.

FUNDAMENTOS DE GEORRADAR

La prospección geofísica por radar se engloba dentro de los métodos electromagnéticos de alta frecuencia. Los reconocimientos mediante georradar se basan en el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas en el subsuelo, en un dominio de frecuencias que varían entre unas decenas de MHz²⁶ hasta algunos GHz. Son ondas emitidas como impulsos temporales de muy corta duración, desde una antena emisora (Tx) que se desplaza por la superficie del terreno. Cuando estas ondas se encuentran con un contraste dieléctrico, se reflejan hacia la superficie (Ley de Snell – Descartes) donde sus características son medidas por una antena receptora (Rx).

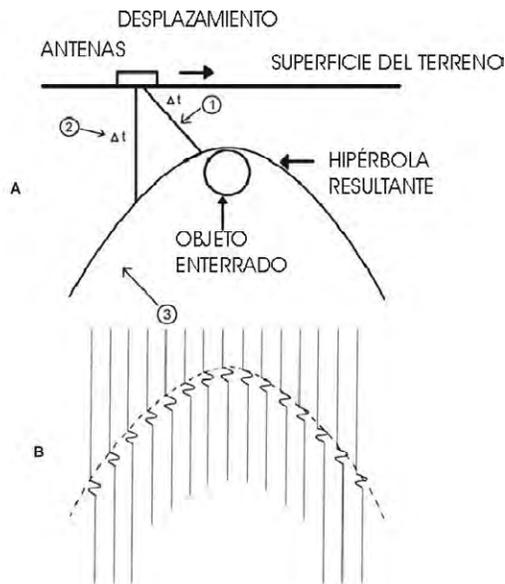


Figura 12: Esquema de la formación de una hipérbola de difracción.

²⁶ Son las denominadas “antenas de baja frecuencia” o geológicas.

El equipo de georradar empleado posee antena emisora-receptora (que se ubica en la parte del carrito en contacto con el suelo), unidad de adquisición y ordenador. En el presente estudio se ha empleado una antena que hace funciones de emisor y receptor con una frecuencia de 400 MHz (en algunas ocasiones también una de 100 MHz). Este tipo de equipo es muy adecuado para prospecciones de gran precisión en el rango de los primeros 5 metros del terreno²⁷.

La propagación de las ondas a través del terreno está regida por las ecuaciones de Maxwell²⁸ y dependen en gran medida de las características del medio en el que se propagan, así como de las propiedades dieléctricas y espaciales de las heterogeneidades que “van encontrando” las ondas.

ANTECEDENTES SOBRE APLICACIONES DEL GEORRADAR

RADAR es un acrónimo creado en 1934 para Radio Detection And Ranging. La primera prospección de radar aplicado a la investigación del subsuelo de que tenemos noticia tuvo lugar en Austria en 1929 para detectar la profundidad de un glaciar (STERN, 1929, 1930). La tecnología estuvo entonces mucho tiempo olvidada a pesar de que entre 1936 y 1971 aparecen más de 36 patentes (si bien lejos de los equipos que hoy denominamos

²⁷ La profundidad de investigación es función del tipo de antena y de las características dispersivas del medio.

²⁸ Campos E y H

georradar²⁹). Los equipos modernos empiezan a desarrollarse para aplicaciones militares estadounidenses, especialmente para detectar las propiedades del hielo, el subsuelo y el nivel freático más superficial.

En 1967 un equipo semejante al que empleó Stern (tal vez por su robustez) se monta en la sonda Apolo 17 a la luna. Hasta principios de los setenta, los equipos de georradar eran prácticamente todos hechos manualmente por grupos de investigadores. No es hasta 1972 en que Rex Morey y Art Drake fundan Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) e inician la comercialización de equipos de georradar. Empieza el boom de las aplicaciones del georradar. Existen en la actualidad más de 300 patentes de georradar a nivel mundial.

En cuanto a los antecedentes de publicaciones científicas internacionales, las primeras que hemos encontrado sobre las aplicaciones del radar a la investigación del subsuelo datan de los años setenta (quitando alguna joya histórica como las de Stern 1929 y 1930). Las principales aplicaciones en un principio estuvieron encaminadas a la detección de cavidades y zonas de fractura, así como a establecer las condiciones óptimas de funcionamiento y las “máximas profundidades y resoluciones posibles” según los medios circundantes. Por otra parte existen ya numerosísimos estudios de aplicación de georradar a zonas kársticas, tanto a la detección de paleo-dolinas, cavidades, y combinaciones de ambas. No existen sin embargo tan extenso número aplicado a la detección de galerías de minas, del tipo que sea. BENSON (1995) muestra la combinación de subsidencia y galerías bajo una

²⁹ ¿Cuál es el término correcto? Georradar o geo-radar. Ninguno de los dos aparece en el diccionario de la Real Academia.

autopista. En ese caso, con antenas de 100 MHz detectó correctamente galerías del orden de 2-4 m de diámetro localizadas a una profundidad de entre 6 y 10 m. Por otro lado en ese estudio concreto no se llegó a establecer si las cavidades eran de origen natural o antrópico, si bien, por la forma de las hipérbolas, el autor se inclinaba más por la segunda opción.

Uno de los ejemplos específicos de aplicación de georradar a la detección de galerías de mina abandonadas se lo debemos a DANIELS, J.J. y ROBERTS, R.L. (1994). Ellos muestran diversas aplicaciones del georradar a la ingeniería civil, y uno de los casos es la detección de anomalías ligadas a galerías y frentes de explotación en la mina de oro de Zortman, en Montana. Según DANIELS y ROBERTS (1994) encontrar cavidades subterráneas constituye uno de los mayores retos para un geofísico. El georradar es una excelente técnica para detectar cavidades someras, tanto rellenas de aire como de agua, pues existe siempre un fuerte contraste en la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en la frontera entre la cavidad y la roca encajante. Es de destacar asimismo el trabajo de ORLANDO (2002) sobre detección de anomalías (cavidades, fallas) en macizos rocosos mediante georradar.

La primera publicación técnica sobre georradar en castellano de cierta entidad se debe a LORENZO CIMADEVILLA (1996), monografía publicada por el CEDEX bajo el título “Prospección geofísica de alta resolución mediante Georadar. Aplicación a Obras Civiles”. En la misma, además de una exhaustiva y muy rigurosa introducción teórica al fenómeno de la propagación de ondas EM y en particular de fenómenos relacionados con las ondas de radar, se presentan casos prácticos de notable interés. Se muestran varios casos y una metodología

de trabajo en la detección de cavidades de origen natural como artificial (este último tipo el más relacionado con el tema que nos ocupa). En cuanto a galerías artificiales, se describe una campaña con antenas de 120 y 500 MHz en la detección de galerías de conducción de aguas de época árabe en Alcalá de Henares. Asimismo se presenta otra campaña para la detección de pasadizos en Torre de Comares (La Alambra) para la puesta a punto del equipo.

MEDIDAS Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL DEL GEORRADAR

Se miden las variaciones de amplitud del campo eléctrico producido por las reflexiones y difracciones sobre los contrastes dieléctricos del medio en función del tiempo. Los modernos equipos permiten la toma de grandes volúmenes de datos sin que existan excesivos problemas de muestreo y almacenamiento de estos, así como interpretaciones rápidas de los mismos.

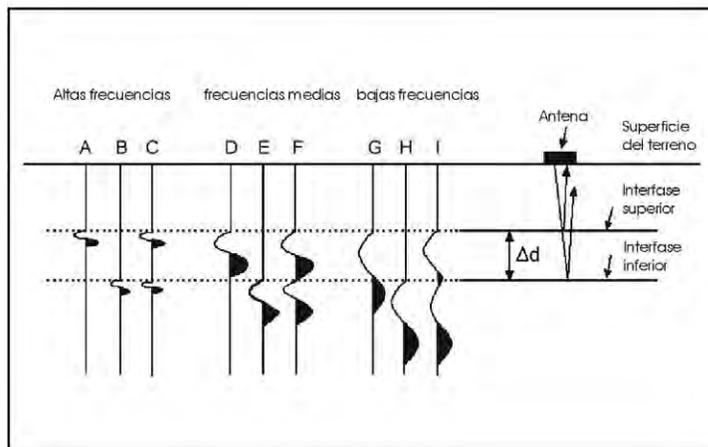


Figura 13: Esquema de la pérdida de resolución con la frecuencia decreciente.

El primer resultado en la prospección, es el radargrama bruto o corte en función del tiempo. El aspecto es muy similar a las representaciones obtenidas en sismica de reflexión. En abscisas, de derecha a izquierda se representa el espacio (x) recorrido, en ordenadas, el tiempo de llegada de las reflexiones y difracciones de la onda electromagnética. El siguiente paso consiste en filtrar e interpretar la señal, así como obtener un corte en función de la profundidad³⁰. El resultado es un radargrama interpretado y corte en profundidad. Para obtener una imagen más legible del radargrama se emplean algoritmos de tratamiento de señal. En concreto la “migración” tiene por objeto focalizar la energía de la señal entre trazas y convertir las hipérbolas³¹ (debidas a tuberías, cavidades, fallas, etc.) en puntos.

³⁰ Esta conversión se realiza a partir de una estimación de la velocidad de propagación, que transforma el tiempo de llegada (en ns) del impulso en una distancia (en m).

³¹ Las anomalías en forma de hipérbolas de difracción son una de las señales más características de un radargrama. Son especialmente marcadas en el caso de tuberías enterradas y cables.

DETECCIÓN DE CAVIDADES POR GEORRADAR

La signatura de una cavidad es un contraste de amplitud más o menos pronunciado sobre el radargrama³². Ese contraste es particularmente fuerte para una cavidad vacía³³. La señal es elevada para una cavidad inundada, con presencia de reflexiones múltiples y sin embargo está muy atenuada cuando las ondas atraviesan un medio relleno de materiales conductivos como las arcillas.

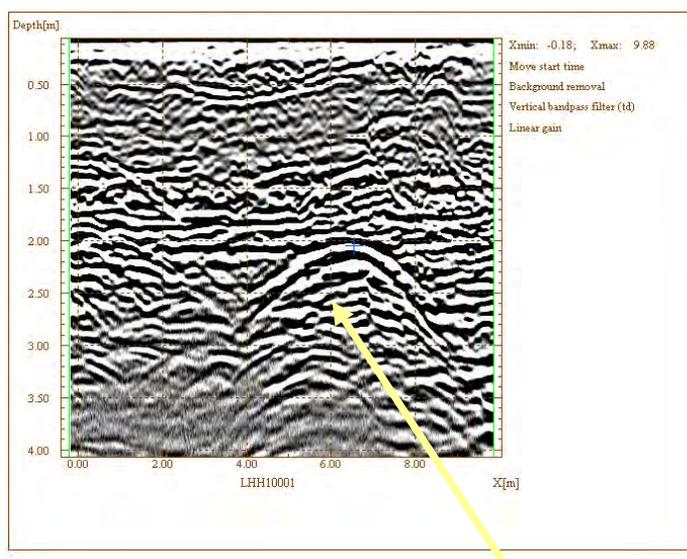


Figura 14: Signatura de una cavidad mediante georradar (desagüe romano en Cuenca) en 2005.

³² Es proporcional al ratio de permitividades efectivas del encajante y de la cavidad.

³³ La señal asociada presenta a menudo hipérbolas de difracción seguidas de interacciones con los bordes y techos.

RESOLUCIÓN DEL GEORRADAR

La calidad de la sección obtenida en un georradar depende tanto de la resolución vertical y horizontal, como de la profundidad del objetivo buscado. La velocidad del pulso electromagnético (EM), el espectro de amplitudes de los datos adquiridos y la profundidad de reflectores conocidos se emplean para estimar la resolución. Sin embargo, incluso en casos favorables, como es el de terrenos resistivos, la resolución vertical y horizontal pudiera ser insuficiente para detectar las discontinuidades, fracturas, cavidades, etc. En teoría, la resolución depende de la velocidad de la señal, frecuencia, y puede estimarse a partir de la velocidad del pulso, espectro de amplitudes y profundidad del reflector. En realidad depende de otros parámetros más complejos como es la geometría de reflectores y difractares, amplitud de la reflexión, ruidos etc., tal y como describió YILMAZ (1987) para sísmica de reflexión.

La resolución vertical se determina a partir de las fórmulas siguientes. En general se considera entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{6}$ de la longitud de onda λ . Si tomamos un valor medio de $\lambda/4$ sería:

$$r_v = \lambda/4 = \frac{1}{4} * \frac{c}{(\epsilon'_r)^{1/2}} * \frac{1}{f_c}$$

r_v en metros (m)

Donde: f_c es la frecuencia central de la antena, ϵ'_r es la permitividad (constante) dieléctrica relativa (ver cuadro) y c es la velocidad de propagación de la luz en el vacío. ($3 * 10^8$ m/s).

Por otro lado la resolución horizontal se define, para una profundidad z por:

$$r_h = (\lambda/16 + \lambda z/2)^{1/2} \text{ en m.}$$

Donde r_h es el radio de la zona de Fresnel, z es la profundidad del reflector y λ la longitud de onda.

Esta formulación suele simplificarse despreciando el término en $1/16$, e igualando según Yilmaz (1987) a la expresión:

$$r_h = \left(\frac{z \lambda}{2} \right)^{1/2} = (v/2) * (t_0 / f)^{1/2}$$

Donde v es la velocidad de propagación en el medio, y t_0 es el tiempo doble entre el reflector y el registrador (geófono en sísmica o antena de recepción Rx en georradar) y f_c la frecuencia central de la antena empleada (normalmente no la frecuencia nominal de la antena, sino la que se obtiene como principal en un análisis frecuencial de la señal de respuesta. Por defecto consideraremos la nominal.

La velocidad se estima de la forma más apropiada mediante análisis CMP (Common Mid Point), pero en la práctica se estima a través de reflectores conocidos, tablas de valores habituales de velocidad EM en diversos materiales o estudio de la forma de las hipérbolas de difracción con algoritmos específicos con interfaces gráficas simplificadas.

OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE LA RESOLUCIÓN

Si bien existe otra “resolución” que viene dada por las características de la rueda taquimétrica, muestreo y “stacking” de la señal esta resolución independiente de la zona de FRESNEL es de 2,4 cm para la configuración empleada.

La resolución de la rueda es de 2 mm. El paso de muestreo es $WiWr = 2,4$ cm (por defecto). Es decir, cada 2,4 cm integra la señal y lo asume a una única traza. Siendo Wr el radio de la rueda (no se modifica) y Wi el paso de rueda con el que realiza una medida (modificable).



Figura 15: Esquema del registro temporal con rueda taquimétrica en georradar.

Velocidad de tránsito es la máxima a la que avanzo sin perder datos³⁴. Además, en muchos casos la resolución es mayor y pueden detectarse objetos de tamaño inferior a la resolución lateral. El caso más típico es el de la detección de redondos en el hormigón. La señal de georradar no se propaga exclusivamente al aplomo del punto de medida, sino según un cono de aproximadamente 60°. Ello hace que se detecte un objeto (y con ello se genere una hipérbola) antes de que el receptor pase sobre él. Este fenómeno también puede resultar negativo pues el cono también actúa lateralmente y podemos detectar objetos que no estén situados sobre la traza de investigación.

La profundidad de penetración del georradar, δ (skin depth) depende de la potencia de la antena, la divergencia esférica, la atenuación y el ruido. Para un material de moderadamente a buen dieléctrico $(\sigma/\omega\epsilon)^2 \ll 1$, entonces la profundidad de investigación δ , vendrá dada por:

$$\delta = 1/\alpha = (2/\sigma) * (\epsilon/\mu)^{1/2}$$

Donde:

α es la atenuación.

σ la conductividad.

ϵ la constante dieléctrica.

μ la susceptibilidad magnética.

³⁴ Datos: 256 muestras por "scan", paso de muestreo en X de 2,4 cm. Tiempo total \rightarrow v máx. = 12,9 Km/h.

En este caso se aprecia que la penetración no depende de la frecuencia. En general en terrenos resistivos (rocosos) la penetración de la señal se ve limitada por la aparición de eventuales niveles conductivos: arcillas, agua, etc. Para terrenos poco dieléctricos (conductores), denominados en francés “a pertes” la formulación es mucho más compleja, si bien puede simplificarse a la fórmula:

$$\delta = 1/\alpha = (2/\omega\sigma\mu)^{1/2}$$

Que si depende de ω la frecuencia

Material	Constante dieléctrica relativa	Velocidad de propagación (m/s) * 10 ⁶ (Habitualmente en georradar se emplean las unidades mm/ns ó cm/ns)	Conductividad (mS)
Aire	1	3 (300)	0
Hormigón seco	6	1,2 (120)	1
Hormigón húmedo	12	0,86 (86)	5
Granito seco	5	1,3 (130)	< 0,001
Granito húmedo	7	1,1 (110)	1
Caliza seca	7	1,1 (110)	< 0,001
Caliza húmeda	8	1,06 (106)	25
Arenisca húmeda	6	1,2 (120)	40
Arcilla saturada	10	0,95 (95)	30

Tabla 5: Valores de conductividades y constantes dieléctricas de algunos materiales.

El fenómeno de focalización de energía va a favorecer una señal de gran amplitud en el trasdós de muros y paramentos y en las zonas de cavidades y sobre excavaciones de minas y túneles.

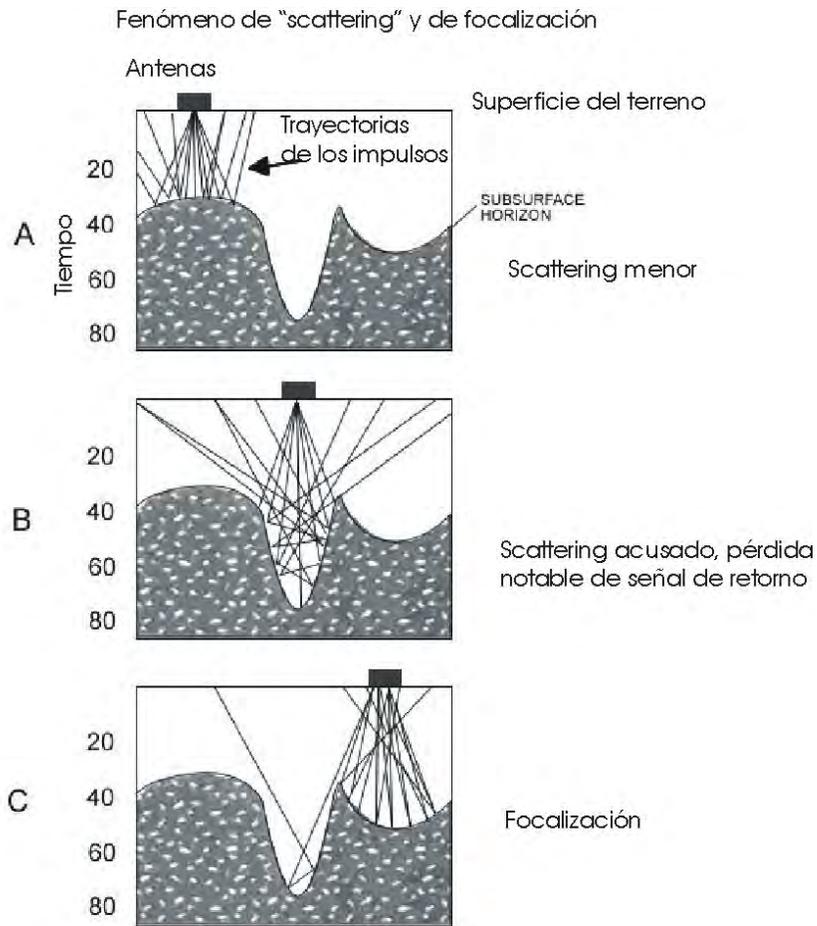


Figura 16: Focalización y "scattering" en georradar.

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO EMPLEADO

La unidad de control es una IDS (Italia) DAD. Dada la profundidad a la que se pretende escanear se ha empleado una antena de 400 MHz. Los perfiles se han obtenido con el software específico IDS-k2, y se han filtrado con el IDS-Greswin.

Antena	400 MHz
Ventana temporal (sweep time) SCAN TIME	100 ns
Muestras por ventana SAMPLES PER SCAN	512
Velocidad de propagación en medio (estimación previa)	10 cm/ns
Resolución lateral (espacio - stacking)	2,4 cm

Tabla 6: Características del muestreo de la señal de georradar empleada.

1.6.7.- TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

INTRODUCCIÓN

El equipo empleado en estas campañas ha sido un resistivímetro Syscal Kid Swich de 24 electrodos de la casa Iris Instruments (Orleans, Francia). La separación máxima de electrodos y con ello la profundidad de investigación está limitada por la potencia del aparato, y su rango óptimo esta entorno a los 0 – 12 m de profundidad. En ese rango, en una campaña ordinaria con dispositivo dipolo - dipolo en un perfil de 2 m de espaciado (48 m de longitud) alcanzaremos una profundidad de investigación de 7-9 metros (según litologías) y en el caso de existir una cavidad de 2 m por 2 m podemos llegar a tener más de 4 puntos de medida “dentro” de la misma. La calidad de la señal geofísica en este caso es excelente³⁵.

Ejemplos clásicos de utilización de estas técnicas son el caso de cavidades³⁶, rocas saturadas³⁷, zonas con diques filonianos o discontinuidades, cambios bruscos laterales de facies, fallas³⁸, y en general litologías diferentes con

³⁵ En la aplicación de los métodos eléctricos, la principal premisa a cumplir es la existencia de contraste de resistividades entre los materiales o estratos que se investigan. Si se dan las condiciones teóricas básicas, es posible detectar diferencias de conductividad geo-eléctrica que permiten elaborar cartografías de tipo geológico y columnas estratigráficas. Cuanto mayor sea el contraste de resistividades (o el opuesto de conductividades) de los materiales, mayor será la resolución.

³⁶ Una cavidad vacía cuya resistividad frente al encajante tiende a infinito se distingue bien del entorno o de cavidades rellenas de limos o arcillas.

³⁷ El nivel freático es conductivo y supone una caída brusca de la resistividad.

³⁸ Más que detectar la falla propiamente, se detectan dos materiales diferentes enfrentados.

suficiente contraste eléctrico³⁹. Las zonas de alteración y los vertidos pueden tener firmas geofísicas características.

FUNDAMENTOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

El método “eléctrico” consiste en introducir una corriente eléctrica continua en el terreno a través de dos electrodos de corriente. Se mide el voltaje mediante otro par de electrodos, también en superficie. A partir del valor de la corriente inyectada y del voltaje medido se obtiene la resistividad aparente del subsuelo. Cada tipo de material presenta un rango de resistividad más o menos característico. Las cavidades vacías (llenas de aire) presentan una resistividad aparente que tiende al infinito. Los terrenos saturados son altamente conductores y por tanto presentan baja resistividad, etc.

Según la posición de los electrodos la corriente penetra más o menos en el terreno. En la práctica se extiende una línea de más de 24 electrodos que son seleccionados de cuatro en cuatro por el equipo de campo (resistivímetro); de esta manera se obtienen gran número de puntos de resistividades aparentes. Clásicamente se ha empleado el Sondeo Eléctrico Vertical, de gran éxito en la detección de transiciones litológicas y detección de niveles freáticos en la vertical de un punto, sin embargo con los modernos equipos multielectrónicos es un equipo totalmente superado por la tomografía para estudios de índole geotécnica.

³⁹ Por ejemplo: sucesiones arcilla /arena /yeso y calizas y rocas intrusivas infrayacentes

Los datos se han filtrado y ordenado mediante el programa PROSYS de la casa IRIS INSTRUMENTS y se han interpretado e invertido mediante RES2DINV de GEOTOMO-software (Malasia).

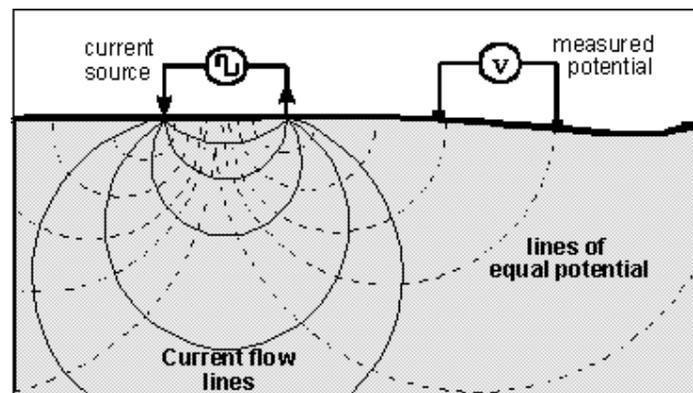


Figura 17: Emplazamiento de electrodos de corriente y potencial.

La tomografía eléctrica es la técnica por la cual se miden la resistividad en numerosos puntos de un perfil y se interpolan e interpretan los datos para hacer un perfil de resistividad que permite hacer un verdadero corte eléctrico del terreno. Si las condiciones son adecuadas es una herramienta muy potente para llevar a cabo correlaciones entre resistividad y tipo de material en terrenos ocultos.

Se sitúan al mismo tiempo un gran número de electrodos en el terreno siguiendo una alineación. Se conectan a un multicable el cual a su vez está unido a un resistivímetro y un selector de electrodos. Es debido a la gran cantidad de datos que se obtienen al combinar de cuatro en cuatro los puntos

conectados, que se necesita del apoyo informático en campo (normalmente un ordenador portátil). El desarrollo de programas cada vez más potentes permite tomar unos datos cada vez de mayor calidad. Se pueden comprobar los electrodos que están incorrectamente colocados y el gran número de combinaciones y repeticiones que se pueden hacer dan una serie de valores muy fiables. Un corte eléctrico básico puede obtenerse directamente en campo, lo que permite un control de calidad de las medidas obtenidas.

FUNDAMENTOS DE LA INVERSIÓN

Uno de los problemas clásicos en geofísica es la resolución del denominado “problema inverso”. Es decir, un hecho, un suceso geológico genera una anomalía geofísica, es lo que denominamos “caso o problema directo”. Sin embargo, una anomalía geofísica puede estar producida por más de un suceso, incluso artificios matemáticos claramente no geológicos.

Una vez obtenidas las medidas en campo, es necesaria una inversión geofísica. Este procedimiento consiste en realizar iteraciones que acerquen nuestro modelo del terreno al modelo real. El paso clave está en la construcción de sucesivas secciones geo-eléctricas, que se comparan con la obtenida en el campo. El fin del proceso iterativo será en el momento en que simulemos una toma de datos (no sobre el campo sino sobre la sección que hemos creado) y cuyo resultado sea lo más parecido posible a los datos del campo. Es el llamado error RMS de tomografía y es un punto crítico del trabajo de interpretación.

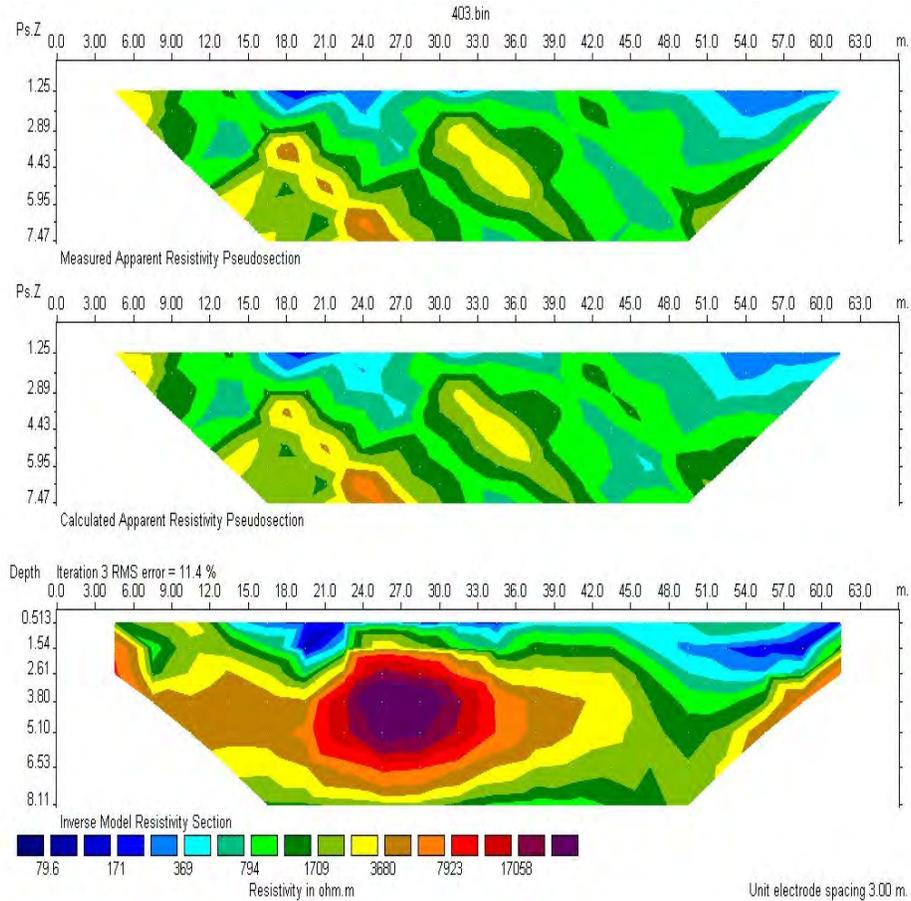


Figura 18: Proceso de inversión en tomografía eléctrica: tercera iteración, considerada válida por tener un error suficientemente bajo para el tipo de trabajo.

Sobre estas líneas se muestra en la sección superior las resistividades aparentes medidas en campo sobre la que se ha interpolado para obtener unas zonas de resistividad, en el centro resistividades calculadas, y en la parte inferior resistividades “verdaderas” al final de una iteración. La imagen muestra una cavidad artificial en yesos en las minas romanas de “Lapis Specularis” en la provincia de Cuenca (2005).

PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN E ÍNDICE DOI (DEPTH OF INVESTIGATION)

La profundidad de investigación que se obtiene varía mucho según la litología, pero puede estar en un rango de valores de la tercera a la cuarta parte de la mayor abertura de electrodos que empleamos. Sin embargo resulta imprescindible en muchas campañas definir con la mayor precisión posible esa profundidad de investigación para cada apertura del dispositivo, así como definir qué partes del perfil proporcionan información veraz y cuáles no. No se debe olvidar, que un equipo de estas características siempre mide “algo”. Se debe responder a la pregunta: ¿Lo que se está midiendo tiene realmente relación con el subsuelo y sus variaciones en profundidad, o es un mero artificio introducido por el proceso de medida – tratamiento?

El concepto de “profundidad de investigación” en las prospecciones geoelectricas ya fue avanzado en el año 1932 por Marcel y Conrad Schlumberger. Posteriormente ha sido ampliamente discutido y se han establecido numerosas formulaciones y revisiones de estas. Por ejemplo, Vejen, en 1938 definió la profundidad de investigación como la profundidad a la cual una capa fina horizontal provoca el máximo de contribución a la señal total medida en superficie. ROY y AMPARAO (1971) utilizan la misma definición anterior en estudios llevados a cabo sobre medios isótropos homogéneos. ROY representó la contribución de esa capa fina a profundidades variables, a la intensidad de la señal recibida para diferentes tipos de dispositivos: WENNER, SCHLUMBERGER y dipolo – dipolo. MARESCOT y otros (2003 y 2004), apuntan que la mayor parte de las aproximaciones

tradicionales que calculan esta profundidad de investigación hacen uso del cálculo de la máxima señal obtenida con la profundidad de investigación o la profundidad de investigación media para un terreno homogéneo. Ello incluye a ROY y AMPARO antes citados y a EDWARDS (1977) para el segundo grupo.

Sin embargo, en suelos con heterogeneidades con fuertes contrastes de resistividad, estos métodos no son aplicables para calcular la profundidad de investigación (MARESCOT y MARTÍNEZ PAGAN, 2004). Dentro de este tipo de terrenos con fuertes contrastes de resistividad incluimos la mayor parte de las aplicaciones geotécnicas de la tomografía eléctrica, tanto en ingeniería civil como en minería: detección de cavidades y manifestaciones kársticas diversas, minados antiguos, galerías y vías de agua, sucesiones de fallas. Se tratan todos ellos, de casos con fuertes contrastes y gradientes. Algunas de las aplicaciones clásicas presentan variaciones más suaves o modelos más sencillos como son las de capas horizontales.

El método desarrollado y propuesto por OLDENBURG y LI (1999) consiste en establecer un parámetro denominado índice DOI (Depth Of Investigation⁴⁰). Se llevan a cabo dos inversiones sobre el mismo grupo de datos de campo obtenidos, empleando cualquier programa comercial, pero utilizando diferentes valores de resistividad de partida para uno de los términos del algoritmo de inversión. Este término modificado es el del modelo de terreno en las condiciones iniciales de mínimos cuadrados del algoritmo de quasi Newton definido por LOKE (1996). En una de las inversiones, este término se

⁴⁰ Depth Of Investigation se traduciría literalmente como Profundidad de Investigación. Así que estaríamos hablando de un “Índice de Profundidad de Investigación”.

multiplica o divide por 10, generalmente. El valor DOI se establece de forma aproximada como una diferencia entre ambas inversiones. El valor del índice DOI se aproximará a cero en aquellas zonas de la sección geoelectrica en la que las dos inversiones se aproximen más. Por el contrario, un valor de DOI cercano a la unidad (máximo) indicará una separación entre ambas inversiones. Podremos considerar que en esas zonas de DOI elevado la sección puede mostrar artificios y no se corresponde con la realidad. El DOI también nos sugerirá la profundidad a partir de la cual la señal eléctrica medida está lejos de representar “algo” del terreno.

MARESCOT y PAGAN (2004) en sus conclusiones afirman que *“el mapa DOI previene de la sobre – interpretación es decir, interpretar a toda costa todo lo que presenta la pseudosección obtenida por tomografía eléctrica. El mapa DOI también ayuda a explicar la presencia de anomalías erráticas a ciertas profundidades (...)”*.



Figura 19: Imagen de equipo de tomografía eléctrica empleado.

Se ha aplicado esta técnica en las minas Fernandito (Garganta de los Montes),
Cabeza de Rullueco (Horcajo), Colmenarejo y Cabeza Lijar (Guadarrama)

1.7.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

1.7.1.- FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA

Los trabajos subterráneos obedecen a los mismos principios que la topografía en superficie, si bien ofrecen características especiales, en cuanto se refiere a los operadores, a los instrumentos y al modo de aplicar los métodos. En cuanto a los trabajos topográficos se emplean estaciones totales en las galerías de arrastre y pozos maestros.

La característica de notables dificultades de acceso e irregularidades en la mina hace inviable proseguir de esa manera en muchas partes de la mina. Existen zonas de progresión mediante cuerdas para salvar obstáculos importantes y lugares de estrechamientos así como cascadas de agua. Todo ello hace aconsejable el levantamiento topográfico de tipo espeleológico, con clinómetro montado sobre trípode y distanciómetros láser de mano.

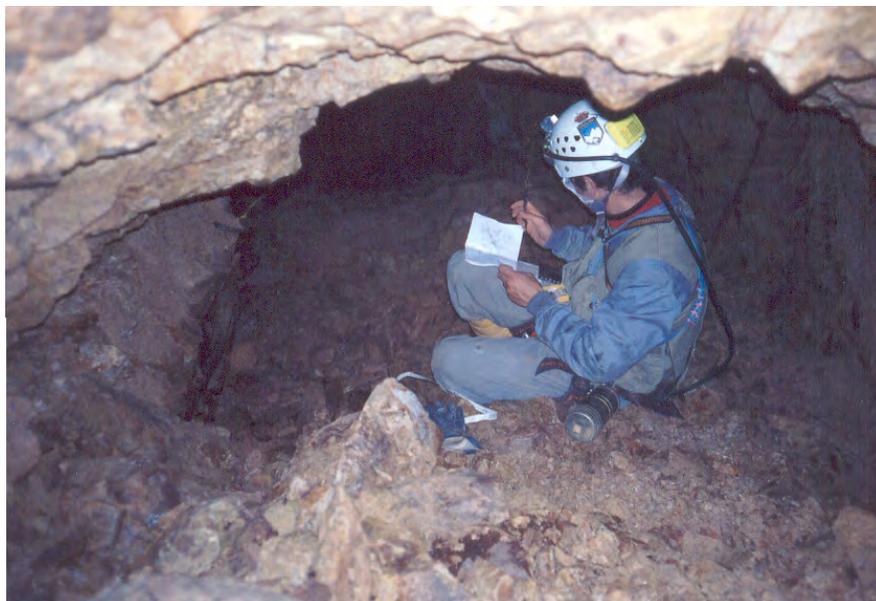


Figura 20: Topografiando una de las galerías difíciles del pozo Indiana. Nótese las penosas condiciones.

Por lo que se refiere a los operadores, han de poseer el hábito de minero; no es lo mismo trabajar al aire libre que a varios centenares de metros bajo tierra en galerías estrechas, mal ventiladas, con luz escasa y en un ambiente húmedo y cálido, en cuyas condiciones es frecuente a los no iniciados sentir desasosiego, con deseo de abandonar el trabajo y volver a la superficie. Respecto a los métodos, únicamente el itinerario es aplicable.

DISPOSITIVO DE LAS REDES

Las distintas redes, tanto planimétricas como altimétricas, se distribuyen en el exterior, en el interior y en el enlace de ambas; por lo que respecta a la red exterior planimétrica, constará, en general, de una triangulación y de una poligonación, para dar coordenadas y acimuts a todos los puntos de comunicación con el interior y levantar los detalles exteriores que interesen (especialmente escombreras, pocillos y socavones); la red altimétrica tiene por objeto dar cota a los citados puntos de enlace con el interior y a los exteriores que lo precisen.

La transmisión del trabajo exterior al interior de la mina, consta de tres partes, la primera: señalar generalmente en el techo o en las paredes de cada galería, en su unión con los pozos, los puntos que han de servir de apoyo al resto del trabajo y enlazarlos, a través de los pozos, con la red exterior para calcular sus coordenadas; la segunda operación es medir su profundidad para obtener su cota, y la tercera, transmitir los acimuts al interior, por los métodos que se van a detallar. La red interior se apoya en los puntos así transmitidos desde la superficie, y se compone, en planimetría, de una poligonación (continuación de las de superficie), de unos itinerarios de relleno y del levantamiento de los detalles. Mediante los trabajos altimétricos se dará cota de nivel a los puntos poligonómicos y por métodos más abreviados, a los detalles que se levanten.

El número de redes, por consiguiente, es el mismo que en topografía terrestre, con la variación de su distribución y de las características especiales que detallaremos seguidamente. En planimetría, la triangulación ha de ser exclusivamente externa, la poligonación, parte externa y parte interna con el enlace de ambas, y el relleno será especialmente interno, sin perjuicio de fijar por taquimetría todos los detalles externos que se precisen. Las redes altimétricas se distribuyen entre el exterior y el interior, con la medida de la profundidad de las galerías como enlace de ambas redes.

REDES EXTERNAS

Triangulación: La escala usual en trabajos de ingeniería es la de 1:2.000 pero en topografía subterránea es frecuente la de 1:1.000 y aún superiores por lo que la triangulación es inexcusable. La triangulación se efectuará atendiendo a las normas usuales, sin más variación que los lados suelen ser cortos, del orden de los 500 a 1000 m, pero con las mismas características en cuanto a la forma de los triángulos, cuyos ángulos no deben bajar de los 25^g y al número de lados de cada nudo que ha de ser de 5, 6 ó 7. El objeto de las redes externas es dar coordenadas, acimuts y cotas, a todos los pozos o vías de comunicación, de ventilación, o de desagüe de la mina, túnel o galería y, por tanto, se procurará en lo posible, que sean vértices de la red trigonométrica puntos situados en sus inmediaciones.

Poligonación: Como no siempre podrán tomarse como vértices los puntos antes citados, será necesario el levantamiento de itinerarios primarios, de

vértice a vértice, que les den coordenadas y acimuts, al mismo tiempo que sitúan los detalles exteriores que hayan de levantarse, en previsión de emplazar, en su día, todas las instalaciones que hayan de ir al exterior o de situarlas en el plano si estuviesen ya construidas. Los instrumentos y los métodos que se utilizan en estas operaciones, tanto en los trabajos de campo como de gabinete, son los usuales sin variación alguna.

Altimetría: Es necesaria, en general, una nivelación por alturas, indispensable para el replanteo de rasantes, tales como carriles, caminos, etc., conducciones a los almacenes o escombreras y para dar cota a cuantos detalles altimétricos exteriores se precisen, entre ellos los puntos situados en la boca de los pozos, para transmitir la altimetría al interior.

TRANSMISIÓN AL INTERIOR

En el caso de las minas, el enlace de la red exterior con la interior es por galerías y por pozos. El primer caso no ofrece dificultad. En cuanto a los pozos, habrá que dar puntos de apoyo a los trabajos interiores, situados generalmente en el techo o en las paredes de las galerías inmediatas a los pozos. Los trabajos de enlace constan de tres operaciones: 1.- Obtener las coordenadas de esos puntos de apoyo arrastradas desde superficie; 2.- Medir su profundidad para obtener su cota y 3.- Transmitir los acimuts al interior de las galerías.

1.7.2.- FUNDAMENTO DE LOS MÉTODOS PLANIMÉTRICOS

MÉTODO DE RADIACIÓN

Es el más sencillo de todos los métodos propiamente topográficos y se ha empleado en los trabajos de relleno asociado al Itinerario (que se verá más adelante). Se ha utilizado en las salas, galerías con ramales colgados y zonas de muy difícil acceso.

Consiste en estacionar la Estación Total (o la brújula) en un punto o estación central O a los A, B, C,..., que se han de levantar determinando los acimuts y longitudes de los radios OA, OB,..., quedando los puntos definidos por coordenadas polares. Las distancias son medidas por un distanciómetro láser.

Las medidas se transportan gráficamente por coordenadas cartesianas.

Las coordenadas polares obtenidas en los trabajos de campo se transforman en cartesianas, para su transporte a escala, en el gabinete por aplicación de las fórmulas:

$$X = D \operatorname{sen} \theta$$

$$Y = D \operatorname{con} \theta$$

Ya que tanto “D” como “ θ ”, son conocidos.

El método de radiación se presta a toda clase de terrenos y es de gran rapidez, especialmente utilizado con brújulas. Ha sido el único posible para visualizar zonas de no accesible tales como galerías y frentes bajo techos incompetentes y muros vencidos.

ERRORES EN RADIACIÓN

Este método tiene el inconvenientes de la falta de homogeneidad en la precisión; en efecto, al levantar un punto A se comete un error angular al determinar el acimut y un error lineal al medir la distancia, y en consecuencia, los datos de campo revelan que el punto se halla en A' en vez de estarlo en A, cometiéndose un error absoluto AA'. Este error será siempre función de las distancias al origen O y el error relativo podremos considerarlo como sensiblemente constante a lo largo de los radios. Sin embargo, si los puntos A y B están muy próximos entre sí en ambos se cometen errores absolutos AA' y BB' que se acumulan, y al referirlos a la distancia AB muy pequeña dan un error relativo muy superior al primer supuesto. Esto obliga a no levantar nunca por radiación puntos próximos entre sí desde distancias grandes. Un levantamiento por radiación es más preciso en las proximidades del centro de estación.

Limitación de los radios: Estos inconvenientes se evitan, prácticamente, limitando la longitud de los radios, de modo que el máximo error AA' que pueda tolerarse al levantar un punto con un determinado instrumento, sea inferior al quinto de milímetro al reducirle a la escala del plano (error de apreciación visual con transportador).

MÉTODO ITINERARIO

Fundamento: Consiste en unir los puntos A, B que han de levantarse formando un contorno poligonal midiendo sucesivamente sus lados AB, BC, ..., etc. que se denominan ejes, y los ángulos formados por cada dos ejes consecutivos; Esta medida de los ángulos puede hacerse de diversos modos dando origen a distintas especies de itinerarios.

Itinerario encuadrado: Cuando partiendo de un punto A levantado de antemano por el método más preciso de intersección o por otro itinerario, termina en un punto E, también conocido.

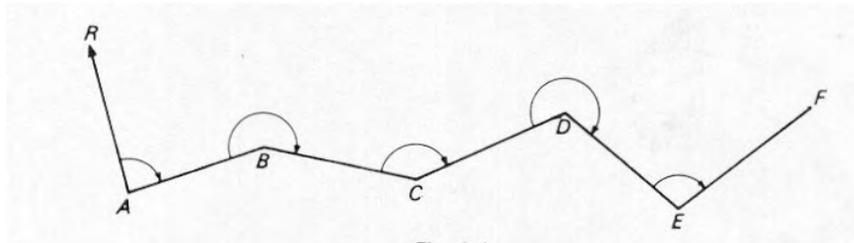


Figura 21: Esquema del método itinerario.

Itinerario cerrado: cuando el itinerario termina en el mismo punto de partida.

Con el método itinerario se acumulan los errores, y es por eso que exige comprobación, siendo siempre reprobable dejar un itinerario colgado (dándose este nombre a los itinerarios que no terminan en un punto conocido). Lo mismo en el itinerario encuadrado que en el itinerario cerrado, el punto de llegada, en general, no coincidirá exactamente con el punto ya determinado que nos sirve de comprobación; la discrepancia se denomina error de cierre, y para dar por válido el itinerario deberá ser inferido a la tolerancia (que se calculará más adelante). Si la supera, habrá que repetir el trabajo, y si es aceptable, se reparte el error entre todos los ejes, lo que se llama compensar el itinerario.

Itinerario con goniómetro e itinerario con brújula: También se clasifican los itinerarios en goniométricos cuando se utilizan goniómetros, generalmente estaciones totales, e itinerarios con brújula. La razón de la clasificación es la distinta manera de medir los ángulos, con los goniómetros rara vez se miden estos directamente, sino acimuts de los ejes, obteniéndose los ángulos por diferencia, pero aún así, como la orientación se determina por la visual de espalda, el error se transmite al eje siguiente, cosa que no ocurre con la brújula, ya que, al auto orientarse la aguja, el error de lectura del rumbo se localiza en cada punto; esta distinta manera de transmitir los errores de medición de los ángulos hace que sea diferente el cierre con uno y otro tipo de itinerarios.

ERROR ANGULAR EN LOS ITINERARIOS GONIOMÉTRICOS

En la figura inferior se representa un itinerario goniométrico, en el cual, al estacionar el instrumento en el punto de partida A se cometió un error en su orientación, lo que hace girar al eje AB un ángulo ε_1 , pasando B a ocupar la posición B'. Estacionando después en B y suponiendo que no se cometa error alguno ni en esta estación ni en las sucesivas, los ángulos medidos serán correctos y el itinerario aparecerá girado el ángulo ε_1 , ocupando el punto final D la posición D'. Pero a su vez en B se comete otro error ε_2 experimentando un nuevo giro e itinerario que aún falta por recorrer, lo mismo que en C vuelve a girar el ángulo ε_3 . El error final DD' dada la pequeñez de los arcos, podemos considerarlo como la suma algebraica de los errores DD' + D'D'' + D''D''''. Es decir:

$$DD'''' = AD\varepsilon + BD \varepsilon + CD \varepsilon$$

El máximo error admisible viene dado por la suma de los cuadrados de los “n” términos involucrados

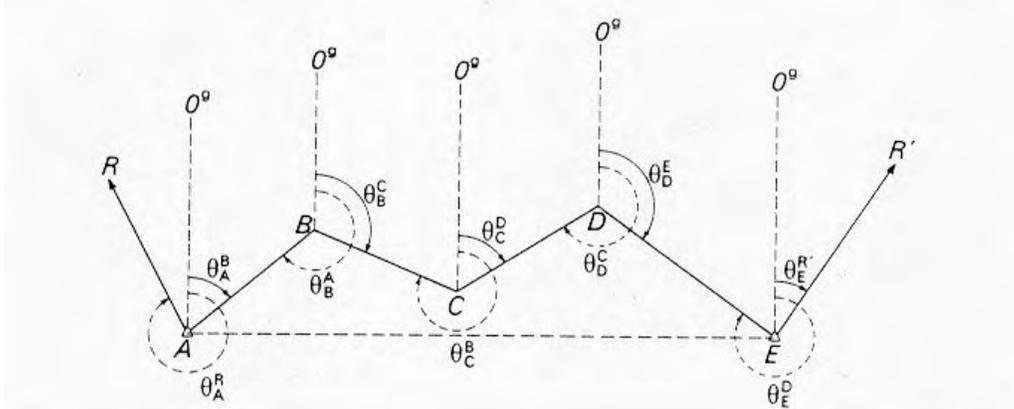


Figura 22: Error angular.

ERROR ANGULAR EN LOS ITINERARIOS CON BRÚJULA

Al estacionar en A se comete un error angular ε_1 en la lectura del rumbo, el punto B se desplazará a B'. A su vez en B' cometemos un nuevo error ε_2 y así sucesivamente. El punto D real estará desplazado a D''' siendo ese el error absoluto.

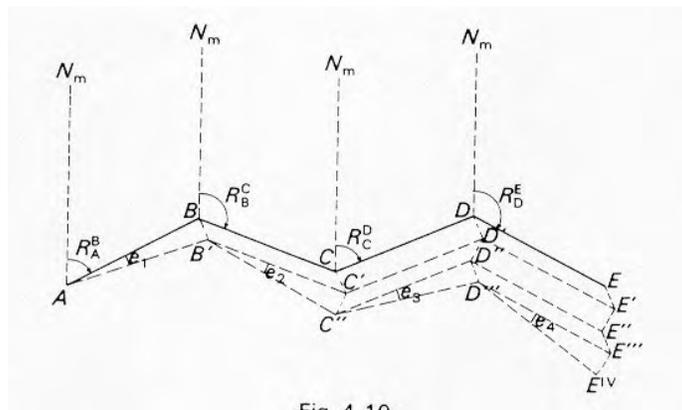


Figura 43: Error angular con brújula. Técnica habitual en espeleología.

1.7.3.- TRANSPORTE GRÁFICO DE UN ITINERARIO;

COMPENSACIÓN DEL CIERRE

Para transportar gráficamente el itinerario se repite gráficamente en el plano las operaciones efectuadas en el campo. Al dibujar el itinerario en el plano y sumarse los errores gráficos cometidos en cada punto, llegará a hacerse perceptible y el último punto E' dejará de estar en coincidencia con el de llegada E en un itinerario encuadrado, o con el punto de partida A si el itinerario fuese cerrado. Se unirá el punto de llegada erróneo con el correcto y la recta de unión, que representa el error de cierre, se dividirá en tantas partes iguales como ejes tenga el itinerario. Por cada uno de los puntos se trazan rectas paralelas al error de cierre y sobre ellas se lleva la magnitud de la división en el primer punto, de dos en el segundo, etc. Y uniendo los así señalados, se tiene compensado el itinerario gráfico. En los casos de itinerarios con brújula encuadrados se efectúa la compensación en dos etapas, primero girando todo el itinerario hasta que el punto E' se sitúe sobre la recta AE, como medio de compensar el error angular procedente de la declinación magnética y después efectuar la compensación lineal en la forma indicada anteriormente.

1.7.4.- APLICACIÓN EN BUSTARVIEJO

Método de itinerario: Se ha partido de una red exterior con estaciones en los puntos de acceso al interior de la mina y puntos notables como pozos y construcciones, con radiación para levantamiento de toda la ladera sobre la que se asientan las labores de interior. En el interior de la mina de Bustarviejo se ha topografiado mediante el método de itinerario con centrado forzado con estación total para la planimetría de un recorrido desde la bocamina hacia los dos pozos (desde donde se ha enlazado con el exterior). Se ha completado la topografía interior con el radiado de salas con estación total para detalle y la topografía mediante brújula y clinómetro para todo el resto de accesos de alta dificultad y riesgo.

1.7.5.- DECLINACIÓN MAGNÉTICA EN BUSTARVIEJO

Ángulos de partida:

Hoja topográfica 1:50.000 (IGN): $\delta = 2^{\circ}40'$ Oeste (el 1 de Enero de 2003).

Es el ángulo comprendido entre el Norte Magnético (NM) y el Norte Geográfico (NG).

La declinación magnética (δ) disminuye cada año $8,2'$.

$\omega = -0^{\circ}26'58''$ es el ángulo agudo comprendido entre el Norte Geográfico (NM) y el Norte de la cuadrícula (NC).

Cálculo de la declinación magnética (δ) en Bustarviejo en Mayo de 2004 (considerada esta fecha la media de las medidas):

La declinación disminuye mensualmente $8,2'/12 = 0,683'$

Entre 1 de Enero de 2003 y 1 de Mayo de 2004 transcurren 16 meses.

La declinación magnética (δ) ha disminuido $10,93'$ luego su valor es

$$\delta = 2^{\circ}40' - 10,93 = 2^{\circ} 29' \quad \delta = 2,484^{\circ} \text{ Oeste}$$

$$\omega \text{ sigue siendo } -0^{\circ}26'58'' \quad \omega = 0,45^{\circ}$$

1.8.- REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA TRIDIMENSIONAL

Hemos llevado a cabo la representación gráfica en tres dimensiones de algunas labores mineras (Bustarviejo y Cabeza Lijar): Sólo en aquellas que su complejidad (o caótica distribución) o disposición de galerías y filones así lo requerían.

Se ha empleado un programa de representación tridimensional a partir de levantamientos de tipo espeleológico. El programa se denomina Visualtopo versión 4.9 y ha sido desarrollado por el espeleólogo francés Eric David. Es un programa de libre acceso en internet. Permite dibujar automáticamente la cavidad a partir de datos de visuales e itinerarios espeleológicos.

Es un programa de sencillo manejo y comandos “amigables”. Podemos realizar interesantes rotaciones y vistas en perspectiva, así como disponer de una salida en ficheros legibles por autocad dwg. Bajo estas líneas, imagen tridimensional de la galería de arrastre de la mina de Bustarviejo simulada mediante Visualtopo versión 4.9



Figura 23: Esquema tridimensional mediante visualtopo (Bustarviejo 2005).

1.9.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE MINAS ABANDONADAS

1.9.1.- INTRODUCCIÓN

Mediante geofísica se ha llevado previamente un estudio sobre emboquilles de minas abandonadas y zonas de debilidad geotécnica. En el presente tema se abordará el estudio geotécnico de las galerías, pozos y emboquilles de minas abandonadas.

En primer lugar se clasificarán las zonas desde el punto de vista de las modernas teorías geotécnicas de minería y obra civil y se estudiarán las condiciones de estabilidad según criterios resistentes.

1.9.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MINAS

ABANDONADAS

Para caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso se ha seleccionado la metodología RMR de BENIAWSKY y Q de BARTON para la parte subterránea y la SMR de ROMANA para el emboquille y los taludes. Una vez valorado geomecánicamente el macizo en base a estas puntuaciones RMR, Q y SMR se establecen zonas geotécnicas y se selecciona el tipo de sostenimiento y acciones de estabilidad a realizar en cada una de ellas:

Las zonas de intensa facturación y roca muy meteorizada se considerarán como un suelo.

En las zonas de elevada calidad de roca pero posibilidad de caída de cuñas (en techos y hastiales) se estudiará la estabilidad y tamaño de las mismas. Se emplearán programas informáticos así como construcciones analíticas. Los bulones se calcularán en base al tamaño y peso de las cuñas, condiciones de las discontinuidades y orientación de las galerías y cámaras.

CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS PARA MACIZOS ROCOSOS

Clasificar geomecánicamente una masa o macizo rocoso consiste en otorgarle una puntuación según una metodología o criterio preestablecido. Una vez puntuado el macizo, se clasifica en una categoría de entre varias existentes en función del rango de puntos. 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.

“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, 2002).

Entre las distintas clasificaciones para túneles propuestas hasta el presente sobresalen las de TERZAGHI (1946), LAUFFER (1958), DEERE et al (1967), WICKHAM et al (1972), BENIAWSKI (1973) y BARTON et al (1974). De ellas solamente las dos últimas proporcionan procedimientos cuantitativos aplicables a los modernos sistemas de sostenimiento y construcción de túneles. Dichos métodos parten de la combinación de algunos de los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del material rocoso.
- RQD.
- Espaciado de discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades (continuidad, separación, rugosidad, meteorización y relleno).
- Estructuras geológicas y fallas individualizadas.
- Filtraciones.
- Estado tensional.

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.

En el caso que nos ocupa, las clasificaciones y los estadillos de campo en particular se deben adaptar al entorno de trabajo, en este caso el estudio de una mina abandonada, con las dificultades de la toma de datos y medición que ello conlleva.

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:

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$$

Donde:

- J_n es el índice de diaclasado, e indica el grado de fracturación del macizo rocoso.
- J_r es el índice de rugosidad de las discontinuidades.
- J_a es el índice de alteración de las discontinuidades.
- J_w 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.

De esta forma los diferentes cocientes tienen una significación especial:

- (RQD/J_n) indica el tamaño de bloque.
- (J_r/J_a) la resistencia al corte entre los bloques.

- (Jw/SRF) la influencia del estado tensional, de difícil interpretación.

A continuación se indica el modo de valorar los diferentes parámetros

Valores de los parámetros característicos del índice Q (BARTON, 2000):

1.- Calidad del testigo RQD		RQD (%)
A	Muy mala	0-25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100
Notas: <ul style="list-style-type: none"> - Cuando se obtienen valores del RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q. - Los intervalos de 5 unidades para el RQD, es decir, 100, 95,90, etc. tienen suficiente precisión. 		

Tabla 7: Calidad del testigo “RQD” en la clasificación Q de Barton.

2.- Índice de diaclasado		J_n
A	Roca masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa	0,5 – 1,0
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones	15
J	Roca triturada, terrosa	20
Notas:		
<ul style="list-style-type: none"> - En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3J_n) - En las bocas de los túneles se utiliza la expresión (2J_n) 		

Tabla 8: Valoración del índice de diaclasado en la clasificación Q de Barton.

3.- Índice de rugosidad de las discontinuidades		J_r
a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad. b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm.		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1,5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1,5
F	Diaclasas planas, lisas	1,0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0,5
Notas:		
- Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.		
c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante.		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1,0
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad.	1,0
Notas:		
- Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3m. se debe aumentar el índice J _r en una unidad.		
- En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor J _r = 0,5		

Tabla 9: Valoración del índice de rugosidad de las discontinuidades, en la clasificación Q de Barton.

4.- Índice de alteración de las discontinuidades		ϕ	J_a
a) Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedio)			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	-	0,75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25°-35°	1,0
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25°-35°	2,0
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	20°-25°	3,0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	8°-16°	4,0
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25°-30°	4,0
G	Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5mm)	16°-24°	6,0
H	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5mm)	12°-16°	8,0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, tipo montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5mm). El valor de J_a depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas.	6°-12°	8-12
c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)			
K,L,M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G,H, y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	6,8 ó 8-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles	-	5,0
O,P,R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	10,13 ó 13-20
Nota: Los valores expresados para los parámetros J_r y J_a se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx \sigma_n \text{tg}^{-1}(J_r/J_a)$).			
5.- Factor de reducción por la presencia de agua		Presión de agua (Kg/cm²)	J_w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada	<1	1,0

B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1-2,5	0,66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2,5-10	0,5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2,5-10	0,33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo	>10	0,2-0,1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	>10	0,1-0,05
<p>Notas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor J_w - No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo 			

Tabla 10a: Otros parámetros de la clasificación Q de Barton.

6.- Condiciones tensionales de la roca		SRF		
a) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando				
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10		
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≤ 50 m)	5		
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50 m)	2,5		
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libre de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7,5		
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación ≤ 50 m)	5,0		
F	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación > 50 m)	2,5		
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5,0		
Nota: Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20-50% si las zonas de fracturas solo ejercen cierta influencia pero no intersectan a la excavación.				
b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_c	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	>200	$<0,001$	2,5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200-10	0,01-0,3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0,3-0,4	0,5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0,5-0,65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0,65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	<2	>1	200-400
Notas:				
<ul style="list-style-type: none"> - Si se comprueba la existencia de campos tensionales fuertemente anisótropos: cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, se disminuye el parámetro σ_c hasta $0,75\sigma_c$; si $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se tomará el valor $0,5 \sigma_c$. σ_c es resistencia a compresión simple, σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayor y menor y σ_θ es la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad. - En los casos en los que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2,5 y 5 unidades (véase clase H) 				
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas		σ_θ/σ_c	SRF	

O	Presión de deformación baja	1-5	5-10
P	Presión de deformación alta	>5	10-20
Notas:			
- Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades $H > 350Q^{1/3}$ (SINGH et alii., 1992). La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(\text{MPa}) \approx 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993)			
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.			SRF
R	Presión de expansión baja		5-10
S	Presión de expansión alta		10-15
$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$			

Tabla 10b: Otros parámetros de la clasificación Q de Barton.

Como resultado el índice Q puede valorarse como:

Intervalo	Descripción o calidad
0,001 – 0,01	Roca excepcionalmente mala
0,01 – 0,1	Roca extremadamente mala
0,1 – 1	Roca muy mala
1 - 4	Roca mala
4 - 10	Roca media
10 - 40	Roca buena
40 - 100	Roca muy buena
100 - 400	Roca extremadamente buena
400 - 1000	Roca excepcionalmente buena

Tabla 11: Puntuación de la clasificación Q de Barton.

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 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

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. Para ello se realizan medidas en campo en las denominadas “estaciones geomecánicas” y se anotan en unos estadillos normalizados.

La minería de los metales en la provincia de Madrid: Patrimonio minero y puesta en valor del espacio subterráneo

1	Resistencia de roca sana	Ensayo de carga puntual (MPa)	> 10	4 - 10	2-4	1-2	En valores bajos se da ensayos a compresión uniaxial		
		Compresión simple (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1-5	< 1
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas (m)		> 2	0,6 - 2	0,2 - 0,6	0,06 - 0,2	< 6 cm		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas. Discontinuas sin separaciones. Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas. Abertura < 1mm. Bordes duros	Ligeramente rugosas. Abertura < 1mm. Bordes blandos	Espejos de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1-5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura de > 5 mm. Diaclasas continuas		
	valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel (l/min)	Nulo	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Relación presión agua	0	0,0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Tensión prin mayor							
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	húmedo	goteando	fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Tabla 12: Puntuación y valoración del RMR básico.

Dirección perpendicular al eje de la galería				Dirección paralela al eje de la galería		Buzamiento 0° - 20 ° en cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	
Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°			
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Tabla 13: Corrección por orientación de las diaclasas con respecto a la excavación (galerías).

Valoración (factor F) para:	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabla 14: Valoración y corrección según la orientación de las diaclasas con respecto a las galerías y ángulos de los taludes.

$$\text{RMR ajustado} = \text{RMR básico} + F$$

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 15: Valoración final RMR y clasificación.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR

La clasificación SMR la estableció ROMANA primero como una modificación de los factores de corrección del índice RMR para taludes (ROMANA 1985), posteriormente como una clasificación geomecánica “sensu stricto” (ROMANA, 1993, 1995).

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando un factor de ajuste, que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un factor de “excavación” que depende del método utilizado:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores:

F1: depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1.00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0.15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).

Estos valores establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \text{sen} (a_j - a_s))^2$$

F2 depende del buzamiento de la junta de rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = (\text{tg}^2 b_j)^2$$

Donde b_j es el buzamiento de la junta. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F3 refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos:

FACTOR DE AJUSTE F3 PARA LAS JUNTAS (ROMANA, 1985)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	[AJ-AS]	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	[¿??]					
P/T	F'	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	[BJ]	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
T	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	F2	1	1	1	1	1
T	Bj - bs	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< - 10°
	Bj+bs	< 110°	110° - 120°	> 120°		-
P/T	F3		-6	-25	- 50	-60

Tabla 16: Factor de ajuste para a las juntas (ROMANA, 1985).

FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (ROMANA, 1985)					
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura mecánica	Voladura deficiente
F4	+ 15	+ 10	+ 8	0	-8

Tabla 17: Factor de ajuste según el método de excavación (ROMANA, 1985).

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR (ROMANA, 1985)					
Clase nº	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Tabla 18: Clases de estabilidad según SMR (ROMANA, 1985).

Roturas planas		Roturas en cuña	
SMR > 60	Ninguna	SMR > 75	Muy pocas
60 > SMR > 40	Importantes	75 > SMR > 49	Algunas
40 > SMR > 15	Muy grandes	55 > SMR > 40	Muchas
Roturas por vuelco		Roturas completas, tipo suelo	
SMR > 65	Ninguna	SMR > 30	Ninguna
65 > SMR > 50	Menores	30 > SMR > 10	Posible
40 > SMR > 30	Muy grandes		

Tabla 19: Tipos más habituales de inestabilidad según el SMR.

ESTADILLO DE ESTACIÓN GEOMECÁNICA: ADAPTACIÓN A MINAS ABANDONADAS.

Una vez conocida la metodología teórica y de cálculo de gabinete, es cuando se deben de realizar estadillos de campo lo más simplificado posibles con objeto de que sean fácilmente “rellenables”. No debemos olvidar que una cosa es la teoría y el trabajo en gabinete “a la lumbre” y otra bien distinta tomar datos en campo con viento y frío o en el interior de una húmeda galería. No podemos pretender rellenar estadillos complejos.

Es necesario tomar todos los datos posibles de campo, pues a menudo, no se puede volver al punto de medición. Tal es el caso de la excavación de una galería de avance o un frente de túnel. En otras ocasiones, es simplemente difícil o antieconómico el regresar sin causa justificada salvo una deficiente toma de datos. La información que “traigamos” en el estadillo debe de ser lo más completa posible.

Por otro lado estos estadillos de campo deben de llevar un formato absolutamente paralelo a la metodología de interpretación que después seguiremos en gabinete. En los últimos años se han puesto “de moda” estadillos de campo a partir de hojas de cálculo Excel que son prácticamente las mismas que después tomaremos para obtener los parámetros de juntas, matriz rocosa y macizo rocoso.

Una estación geomecánica es un conjunto de observaciones ordenadas en un entorno con objeto de valorar un macizo rocoso. Se asumen a un único punto y agrupan observaciones de juntas y de matriz rocosa para dar un valor al conjunto denominado “macizo rocoso”. En general se observan juntas y litología en un entorno de unos 5 m del punto en el que investigamos. Se establecen tantas como zonas diferenciadas claramente veamos.



Figura 25: Realización de una estación geomecánica en un realce de la mina de San Marcelino, en Colmenar Viejo.

Nótese como una persona rellena el estadillo mientras la otra aplica el esclerómetro contra la roca. En minas de este tipo las condiciones son penosas, por lo que es muy recomendable trabajar en parejas.

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO. SUPERFICIES DE DISCONTINUIDAD

Una discontinuidad es una superficie del macizo rocoso que está abierta o puede abrirse fácilmente a causa de tensiones inducidas por la excavación. Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca (planos de estratificación, laminación, foliación, disyunción, etc.) o posteriormente por causas tectónicas (esquistosidad, pizarrosidad y las fracturas: fallas y las diaclasas (estas últimas denominadas vulgarmente “juntas”).

Las fracturas son planos de discontinuidad originados cuando la roca ha estado sometida a un esfuerzo tectónico que sobrepasó su límite de rotura. Consideramos dos tipos de fracturas: fallas y juntas. La falla se origina cuando las dos secciones que separan la fractura han sufrido desplazamiento, una respecto de la otra, paralelamente a la fractura. La magnitud del desplazamiento puede variar entre milímetros hasta decenas de kilómetros. Se denomina junta cuando el desplazamiento relativo entre secciones es nulo o prácticamente nulo.

CARACTERES GEOMECÁNICOS DE LAS DISCONTINUIDADES

En geotecnia la tendencia es definir las discontinuidades por la dirección de buzamiento y el buzamiento (en inglés: DIP-DIR y DIP). Así 240/20 indica una dirección de buzamiento N-240°E y un buzamiento de 20°. Trabajaremos en todo momento con rumbos y direcciones (de planos y de taludes y galerías) referidos todos al Norte Magnético.

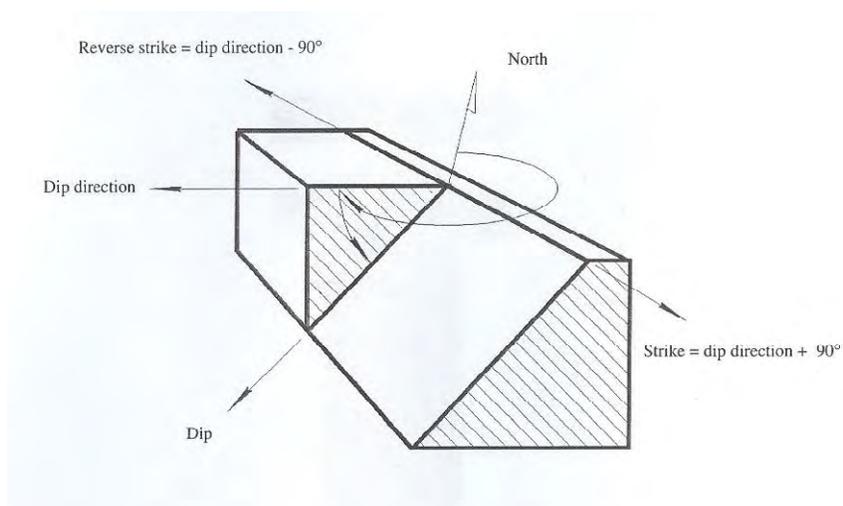


Figura 26: Esquema de la representación geomecánica de una discontinuidad, según HOEK, KAISER y BAWDEN (1995).

ESPACIADO

El espaciado de las discontinuidades es un factor que influye en el tamaño de los bloques de roca (caída de cuñas), así como en la permeabilidad del macizo rocoso (permeabilidad secundaria o por fracturación) que condiciona la circulación de agua.

DIMENSIONES

El concepto de dimensión se refiere a la extensión o tamaño de una discontinuidad. Este parámetro se puede estimar (en ausencia de excavación) observando las longitudes de las superficies estudiadas en los afloramientos.

Medidas: se trata de tomar cada una de las juntas y medir su rumbo (acimut) y buzamiento. Podemos más o menos clasificar por familias aunque no es estrictamente necesario. En caso de que detectemos fácilmente muchas juntas de una familia podemos colocar un multiplicador en la parte superior, ej.: sobre J1 poner x7, que significa que hemos visto 7 casi idénticas.

El espaciado es la separación en perpendicular de dos juntas de una misma familia.

Continuidad:

Era habitual distinguir la continuidad de un estrato o diaclasa según la dirección de rumbo o buzamiento. Se trata de indicar desde donde empieza y hasta donde llega la junta.

Apertura: Es estimar la apertura de la junta.

Rugosidad: empleamos los perfiles normalizados que indican ondulación en una parte y JRC (rugosidad) en la otra. Bajo estas líneas presentamos uno:

Meteorización de la junta. También se obtiene de estadillos normalizados del ISRM.

Presencia de agua. Colocamos una “cruz” sobre ese estado que estimamos.

Relleno. “SR” indica “sin relleno”, sino indicamos “SI” arcilla, filón, etc.... con el espesor que deberá más o menos coincidir con la apertura de la junta; a excepción de que sólo tengamos parte de la junta rellena (algo no muy frecuente).

Una vez estimados estos parámetros en campo en el estadillo de Excel aparecen macros que automáticamente, con algún retoque nos permiten clasificar las juntas y los sumatorios parciales de RMR.

CÁLCULO DEL RQD

Es un parámetro que se establece a partir de testigos; sin embargo hay metodologías para estimarlo en afloramientos. La metodología a seguir para el cálculo de RQD es el de las fracturas por metro lineal. Tomamos una línea con cinta métrica en el entorno de la estación geomecánica o entre varias de ellas alineadas (tomaremos en general tantas como zonas diferenciadas estimemos, aunque habitualmente será suficiente con un par de ellas si el macizo es muy semejante en toda la longitud investigada).

Medimos todas las juntas que interceptan nuestra línea “grosso modo” y la dividimos por la longitud de la línea, siendo este el parámetro “ λ ”. Para la determinación del RQD del macizo podemos emplear dos formulaciones las cuales requieren unos parámetros “de campo” diferentes. Nosotros de momento nos limitaremos a aplicar la formulación de Priest y Hudson que requiere de λ . (juntas por metro lineal)

$$\text{RQD} = 100 e^{-0,1 \lambda} (0,1 \lambda + 1)$$

También podemos calcular el RQD con la formulación de Palstrom, a partir del índice volumétrico de juntas:

$$J_v = \Sigma 1/S_i \quad \text{Donde } S_i \text{ es el espaciado medio de cada familia de juntas}$$

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$RQD = 100 \text{ si } J_v < 4,5$$

Podemos realizar un ensayo “tilt test” para obtener el ángulo de rozamiento básico de la junta, que si no se obtiene habitualmente de la bibliografía. Puede realizarse a partir de testigos o de fragmentos rocosos con juntas.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL DE LA MATRIZ ROCOSA

La resistencia a compresión de la matriz rocosa (denominada con los acrónimos RCS o UCS) y la resistencia de los labios de discontinuidad (JCS) se puede estimar, de forma aproximada, a partir de Índice al martillo de geólogo, o del esclerómetro. A veces resulta difícil distinguir la matriz, limitándonos a tomar las medidas en los labios de discontinuidades.

En este trabajo se emplea un martillo de Schmidt o Esclerómetro Tipo N. El golpeo con el esclerómetro proporciona un valor denominado “índice esclerométrico” o rebotes, $R(N)$, que se correlaciona con la resistencia a compresión del hormigón o materiales pétreos, mediante una relación lineal. (Ver gráfico bajo estas líneas).

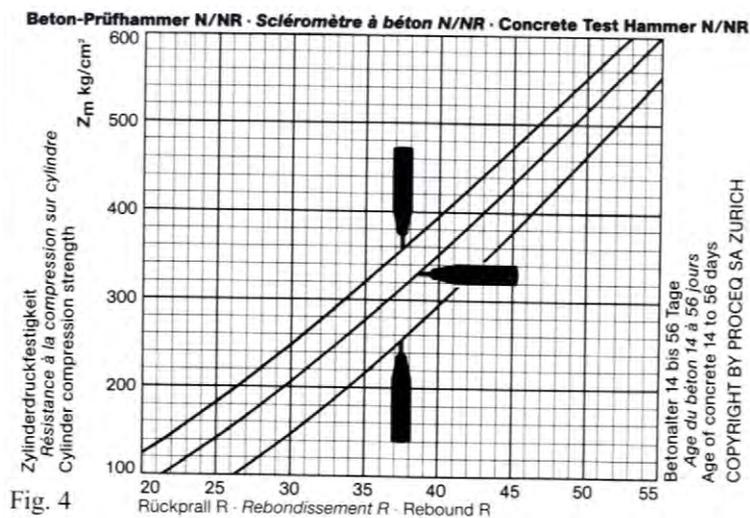


Figura 26: Gráfico para obtener la resistencia uniaxial a partir de rebotes del esclerómetro.



Figura 27: Medidas esclerométricas sobre juntas en el emboquille de una mina.

Figura 28: Detalle del esclerómetro o martillo Schmidt.

Se toman unos mínimos de cinco medidas no superpuestas por estación. De todos modos el propio martillo Schmidt dispone de una tabla de conversión. Debe de tenerse en cuenta que la escala de presión no aparece siempre en las mismas unidades. No todas las veces puede estimarse la resistencia de la roca a partir del martillo (caso de rocas blandas) o no disponemos de este. Se puede estimar la resistencia de la matriz rocosa y labios de discontinuidades a partir de golpes (cualitativos) del martillo de geólogo.

Grado	descripción	Identificación de campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple MPa
R1	Roca muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico; puede desconcharse con una navaja	1,0 – 5,0
R2	Roca débil	Puede desconcharse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo	5,0 - 25
R3	Roca media	No se puede rayar o desconchar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo	25 - 50
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se necesitan muchos golpes con el martillo geológico para romper la muestra	100 - 250
R6	Roca extremadamente dura	Sólo se pueden romper esquirlas de la muestra con el martillo geológico	> 250

Tabla 20: Dureza de las rocas frente al martillo de geólogo.

CIRCULACIÓN DE AGUA

La circulación de agua en los macizos rocosos se realiza principalmente por las discontinuidades: fallas, diaclasas, juntas, en lo que se denomina permeabilidad secundaria. No se tiene en cuenta en nuestro caso las rocas sedimentarias, donde la circulación de agua se produce por los poros de la roca (permeabilidad primaria). Sólo en zonas concretas de los yacimientos estudiados se produce circulación de agua primaria de relativa importancia en los jabres de descomposición granítica y gneises que descansan sobre macizos rocosos relativamente impermeables que hacen la función de sello inferior del acuífero.

El agua circula en esta interfase y pasa a filtrarse al subsuelo en zonas de fractura muy determinada. Es el caso de la circulación de agua a lo largo de zonas concretas del arroyo de la mina de Bustarviejo o el acuífero de la mina Fernandito de Garganta de los Montes. Esta circulación de fluidos a mayor escala en grandes fracturas da lugar a la mayoría de los manantiales ferruginosos y arsenicales de la Sierra, tales como las fuentes de Oteruelo del Valle y Miraflores posiblemente ligadas a grandes fracturas como aquellas responsables de las mineralizaciones de Aníbal (Oteruelo), galerías inferiores de La Carcamala y arroyos de la Genciana y Mina El Cubero de Miraflores de la Sierra.

La conductividad hidráulica puede ser muy anisotrópica cuando las fallas contengan brechas altamente permeables, adyacentes a zonas arcillosas muy impermeables. Por ello es prematuro describir una zona de falla como seca

mientras el túnel o galería de exploración de desagüe no hayan atravesado totalmente la discontinuidad. La hidrología se interpreta partir de las predicciones geológicas de las situaciones de los acuíferos de las direcciones probables de circulación de agua y de los niveles hidrostáticos. La fotografía aérea (y además georeferenciada) permite obtener una visión del tipo de drenaje en conjunto y deducir los niveles hidrostáticos probables.

Grado de filtración	Descripción
I	La posible discontinuidad está muy cerrada y seca. El flujo de agua a través de la misma no parece posible.
II	La discontinuidad está seca, sin evidencia de agua.
III	La discontinuidad está seca, pero muestra evidencia de flujo de agua, por ejemplo, moho, descolorido, etc.
IV	La discontinuidad está húmeda, pero no se observa circulación de agua.
V	La discontinuidad muestra filtraciones de agua, gotas de agua ocasionales, pero no flujo continuo.
VI	La discontinuidad muestra un flujo continuo de agua. (Hay que estimar el caudal en l/min y describir la presión, por ejemplo: baja, media o alta).

Tabla 21: Grado de filtración de una discontinuidad sin relleno.

Grado de filtración	Descripción
I	Los materiales de relleno están fuertemente consolidados y secos, parece muy improbable la aparición de un flujo debido a la permeabilidad muy baja.
II	Los materiales de relleno están húmedos, pero no hay agua en circulación.
III	Los materiales de relleno están húmedos, con gotas ocasionales de agua.
IV	Los materiales de relleno muestran signos de lavado, con flujo de agua continuo. (Se estima el caudal en l/min).
V	Los materiales de relleno están lavados localmente, con un considerable flujo de agua a lo largo de los canales de erosión (estimación del caudal en l/min y de la presión, baja, media, alta)
VI	Los materiales de relleno están completamente erosionados por el agua; se experimentan presiones de agua muy elevadas, especialmente sobre el primer afloramiento. (Estimación del caudal en l/min y descripción de la presión)

Tabla 22: Grado de filtración de una discontinuidad con relleno.

CROQUIS DEL EMPLAZAMIENTO

Resulta crucial para los estudios ulteriores un croquis de cada una de las estaciones geomecánicas, indicando escala de las observaciones, situación del NM, bosquejo de juntas, y si es posible una fotografía y las coordenadas mediante un GPS de bolsillo. Además en función del tipo de emplazamiento tomaremos siempre:

En un talud debemos indicar:

- Dirección del talud.
- Sentido de la excavación (si está abandonado lo estimaremos).
- Ángulo del talud.
- Ángulo de coronación.
- Altura.
- Croquis de las juntas (grietas de tracción, etc.)

En una galería:

- Dirección de la galería.
- Sentido de avance.

- Anchura.
- Altura y forma.
- Croquis de las juntas y proximidad de otras galerías.

Estructura	Problemas típicos	Parámetros críticos	Métodos de análisis	Criterios de seguridad
Suelo o taludes rocosos intensamente fracturados	Rotura circular a través del macizo o del suelo	-Altura y ángulo del talud -Resistencia al corte en la superficie de rotura -Distribución de agua en la pendiente -Sobrecargas y efectos sísmicos	Métodos de equilibrio límite bidimensionales, buscando el círculo de deslizamiento pésimo en búsqueda del factor de seguridad. Análisis probabilístico	Factor de seguridad > 1,3 para taludes provisionales. F.S. > 1,5 para taludes permanentes En casos de que los posibles desplazamientos resulten críticos se requerirán modelos más avanzados y F.S. mayores
Pendientes en macizos rocosos con juntas	Rotura plana o por cuñas, en caso de una o dos familias de juntas que intersecten de forma desfavorable al talud.	-Altura del talud, ángulo y orientación -Dirección y buzamiento de las juntas -Distribución del agua -Efectos sísmicos -Secuencia de excavación e instalación de sostenimientos	En general estudio de deslizamientos en tres dimensiones, según métodos de equilibrio límite. Estudios probabilísticos de fallo.	Factor de seguridad > 1,3 para taludes provisionales. F.S. > 1,5 para taludes permanentes Se acepta una probabilidad de fallo entorno al 10 - 15 % minas a cielo abierto donde el coste de limpieza es menor que el de estabilización.
Juntas y planos de estratificación verticales	Rotura por pandeo o vuelco de las capas cuando el talud es sensiblemente paralelo a aquellas	Altura del talud, ángulo y orientación Buzamiento y dirección de las juntas Agua Efectos sísmicos	Se pueden emplear modelos de equilibrio límite simplificados e bloques	No existe un criterio de fallo pues en general es una rotura obvia. Lo más práctico es un seguimiento de desplazamientos y de el grado de efectividad de los tratamientos empleados
Túneles y galerías someras en rocas duras fracturadas	Las familias de juntas definen cuñas que caen por gravedad del techo o deslizan por los hastiales o paramentos. Caída de material superficial mal soportado	Forma y orientación de la caverna en relación con la orientación, inclinación y resistencia al corte de las juntas del macizo. Calidad de la perforación y la voladura. Capacidad de instalación y secuencia de las medidas de sostenimiento.	Proyecciones esféricas para determinar potenciales cuñas. Equilibrio límite de las cuñas con objeto de determinar modelos de caída, factor de seguridad y necesidades de sostenimiento.	El factor de seguridad para cuñas de techo debe ser > 2 Para deslizamientos deberá ser F.S. > 1.5. La secuencia de sostenimiento es crítica, y las cuñas deben de identificarse y sostenerse antes de la excavación las deje expuestas. Seguimiento de desplazamientos tiene poca utilidad.

Tabla 23: Típicos problemas, parámetros, métodos y análisis de criterios de seguridad en taludes y galerías mineras someras.

Modificado de HOEK (2000).

Se ha realizado una selección de los fenómenos más posibles que pueden darse en la minería metálica abandonada de la Comunidad de Madrid. En taludes, cimentaciones y excavaciones someras en roca dura, los fenómenos de rotura o fallo están a menudo controlados por la presencia de discontinuidades tales como fallas, zonas de cizalla, planos de estratificación y juntas. La intersección de estos planos puede crear bloques o “cuñas” que pueden caer o deslizar hacia la excavación.

Las posibilidades de rotura a través del macizo son realmente escasas y no suelen tenerse en consideración salvo en el caso de macizos intensamente fracturados que no son objeto de esta tesis: es más frecuente en el cálculo de cámaras y pilares. La separación de las juntas y con ello el tamaño de los bloques juega un papel muy importante a la hora de diseñar la capacidad de sostenimiento. En general se estudian las cuñas mayores que puedan formarse, para estimar la mayor capacidad de sostenimiento necesaria, para posteriormente ajustar los modelos a la realidad según se avanza en el conocimiento del macizo rocoso.

1.9.3.- PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LAS DISCONTINUIDADES

La proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la ingeniería geológica. Su principal interés estriba en el hecho de que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación

(buzamiento o inmersión) preferentes de elementos que en la naturaleza no se presenten con desarrollos geométricos perfectos. Además este tipo de representación permite medir los ángulos de forma directa.

Entre sus aplicaciones más importantes y que nos afecta en este estudio se encuentra el reconocimiento de juegos de diaclasas en un afloramiento rocoso.

En la representación estereográfica ecuatorial, el plano de proyección pasa por el ecuador y el centro de proyección está sobre la superficie de la esfera en una recta perpendicular a él. Este tipo de proyección define una inversión en el espacio que transforma los puntos de la esfera en puntos del plano. Además, presenta la ventaja de que la proyección de los círculos de la esfera se produce como círculos, lo que hace muy sencillo la construcción de la proyección.

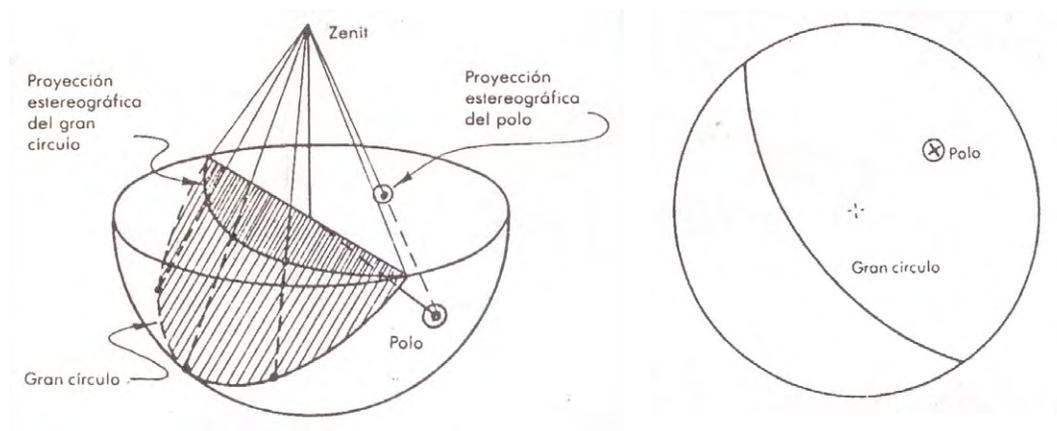


Figura 29 y 30: Proyección estereográfica cenital de un plano y su polo (SERON, 2008).

Existen diversas formas de representación de los elementos planos y lineales en la proyección estereográfica. Todos ellos se llevan a cabo mediante el empleo de la falsilla de Wulff que se obtiene mediante la proyección de los meridianos y paralelos de la esfera.

DIAGRAMA DE DENSIDAD DE POLOS

La proyección estereográfica de un determinado elemento de la naturaleza, nunca es tan exacta como la de líneas y planos teóricos, ya que presentan irregularidades puntuales, falta de ajuste con la geometría ideal y posibles errores de precisión. Esto hace que se produzcan dispersiones que pueden o no facilitar la interpretación de un polo o círculo máximo. Es preciso recurrir a un análisis estadístico de una muestra grande de datos con el fin de determinar la dirección y buzamiento predominantes.

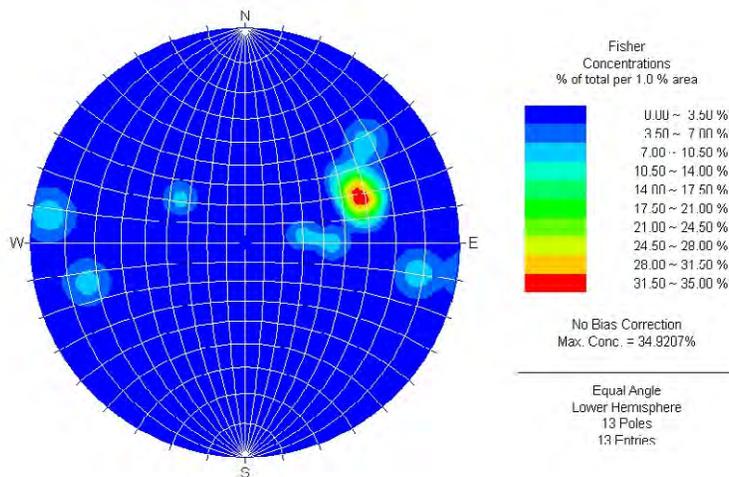


Figura 31: Diagrama de densidad de polos (programa DIPS).

La proyección estereográfica permite la representación en elementos de geología estructural. Los datos empleados se toman en el campo, de forma directa, mediante el empleo de la brújula de geólogo. Generalmente el desarrollo de los elementos no es perfecto como ocurre por ejemplo con las diaclasas. Cuando el elemento a medir es un plano, el ángulo de inclinación recibe en geología el nombre de buzamiento (dip), mientras que cuando se trata de una recta la inclinación recibe el nombre de inmersión (plunge).

Para la determinación de los juegos de diaclasas o discontinuidades que afectan a un macizo rocoso suelen elaborarse diagramas pi de los planos de discontinuidad. Cuando la dispersión es muy pequeña, fácilmente podemos determinar los juegos que afectan al macizo situándonos sobre la zona de máxima densidad de puntos. Sin embargo, esto no siempre es así, ya que generalmente la dispersión es grande, debiendo recurrir a métodos estadísticos que nos permitan establecer las zonas de máxima concentración de polos.

Preparado el diagrama de polos se procede a contar su densidad. Tras el recuento estaremos en condiciones de trazar las curvas de distribución que nos mostrarán los lugares geométricos donde el número de polos es el mismo, obteniendo así el diagrama de densidad de polos, y estableciendo el polo de las familias de diaclasas en los puntos de máxima concentración de polos.

1.9.4.- ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS

Una vez estudiado el tipo de macizo debemos de estimar el tipo de rotura que puede producirse en taludes, emboquilles, galerías y cámaras (es el último paso de las clasificaciones RMR y SMR) y proceder a un estudio cinemática de las mismas. El estudio geotécnico de la estabilidad de un macizo rocoso fracturado se compone de tres etapas o consideraciones; todo ello ligado al concepto de que un macizo rocoso está formado por una matriz y una red de fracturación más o menos intensa.

0.- Definición de un criterio de rotura

1.- Parámetros de la matriz rocosa

2.- Estudio de la resistencia de las discontinuidades

3.- Ensamblado de las dos partes anteriores y estudio del “macizo rocoso” como una suma de matriz + discontinuidades.

CRITERIOS DE ROTURA PARA EL MACIZO ROCOSO

CRITERIO DE MOHR - COULOMB

En criterio de rotura de MOHR – COULOMB establece que la rotura de la roca se producirá cuando la tensión de corte τ en el plano de rotura, alcance un determinado valor que depende de la tensión normal σ_n que actúa sobre dicho plano.

Para definir si un macizo rocoso está sometido a tensiones superiores a las de rotura, es necesario definir dos zonas en un sistema cartesiano, en la que el eje de abscisas representa las tensiones normales y el eje de ordenadas las tensiones cortantes (τ) (ATIENZA I., 1999). De esta forma tendremos según este criterio una línea recta (criterio lineal) que separará una zona en la que los pares τ - σ_n corresponden a una situación “estable”, otra zona representará los estados imposibles y la línea corresponderá a los estados en la rotura.

Conocido el valor de las tensiones principales en un determinado ensayo, podemos determinar el círculo de Mohr correspondiente. Precisamente para determinar esta línea realizamos ensayos que nos permitan obtener los valores de las tensiones principales máxima y mínima en la rotura (pares σ_1 - σ_3). Cada círculo de Mohr obtenido de este modo representa el estado tensional en la rotura. La envolvente de todos los círculos de Mohr es una curva de tipo

parabólico, sin embargo en el criterio de Mohr Coulomb la asimilamos a una recta tangente a los círculos. La ecuación de esta recta tangente es:

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$$

Siendo:

τ la tensión de corte en el plano de rotura

σ_n la tensión normal a dicho plano

φ es el ángulo de rozamiento interno de la roca, en la recta la $\operatorname{tg}\varphi$ representa la pendiente de la recta

C es la cohesión de la roca, que corresponde a la ordenada en el origen de la recta

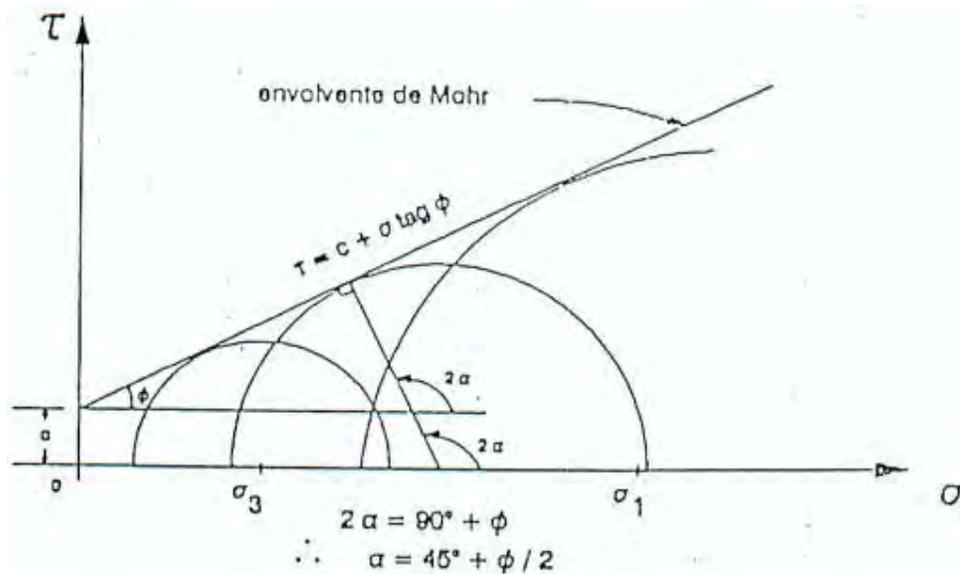


Figura 32: Envolvente del criterio lineal de Mohr – Coulomb.

El ángulo α , también denominado en ocasiones β es el ángulo que forma el plano de rotura con la dirección principal mayor.

El criterio de rotura también puede expresarse en función de las tensiones principales de la forma:

$$\sigma_1 = \sigma_c + N_\varphi \sigma_3$$

Siendo:

σ_c la resistencia a compresión simple

N_φ el coeficiente de empuje pasivo $N_\varphi = 1 + \frac{\sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$

Si hacemos $\sigma_3 = 0$ obtenemos dos planos de rotura:

Plano $\theta = 45^\circ + (\varphi/2) \rightarrow \sigma_1 = \sigma_c = 2C \cos \varphi / (1 - \sin \varphi)$ que es la res. a comp. Simple

Plano $\theta = 45^\circ - (\varphi/2) \rightarrow \sigma_1 = \sigma_t = 2C \cos \varphi / (1 + \sin \varphi)$ que es la res. a tracción

CRITERIO DE HOEK – BROWN

Empíricamente se ha demostrado que la envolvente de rotura se asemeja más a una curva que a una recta. El criterio de rotura más empleado en la actualidad es el de Hoek y Brown, de tipo parabólico. Era frecuente que los programas de cálculo emplearan el criterio de Mohr Coulomb, definido en términos de C y ϕ . En estos momentos los programas más importantes de mecánica de rocas emplean el criterio de Hoek y Brown. Han existido varias versiones y actualizaciones del mismo, estando “vigente” en la actualidad la versión de 2002.

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 aplicables 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.

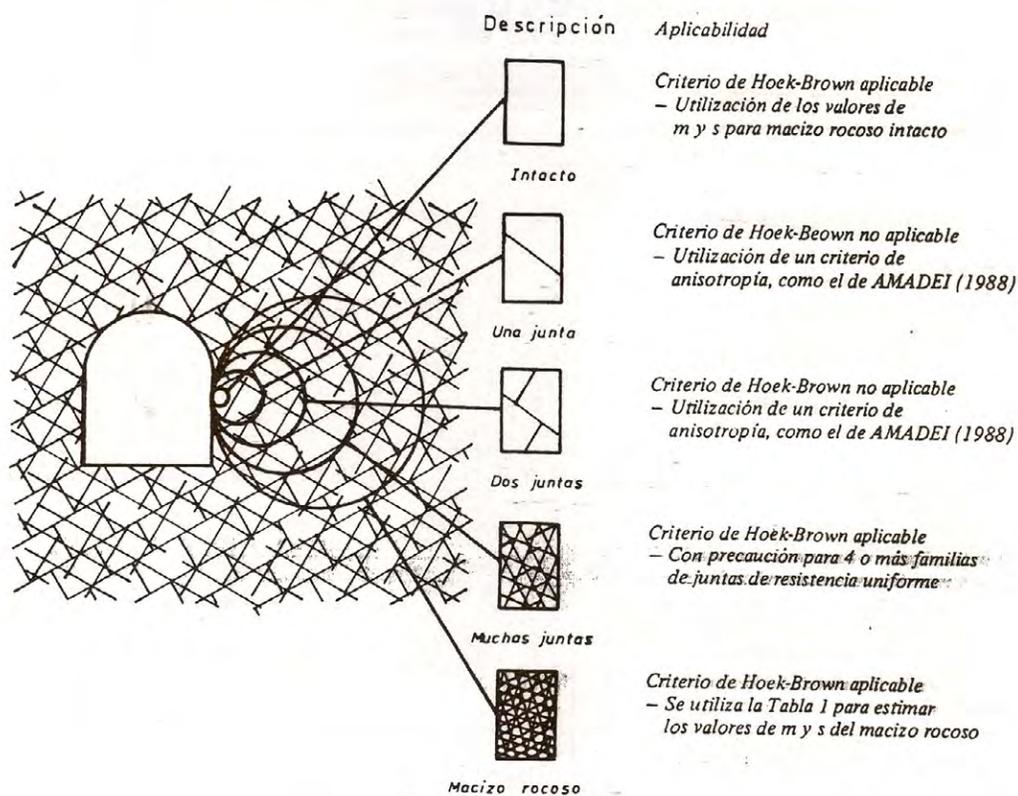


Figura 33: Aplicabilidad del criterio de HOEK y BROWN, (IGME 1991).

Bajo estas líneas incluimos la más reciente actualización de la formulación del criterio y su aplicabilidad, tomado de HOEK (2007) "Practical Rock Engineering".

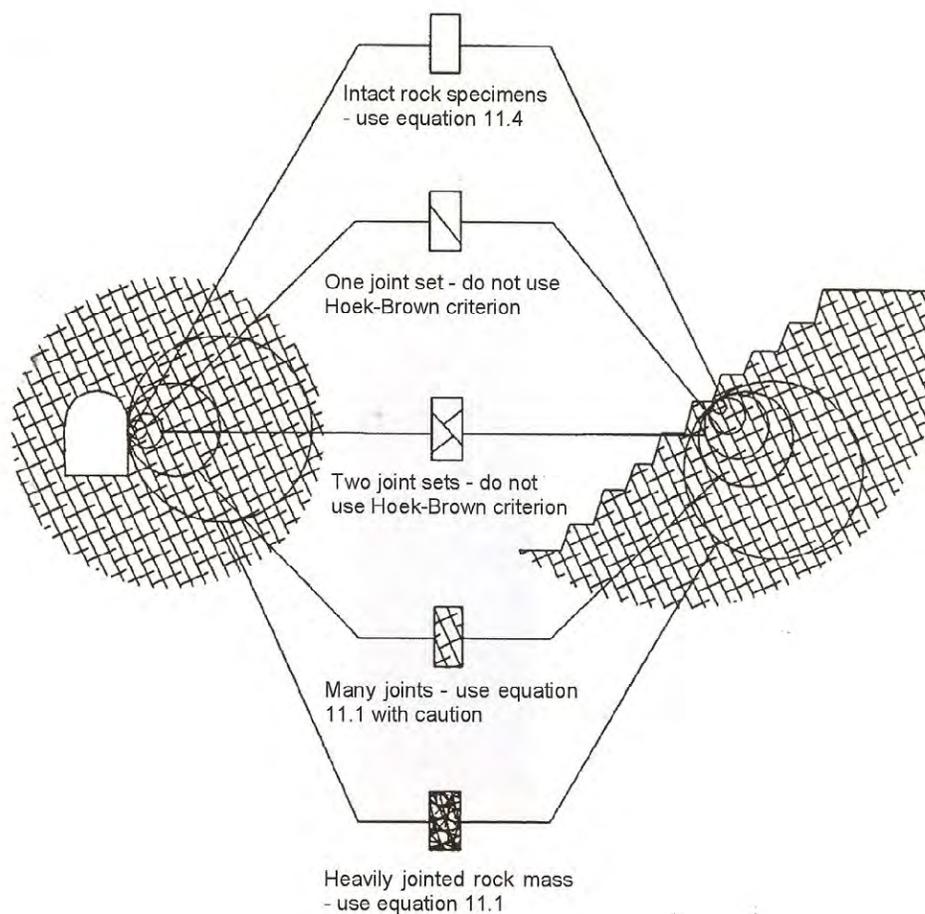


Figura 34: Efecto de escala y aplicabilidad del criterio de Hoek – Brown.

Fuente: Rocscience.

Es importante tener en cuenta el efecto de escala, donde, para un determinado “tamaño o ventana” de observación podemos tener 2 familias de juntas, pero 4 o más si estamos en un rango de observación mayor.

La que denomina ecuación 11.1 (del libro “Practical Rock Engineering”) es la ecuación del criterio generalizado de HOEK y BROWN (2002), donde el exponente es “a”.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

En el caso de roca "intacta" aplicamos la misma formula, lo que sucede es que queda simplificada al valer "a = 0.5" quedándonos con el criterio de 1980. S además vale 1 y m_b o "m del macizo" pasa a ser m_i.

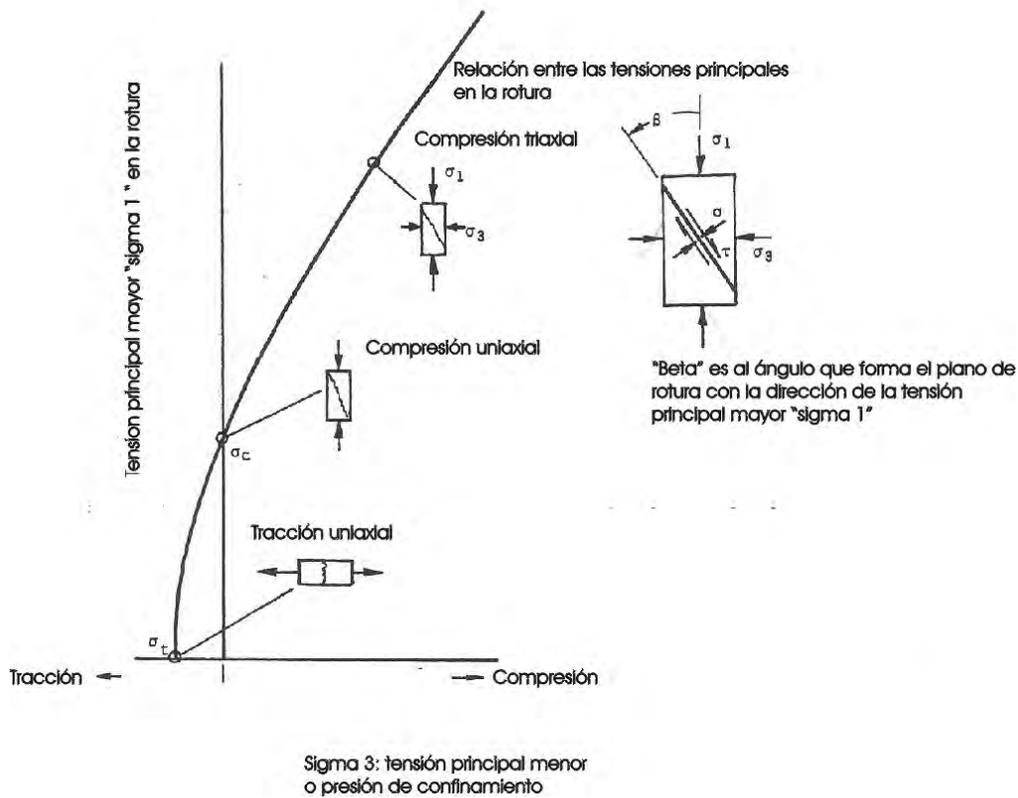


Figura 35: El criterio de Hoek y Brown referido a las tensiones principales mayor y menor (Modificado de HOEK y BROWN, 1980) en el caso de roca intacta.

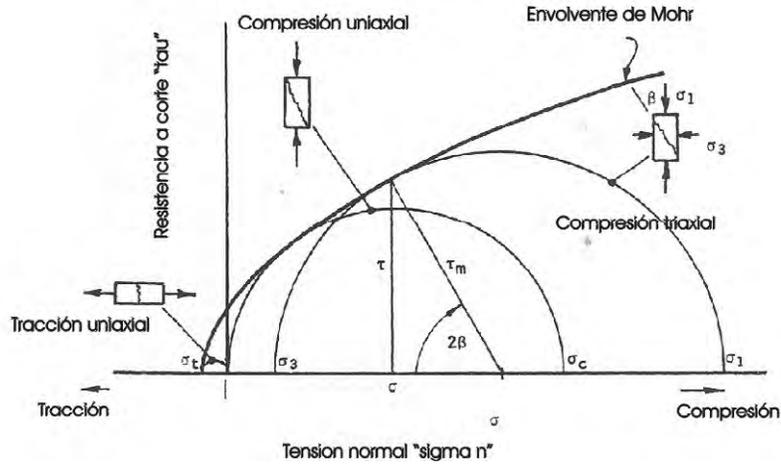


Figura 36: También es posible referirlo a la tensión cortante y a la tensión normal en el plano de rotura (también para roca intacta, HOEK y BROWN 1980)

El criterio Generalizado de HOEK y BROWN (2002) es de tipo no lineal y relaciona las tensiones efectivas mayor y menor mediante la ecuación:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

σ_1' y σ_3' son respectivamente las tensiones principales mayor y menor (axial y confinante en un ensayo triaxial).

σ_{ci} es la resistencia a compresión simple (RCS) de la roca intacta o matriz. Es la denominada Uniaxial Compressive Strength (UCS).

m_b es un factor reductor para la masa rocosa de la constante m_i (de la roca intacta).

S y a son constantes que dependen de las características del macizo rocoso.

Este criterio se definió para ensayos triaxiales, sin embargo en la práctica y en determinadas etapas de proyecto no es factible realizar este tipo de ensayos o incluso la escala de los mismos puede no resultar significativa. Por ello desde los comienzos se busco estimar estos parámetros en función de características geomecánicas del macizo rocoso. En un principio HOEK y BROWN recomendaban estimarlo a partir de la clasificación de BIENIAWSKI (RMR), en la actualidad los parámetros se estiman:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Donde:

GSI es el “Geological Strength Index, que actualmente se estima mediante una tablas. Anteriormente se correlacionaba con el índice RMR

m_i es una constante del material o roca intacta. Se estima a partir de tablas

D es el denominado factor de “alteración” (Disturbance factor) y no existía en las primeras versiones del criterio. Depende del grado de alteración del macizo rocoso provocado por la excavación, la voladura o la relajación de tensiones. Varía entre 0 para macizos in situ sin alterar y 1 para macizos muy alterados. Conviene no confundir esta alteración con la propia “meteorización” que no tiene nada que ver. Se recomienda estimarlo comparando con unos cuadros modelo para excavaciones a cielo abierto y de interior

	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>	<p><i>D</i> = 0</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>	<p><i>D</i> = 0</p> <p><i>D</i> = 0.5 No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p><i>D</i> = 0.8</p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p><i>D</i> = 0.7 Good blasting</p> <p><i>D</i> = 1.0 Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p><i>D</i> = 1.0 Production blasting</p> <p><i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation</p>

Figura 37: Estimación del factor de alteración (“disturbance”) *D*.

Criterio original de 1980:

Se puede escribir de varias formas:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m\sigma_{ci} + s\sigma_{ci}^2)^{0.5} = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m\sigma_3/\sigma_{ci} + s)^{0.5}$$

El criterio de Hoek y Brown para la matriz rocosa (macizo sano y sin fracturar) es una particularización del criterio general para macizos rocosos de 1980:

Particularizando para la matriz: se obtiene: $\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i \sigma_c \sigma_3 + \sigma_c^2)^{0.5}$

Puesto que: $m = m_i$ y $s = 1$ (roca intacta)

En 1994 el criterio se actualiza estableciéndose un exponente a

En 1988 se recomendaba estimar los parámetros m_i y s a partir del RMR de la forma:

Para macizos rososos alterados:

$$\frac{m}{m_i} = e^{\frac{\text{RMR} - 100}{14}}$$

$$S = e^{\frac{\text{RMR} - 100}{6}}$$

Para macizos no alterados considera:

$$\frac{m}{m_i} = e^{\frac{\text{RMR} - 100}{28}}$$

$$S = e^{\frac{\text{RMR} - 100}{9}}$$

En 1994 los parámetros m y s pasaron a estimarse a partir del índice GSI. Nosotros vamos a estimar el GSI a partir del RMR y los parámetros m y s mediante la formulación de HOEK que figura directamente incluida en el programa de Rocdata (formulación de 2002)

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89, \text{básico, seco}} - 5$$

Obtención de la curva de rotura mediante estimaciones

Para realizar una primera estimación del criterio de rotura es muy práctico emplear una herramienta informática como es el programa Rocdata de la casa Rocscience. Proporciona una serie de menús desplegables donde escoger los parámetros de entrada del criterio.

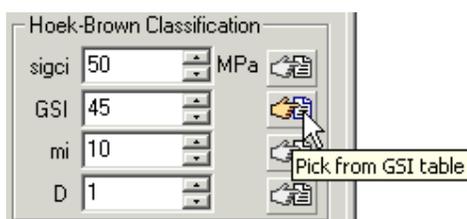


Figura 38: submenú para introducir los parámetros de “entrada” para el criterio de Hoek – Brown.

El primer parámetro a introducir es la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa. Dado el tipo de investigación que llevamos a cabo este parámetro lo habremos estimado a partir de los golpes del martillo de geólogo o en el mejor de los casos del esclerómetro.

El parámetro GSI se recomienda en esta versión obtener directamente de unas tablas. En general nosotros seguiremos estimando el GSI a partir del RMR, Una vez obtenido el GSI compararemos con la tabla recomendada. Un caso aparte y que no trataremos aquí son los terrenos tipo flysh que llevan un estudio diferente

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type: <input type="text" value="General"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="50"/> <input type="button" value="OK"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80				
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		70			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		60			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			50		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			40		
					30	
						20
						10
		N/A	N/A			

Figura 39: Clasificación GSI.

El parámetro m_i presenta un menú desplegable donde aparecen todos los valores recomendados para los diferentes tipos de roca. Es posible realizar un filtrado y buscar la roca deseada en función de si es ígnea/ metamórfica o sedimentaria.

Parámetros de salida

El programa calcula la curva, la cual puede ser presentada en función de las tensiones principales mayor y menor o tensión cortante / tensión normal

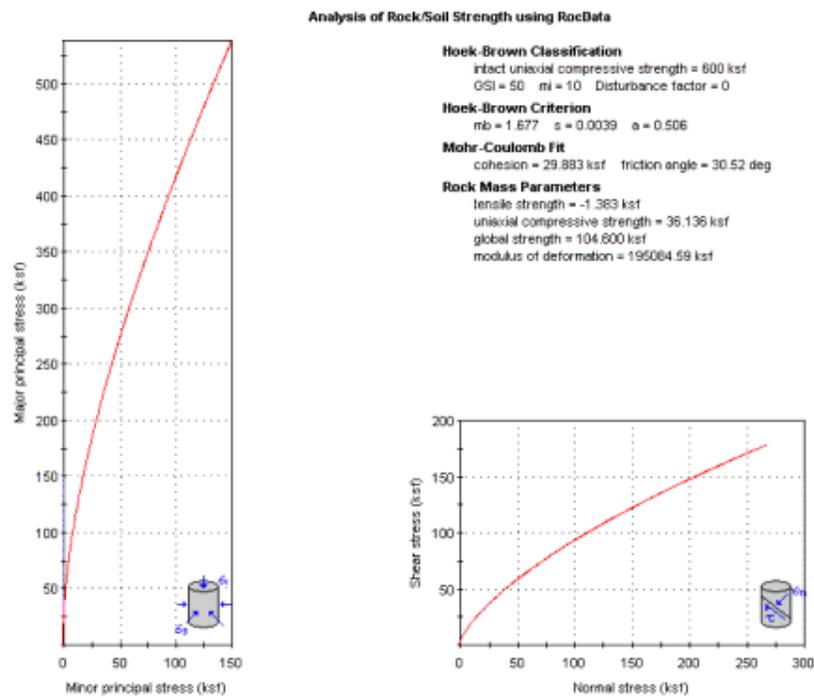


Figura 40: Representación de la envolvente de rotura de Hoek y Brown en tensiones principales y tensiones tangentes – normales.

Con estos parámetros de entrada el programa calcula mb, s, a, formula la ecuación general y traza la curva.

The image shows a software interface for the Hoek-Brown Classification and Criterion. It consists of two main sections:

- Hoek-Brown Classification:** This section contains four input fields with numerical values and units:
 - sigci: 30 MPa
 - GSI: 50
 - mi: 10
 - D: 0
- Hoek-Brown Criterion:** This section contains three input fields with numerical values:
 - mb: 1.677
 - s: 0.0039
 - a: 0.506

Below the input fields, the Hoek-Brown failure criterion equation is displayed:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Figura 41: Parámetros de “salida” del programa Rocdata.

De la curva podemos obtener:

σ_t resistencia a tracción del macizo rocoso

$\sigma_{c\ mass}$ o directamente σ_c : La resistencia a compresión del macizo rocoso. La rotura se inicia en el contorno de la excavación cuando los esfuerzos introducidos en dicho contorno exceden del valor σ_c (HOEK, CARRANZA TORRES, CORKUM, 2002).

σ_{mass} : Resistencia global del macizo rocoso (practico por ejemplo en el calculo de pilares). Hay ocasiones en las que es útil conocer el comportamiento global del macizo rocoso mas que el proceso detallado de propagación de rotura descrito anteriormente. Por ejemplo cuando se considera la rotura de un pilar (HOEK, CARRANZA TORRES, CORKUM, 2002).

E_{mass} o E_m ó E_{GSI} : Módulo de deformación del macizo rocoso

Y para un estado de tensiones estima los parámetros equivalentes de Mohr Coulomb.

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA

Antes de la toma de datos de campo conviene conocer la litología que podemos encontrarnos y tener unas nociones aproximadas de órdenes de magnitud de los parámetros a estudiar. En primer lugar, se realiza una recopilación de datos bibliográficos relativos a las propiedades geotécnicas del encajante. Estos valores sirven tan solo como orientación inicial. Después se considera importante tratar de obtener valores más ajustados en el interior de la mina.

Dada la dificultad de realización de reconocimientos en ella, en esta tesis se aplicó una metodología de caracterización basada en el esclerómetro y martillo de geólogo, (aparatos portátiles de reducidas dimensiones) que pueden transportarse al interior de la cavidad. A partir de los datos esclerométricos y los recopilados en la bibliografía, se establecen unos parámetros geotécnicos para la matriz rocosa de la mina.

RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Algunos de ellos se pueden obtener fácilmente de programas específicos como ROCDATA, de la casa Rocscience. Interesa obtener en un principio:

- Densidad.
- Resistencia a compresión (normalmente uniaxial, más fácilmente correlacionable con los resultados del esclerómetro y martillo de geólogo, σ_c).
- Modulo de deformación, E.
- Coeficiente de POISSON, ν .
- Parámetro “ m_i ” (del criterio de HOEK y BROWN).

VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS

Ya se ha descrito la metodología del esclerómetro, una vez obtenido el valor de rebote, se pueden obtener diversos parámetros a partir de correlaciones, y no sólo la resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa.

Aplicando el criterio de rotura de Hoek y Brown, puede obtenerse la resistencia a tracción de la roca, empleando para ello el valor de resistencia a compresión obtenido, y el parámetro m_i de la matriz rocosa:

$$\sigma_T = 0,5 \sigma_C [(m_i^2 + 4)^{0,5} - m_i]$$

A partir de los valores del índice esclerométrico $R(N)$, pueden obtenerse una serie de parámetros geotécnicos, a partir de diversas correlaciones:

PARÁMETRO	ECUACIÓN	AUTOR
Módulo Elástico E (GPa)	$E = 0,6005 \rho R(L) - 2,0276$	DEERE et alii. (1966)
Velocidad Ondas Sísmicas Primarias V_p (km/s)	$V_p = 0,11 R(N) - 4,41$	KAHRAMAN (2001)
Porosidad n (%)	$R(L) = 56,08 - 5 n$	ERDOGAN et al. (2004)

Tabla 24: Parámetros geotécnicos bibliográficos para la matriz rocosa

El índice esclerométrico R(L) empleado en alguna de las ecuaciones anteriores, corresponde a un Martillo de Schmidt Tipo L. Para obtener este índice a partir de R(N), que es el que se ha empleado en el estudio, se utiliza la siguiente ecuación (AYDAY et alii, 1992):

$$R(N) = 7,124 + 1,249 R(L)$$

Así se pueden corregir algunos valores obtenidos de la bibliografía

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA

A partir de los datos bibliográficos y de los deducidos a partir de las mediciones esclerométricas, se debe de elaborar una tabla con los parámetros geotécnicos recomendados para la matriz rocosa.

Parámetro	Valor Medio	Procedencia dato
Densidad	γ en kg/m ³	Bibliografía
Resistencia a compresión simple	σ_c en MPa	Mediciones esclerométricas
Resistencia a tracción	σ_T en MPa	Correlaciones
Módulo de deformación	E_{lab} en GPa	Mediciones esclerométricas
Coefficiente de Poisson	ν	Bibliografía
Parámetro m_i	m_i	Bibliografía

Tabla 25: Parámetros finales de la matriz rocosa.

Respecto a la densidad, normalmente en este tipo de investigaciones preliminares se obtienen de la bibliografía, y no resulta rentable en tiempo y dinero acudir a ensayos de laboratorio. Podríamos también hacer determinaciones rápidas basándonos en el principio de Arquímedes, a partir de bloques de campo y con lo que se obtiene la densidad aparente o húmeda. La resistencia a compresión simple se obtiene, a ser posible, del esclerómetro y se debe de cotejar con el de partida de la bibliografía.

La resistencia a tracción se ha obtenido a partir del criterio de rotura de Hoek y Brown (programa ROCDATA). El módulo de deformación elegido puede ser el obtenido por correlación a partir de determinaciones esclerométricas, o el de la media bibliográfica. Para el coeficiente de Poisson se ha optado por la bibliografía. Finalmente, el m_i se ha tomado de la bibliografía o de las interfases- ficheros del programa ROCDATA.

FRACTURACIÓN

FAMILIAS DE FRACTURAS

Se realiza un registro sistemático de fracturas aflorantes (también llamadas juntas) a lo largo de las galerías, taludes y emboquilles. Después se realiza un censado en proyección estereográfica con ayuda de un programa comercial. El censado consiste en representar los polos de las discontinuidades sobre una red estereográfica ecuatorial. Estos polos quedarán agrupados en determinadas zonas del estereograma, constituyendo familias; el criterio aplicado en este estudio considera como familia a toda agrupación constituida por un número mínimo de polos que suponga al menos un 5 % del total y cuya dispersión, tanto en rumbo como en buzamiento, sea menor de 50°.

Una vez seleccionadas las agrupaciones que consideraremos como familias, se buscará el polo medio de cada una de ellas con objeto de reducir cada familia a un solo plano que sea representativo de ella. Este proceso se realizará con el programa informático comercial DIPS, desarrollado por el Rock Engineering Group de la Universidad de Toronto (Canadá), bajo la dirección del profesor Evert Hoek.

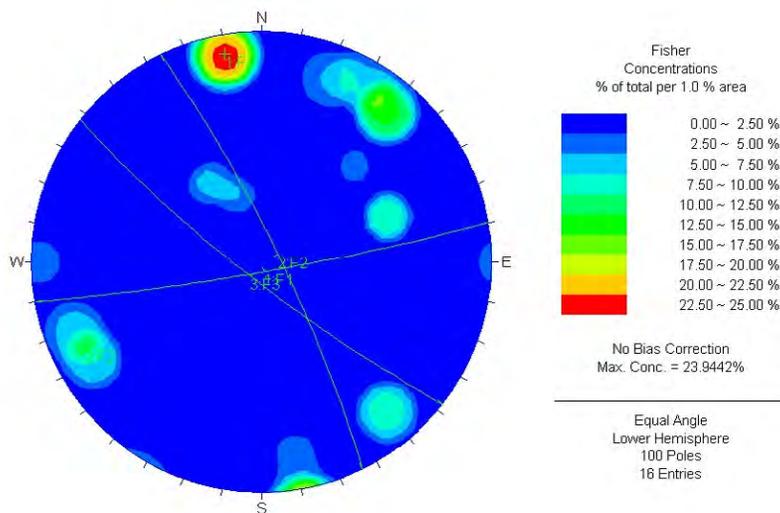


Figura 41: Diagrama de polos.

Sobre estas líneas se incluye un modelo del estereograma de censado. En él se aprecia que hay al menos cinco zonas en las que la densidad del censado supera un porcentaje del 5 % del total de las fracturas, que serán las que se considerarán familias principales de fracturas del macizo rocoso de la mina.

RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

El R.Q.D es un parámetro que resume muy bien la fracturación general de la roca. De acuerdo a la definición original de su autor (DEERE, 1966), es el porcentaje de testigos de sondeo que superan los 10 cm de longitud, sin tener en cuenta las roturas frescas del testigo en el proceso de perforación. En función de este valor, se clasifica la calidad de la roca, de acuerdo a su nivel de fracturación:

RQD (%)	ROCA
100 – 90	Excelente
90 – 75	Buena
75 – 50	Media
50 – 25	Mala
< 25	Muy Mala

Tabla 26: Índice RQD

El modo de obtención del RQD ya ha sido definido, para el caso cuando no se dispone de sondeos, como es el que nos ocupa.

PERSISTENCIA O ESPACIADO

Se refiere a la separación entre juntas de una misma familia, medidas en perpendicular.

PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN

Para realizar cálculos de estabilidad en macizos rocosos fracturados, es necesario disponer de parámetros que permitan estimar la resistencia al corte de las fracturas. Asumiendo una relación lineal para la resistencia al corte, del tipo:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi$$

En esta ecuación, debida a MOHR-COULOMB, τ y σ son respectivamente la tensión cortante y la tensión normal, será necesario determinar las constantes resistivas c y ϕ , denominadas cohesión y fricción, características de cada terreno o junta.

El tipo de fractura más común observado en las minas metálicas de la Sierra es el denominado “Juntas rugosas sin relleno”. En este caso la cohesión y

fricción pueden mostrar dos tipos de valores, denominados “*de pico*” y “*residuales*” siendo los primeros mayores que los segundos. Los de pico se movilizan con desplazamientos cortantes muy pequeños, y corresponden a la resistencia a la rotura de las rugosidades de la junta. Los residuales se movilizan tras superarse esta rotura, con desplazamientos cortantes mayores (del orden del 1% de la longitud total de la discontinuidad).

Para asignar valores de pico o residuales a la cohesión y fricción de una junta, habrá que observar en campo si las juntas del macizo muestran indicios de haber sufrido movimiento (p.ej. estrías), en cuyo caso los parámetros serán los residuales, y de lo contrario los de pico.

En los casos estudiados, no se han observado desplazamientos cortantes en las fracturas, por lo que se considera que los parámetros que operan son los de pico. La cohesión de pico se obtiene a partir de datos bibliográficos. En nuestra investigación hemos considerado despreciable el término de cohesión de las juntas.

Para estimar la fricción de pico se aplicará la conocida ecuación de CHOUBEY & BARTON (1974), que estima este parámetro a partir de la rugosidad y resistencia estimadas para la junta en campo:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r$$

Donde:

ϕ_p : fricción de pico.

σ_n : tensión efectiva normal.

JRC_n: coeficiente de rugosidad de la discontinuidad.

JCS_n: resistencia a compresión simple de los labios de la junta.

ϕ_r : ángulo residual de fricción.

La tensión efectiva normal puede estimarse como el peso de la columna litostática que descansa sobre la fractura en el interior de la mina o en el talud. Se obtiene a partir del peso específico (γ) y la profundidad Z de la junta, se obtendrá una tensión:

$$\sigma_n = \gamma Z = \rho \cdot g \cdot Z = \text{en Pa (N/m}^2\text{)}$$

El coeficiente de rugosidad JRC se estima a partir de unos perfiles normalizados, que se incluyen en la tabla adjunta. Para asignar el valor adecuado, se compara el perfil de la fractura, por tramos de 10 cm, con los incluidos en el presente gráfico.

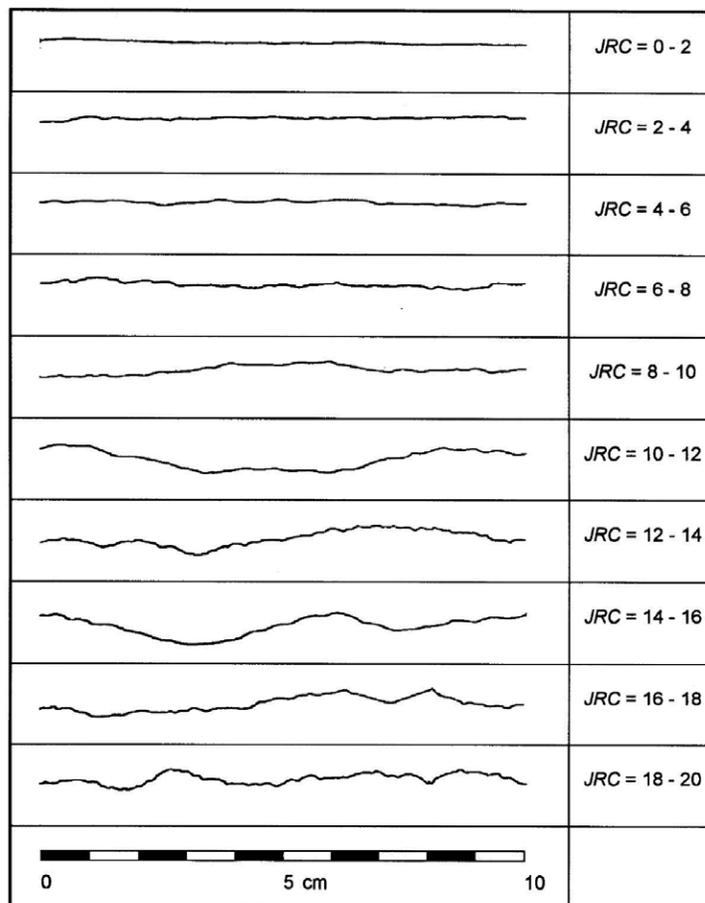


Figura 42: Perfiles normalizados para la obtención del JRC.

De acuerdo a este procedimiento, se ha obtenido para la juntas observadas, un valor estimado en JRC que corresponde a un perfil de 10 cm, y no es el JRC_n que se requiere en la formulación, pues la rugosidad se ve afectada por el conocido “efecto escala”. Para obtener JRC_n se aplicará la fórmula de Bandis:

$$JRC_n = JRC_0 (L_n / 0,1)^{-0,02 JRC_0}$$

Donde:

JRC_0 = rugosidad estimada en los perfiles normalizados

L_n = persistencia de las fracturas observadas (m) y que hemos estimado como media en los estadillos geomecánicos (p.e RMR)

Para el caso de la resistencia a compresión simple de los labios de la junta JCS_n , se realizaron medidas esclerométricas sobre ellas, obteniéndose un histograma y un valor característico, A partir de allí se obtiene un valor JCS con el grafico Rebote R - Resistencia (JCS).

Al igual que sucedía con la rugosidad, es necesario corregir este valor por efecto escala, aplicando la formulación de Bandis:

$$JCS_n = JCS_0 (L_n / 0,1)^{-0,03 JCS_0}$$

Se aplicará en los mismos supuestos de persistencia que en el caso de la rugosidad, esto es L_n .

Todo ello es válido para $JCS/\sigma_n < 50$

En caso de que $JCS/\sigma_n > 50$ La formulación de Barton y Choubey da ángulos de rozamiento muy altos para compresiones my bajas. En ese caso debe de tomarse un ángulo de rozamiento constante e independiente de la carga según la fórmula:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} (1,7 JRC + \varphi_r) \leq \sigma_n \operatorname{tg} (70^\circ)$$

El valor de la fricción residual ϕ_r puede obtenerse de la bibliografía. En caso de rangos de valores, de acuerdo a BARTON (1977), los valores más bajos para las juntas más húmedas y los más altos para las juntas más secas. De este modo, finalmente, el valor estimado de la fricción de pico, para la junta de mayor persistencia será:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r$$

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO

En los apartados anteriores se ha caracterizado la matriz rocosa y las fracturas de la mina. Sin embargo esto no es suficiente para determinar los parámetros que gobiernan el comportamiento conjunto del terreno, pues se debe evaluar también el comportamiento del sistema discontinuidades + matriz rocosa, que es lo que generalmente se denomina Macizo Rocoso.

Un macizo rocoso es un medio heterogéneo y discontinuo, cuyas propiedades mecánicas y resistentes no pueden ser medidas en laboratorio o mediante medidas puntuales, y deben de obtenerse “in situ” involucrando mayores volúmenes de terreno. La diferencia entre los valores que se obtienen en laboratorio o por medición puntual y los medidos “in situ” es muy apreciable. A esta diferencia se le conoce como “efecto escala”.

La justificación de la existencia de este efecto radica en la escala a la que se investiga en laboratorio o mediciones puntuales, y a la que luego se proyectan las obras de ingeniería subterránea. En laboratorio se analizan probetas que, por lo general, tienen como máximo algunas decenas de centímetros de tamaño, y que están generalmente exentas de discontinuidades y heterogeneidades.

Sin embargo, a escala de investigación de una mina, la presencia de fracturas y zonas alteradas rebaja el valor obtenido en laboratorio respecto a las propiedades del terreno. Por ello, se han desarrollado una serie de métodos empíricos, que permiten obtener los parámetros del conjunto de roca + fracturas (macizo rocoso), a partir de los valores de las clasificaciones geomecánicas. Esta metodología se va a aplicar en este estudio.

PARTICULARIZACIÓN DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS

Como se acaba de indicar para la caracterización geotécnica de los macizos rocosos de las excavaciones subterráneas, se aplican las Clasificaciones Geomecánicas. Se trata de algoritmos aritméticos que permiten asignar a cada tipo de terreno un número que expresa su calidad geotécnica. Las clasificaciones geomecánicas resultarán muy útiles para valorar los parámetros geotécnicos del macizo rocoso y eventualmente, seleccionar los sostenimientos más adecuados.

En nuestro caso se aplicará la clasificación de BENIAWSKI (1979 y 1989), a partir de la cual se obtiene el índice RMR (Rock Mass Rating) del macizo rocoso, que varía entre 0 y 100 así como la clasificación Q de BARTON.

Ya se han presentado las tablas para la obtención del RMR. Una vez obtenido el valor del RMR, se clasifica el terreno en clases geomecánicas, que expresan la calidad general del terreno. También se puede obtener el valor del índice GSI (Geological Strength Index), que se deriva del RMR. Este nuevo índice resulta de calcular el RMR de la manera convencional, asignando al agua el valor numérico 10 y no incluyendo el valor de corrección por orientación de las discontinuidades con respecto al túnel. Según otros autores, puede considerarse que $RMR \approx GSI$. A partir de los parámetros y características del terreno se obtienen los valores del RMR básico.

Para obtener el valor del RMR, es necesario realizar la corrección por orientación de las fracturas. Además con una serie de correcciones obtenemos el SMR de Romana en caso de que nos encontremos en un desmonte o emboquille. Estas puntuaciones son muy útiles en fase de proyecto o estudio previo pues ya establecen unas recomendaciones de tipo de rotura y tipo de sostenimiento.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO DE HOEK Y BROWN

El GSI se aplica en la actualidad para estimar el Módulo de Deformación del macizo rocoso, de acuerdo a la expresión (HOEK, 1995):

$$E_{GSI} (GPa) = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Donde:

σ_c = Resistencia a compresión simple de la roca intacta

E_{GSI} = Módulo de deformación del macizo obtenido a partir de GSI

Para el caso de excavaciones sin voladuras de contorno, el módulo de deformación debe ser reducido en un porcentaje que se cuantifica pre multiplicando por la expresión $(1-D/2)$, donde D es el denominado “Disturbance Factor”, que para el caso de las galerías mineras como las que nos ocupan, alcanza un valor $D = 0,7$ en el caso de exterior y de $0,8$ en el caso de interior.

Para el caso de la resistencia a compresión del macizo, se ha empleado la formulación debida a HOEK y MARINOS (2000):

$$\sigma_{mass} = (0.0034m_i^{0.8})\sigma_c \left\{ 1.029 + 0.025e^{(-0.1m_i)} \right\}^{GSI}$$

Donde:

- $\sigma_{c\text{mass}}$ = Resistencia a compresión del macizo rocoso
- σ_c = Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa
- m_i = Constante del Criterio de Rotura de HOEK Y BROWN
- GSI = Geological Strength Index del macizo rocoso del túnel

Para obtener los parámetros del macizo se emplea un programa específico denominado ROCDATA, de Rocscience. Bajo estas líneas representación de la ecuación de rotura (no lineal).

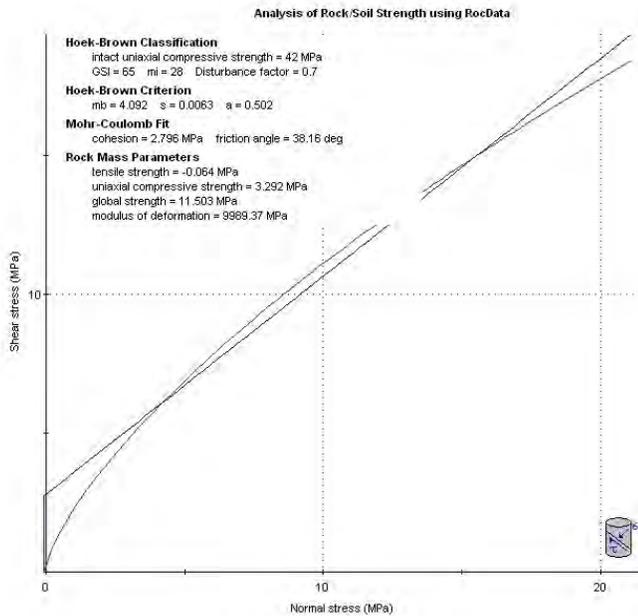


Figura 43: Curva de HOEK - BROWN y ajuste de MOHR COULOMB para obtención de c y ϕ . Para un nivel dado de tensiones.

Asumiendo que $RMR \approx GSI$, la aplicación de estas correlaciones al macizo rocoso proporcionaría un cuadro de la forma siguiente:

Litotipo	σ_c MPa	mi	GSI medio	D	E_{GSI} GPa	$\sigma_{c, mass}$ MPa

Tabla 27: parámetros del macizo rocoso según el criterio de HOEK y BROWN.

RESULTADOS PRELIMINARES

En este punto, con una clasificación geomecánica, dispondremos ya de criterios para definir el tipo o tipos de rotura que se presentarán. Además ya hemos caracterizado geotécnicamente el macizo rocoso y las juntas que intervienen. Se tendrá en cuenta que se trata en este caso de obras someras con macizos rocosos resistentes y varias familias de juntas. A partir de aquí se considerará la estabilidad de cada uno de estos bloques o cuñas y una vez definido su factor de seguridad y sus necesidades de estabilización, se extrapolará a toda la obra o a la zona en la cual se considere representativa.

1.9.5.- ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ROTURAS DE TALUDES EN ROCA

En el estudio de taludes y galerías excavados en macizos rocosos suele ser muy útil la determinación de las discontinuidades existentes para su posterior representación estereográfica junto con la representación del propio talud o galería. Observando las orientaciones de los juegos de discontinuidades y del talud puede llegarse a deducir, mediante un análisis sencillo, cuál será el tipo de rotura predominante: plana, cuña o vuelco.

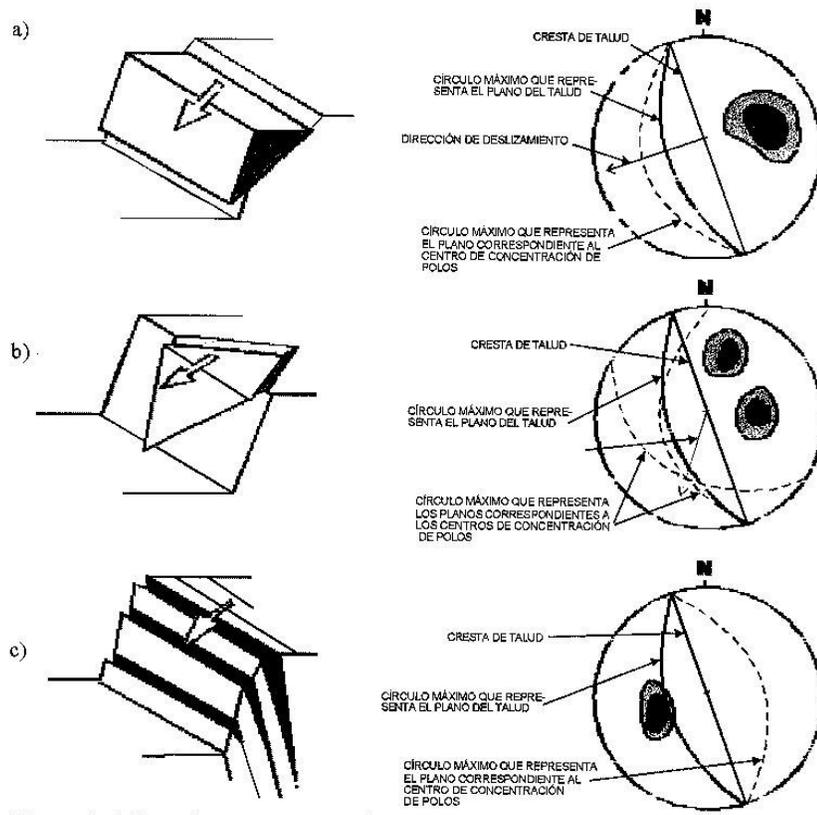


Figura 44: Representación de los tipos principales de roturas en taludes en roca y su proyección estereográfica.

Además, la proyección estereográfica del talud y de las discontinuidades existentes nos permitirá en algunos de estos casos obtener las magnitudes angulares necesarias para el cálculo del factor de seguridad del talud. Al representar ambos, se puede llegar a intuir un tipo de rotura plana siempre que exista alguna familia de discontinuidades de dirección similar al talud, pero con buzamiento menor que éste. La dirección del movimiento tras producirse la rotura será perpendicular a la dirección del talud y en el sentido del buzamiento del mismo.

En la investigación de las tesis solamente hemos estudiado roturas en cuña, en el caso del emboquille de la mina de plata de Bustarviejo (mina Indiana)

ROTURA PLANA

Se denomina rotura plana de un talud a la que se produce cuando el bloque que desliza se apoya sobre un solo plano de discontinuidad, en contraposición a la rotura en cuña en la que la masa de roca inestable fricciona sobre dos caras. Para que ocurra un deslizamiento de tipo plano deben de cumplirse las siguientes condiciones:

El plano en el que sucede el deslizamiento debe ser paralelo o casi paralelo (dentro de $\pm 20^\circ$) a la cara del talud.

El plano de rotura debe de aflorar en la cara del talud, para lo que se requiere que su buzamiento sea menor que el del talud (en la práctica se analiza dentro de la falsilla de Wulff).

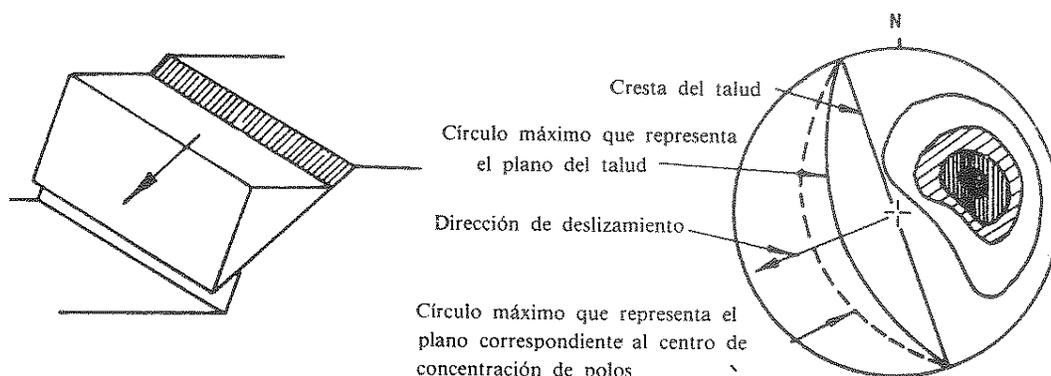


Figura 44: Deslizamiento plano.

El buzamiento del plano de rotura debe ser mayor que el ángulo de rozamiento de esta superficie. En la práctica también se establece mediante la falsilla de WULFF, la cual aporta gráficamente el coeficiente de seguridad C.S. Es necesario que la masa rocosa presente superficies con una resistencia al deslizamiento despreciable que puedan constituir los límites laterales del bloque deslizante. En el caso que nos ocupa se trata del sistema de fracturación subvertical.

ROTURA EN CUÑA

Generalmente se produce geoméricamente una cuña inestable cuando la línea de intersección de dos planos corta al plano del talud por encima de su pie. Además es un problema más complejo añadiendo los parámetros de resistencia de ambas superficies.

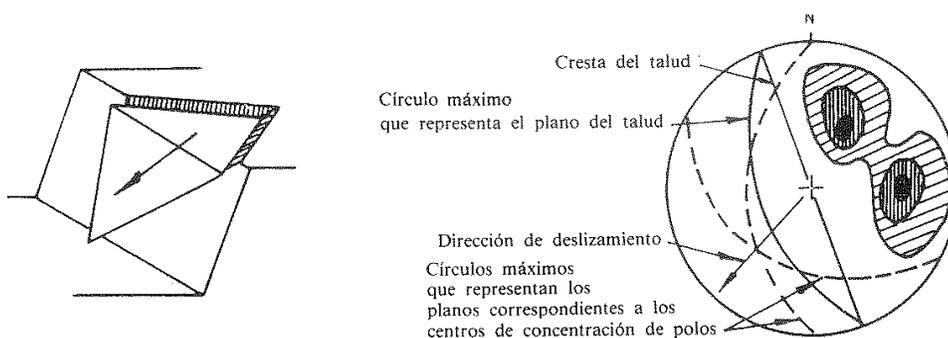


Figura 45: Deslizamiento en cuña.

Para el cálculo de estabilidad de cuñas en roca, empleamos en programa Swedge de la casa Rocscience. Se trata de un programa con una representación intuitiva y sencilla en tres dimensiones.

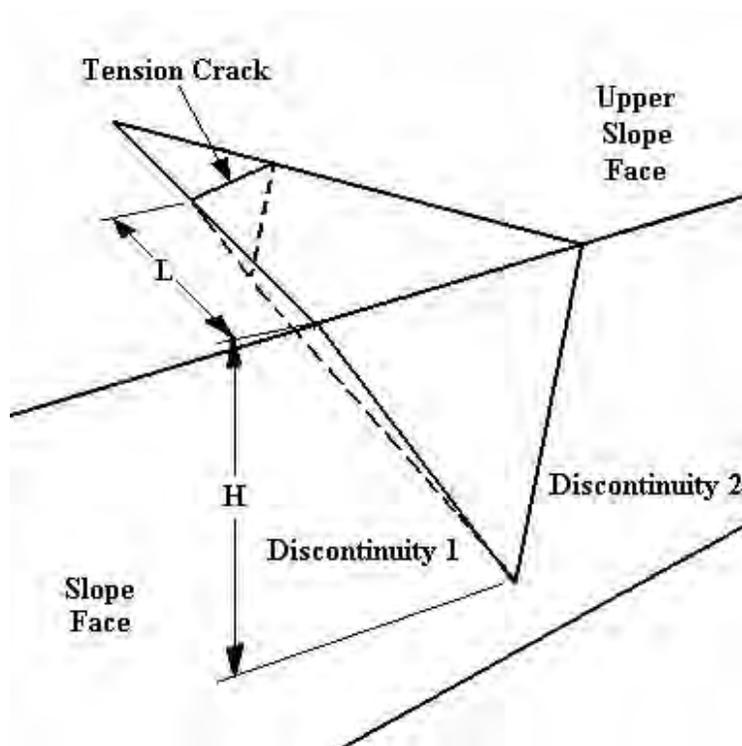


Figura 46: Geometría de una cuña inestable.

1.9.6.- INESTABILIDADES CONTROLADAS ESTRUCTURALMENTE EN TÚNELES Y GALERÍAS MINERAS

En túneles excavados en macizos rocosos fracturados a una profundidad relativamente somera, la forma más típica de inestabilidad es el de la caída de cuñas formadas en el techo o hastiales. Estas cuñas se forman por la intersección de juntas y planos de estratificación, que separan el macizo rocoso en unidades discretas. Se requiere la intersección de 3 planos con la galería para la formación de una cuña de techo y 2 familias junto con el plano de la pared de la galería para una cuña en el hastial. El proceso de rotura se inicia con la caída de una cuña y prosigue con otras cuñas hasta que se forme un arco estable natural en la roca que evita la caída de más rocas o hasta que el espacio libre se llena de material caído.

Los pasos que se requieren para estudiar el problema de cuñas en una galería son los siguientes:

- 1.- Determinación del buzamiento y dirección de buzamiento medio en una serie significativa de juntas.
- 2.- Identificación de potenciales cuñas que puedan deslizar o caer desde las paredes o la clave.
- 3.- Cálculo del factor de seguridad de cada cuña según el modo de rotura.

4.- Cálculo de la fuerza de sostenimiento o refuerzo para elevar el factor de seguridad de cada cuña a un nivel aceptable.

CALCULO DE CUÑAS DE BÓVEDA MEDIANTE ESTEREOGRAMA

A pesar de que en la tesis se emplea un programa comercial de gran desarrollo y rapidez, se procederá asimismo a calcular las cuñas de techo que caigan por su propio peso de forma manual. Un ejemplo sencillo es el de una cuña formada por tres planos que cae desde el techo de una excavación debida únicamente a su propio peso. Para que se de esta condición, el punto central del estereograma (tal y como se aprecia en la imagen inferior), y que representa a la línea vertical del peso de la cuña, debe de caer dentro del espacio formado por los tres círculos máximos que conforman la cuña.

En nuestro caso consideraremos las galerías como “cuadradas” con el techo de la misma anchura de la galería. En realidad esto no es así, puesto que la curvatura de las mismas limita el tamaño máximo de la cuña formada.

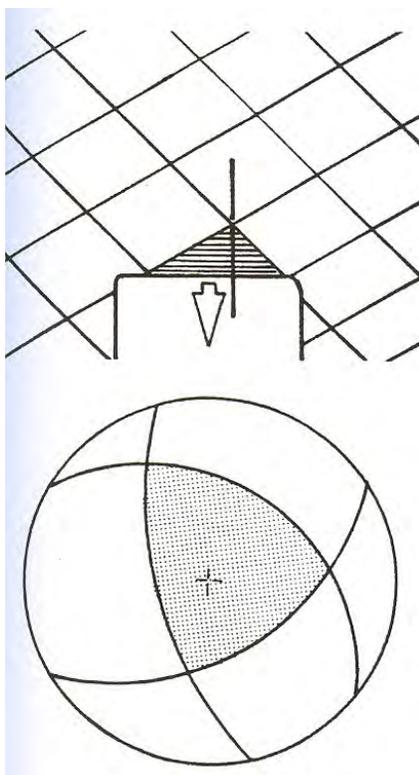


Figura 47: Caída de una cuña de bóveda por efecto de la gravedad, sin rozamiento. Nótese como el centro del estereograma queda englobado por la cuña. Tomado de HOEK y BROWN (1980).

Los tres planos de las juntas están representados por sus círculos máximos A,B,C. Las direcciones de estos planos están representadas por las líneas de letras minúsculas a,b,c. (ver siguiente figura). Siendo ab, ac, bc, las trazas de los planos verticales que pasan por el centro del estereograma y las intersecciones de los círculos máximos. Suponemos un túnel o galería con una dirección $290^\circ - 110^\circ$. Que podemos representar por una línea en el estereograma y por una construcción auxiliar con una anchura o sección xx dada en metros y con una escala conocida que nos permitirá ciertas construcciones.

Las direcciones a,b,c corresponden asimismo a la intersección de los planos con el techo del túnel, supuesto este horizontal. Estas direcciones, proyectadas sobre la sección auxiliar y acomodadas a la anchura de la galería nos pueden dar el tamaño máximo de una figura triangular correspondiente a la sección de la cuña.

En la proyección, el ápice (ápex) de la cuña se define por el punto de intersección de las líneas ab, ac y bc, proyectadas desde las esquinas de la base triangular de la cuña. La altura h del ápice de la cuña se encuentra llevando una sección que pase por él y normal al eje del túnel. Esta sección está indicada como XX en la figura. Los buzamientos aparentes de los planos C y A vienen dado por los ángulos α y β que podemos medir en el estereograma según la línea XX.

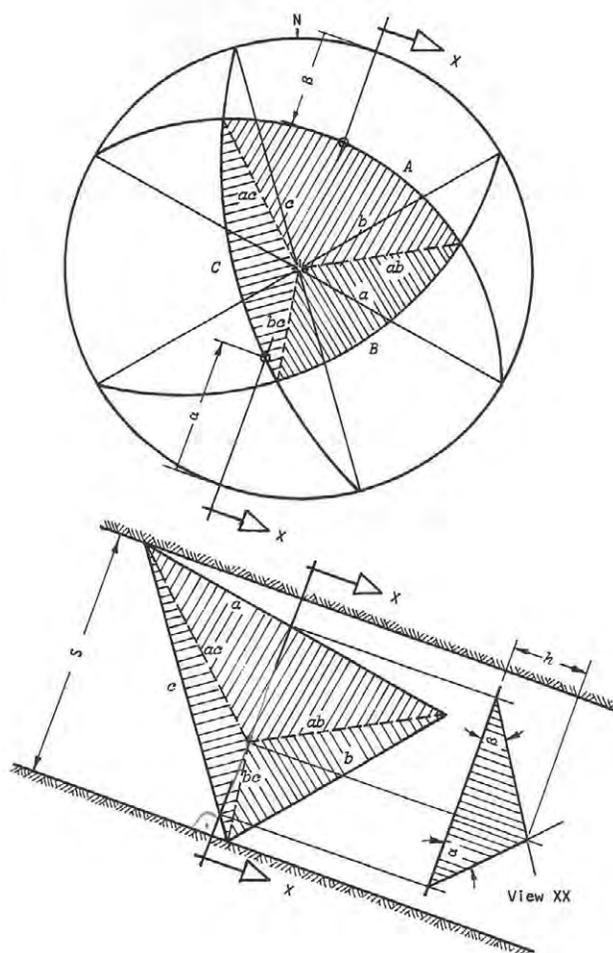


Figura 48: Estimación gráfica del volumen de una cuña de bóveda. Aplicación de estereográfica y abatimiento sobre un plano. Tomado de HOEK Y BROWN (1980).

El volumen de la cuña se obtiene mediante la fórmula $V = \frac{1}{3} * h * A$. Siendo h la altura del ápice y A el área de la base de la cuña, en este caso, su intersección con el techo de la galería y que hemos dibujado en auxiliar.

PROGRAMA UNWEDGE 3.0 (ROCSCIENCE)

Realiza las operaciones calculadas manualmente de modo automático estimando las posibles cuñas combinando las diferentes juntas existentes y las orientaciones de cámaras y galerías. Programa para el estudio de F.S. de cuñas de roca en un túnel y estimar las necesidades de sostenimientos y calcular el tratamiento a realizar.

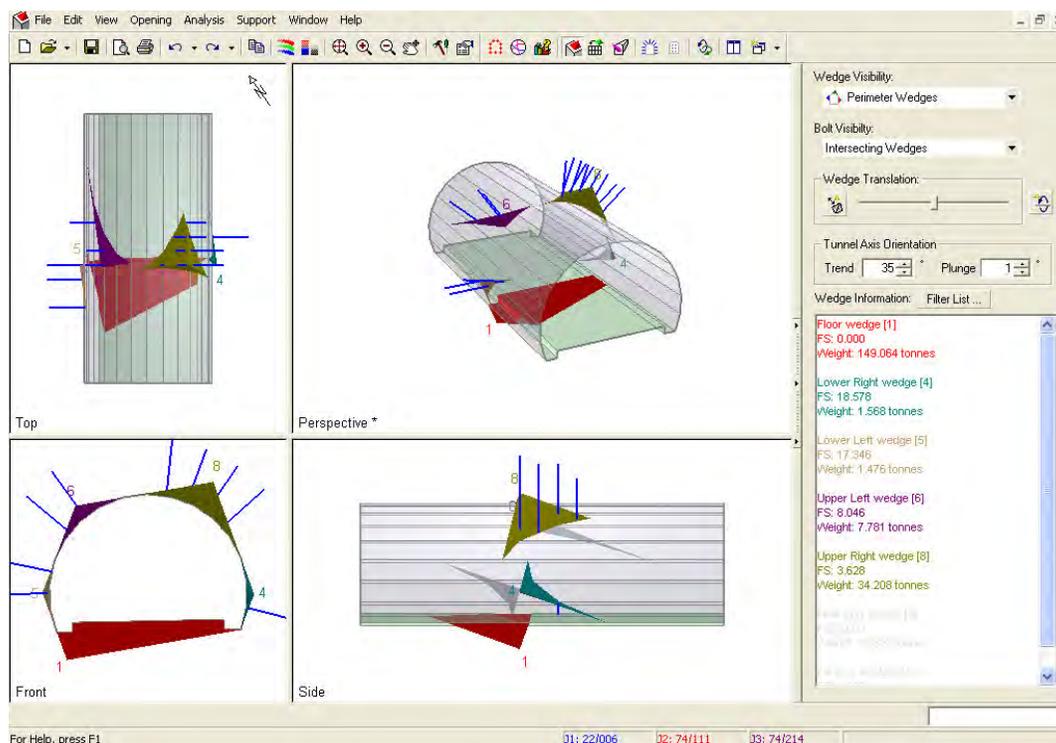


Figura 49: Estudio de estabilidad de cuñas subterráneas mediante UNWEDGE.

1.9.7.- TIPO DE SOSTENIMIENTOS Y ESTABILIDAD SEGÚN CLASIFICACIONES GEOMECAICAS

TIPO DE SOSTENIMIENTO SEGÚN ÍNDICE RMR. BENIAWSKI

La clasificación de BIENIAWSKI indica explícitamente el tipo de sostenimiento y modo de excavación a emplear según la categoría RMR, El cuadro se presenta bajo estas líneas. Este cuadro es para túneles de sección en herradura y anchura máxima de 10 m. Evidentemente esta sobredimensinado o es excesivamente conservador para secciones mineras de 2 a 5 m que es lo que encontramos en las minas de Madrid. Sin embargo, y dado que se proyecta una excavación de carácter definitivo y de uso público, parece apropiado y del lado de la seguridad, adoptar este cuadro como de aplicación generalizada en nuestro estudio.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulones	Gunita	Cerchas
I 100 - 81	Sección completa Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bulón ocasional.	No	No
II 80 - 61	Sección completa Avances de 1 - 1,5 m.	Bulonado local en clave, con longitudes de 2 - 3 m y separación de 2 - 2,5 m. eventualmente con mallazo	5 cm en clave para impermeabilización	No
III 60 - 41	Avance y destroza Avances de 1,5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente	Bulonado sistemático de 3- 4 m con separaciones de 1,5 a 2m en clave y hastiales. Mallazo en clave	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No
IV 40 - 21	Avance y destroza Avances de 1 a 1,5 . Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1 1,5 m en clave y hastiales con mallazo	10 a 15 cm en clave. Y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1,5 m cuando se requieran.
V ≤ 20	Fases múltiples. Avances de 0,5 a 1 m. Gunitar inmediatamente el frente después de cada avance	Bulonado sistemático de 5- 6 m con separaciones de 1- 1,5 m en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15 - 20 cm en clave, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance	Cerchas pesadas separadas 0,75 m con blindaje de chapas y cerradas en solera.

Tabla 28: Sostenimientos a partir del índice RMR. Túneles de sección de herradura, máxima anchura 10 m, máxima tensión vertical 250 Kp/cm² ó 25 MPa. Tomado de BENIAWSKI (1989).

METODOLOGÍA ESTIMACIÓN PRESIÓN SOSTENIMIENTOS. RMR BENIAWSKI

La carga de roca o presión sobre el sostenimiento se puede estimar mediante la expresión:

$$P = \frac{(100 - \text{RMR})}{100} * \gamma * B$$

100

Donde γ es el peso específico de la roca y B el ancho del túnel. El término $B * (100 - \text{RMR}) / 100$ hace alusión a la “altura de roca que carga sobre el túnel). La presión P vendrá en las unidades coherentes con el peso específico (MN/m² o MPa) y el ancho o vano B (en m.).

METODOLOGÍA ESTIMACIÓN PRESIÓN SOSTENIMIENTOS. ÍNDICE Q DE BARTON

Para definir el tipo de sostenimiento a partir del índice Q, se definen dos parámetros que después son introducidos en el ábaco inferior: Diámetro equivalente del túnel y ESR (Excavation support ratio).

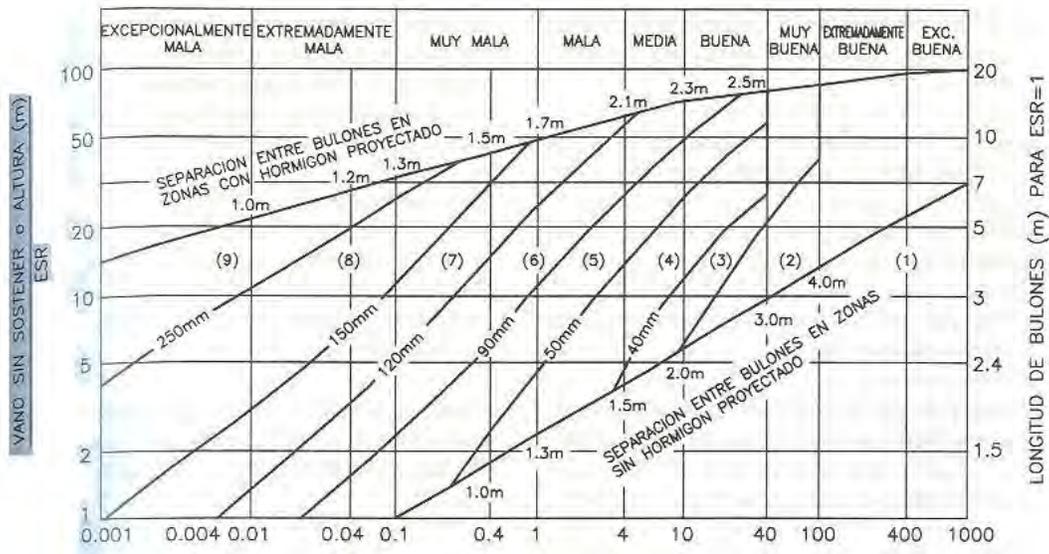


Figura 50: Determinación aproximada del sostenimiento de un túnel según GRIMSTAD Y BARTON, 1993.

De = anchura, diámetro o altura (m) / ESR.

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal	2- 5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica	1,6 – 2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2 – 1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0,9 – 1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, <i>instalaciones públicas y deportivas</i> , fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5 – 0,8

Tabla 29: Valores del índice ESR de la clasificación de BARTON (2000).

Podemos afirmar que las minas y cuevas visitables deben de enmarcarse en la categoría E.

A partir del índice Q es posible calcular: el máximo vano sin sostener (o longitud de pase), la carga de roca sobre clave y la carga de roca sobre hastiales:

$$\text{Máximo vano sin sostener} = 2 \text{ ESR} * Q^{0.4}$$

Carga de roca sobre clave (Pr).

Para macizos rocosos con menos de tres familias de discontinuidades:

$$\text{Pr} = \frac{2 * J_n^{1/2}}{3 * J_r Q^{1/3}}$$

Para macizos rocosos con tres o más familias de discontinuidades:

$$\text{Pr} = \frac{2}{J_r Q^{1/3}}$$

Carga de roca en hastiales (Ph):

$$\text{Para } Q > 10 \quad \text{Ph} = 5Q$$

Para $0,1 < Q < 10$ $Ph = 2,5 Q$

Para $Q < 0,1$ $Ph = Q$

Efectos de las tensiones elevadas. Existen varios tipos de respuesta de la roca que pueden producirse en función de las relaciones entre las tensiones que existen y la resistencia uniaxial de la roca (σ_{ci}):

-Deformación elástica con roturas de tipo frágil, que son típicas de rocas duras en túneles profundos. En este caso existen riesgos de explosión de roca (rockburst) y de lajamiento.

$\sigma_v/\sigma_{ci} = 0,1 \rightarrow$ excavación estable.

$\sigma_v/\sigma_{ci} = 0,2-0,3 \rightarrow$ riesgo de lajamiento.

$\sigma_v/\sigma_{ci} > 0,5 \rightarrow$ riesgo de explosión de rocas.

- Deformación plástica en rocas blandas, y riesgo de plastificación.

El riesgo de fluencia (squeezing) puede estimarse según la condición empírica de SING et alii (1992):

$$H > 350 Q^{1/3}$$

Siendo H la profundidad del túnel en m., y Q el índice de calidad de BARTON.

1.9.8.- ESTIMACIONES DEL ESTADO TENSIONAL.

METODOLOGÍA ESTIMACIÓN K_0 (SHEOREY)

Dado que se trata de estudios geotécnicos preliminares, vamos a realizar dos simplificaciones. La tensión vertical se supone gravitatoria, pero, incluso en el caso de que desconozcamos con precisión la densidad del material, podemos suponer que $\sigma_v = 0,027 \text{ MPa} / \text{m}$, lo que equivaldría a una presión de 1 MPa por cada 40 m. Es un valor muy cómodo ya que la mayoría de las labores que vamos a estudiar se hallan precisamente a esa profundidad.

Para estimar la tensión horizontal, determinaremos K ($\sigma_h = \sigma_v * K$) mediante la expresión de SHEOREY:

$$K = 0,25 + 7 * E_h (0,001 + (1/z))$$

Donde E_h es el módulo de elasticidad medio en dirección horizontal en GPa, y z la profundidad en metros. En nuestro caso tomaremos como E_h el valor del módulo del macizo rocoso E_{mass} o E_{gsi} obtenido de la formulación del criterio de HOEK Y BROWN.

Es frecuente que para profundidades mayores de 1000 m se igualen las tensiones vertical y horizontal, cosa que no ocurre en zonas someras.

1.9.9.- SOSTENIMENTOS

Los métodos más habituales de sostenimiento artificial en minería son:

- Bulonaje (o bulonado) y mallazo.
- Cuadros.
- Mampostas, escudos y llaves.
- Hormigón proyectado o gunita (sostenimiento primario).
- Hormigón encofrado (con vibradores).
- Rellenos consolidados.
- Sistemas especiales (inyecciones, congelación).

Además, el hecho de que en la investigación, estudiemos labores de más de 1 siglo, hace que encontremos métodos absolutamente en desuso en los últimos tiempos, como son:

Galerías revestidas de ladrillo y mampostería (mina San Marcelino).

Mampostas de madera (mina de Bustarviejo).

Cuadros de madera. Sólo los hemos encontrado de forma sistemática en la mina de la Cruz Verde. Aparecen de forma aislada, por ejemplo en las minas de Nuestro Padre Jesús.

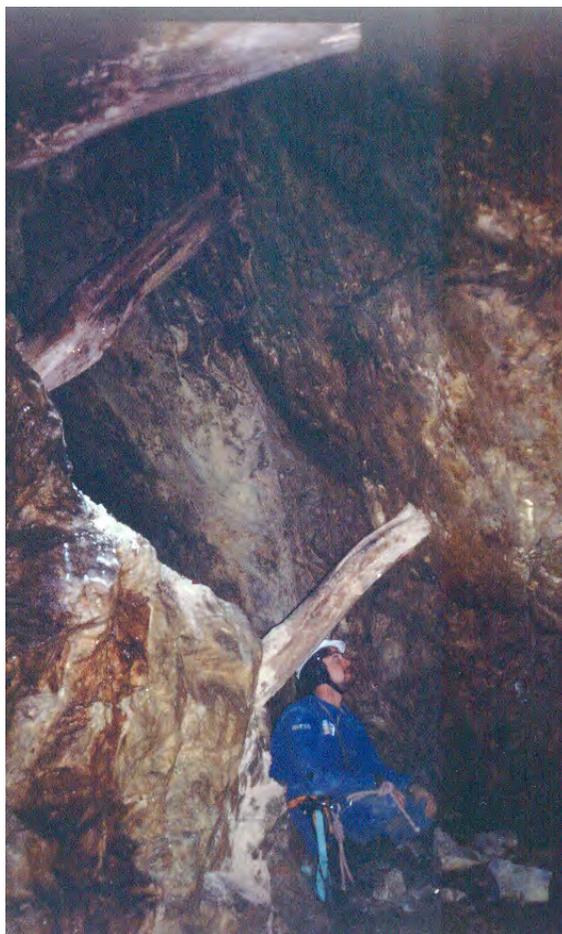


Figura 51: Mampostas de madera en la gran sala bajo el pozo Indiana de Bustarviejo.

Labores del siglo XIX.

CUADROS DE MADERA

Se trata de un método de sostenimiento⁴¹ absolutamente en desuso en la minería. En 2004 la única mina en España que sepamos empleaba únicamente la madera como sostenimiento era la mina de carbón “Concesión Grupo Solita”, de Bembibre en León, dirigida por el ingeniero de minas Luis González, de carbones Arlanza. La visita en abril de 2004 a la mina nos ha servido para conocer de primera mano el método, desde aserrado a la colocación manual de todos los cuadros.



Figura 52: Fila de cuadros en la galería principal de la mina Solita de Bembibre.

⁴¹ *Existen términos y vocabulario típico de mineros y entibadores en las diferentes comarcas. Entibar se denomina también “postear”. “Velas” son mampostas de madera que se colocan solas.*

En el caso de esta investigación, y de la puesta en valor de minas abandonadas, este tipo de sostenimiento será eminentemente decorativo, si bien en algunas zonas podrá trabajar ligeramente siendo en zonas de roca competente con empujes mínimos, tal es el caso del emboquille de la mina de plata de Bustarviejo, y algunas secciones en este caso, el sostenimiento de madera, se diseña según el proceso descrito a continuación:



Figura 53: Detalle de la galería de arrastre de la mina Solita de Bembibre.

La mejor madera de entibado es la de roble, si bien en zonas de gran afluencia de agua es más conveniente el empleo de eucaliptus (también se emplea para piezas rectas de más de 3,0 m). La madera viene suministrada con corteza, que van quitando con hacha una pareja de entibadores. Una vez se han cortado los cuadros a la medida, el sobrante, llamado rollizo, se emplea para relleno de trasdós. La entibación debe cambiarse cada 4-5 años. Lo ideal para la

madera es estar bien ventilada, siendo un gran inconveniente el cambio brusco de humedad, la presencia de agua, corrientes fuertes de aire, etc.

PROCESO DE COLOCACIÓN

Lo primero es medir la sección de la galería. Las maderas de entibado se cortan y “afilan” (hacen caras) en el sitio donde van a ser colocadas. Primero se colocan los postes (verticales), que suelen ser algo más gordos (más de 20 cm de diámetro) que la trabanca (horizontal, más o menos de 20 cm). Los postes se sujetan verticales mediante unos puntales pequeños. Por último se encaja la trabanca y se coloca el rollizo en el trasdós del cuadro. El rollizo sirve para que los esfuerzos del terreno se transmitan al cuadro. Para esto se suelen emplear los sobrantes de los afilados y cortes. También se denomina “enrachonar” al proceso del relleno del trasdós del cuadro (rachón es un sobrante de madera del ajuste de los cuadros).

Otra forma de colocación del entibado, en caso de que quede poco hueco, es decir que el cuadro se “ajuste bien” es el de la colocación en primer lugar de un poste y trabanca, encajando el segundo poste a golpe de maza.

En caso de galerías muy pequeñas, o con techos bajos y resistentes puede ocurrir que no “quepa” un cuadro entero, de manera que se colocan solamente las mampostas verticales. En caso de zonas delicadas, los cuadros se separarán 20 o 30 cm, con maderas de 25 – 30 cm ancho. El entibado de madera debe de

ajustarse en el sitio, cortándose mediante hacha o sierra mecánica. Los tramos que se pretenden colocar vienen prediseñados desde el exterior de la mina.



Figura 54: Llave para transmitir cargas en una zona sobre excavada. Típico en zonas de filones, vetas y cuñas de roca.

En algunos casos en que se produzcan empujes horizontales que puedan descuadrar el cuadro, se colocan rollizos transversales en la solera denominados “estampidores”.

CUADROS METÁLICOS

El sostenimiento deslizante fué aplicado por primera vez en 1932 por su creador Toussaint-Heintzmann, de ahí su denominación como TH, sin embargo también se la conoce con las denominaciones de perfil en V o Ω (LÓPEZ JIMENO, 2003).



Figura 55: Sostenimiento mediante cerchas TH en un emboquille de mina (Bembibre, León). Nótese el arriostramiento de los cuadros mediante tresillones.

Anteriormente se empleaban una combinación de cerchas o perfiles metálicos rígidos con entibación de madera.



Figura 56: Entibación de una galería de arrastre mediante perfiles metálicos IPN, en un montaje rígido. Pozo Federico, minas de los Guindos, la Carolina (2007). Exploración de galerías abandonadas de hace por lo menos 30 años.

Para el diseño de entibaciones metálicas en las zonas que sean necesarias: emboquilles muy fracturados, zonas de falla importantes, etc., se van a seguir las recomendaciones y diseños de los arcos en perfil omega de tipo deslizante (unidos mediante grapas) de la casa TEDESA, de Duro Felguera S.A.

En general estos cuadros se comercializan en varias secciones y tipos cuasi estándar. En el caso que nos ocupa de las minas de metales, los cuadros que más se podrían emplear serían el 1C₅ de 2,6 m² de sección para galerías de menos de 2m de ancho (es un cuadro de 1600 mm de ancho), así como el

cuadro 1C₁ de 5,5 m² se sección, para emboquilles en peor estado y zonas de galerías y pequeñas cámaras con anchuras de más de 2,5 m. Todos ellos de tipo omega 16,5 (siendo esta cifra el peso del cuadro en Kg/m).

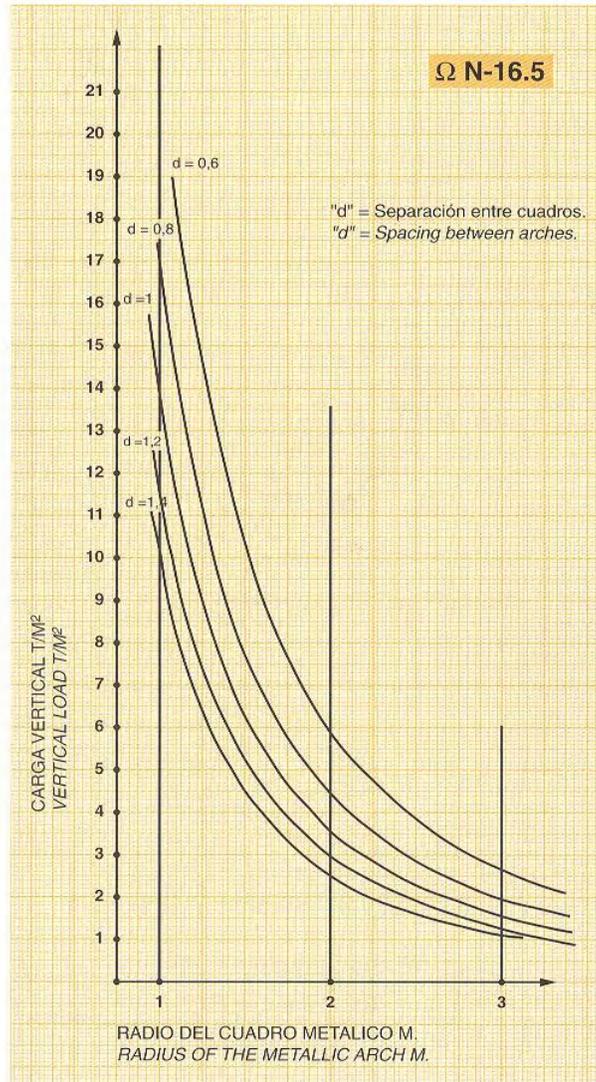


Figura 57: ábaco para el cálculo de la entibación necesaria para una galería. Perfil normalizado TH 16,5 (TEDESA).

El ábaco mostrado es de tipo $\Omega N 16,5$. En abscisas llevamos el radio del cuadro, que vendrá dado por la geometría de la galería, teniendo en cuenta que las irregularidades son rellenadas en trasdós por rollizos. En ordenadas llevaremos la carga vertical sobre la galería, y que hemos estimado, en nuestro caso mediante las clasificaciones geomecánicas. El resultado es un punto que quedará situado entre las curvas que representan el espaciado entre cuadros (d).

Para el cálculo de la entibación, se suponen varias hipótesis (modificado de TEDESA):

1. El cuadro se comporta como una estructura biarticulada en sus apoyos.
2. Las cargas actuantes sobre el cuadro se suponen verticales y uniformemente repartidas. De ahí la importancia de rellenar el espacio de trasdós.
3. El agotamiento del cuadro se produce por flexión. Se desprecian los efectos de flexión compuesta. El cuadro metálico deslizante, antes de agotarse por flexión, tiende que deslizar por esfuerzo axial.
4. En minería, la máxima tensión admisible en el material del cuadro es la tensión de rotura del acero empleado.
5. El cuadro debe de montarse adecuadamente.

MONTAJE DE UN CUADRO

El cuadro más común posee tres partes: una trabanca y dos postes. La trabanca se encaja en los postes mediante grapas. En los solapes, el perfil de la trabanca puede deslizarse en los perfiles de los postes, cuando se alcanza una presión determinada. Los trabajos de colocación de cuadros comienzan con las trabancas, arriostradas con las anteriores, para proteger al personal. Una vez desescombrado el frente se montan los postes. Es importante, en caso de que los cuadros apoyen sobre terreno blando, que se coloque un recorte de madera en los pies de los postes.

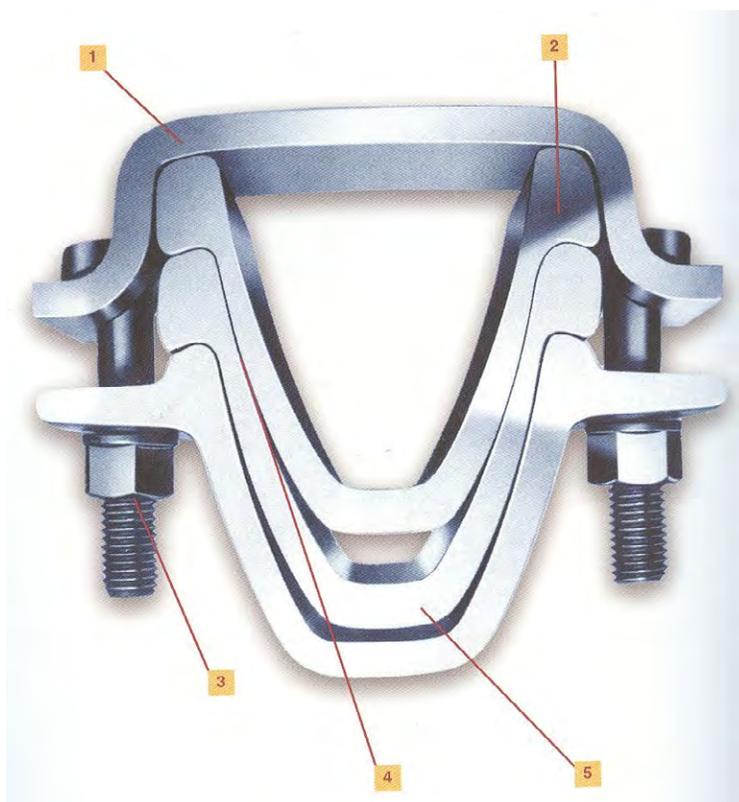


Figura 585: Detalle de la unión grapa- perfil. (TEDESA).

- 1) Unión abrazando los perfiles,
- 2) Perfil TH,
- 3) Apriete por tornillos, que pueden ser de accionamiento neumático,
- 4) Máxima fricción,
- 5) Otro perfil TH.

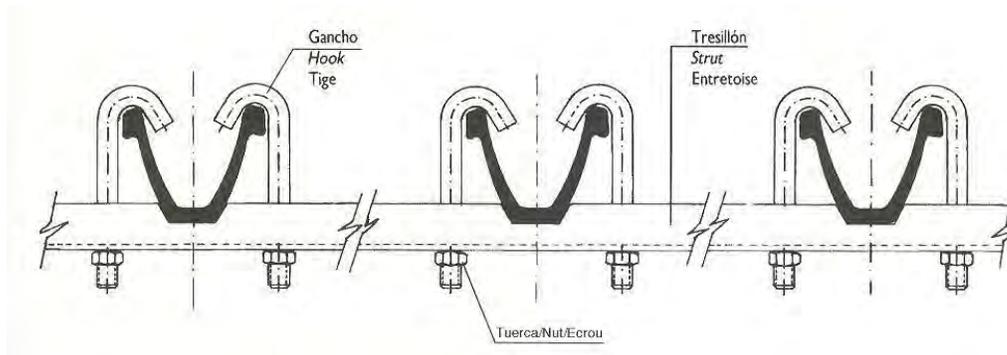


Figura 59: Detalle de tresillado mediante perfiles IPN (TEDESA).

El tresillado del cuadro es el arriostamiento de los mismos, de forma que trabajen como una estructura solidaria. Asimismo el guarnecido (emparrillado, empiquetado y relleno con escombros) hace que el cuadro no se deforme hacia donde existan huecos y trabaje adecuadamente. Se recomienda en general el empleo de cinco tresillones de cuadro a cuadro, y una separación de cuadros no superior a 1 m.

CUADROS EMPLEADOS EN LAS RESTAURACIONES DE MADRID

Hemos seleccionado dos tipos de cuadro normalizado para las minas metálicas de la Sierra de Guadarrama.

En general, en las zonas de buena calidad, no se empleará sostenimiento alguno excepto bulonado ocasional, es en estas zonas, donde, a nivel decorativo, se colocaran los entibados de madera. En las zonas que se requieran cuadros metálicos se emplearán dos modelos:

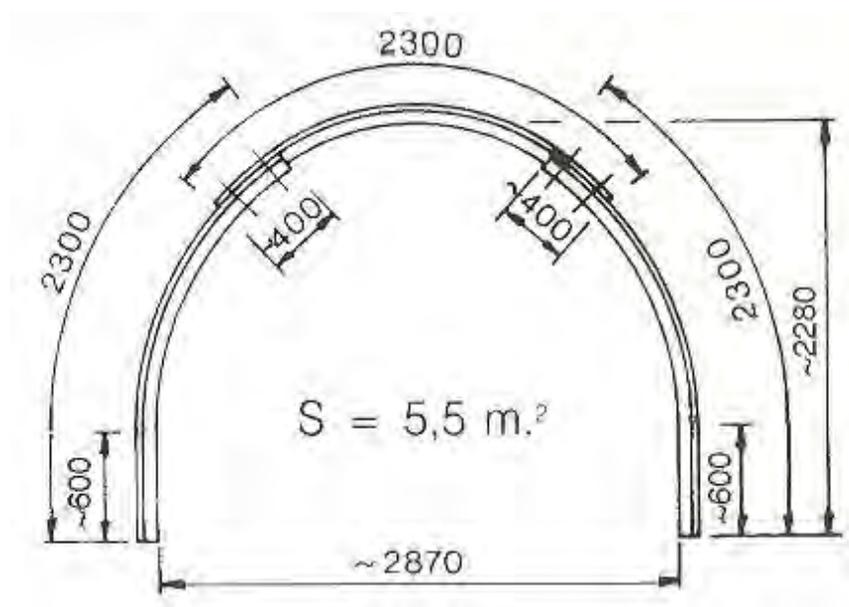


Figura 60: Sobre estas líneas cuadro tipo 1-C1.

El perfil tipo 1 – C1 se empleará sobre todo en zonas de fallas y cámaras de tamaño medio, con una sección igual o superior a $5,5 \text{ m}^2$. En general no se

empleará en galerías de arrastre, pues las dimensiones de éstas son muy reducidas.

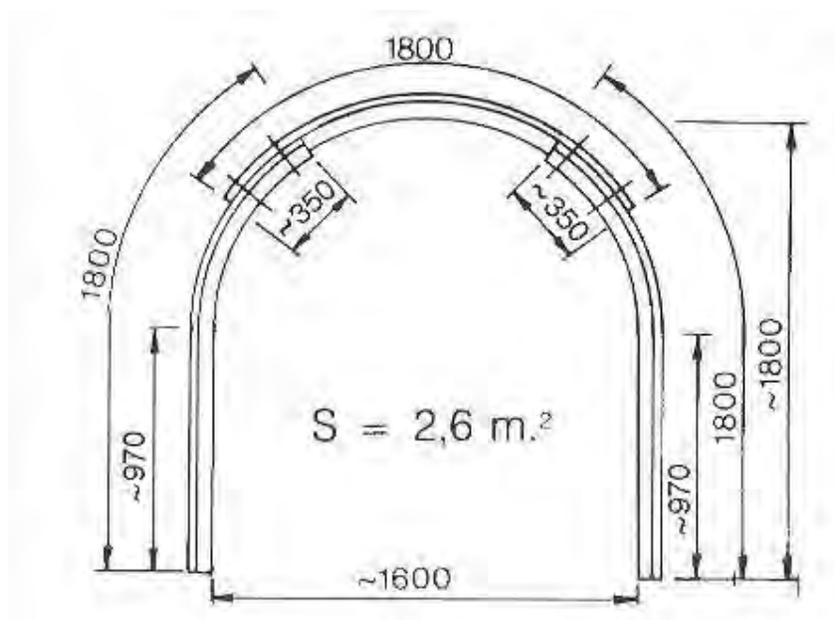


Figura 61: Cuadro RH tipo 1-C5.

El cuadro tipo 1 – C5 se empleará para las galerías de dimensiones de más de 1,6 m de ancho, en general serán los empleados en los emboquilles y pasos de zonas débiles mediante galerías.

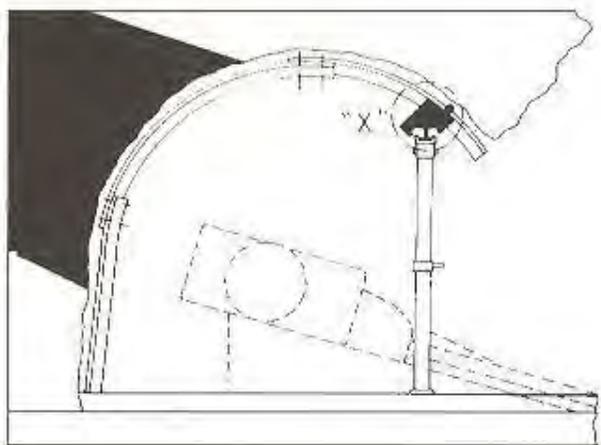


Figura 62: Combinación de cuadro TH con mamposta hidráulica.

En algunas zonas de dimensiones no regulares con pilares combinados con zonas a medio explotar, pequeñas cámaras, será preciso un diseño ajustado. Probablemente sea más apropiado un cuadro combinado con mampostas.

BULONES

Bulonar una galería es sostenerla mediante barras o cables de acero dentro de un orificio perforado previamente. Los taladros son de un diámetro que puede oscilar entre 30 y 40 mm, y una longitud de unos 1- 3 m. En obra civil suelen ser mayores. El contacto entre bulón y la roca puede ser mediante una lechada, por fricción o por medio de un anclaje puntual de expansión al final del mismo.

El bulón es una barra de acero corrugado con o sin cabeza de expansión, que junto con una inyección de cemento o resina (en los de inyección) queda unido a la roca, de manera que la sujeta y estabiliza. El bulonado suele ir acompañado de un mallazo (por ejemplo en cuadrículas de 0,5 x 0,5 o 1x1 m).

Uno de los criterios para diseñar el bulonado es el de sujeción de cuñas inestables, cuando las hay o los estratos que pueden presentar riesgo de despegue; aunque también se emplea para reforzar las bóvedas, mejorando la competencia del conjunto del macizo. Los bulones empleados pueden ser:

- De anclaje puntual.
- De anclaje continuo.
- De fricción (tipo Split set o Sweelex).

CRITERIO PARA BULONADO DE UNA CUÑA DE BÓVEDA

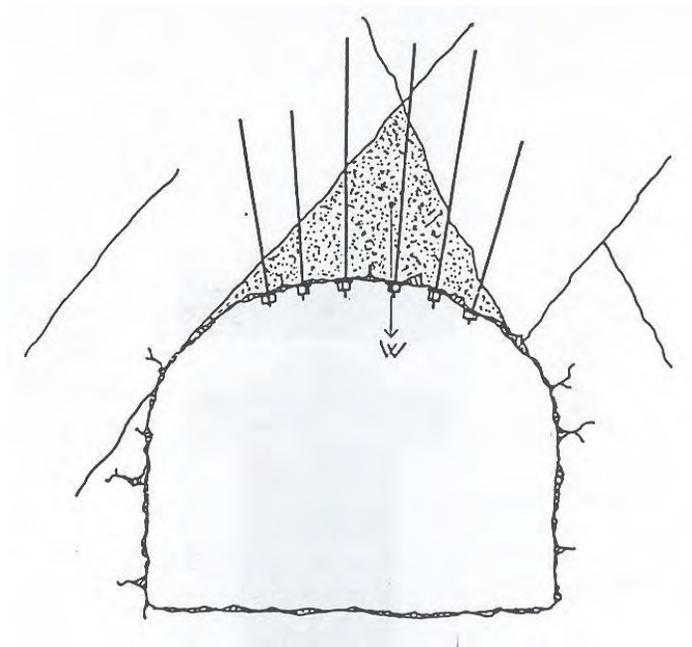


Figura 63: Detalle del bulonado de una cuña de bóveda en una galería.

En este caso estudiamos una cuña de bóveda que cae por su propio peso, sin rozamiento en los planos ni líneas de intersección. Además no se consideran los efectos de las tensiones confinantes. Se trata del caso ya estudiado de cuña inestable en estereograma, en el cual el centro de la falsilla de WULFF cae dentro de la cuña formada.

Estrictamente, si esta cuña cae por su propio peso, debería de desprenderse inmediatamente después de la voladura. Lo que en realidad sucede es que estas cuñas en la realidad presentan planos con ciertos puentes de roca, contactos escalonados, etc. Que le confieren una mínima estabilidad a corto plazo y que

se deteriora rápidamente, por lo tanto si que es necesario bulonarlas después con un gran riesgo si se trabaja bajo ellas.

En este caso, tenemos:

$$N = \frac{W \times FS}{B}$$

N: Es el número de bulones necesarios para sujetar la cuña.

W: Es el peso de la cuña, y que obtendremos a partir de la densidad del material y del Volumen de la cuña, que hemos determinado previamente con la ayuda del estereograma y abatimientos (o mediante un programa tipo UNWEDGE).

FS: Es el factor de seguridad, y que oscilará entre 2 y 5, debiendo venir dado por el proyecto. En nuestra investigación y en el caso de que se realicen numerosas simplificaciones siempre del lado de la seguridad, consideramos que un factor de 2 es ya razonable.

B: Es la resistencia a rotura del bulón y vendrá dado por el fabricante. No es frecuente el realizar ensayos de tracción sobre bulones, para estimar empíricamente esta carga; pero en un proyecto de gran envergadura, sí que es razonable su aplicación.

CRITERIO PARA BULONADO DE UNA CUÑA DE HASTIAL

Estudiamos una cuña que desliza sobre un plano en un hastial de galería de mina. Este caso también puede aplicarse al caso de una cuña de bóveda que deslice sobre alguno de los planos, en el caso de que el ápice no caiga en el interior de la cuña. En este caso, sí que se considera la fuerza de rozamiento. En cualquier caso ahora no consideramos las fuerzas o empujes confinantes.

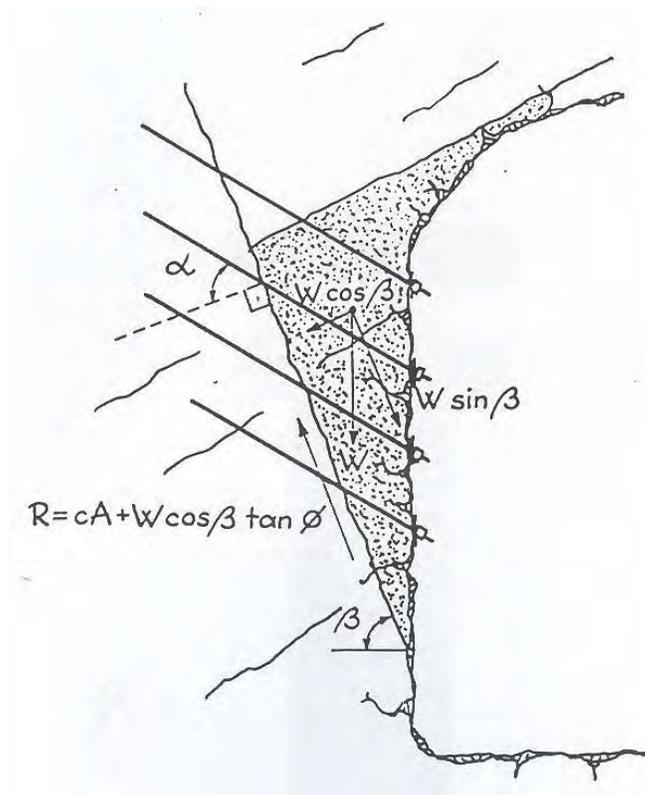


Figura 64: Sujeción de una cuña de hastial mediante bulones.

El número de bulones para sujetar la cuña vendría dado por la fórmula:

$$N = \frac{W (FS \operatorname{sen}\beta - \operatorname{cos}\beta \cdot \tan\varphi) - C \cdot A}{B (\operatorname{cos}\alpha \cdot \tan\varphi + \operatorname{sen}\alpha)}$$

N: Es el número de bulones.

W: Es el peso de la cuña (y en su caso de la roca por ella soportada).

FS: Es el factor de seguridad (en este caso variable entre 1,5 y 3).

β : Es la inclinación de la cara de deslizamiento.

φ : Es el ángulo de rozamiento de la cara de deslizamiento.

C: Es la cohesión de la cara de deslizamiento.

A: Es el área de la cara de deslizamiento.

B: Es la capacidad portante del bulón.

R: Sería la resistencia al deslizamiento (en el dibujo).

α : es la inclinación del bulón respecto a la normal al plano de deslizamiento.

En realidad no es necesario calcular el número de bulones y aplicar esta fórmula de esta manera, sino que podemos calcular N*B que podríamos traducir por la “necesidad” de sostenimiento, sin incluir el factor de seguridad. En caso de cuñas muy pequeñas y de escasa continuidad, un gunitado u hormigón proyectado puede ser suficiente para estabilizar la galería.

1.9.10.- TALUDES Y DESMONTES EN SUELO

Será el criterio a adoptar para el estudio de las escombreras (pedraplenes). En los taludes en terrenos tipo suelo las roturas se producen a través de su masa. Se ha observado en numerosos casos analizados, que la superficie de deslizamiento se asemeja a la cara cóncava de una concha, de modo que en perfil paralelo a la dirección del movimiento la sección de esta superficie es circular. Los métodos de cálculo de estabilidad que actualmente se aplican están basados en esta observación.

Hemos estudiado de esta forma las escombreras de la mina de plata de Bustarviejo. Aplicamos el “Método de Bishop”. Es un método bidimensional, en el que la zona del terreno potencialmente deslizante se divide en una serie de fajas verticales, estudiándose el equilibrio de cada una de ellas. El problema es hiperestático, por lo que es necesario hacer una simplificación que permita su resolución. La simplificación de Bishop consiste en suponer que las fuerzas en las caras laterales son horizontales. Sólo se satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales.

El método requiere aportar como dato de entrada la posición del centro del círculo de rotura y las fuerzas que intervienen en el equilibrio. Para definir estas últimas es imprescindible conocer previamente los parámetros geotécnicos principales de terreno: cohesión, fricción, peso específico y presencia de agua. Este método consiste en analizar el equilibrio de una masa del terreno que sigue una superficie de deslizamiento circular.

Para ello se traza un círculo sobre la sección transversal del terreno y se subdivide la masa deslizante contenida en dicho círculo, en fajas o rebanadas. Para calcular el factor de seguridad se establece el equilibrio de momentos deslizantes y momentos estabilizadores (con aportación de reacciones normales, cohesión y rozamiento) en el punto origen del círculo de rotura.

Como resultado del cálculo se obtiene el factor de seguridad (FS) en el círculo de rotura escogido. Como el FS aparece de modo implícito en las ecuaciones del método, su valor debe obtenerse mediante un proceso iterativo que converge rápidamente. El Método de Bishop presenta errores máximos del 7 %, siendo los más habituales de un 2 %.

Se emplearán los mismos factores de seguridad que el cálculo en roca, es decir:

- 1,2 para desmontes temporales.
- 1,4 para desmontes permanentes.

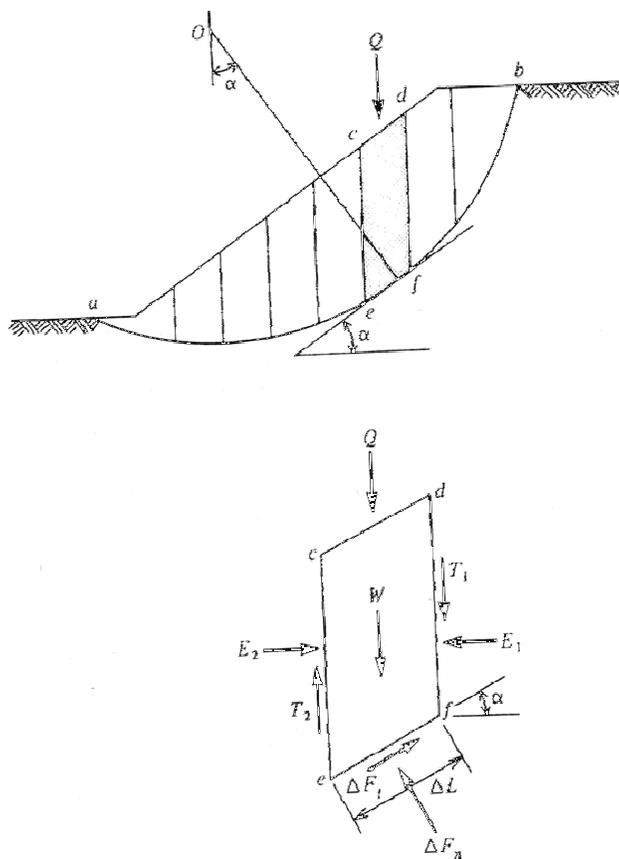


Figura 656: Esquema del método de BISHOP para roturas circulares.

La suma de momentos se establece como un sumatorio de todas las fajas o rebanadas. Se trata de un proceso iterativo en el que se debe de establecer un primer coeficiente de seguridad de partida F_1 .

CAPÍTULO 2: CONTEXTOS GEOLÓGICOS Y METALOGENÉTICOS

2.1.-MARCO GEOLÓGICO

El territorio de la Comunidad de Madrid consiste básicamente en una cadena montañosa al Norte que se desarrolla siguiendo la dirección NE – SO, la cual constituye el área madre de los materiales de relleno de cuenca sedimentaria y que ocupa el resto (Centro y Sur) de la Comunidad.

Los materiales más antiguos, por tanto, consisten en las formaciones geológicas del Sistema Central al N-NE: fundamentalmente rocas metamórficas (Neo proterozoico – Silúrico) e ígneas (Ordovícico Inferior y Carbonífero – Pérmico) con algunos depósitos de menor entidad de Edad Cretácica. La zona Centro y SO de la Comunidad la conforman materiales Terciarios característicos de un relleno de cuenca, pasando de materiales detríticos propios de las zonas de borde (arcosas y otras arenas) a materiales más finos (arcillas, limos, etc.) para acabar en depósitos evaporíticos (yeso, glauberita, etc.) en las zonas de centro de cuenca. Los depósitos del Cuaternario se presentan principalmente en los cauces fluviales.

Los yacimientos metálicos se localizan en su totalidad dentro de los materiales antiguos del Sistema Central, a excepción de los yacimientos tipo placer: casiteritas, volframitas, tierras raras, oro y otros minerales pesados.

Los materiales metamórficos son principalmente cuarcitas, pizarras y esquistos en las zonas menos metamorfizadas y gneises, micacitas, con

algunos niveles de mármoles y anfibolitas y eventualmente migmatitas en las zonas de mayor grado de metamorfismo.

Las rocas ígneas⁴² son granitoides de diferentes composiciones (fundamentalmente de granodioritas a granitos) con diferenciaciones porfídicas locales (de interés mineralógico). Los cuerpos intrusivos siguen una dirección NE-SO y se encuentran limitados al NO por los mayores relieves de la cadena de Guadarrama y al SE por las cuencas terciarias.

Los yacimientos metálicos están asociados directamente o indirectamente a una actividad hidrotermal (recurrente en el tiempo) y que en las etapas tardi a post orogénicas son independientes de la actividad ígnea y se relacionan más con grandes células hidrotermales formadas en relación a los procesos tectónicos propiamente dichos. TORNOS et alii (2000) y LOCUTORA Y TORNOS (1985) diferencian cuatro episodios hidrotermales entre los 300 y 100 Ma.

⁴²

La Sierra de Guadarrama está separada al Este de Somosierra, por la falla de La Berzosa- Rianza de edad tardihercínica y al oeste de los sectores centrales de Gredos y Paramera. La Sierra de Guadarrama se caracteriza por un voluminoso plutonismo tardihercínico formada casi exclusivamente por granitoides del tipo "post pico metamórfico". Estos generan un variable metamorfismo térmico en los materiales encajantes próximos (granitos de aureola de contacto). Frente a estos granitoides el otro gran grupo es el de los si- pico metamórfico, menos abundantes, son contemporáneos de clímax metamórfico más frecuentes en Segovia.

2.2.- EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE GUADARRAMA

En el período Precámbrico – Cámbrico la región de Madrid era parte de una profunda y gran cuenca marina que dio lugar a la formación de rocas sedimentarias finas en paquetes de gran espesor.

Los movimientos tectónicos Cámbricos afectaron a estos materiales originando suaves pliegues y oscilaciones del nivel marino. La orogenia sarda supuso la discordancia de la Cuercita Armoricana (Ordovícico Inferior) con los terrenos anteriores. Los materiales Ordovícicos se depositaron en un ambiente más somero de plataforma marina, algo así como podemos hoy en día encontrar en las costas del Atlántico. El principio del Ordovícico es lo que se denomina una transgresión, en la que el mar vuelve a conquistar la tierra emergida o los ambientes pasan a ser de mayor profundidad, prosiguiendo la sedimentación al menos hasta el Silúrico (en la zona segoviana de El Muyo y en Guadalajara, hay incluso Devónico, con sedimentos arenosos de regresión).

En el Carbonífero empiezan las primeras manifestaciones de la Orogenia Hercínica, que vertebrará la Península Ibérica. El mar se irá retirando y empiezan a aparecer relieves importantes en la Sierra, conformando una auténtica cadena montañosa de mayor envergadura de lo que es actualmente. En las última fases de la orogenia cesan los empujes y se sucede un régimen distensivo, se producen grandes fracturas y se intruyen cuerpos plutónicos.

Al mismo tiempo y hasta los últimos movimientos de la orogenia, escapan las fases más volátiles de la parte apical de la intrusión y un cortejo de filones rompen las formaciones encajantes, emplazándose a favor de las debilidades estructurales. La temperatura y por tanto los minerales característicos que se depositarán a partir de estas fases fluidas, tienen una relación directa con la distancia a la cabecera de los plutones.

En los mismos plutones y zonas proximales se depositarán filones de cuarzo con mineralizaciones de casiterita, volframita y arsenopirita. Alejándose más se pasará a una zona con minerales de cobre y también cinc. Por último hacia las zonas más exteriores, será el plomo en filones de barita, fluorita, así como sulfuros y sulfosales plata en filones de cuarzo.



Figura 66: Filón de cuarzo con sulfosales de plata en el camino de La Acebeda al puerto homónimo. (2003).

Al final del Paleozoico, la erosión arrasa los relieves y conforma una penillanura sobre la que se depositan los materiales del Mesozoico. Estos terrenos son en una primera fase continentales (Utrillas), formados por grandes abanicos aluviales retrabajados por el mar o estuarios.

La Sierra de Guadarrama es ya una cordillera “vieja” que la erosión está desmantelando. En el Cenomanense los sedimentos son ya marinos, discordantes sobre el substrato continental (Formación Pontón de la Oliva, de la zona de Patones de Abajo). El mar comienza a retirarse en el Senoniense. Las primeras manifestaciones de la Orogenia Alpina aceleran la retirada del mar, por lo que al final del Cretácico, los sedimentos vuelven a ser continentales (Maastrichtiense). Consecuencia de los empujes tectónicos es un

rejuvenecimiento y emersión de una “nueva” Cadena Montañosa. Al final del Eoceno y Oligoceno se hundieron los flancos Norte y Sur de la bóveda Castellano – Extremeña que se había generado entre el Cretácico final y Eoceno Medio. Se difieren las cuencas del Tajo y del Duero, así como el valle de Lozoya.

Hasta el Oligoceno se produce una fuerte subsidencia y relleno de estas cuencas. En la orogenia Alpina se reactivan las principales fallas tardihercínicas generándose las depresiones interiores. Después de esta fase de compresión, llamada Neo-Castellana del Sistema Central, se constituye una secuencia de horst y grabens o tectónica de bloques.

Estas condiciones paleo-geográficas definirán la deposición de los sedimentos en las cuencas. Hacia el Este se depositan los materiales en un ambiente lacustre, y hacia el resto de la provincia son fluviales, en clima inter.-tropical. Durante la fase Pirenaica de la orogenia Alpina (Mioceno medio y superior) a favor de los nuevos relieves y la consecuente erosión se producen grandes abanicos aluviales que van rellenando la depresión Terciaria.

2.3.- MINERALIZACIONES METÁLICAS

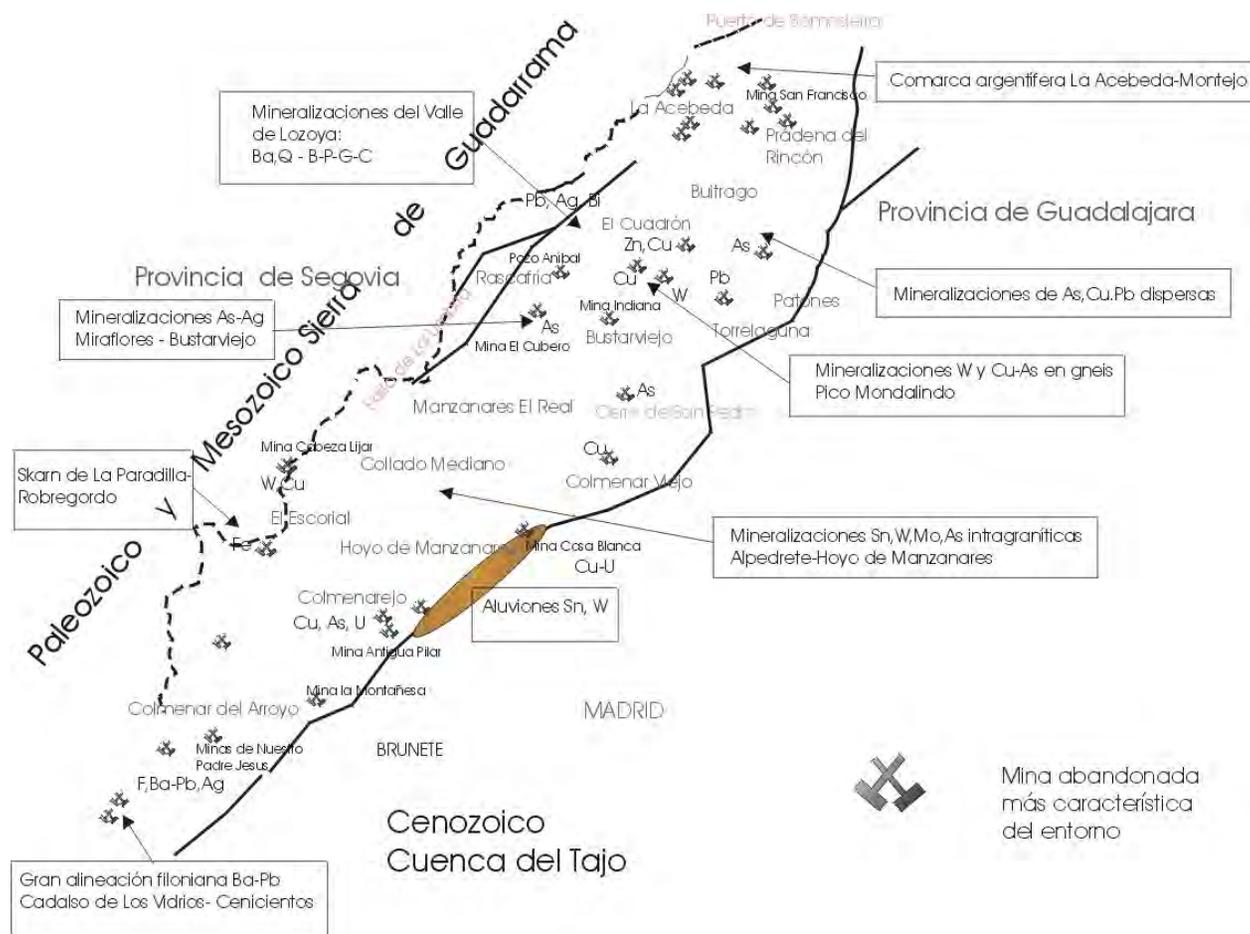


Figura 67: Principales minas y metalotectos de la vertiente madrileña de Guadarrama y Somosierra.

La gran mayoría de los indicios metálicos son de naturaleza filoniana. Generalmente se emplazan en rocas graníticas aunque los hay en terrenos metamórficos (Garganta de los Montes, Bustarviejo, etc.). En su distribución se muestra un claro control estructural, existiendo una notable correlación entre los sistemas de fracturación regionales y el emplazamiento de las mineralizaciones, cuyas soluciones se han emplazado a favor de estas vías estructurales. Un claro ejemplo es la mina de cobre de Bustarviejo, cuyo metalotecto abarca una corrida de varios kilómetros pasando de granitoides, gneises y a la aparición de bandas de episienitas.

La minería ha explotado casi exclusivamente los indicios filonianos, no teniéndose noticia del laboreo de skarnoides y yacimientos metasomáticos (Carro del Diablo, Aoslos). Los aluviones también han sido objeto de laboreo en el siglo XX (los de estaño) y en épocas remotas, los escasos placeres auríferos (Bustarviejo, Gandullas y Arroyo Jóbalo). No se ha logrado establecer el origen de la mena ferrífera de las fundiciones del Escorial (S XIV-XV), puesto que en los yacimientos de Santa María de la Alameda y Robledondo no se han localizado trazas de laboreo.

El sistema filoniano más frecuente tiene una dirección aproximada N 45 E y el segundo N 100 E. Los yacimientos metálicos están asociados a una actividad hidrotermal recurrente en el tiempo (en un principio ligada a la actividad plutónica, pero no en las últimas etapas). En los últimos años se ha afirmado la teoría de que no todos los yacimientos están ligados a los fluidos

tardihercnicos. Así autores como LOCUTURA Y TORNOS (1985 y 2000), diferencian cuatro episodios hidrotermales entre los 300 y 200 Ma. La mayoría de los yacimientos son de tipo filoniano, encajados próximos al contacto de granitos y adamellitas con los ortoneises prehercánicos.

También se encuentran mineralizaciones de tipo skarn asociadas al metasomatismo de contacto de granitoides con sedimentos más o menos calcáreos y que en ocasiones presentan minerales metálicos, pero no conocemos de la existencia de minas en ellos. Posiblemente los prospectores clásicos en la sierra estaban más acostumbrados a seguir las trazas de filones aflorantes y no de estructuras de aquel tipo.

Según GALINDO et alii. (1993) una edad Jurásico Superior para la cristalización de las fluoritas de la mina San Eusebio, es coherente con otros datos obtenidos en el sistema Central Español, que muestran como los procesos hidrotermales posthercánicos se prolongan largo tiempo después de la intrusión de los granitos. Estos autores descartan pues, un origen de estos filones ligados a fluidos asociados al magmatismo hercínico. La datación absoluta fue realizada mediante Sm – Nd. Por todo ello, puede considerarse que la actividad hidrotermal en la Sierra de Guadarrama, ha sido continua a lo largo de aproximadamente 200 Ma, desde las manifestaciones más antiguas de filones y greisen de W (Sn) con una edad estimada de 300 Ma hasta las más recientes de filones estériles de cuarzo cronológicamente situadas en 100 Ma (CABALLERO et alii, 1992). Desde el punto de vista de las mineralizaciones presentes, modificado de VINDEL (1980) distingue siete grupos de filones con sus subgrupos:

Grupo	Subgrupo		Mina representativa	Paragénesis mineral – principales (accesorios) ganga
I: Filones con volframita	1	volframita	Mina Sardaliende (Garganta de los Montes)	volframita (...) cuarzo
	2	volframita + sulfuros de Cu-Sn-Zn	Mina Primera – Cabeza Lijar	volframita, casiterita, calcopirita (molibdenita, covellina, scheelita, malaquita, crisocola)-cuarzo
II: Filones de cuarzo con casiterita.	Casiterita (asociados presentan placeres)		El Pendolero Hoyo de Manzanares-	Casiterita (pirita) - cuarzo
III: Filones con arsenopirita.	1	Filones con arsenopirita + sulfuros	Mina Verdadera (Guadalupe de la Sierra)	Arsenopirita, calcopirita, galena, pirita (casiterita?, covellina, escorodita)
	2	Filones con arsenopirita + sulfuros + sulfosales de Ag	Mina Indiana (Bustarviejo)	Arsenopirita, calcopirita, esfalerita (galena, matildita, escorodita, goethita, malaquita, azurita)- cuarzo
IV: Filones con sulfuros de Cu-Sn-Zn-As	1	Filones de Cu con sulfuros de Cu-Sn-Zn	Mina de El Cuadrón	Calcopirita, galena, blenda, casiterita? (estannina, bismutina, marcasita, covellina)- cuarzo
	2	Filones con sulfuros de Cu-As (U)	Mina Pilar (Colmenarejo)	Calcopirita, bornita, arsenopirita (calcosina, malaquita, azurita, cuprita, crisocola, calcantita, agardita, olivenita, torbernita, autunita) brecha filoniana cuarzo
V: Filones con sulfuros BPGC (blenda-pirita-galena-calcopirita)			Minas de Nuestro Padre Jesús (Colmenar del Arroyo)	Galena, pirita, calcopirita, esfalerita (covellina, anglesita, cerusita, malaquita, piromorfita) cuarzo, baritina
VI: Filones con baritina	1	Filones de baritina no mineralizados	Las Viñas (Navalagamella)	Baritina
	2	Filones de baritina con galena	La Montañesa (Navalagamella)	Baritina, galena, calcopirita, pirita (anglesita, cerusita, malaquita, piromorfita, wulfenita, plumbogummita) cuarzo, baritina
VII: filones de fluorita con galena			Pozo San Eusebio (Colmenar del Arroyo)	Galena, blenda(cerusita) fluorita, cuarzo
VIII: filones con sulfosales de Ag			Mina San Francisco (Horcajuelo)	Freibergita, arsenopirita, grafito (acantita, pirargirita, clorargirita, plata nativa, escorodita) cuarzo

Tabla 30: Clasificación de las mineralizaciones metálicas de la Sierra de Guadarrama. Los grupos I, II y III son mineralizaciones de temperatura media-alta. Grupo IV asociaciones de temperatura media. Grupos V, VI y VII temperatura baja. Hemos añadido un subgrupo para las mineralizaciones de Cu de Torrelodones y Colmenarejo: grupo VIII. Modificado de VINDEL (1982).

En 1985 LOCUTURA y TORNOS definen la siguiente clasificación de las mineralizaciones, con un sentido temporal para el Sistema Central Español:

Prehercénicas

Singenética estratiforme: Cu-Fe (Ni)

Filonianas: Sn

Sinorogénicas Hercénicas

Skarnoides: W y Pb-Zn

Filonianas: Cu

Tardi y post orogénicas

Pegmatitas: W-Sn-Be (Ta-Nb-P)

Filones

Sn-W

W-Sn (Cu-Mo-As-Bi)

As (Cu-Zn-As-W-Sn-Bi)

Cu (Pb-Zn-As-W-Sn-Bi)

Pb-Zn (Cu-Bi-Sb-As-Co-Ag)

Pb-Zn (Cu-Ba-F)

Ag-Au (Sb-As-Zn-Bi-Pb)

Episienitas Cu (Sn-W-Zn-Bi-Pb)

Skarns

W-Sn ; W; Fe

W- Sn- Cu – Zn (Bi-Ag)

Chimeneas hidrotermales As (Cu-Zn-Bi-Ag-Sn)

Cizallas Cu (Zn – W)

CABALLERO et alii. (1992) por su parte dividen los procesos hidrotermales de la Sierra de Guadarrama en dos grupos: el primero, relacionado genéticamente con granitos muy evolucionados, con skarns cálcicos y magnésicos con W-Sn, cálcicos con Zn (W-Sn) y filones y greisen con W (Sn-Mo) + sulfuros de As-Cu-Zn, y el segundo sin relación genética con el encajante y asociados a la fracturación tardi y post hercínica, con skarns cálcicos con Fe-Sn, episenitas (Colmenarejo – Cerro de la Osera), alteraciones filíticas con reemplazamientos por cuarzo – clorita-sericita, filones polimetálicos, filones de F-Ba b(Pb-Zn) y filones estériles de cuarzo.

La evolución general del hidrotermalismo de la Sierra de Guadarrama supone la formación de diferentes mineralizaciones conforme la temperatura va disminuyendo, mediante la interacción entre fluidos y la roca encajante. La disminución progresiva de la presión, también jugaría un papel importante en la precipitación de las diferentes fases minerales, estando además condicionada por las directrices tectónicas predominantes en cada momento. Las alteraciones hidrotermales estarían determinadas por la composición química y la cantidad de fluido en circulación.

2.4.- INDICIOS MÁS REPRESENTATIVOS

2.4.1.- COBRE

Los indicios de cobre más representativos corresponden a filones de cuarzo y brechas filonianas (Torrelodones, Colmenarejo) con una potencia entorno a un metro con sulfuros de cobre tales como la calcopirita, bornita y calcosina. Algunos de estos filones presentan corridas de más de cien metros (Garganta de los Montes) y profundidades de hasta 80 metros con varias zonaciones de sulfuros (mina Pilar, Colmenarejo). La paragénesis más habitual presenta calcopirita, bornita, calcosina (Colmenarejo) y arsenopirita y accesorios: covellina, malaquita, azurita, crisocola, bismutina (El Cuadrón), escorodita.

Resulta llamativa la composición del criadero de Colmenarejo donde aparece la arsenopirita en profundidad y la presencia “no anecdótica” de olivenita. Destacan por su densidad los indicios de cobre en la zona que abarca desde Colmenar Viejo hasta Valdemorillo, paralelos al escalón tectónico, y pasando por Torrelodones y Colmenarejo. Mencionar la presencia de minerales radioactivos de uranio en las minas de estas localidades.

2.4.2.- ESTAÑO – VOLFRAMIO

Los indicios de estaño - volframio son muy abundantes en el dominio hercínico y coluviones - aluviones del límite tectónico. Hay especial profusión de indicios en el área comprendida entre Guadarrama y Collado Mediano (Minas de Jarahonda y Primera), En la franja Torrelodones – Hoyo de Manzanares (presencia de molibdenita y abundante scheelita) y en las faldas del pico de Mondalindo, así como en Pedrezuela.

Los principales aluviones con estaño se localizan en Las Rozas, Torrelodones, Colmenar Viejo y Lozoyuela- Sieteiglesias. Cabe mencionar la presencia de oro nativo en los aluviones de Colmenar Viejo (mina Asturias o lavadero de Valtraviesa) y en el arroyo Jóbalo en las proximidades del Collado de Medio Celemín (Lozoyuela).



Figura 68: Vista general de las ruinas del lavadero de casiterita de arroyo Jóbalo (2003).

2.4.3.- PLATA

Los principales indicios de sulfosales de plata se encuentran en un conjunto de filones hidrotermales en la parte septentrional de la Sierra de Guadarrama y estribaciones de Somosierra. La matildita es frecuente en los criaderos de galena (Gargantilla de Lozoya), pero aquí nos referimos a yacimiento donde el principal mineral beneficiado fue el argentífero ligado frecuentemente al arsénico.

Las principales minas se ubican en La Acebeda, Robregordo, Horcajuelo y Prádena del Rincón. En Bustarviejo se beneficio la plata desde el siglo XV hasta el XX aunque también el cobre y el arsénico, y se prospectó sin éxito el volframio.

2.4.4.- ARSÉNICO

Los indicios principales de arsénico se encuentran ligados a zonas de acusada tectonización tardihercínica. En Bustarviejo y Oteruelo de Valle (mina Aníbal) estos indicios se encuentran sobre una zona de falla importante. También es un mineral predominante en todas las explotaciones mineras que contornean el cerro de San Pedro (Guadalix de la Sierra y Colmenar Viejo).

2.4.5.- BARITA- FLUORITA Y PLOMO

Considerados como ligados a las intrusiones hercínicas y en una zona de aureola de baja temperatura, los estudios recientes, especialmente mediante dataciones absolutas se ha reconocido una edad tardía y su génesis está ligada a la circulación de fluidos postmagmáticos de edad tan reciente como el Jurásico (mina San Eusebio).

Se asume asimismo una mineralización “per descensum” para La Montañesa en Navalagamella. La mayor parte de estas mineralizaciones se emplazan en granitos porfídicos, granodioritas y adamellitas. El principal mineral de plomo es la galena, frecuentemente argentífera por las trazas de matildita. Como minerales accesorios se acompaña de calcopirita, pirita, cerusita anglesita malaquita y azurita. Son habituales las paragénesis de BCPG con baritina, muy características de los criaderos de Nuestro Padre Jesús (Colmenar del Arroyo) y San José (Gargantilla de Lozoya).

Como minerales accesorios de estas paragenesis Pb-Ba, están citadas la bournonita (Gargantilla), y la plumbogummita, piromorfita, y wulfenita (Navalagamella).

**CAPÍTULO 3.- HISTORIA DE LA MINERÍA DE LOS
METALES Y LA METALURGIA EN MADRID**

Página en blanco.

3.1.- MINERÍA EN EL SIGLO XV

3.1.1- DESPERTAR DEL INTERÉS DE LA CORONA POR LAS MATERIAS PRIMAS

Durante la Edad Media, el pasado esplendor de la minería ibérica cae en el olvido. El sistema feudal de la propiedad no es el marco adecuado para fomentar la actividad extractiva. El beneficio de los metales no férricos (que son precisamente los que se buscarán con más ahínco en Guadarrama) sufre durante la Edad Media un gran retraso en relación con el del hierro. Las técnicas de su laboreo evolucionan mucho más lentamente, por lo que la producción parece quedar estancada. Poco a poco, la Corona irá tomando conciencia de la necesidad de fomentar la minería, principalmente para engrosar las arcas estatales, y tener disponibilidad de metales para la industria bélica. En un principio el interés de la Corona será exclusivamente fiscal. JUAN I en Briviesca establece los impuestos que han de pagarse: dos terceras partes deducidos los gastos de explotación, serán para las arcas de la Corona.

Para el estudio de la minería madrileña en el siglo XV, la única fuente fidedigna que hemos encontrado son los Archivos de Simancas. Gracias a esta fuente documental se tiene una nutrida información sobre explotaciones mineras, algunas de ellas ya explotadas en siglos anteriores, pero que la falta de documentación ha sumido en el olvido. Sin embargo no se tienen salvo

contadas excepciones datos de la producción de las minas, a excepción de las que explotaba la Real Hacienda: Almadén, Hellín, Linares y alguna otra. En muchas ocasiones no se publica la producción ni los medios empleados por temor al fisco y a que otros se aprovechen de ellos (RELANZÓN LÓPEZ, 1987).

3.1.2.- LA TOPONIMIA MINERA

Encontramos una extensa toponimia referida a minería y tratamiento de minerales entre los siglos XV y siguientes (la toponimia actual no hace sino confirmar aquella, pues sigue en uso). Algunos de esos topónimos son: Los Quemados, el Hornillo, los Escoriales, La mina, La plata, La Platera, La Herrería, Los veneros, Ferreros, etc.

Lo más interesante en la descripción de los permisos mineros es el aparecer referido “el descubrimiento de una mina o una veta” en un paraje que ya tiene un topónimo minero. Ello implica que este lugar era minero mucho antes de que esta se demarcase (un ejemplo de esto es el “Pozo de la Plata” de Navalagamella); eso es lo que nos hace sugerir que antes del siglo XV se explotaban minas en algunos de esos parajes descritos en este capítulo y en los siguientes del siglo XVI. Como veremos más adelante en el siglo XV los

comisionados de JUAN II pudieron no localizar varias minas de Guadarrama ubicadas en parajes remotos y serían re-descubiertas en el siglo siguiente⁴³.

⁴³ Retomando el hilo de la toponimia minera, TOMÁS GONZÁLEZ (1832) apunta:

“Se ve también por los mismos documentos, y lo saben por conocimiento y práctica propia todos los que han vivido en las provincias, que en muchísimos pueblos las denominaciones de los sitios de sus términos y territorio indican que en ellos había mineros y minas. Así es que á cada paso se da por aldeaños ó mojones á donde dicen ó do llaman – las minillas – á las herrerías – á la sierra platera – al monte del alcohol – á las alcoholeras – á val del hierro – á la fuente del oro – al cerro de la mina – á las almagreras – á la mina vieja – al venero – á los silos – á la peña del hierro – á los escoriales – y á tenor otras semejantes denominaciones que comprueban esto mismo; porque no parece probable que semejantes nombres se pusiesen á los sitios sin algún fundamento ó causa. A esto se añade que en gran número de pueblos se registran y descubren frecuentemente excavaciones, pozos, escoriales, cuevas y subterráneos, algunos de ellos tan antiguos, que no hay memoria fundada de su descubrimiento, y por consiguiente se atribuye á los romanos ó á los moros”.

3.2.3.- PRIMERAS EXPLORACIONES DOCUMENTADAS

A continuación recogemos las notas históricas de “*La Expedición de Juan Sánchez y Ferrando Robledo por el Sistema Central en búsqueda de yacimientos, bajo mandato del Rey JUAN II, 1417*”. En 1417 el Rey D. Juan II (que reinó en Castilla entre 1406 y 1454) encarga a Juan Sánchez, Fernando Robledo y varios maestros, recorrer una amplia zona a fin de buscar en ella minas y reconocer yacimientos de los que se tenía noticia, por cuenta del propio monarca. Inician el recorrido en Talavera de la Reina y continúan por Arenas de San Pedro hasta San Martín (creemos que de Valdeiglesias) en la ribera del Alberche. En todo ese recorrido hallaron sólo algunas vetas de hierro y en San Martín encontraron una vena (SÁNCHEZ GÓMEZ, 1989).

“e non podimos saber para qué fue fecha, salvo que acerca de la cueva que fallamos vi fornillo de muy extraña guisa et dixeron los maestros que pensavan que oviese otro tiempo provado (...). Después desto venimos a Navalagamella a catamos el foyo que disen de la plata e está ya lo más ciego e fallamos que auian sacado açul muy fino e muy bueno (...). E dixeron los maestros que no sabian faser el ensay dello nin que nunca lo vieran fazer más que piensan que sería tan fino como de acre siendo bien apurado”.

Del azul envían muestras al Rey, a quien dan puntual cuenta del hallazgo. La expedición continua por la Sierra hacia el Real del Manzanares, Colmenar Viejo, donde dan cuenta del hallazgo de un venero de cobre muy fino (un metal deficitario y cuyo hallazgo sería por tanto de gran interés) y otro de marcasitas argénteas en Bustarviejo. Siguiendo siempre el Sistema Central, informaron que han encontrado un nuevo yacimiento de marcasitas argénteas en el puerto de la Vieja, en tierra de Ayllón. La búsqueda finaliza por Hita, Atienza, Soria y la Sierra de Moncayo, donde ya había explotaciones de hierro (Cfr. p110 SÁNCHEZ GÓMEZ, 1989).

De esta segunda parte de la expedición se tiene una transcripción fidedigna en TOMÁS GONZÁLEZ (1831, En: “Registro general de Minas de La Corona de Castilla”, tomo II, páginas 1 a 3):

“... después que yo escribí a vuestra merced el primero día de mayo, que luego otro día fallaron los maestros un venero de cobre mucho más fino e mejor que non aquel que yo fise relacion á la vuestra merced que fallaron acerca de Toledo: éste venero está en la dehesa del Colmenar Viejo, en el Real de Manzanares; mas, señor, los maestros non sopieron faser el ensay dello. Otrosí, señor, fallaron mas tres veneros de marcajitas argénteas que disen, é señor, el uno está cabo al venero del cobre, é el otro está en el Bustarviejo, cerca de Lozoya, é el otro, señor, está en tierra de Ayllón ...”.



Figura 69: Labores mineras mas antiguas del arroyo de los Maderones. Colmenar Viejo (2007).

De los tres “veneros” se tomaron muestras que fueron enviadas por JUAN Sánchez y Ferrando (o Fernando) de Robledo a “hacer ensayo”, pero no se obtuvo plata. La expedición continuó por la zona de Atienza donde según los maestros “era buena tierra” pero fue infructuosa. Podía tratarse de la zona de Hiendelaencina.

La expedición termina a finales de mayo de 1417. Ferrando de Robledo se disculpa al monarca por los resultados obtenidos. Da “licencia” a parte de los maestros para que regresen a sus casas. Solicita al monarca nuevas órdenes

sobre si proseguir o no con la expedición, habiéndose quedado en Atienza con los maestros más hábiles, el mejor es al parecer un tal “Gueraute”.⁴⁴

No sabemos de los resultados concretos de la iniciativa del monarca, pero no debieron ser demasiado brillantes, ya que las siguientes referencias a estos yacimientos datarán ya del siglo XVI. A continuación se describen las minas y mineralizaciones que fueron descubiertas en aquella campaña. Todas han sido después minas de cierto renombre en la provincia, especialmente la de cobre de la Dehesa de Colmenar y la de Bustarviejo. Sólo la de San Martín de Valdeiglesias ha sido un indicio tímidamente explotado de forma intermitente; y no hemos podido localizarlo.

⁴⁴ Encontramos en el mismo TOMÁS GONZÁLEZ pero en el tomo primero de descripciones de minas localidad a localidad, nuevamente las mismas referencias a todas estas minas o veneros descubiertos en 1417, si bien en la referencia de Colmenar Viejo (p. 271) hay una errata y fecha como 1517. NICASIO ANTÓN (1841) hace referencia al descubrimiento de Bustarviejo, en aquella expedición “Bustarviejo. En 23 de mayo de 1417, se descubrió un venero de margajitas “arjenteas” (así en el original) cerca de Lozoya”. Este autor hace mención al descubrimiento de la mina de cobre y margajitas argénteas de la dehesa de Colmenar Viejo, fechándolo en principios de mayo de 1617, de nuevo creemos que hay un error de transcripción y debería ser 1417. Creemos que este autor se limitó a transcribir lo escrito por GONZÁLEZ 9 años antes.

3.2.- LA MINERÍA Y METALURGIA MADRILEÑAS EN LOS SIGLOS

XVI Y XVII

Agrupamos estos dos siglos pues en las descripciones mineras de los autores LARRUGA (1787), GONZALEZ (1832), y ANTON VALLE (1841) no hacen diferencia entre estas épocas y enumeran los eventos mineros de estos dos siglos en una misma categoría “más antigua”.

3.2.1- CONTEXTO POLÍTICO Y ECONÓMICO EN CASTILLA EN LOS SIGLOS XVI Y XVII

El siglo XVI es el de mayor esplendor de España, dominado casi en su totalidad por los reinados de CARLOS I y FELIPE II (éste último en la segunda mitad). El triunfalismo impera en la sociedad, motivado por los éxitos bélicos y el protagonismo de políticos brillantes. Sin embargo, a partir de mediados de este siglo, acucian los problemas económicos. Según el historiador de la Sierra GONZÁLEZ GUADALIX (1994) los elevados impuestos, empleados en sostener la política internacional empobrecen a la población a pesar del oro traído de América. La crisis, que afectará especialmente a Castilla culmina en 1590 con la quiebra de la Hacienda Pública⁴⁵.

⁴⁵ La causa principal de la crisis fue la inflación generada por la plata de América (PUCHE y AYALA, 1996).

3.2.2.- MARCO LEGAL DE LA MINERÍA

La segunda fase de apogeo de la Minería (la primera la consideramos la época romana) tiene lugar en el siglo XVI. El comienzo del resurgir está marcado por un tímido apoyo de Los Reyes Católicos a la Minería, tras el éxito en el Nuevo Mundo⁴⁶. A partir de ese momento figura una ferviente demarcación de permisos mineros, reflejados en los archivos de Simancas, aunque es a partir de mediados del XVI cuando empiezan a tenerse mayor cantidad de registros. Este resurgimiento coincide en el tiempo con la publicación en 1556 de la obra “De Re Metallica” de Agrícola que asienta los conocimientos en Minería y Metalurgia que serán empleados hasta el siglo XVIII (RELANZÓN LÓPEZ, 1987).

El desorden de la minería en América y su recesión, así como el intento de ordenar la Hacienda Pública y la Economía durante el reinado de FELIPE II, hacen que dedique atención a la minería. Por ello se dan las Pragmáticas de Valladolid (1559), Madrid (1563) y El Pardo (1584). Sin embargo los súbditos no podían soportar los altos impuestos de las minas, que los políticos se encargaron de hacer notar al rey, sin grandes éxitos. Ello, unido a la falta de tecnificación de la mayoría de las minas españolas, a los altos costos salariales y a la crisis económica las convertía en empresas efímeras.

⁴⁶ Se dicta en 1504 una Real Cédula: “por la que se establece la libre búsqueda y beneficio de minas de oro, plata, plomo, estaño, azogue, hierro y cualquier otro metal, debiendo pagar a la Corona la quinta parte de los que se extrajera”.

LAS ORDENANZAS DE 1584

Desde muy poco tiempo después de la publicación de las Ordenanzas de 1563, comienza a hacerse sentir la necesidad de su reforma. A la dureza de sus especificaciones tributarias se atribuía la imposibilidad de trabajar las minas que no fueran de una excepcional riqueza, siendo éste claramente el caso de la minería madrileña en aquel entonces. Tras una larga gestación en la preparación de la reforma de aquellas Ordenanzas, en la que se recaba el asesoramiento de SCHEDLER, factor de los FUGGER, las nuevas ordenanzas aparecen publicadas en El Pardo el 22 de agosto de 1584. Su vigencia, con algunas reformas, se prolongará hasta 1825 (SÁNCHEZ GÓMEZ, 1989).

Al igual que su antecesora, de 1563, la propiedad del subsuelo sigue siendo de la Corona, con la cesión de su aprovechamiento a los particulares, con una duración indefinida mientras se cumplieran las condiciones especificadas en ella, la participación Real en los beneficios a título de propietario, la obligación de no interrumpir los trabajos sin causa justificada y la jurisdicción en asuntos mineros para los funcionarios especializados. Una de las principales innovaciones respecto a la precedente es la rebaja de la tributación, aunque era reclamada una cuantía aún menor. Por ejemplo, las minas de plata con una riqueza de hasta un marco y medio pasaban de pagar un octavo, a pagar un décimo.

Se aclararon por su parte dudas surgidas en torno a las mercedes de minas en vigor cuando se publicó la Pragmática de 1559 y se perfilaron mejor las indemnizaciones a los dueños de las tierras donde aparecen minas, aclarándose los problemas de delimitación entre diversas posesiones en un mismo yacimiento.

Desde el punto de vista técnico, se incluyen normas respecto a la forma de ahondar pozos para evitar derrumbes; se obliga a ensayar antes de fundir o afinar para evitar equivocaciones en estos procesos, para lo que se determina que existan ensayadores juramentados por distritos mineros a fin de soslayar posibles fraudes.

FELIPE III por Real Cédula de 1607 moderó los derechos de la Corona, si bien la situación pareció no mejorar. Es FELIPE IV, en 1624, quién erige la Junta de Minas, momento en el que se produce un importante avance. Las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno de FELIPE IV, básicamente las de FELIPE II modificadas, regirán en España hasta 1825.

ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CORONA DE CASTILLA

El territorio castellano se dividía, a finales del siglo XVI, en 18 provincias, tantas como ciudades con voto en Cortes, cuyos nombres eran: Burgos, León, Toro, Zamora, Valladolid, Salamanca, Ávila, Segovia, Soria, Toledo, Madrid, Guadalajara, Cuenca, Murcia, Jaén, Córdoba, Sevilla y Granada (CIVANTO REDRUELLO, 2001). Así, la Sierra de Guadarrama quedaba repartida entre Madrid, Toledo, Guadalajara y Segovia, esta última abarcaba gran parte del actual territorio de Madrid.

Las zonas de mayor minería metálica estaban principalmente en Guadalajara y Segovia y algo en Toledo. El escalafón inferior de la burocracia minera lo ocupaban los administradores o factores de distrito, figura ya prevista en la pragmática de 1559, donde aún no estaba bien delimitado el distrito que les era asignado. En 1564 se realiza el nombramiento definitivo de dieciocho administradores, correspondientes a otros tantos distritos. El de Madrid era D. Francisco de Ávila.

El salario de los factores era poco elevado, proporcional a la importancia del distrito al que se estuviera asignado. Como consecuencia del salario escaso y la cobranza irregular, eran frecuentes las corruptelas, tales como defraudación en los derechos reales y ejercicio ilegal de los factores como empresarios mineros. La función principal de los factores de distrito era de carácter fiscal: el cobro de los derechos reales de las minas.

En el caso de la minería de la plata (y plomo argentífero) los empresarios mineros estaban advertidos de la prohibición de emplear fusilinas privadas. Todo el mineral debía ser desplutado en la fusilina Real, que a tal efecto se construiría en cada distrito. Todos los transportes y expediciones de mineral tratado tenían que ir acompañados por una guía expedida por el factor, además de ir todos los lingotes sellados con el signo real (CIVANTO REDRUELLO, 2001).

El factor controlaba la minería privada registrando cualquier yacimiento, que se incluía en el Libro Central de la Mina, que llevaba la Contaduría Mayor, en el que se incorporaban todas las anotaciones que se efectuaban ante cualquier autoridad del país. Asimismo, los factores actuaban como jueces de paz en las disputas que se emprendían entre las empresas mineras y con los trabajadores, pudiendo prender a culpados por diversas razones.

En la minería de la plata, el administrador tenía la obligación de velar porque las fundiciones de afino se hicieran fielmente. Hecha la afinación y sacada la plata en presencia del afinador (o la persona nombrada por él) y del escribano, el fiel debía pesarla y sacar la parte correspondiente al Rey. Todo se anotaba en los tres libros. Después se ponía en una o más partes de la plancha la marca de las armas reales. Si alguien labraba o administraba una mina debía ponerlo en conocimiento del administrador. Se prohibía sacar plata de donde se había puesto a desazogar sin presencia del administrador o alguien nombrado por él.

El plomo pobre y el cobre también debían ser marcados después de deducir el impuesto. El alcohol no se podía sacar ni vender sin haber pagado el impuesto y con licencia y cédula del administrador.

3.2.3.- LOS BUSCADORES DE MINAS

El deseo de encontrar minas llegó a estar ligado a la supervivencia en muchos pueblos serranos, apareciendo relatos de aquellos que se lanzaban al campo a “descubrir” minas y minerales, tal y como sucedió al llegar la fiebre minera a Segovia (y a la Sierra de Guadarrama), según el corregidor de Segovia (SÁNCHEZ GÓMEZ, 1989):

“en esta ciudad y su tierra ay mucha necesidad y la gente está pobre, andan mucha jentes a buscar las dichas minas por los montes, sierras y términos de la dicha ciudad”.

Según el mismo autor *“en el apogeo de la fiebre, los trabajadores de la Casa de Moneda de Segovia se habían lanzado a buscar minas en el cercano pueblo serrano de Becerril”*. A partir de 1550, empieza a aparecer un nuevo tipo de interesado por las riquezas minerales: los retornados de la emigración americana. Muchos de ellos han vivido en ultramar el comienzo de la minería americana, y tratan de reproducir aquí, en sus pueblos de origen el enriquecimiento que han visto allí. Recuerdan y conocen desde su niñez, escoriales, grandes agujeros y minas, que eran del “tiempo antiguo” o “de la

época de los moros” (frases muy empleadas en la demarcación de las minas de la época). Este recuerdo les ha obsesionado en su mediocridad ultramarina y vuelven generalmente pobres, pero dotados de algunos rudimentos de prospección. Tal vez el ejemplo más claro fuera el del “Indio” (probablemente Indiano) que trabajó en Bustarviejo hacia 1659.

3.2.4.- EVOLUCIÓN DE LAS EXPLOTACIONES ENTRE 1504 Y

FINAL DEL SIGLO XVII

Hasta tiempos muy recientes, las dificultades en el transporte hacían que los minerales se beneficiasen en bocamina (por ejemplo Colmenar Viejo para el cobre o Bustarviejo para la plata). Esta es una característica de la minería y metalurgia de la época y que seguirá estando en vigor hasta el siglo XIX (especialmente en la Región Central de la Península).

MINERÍA Y METALURGIA DE LA PLATA

Las primeras demarcaciones y datos de explotaciones de plata se remontan a la segunda mitad del siglo XVI, sin embargo eran pequeños trabajos, cuya metalurgia desconocemos. A partir de 1649 se pone en funcionamiento la minería en el cerro de la Plata de Bustarviejo, y posiblemente al mismo tiempo se empezó una fábrica de beneficio bastante importante. Es posible que a ella se llevase el mineral seleccionado de las minas medianas de Guadalix, y de las minas pequeñas de Soto del Real, Miraflores y Moralarzal, y asimismo recibiera mineral de plata de la Somosierra madrileña.

MINERÍA Y METALURGIA DEL COBRE

Existirían en esa época dos centros de producción de cobre diferenciados: El de Colmenar Viejo- Torrelodones y el de Colmenarejo - Galapagar. El primero agruparía las minas más importantes de la dehesa boyal de Colmenar Viejo, así como las de la ribera del curso medio-alto del Manzanares (de San Marcelino o Peñalvento), y tal vez algunas labores aisladas en Valtraviesa, la mina de Casa Blanca de El Pardo, y arroyo de Trofas (estas tres últimas entre Torrelodones- Hoyo de Manzanares). La segunda zona incluye las minas antiguas de cobre de Colmenarejo – Galapagar (Los Quemados, Riosequillo y La Osera) y las próximas de Valdemorillo (Mina Capitán).



Figura 70: Panorama de las minas de la Osera. Galapagar (2004).

Un buen número de las labores de cobre han permanecido intactas desde esa época hasta nuestros días. Creemos que es debido a su pequeño tamaño, y a no resultar rentables (se agotaron ya a finales del siglo XVII) frente al yacimiento de Mina Pilar, con una ley de hasta 18% y una mineralogía notable en ricos filones de calcopirita-bornita-cuprita masiva y nódulos de malaquita. A partir del siglo XVII prácticamente se olvidaron el resto de los pequeños criaderos cupríferos. A lo sumo, existen demarcaciones de permisos de investigación, en los que se hacían pobres trabajos de saneamiento y algún muestreo.

La primera constancia escrita que hemos encontrado sobre una fundición de cobre es en el siglo XVIII en la parte sur del cerro de San Pedro.

En lo referente a la prospección minera, entorno al año 1580, por iniciativa real, Nicolao Cipriano realizaba una prospección general del territorio del reino con objeto de hallar “veneros” de cobre, estaño, plomo y azufre, a fin de ponerlos en explotación. En el informe de Cipriano, se detecta una actitud más racional y científica que en la expedición de 1417.

Cipriano practica análisis comparativos y extrae consecuencias productivas entre varios yacimientos, como en el conocimiento de la composición de minerales (la presencia habitual de plata en las menas de cobre le es ya familiar), o en la racionalización de la propia expedición o del proyecto de futura explotación desde el punto de vista económico.

De entre los yacimientos de los que envía relación al Consejo de Guerra destacan dos (al parecer de cobre) en la actual provincia de Madrid: El Pardillo y Colmenar del Arroyo, el segundo perteneciente entonces al Reino de Toledo. Las minas de El Pardillo figuran como de entre las *“qué más posibilidades tienen de ponerse en explotación con resultados económicamente beneficiosos.”* (SÁNCHEZ GÓMEZ, 1989, cfr.página 683-684). Hay que tener en cuenta cómo era la Sierra de aquel entonces, para hacerse una idea de lo aventurero de las expediciones; había bandidos, así como lobos e incluso osos.

MINERÍA Y METALURGIA DEL PLOMO

Tanto la minería como la metalurgia de plomo son muy artesanales, casi familiares en aquella época. Se explotan mediante rafas los filones aflorantes, montándose algún pocillo, y el mineral era utilizado en la alfarería local. El filón de Nuestro Padre Jesús llama la atención por su potencia, en algunas zonas de un metro de baritina y 20 centímetros mineralizados con galena. Creemos que no podría haber pasado desapercibido a los primeros explotadores de la comarca. Sin embargo no tenemos datos precisos sobre su laboreo antiguo.

Cobran importancia varios centros mineros y de producción: plomo argentífero en Cadalso de los Vidrios y Cenicientos; plomo en Colmenar del Arroyo; cobre en Colmenarejo, Galapagar, Torrelodones y Colmenar Viejo; y plata en Somosierra, Guadalix y Bustarviejo, principalmente (JORDÁ, 2002). Esta época dorada finaliza en el siglo XVIII.

En ese siglo prosigue la actividad minera, aunque al parecer, sólo los yacimientos más ricos son explotados y se abandonan las pequeñas labores, que tantas demarcaciones habían provocado. Las minas de plata-arsénico de Bustarviejo son trabajadas con muy pocas interrupciones y se llevan a cabo intensas explotaciones y ensayos metalúrgicos para cobre en el cerro de San Pedro (Colmenar Viejo), entre el cerrillo de “Escorial” y la dehesa comunal de Navalvillar.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA MINERÍA DE LOS SIGLOS XVI Y

XVII

Se han localizado numerosas labores mineras de este periodo, el cual creemos que se había considerado como de menor importancia minera de lo que en realidad fué: minas como “La Osera” (cobre, entre Colmenarejo-Galapagar), “Dehesa de Navalvillar” (cobre, plata y arsénico, en Colmenar Viejo), “Peñalvento” (cobre, Colmenar Viejo), “Casa Blanca de El Pardo” (cobre, Hoyo de Manzanares) o “Cuesta de la Plata” (plata y arsénico, Bustarviejo), eran verdaderas minas y no pequeñas labores esporádicas. Todas estas minas son claramente atribuibles a los siglos SXVI – XVII.

Por otro lado, señalar que las citas de Simancas reflejaban en muchos otros casos concesiones inexistentes o trabajos esporádicos con la misma “veracidad” que las minas. Esto último fue lo que le restó credibilidad desde el punto de vista histórico-patrimonial.

Hemos podido localizar en campo, muchas de estas minas gracias a las descripciones geográficas de los documentos y a la toponimia; y la forma de las explotaciones encajaban con el resto del relato. También, accediendo a los parajes citados, no hemos hallado labores algunas; esto implica que, o bien hemos errado el lugar, o esa concesión nunca llegó a trabajarse.

Mineral beneficiado	Mina	Localidad
Plata	Cerro de la Plata Dehesa de Navalvillar y Cerrillo del Escorial Minas del arroyo Valdemoro Carcabón y Corneta Portillo de la Mina Pozo La Picaza y Madroñal La Aceña	Bustarviejo Colmenar Viejo Guadalix de la Sierra La Acebeda Moralzarzal Colmenarejo El Escorial
Cobre	Minas de la Osera y La Parrilla Mina Arroyo Trofas Minas dispersas del Cerro de San Pedro Antiguas minas de Peñalvento Minas de las Viñas Casa Blanca de El Pardo	Colmenarejo Torrelodones Guadalix y Colmenar Viejo Colmenar Viejo Chapinería Hoyo de Manzanares
Plomo	Antiguas minas Antiguas minas Valmayor	Cadalso de los Vidrios y Cenicientos Colmenar del Arroyo Valdemorillo

Tabla 31: Principales minas y grupos mineros trabajados en la provincia de Madrid en los siglos XVI y XVII. Fuentes: LARRUGA (1787), CANCELADA (1831), TOMÁS GONZALEZ (1832) y ANTÓN VALLE (1841).

3.2.5.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS NOCIONES ANTIGUAS DE MINERALOGÍA

Se debe de hacer una primera consideración sobre la nomenclatura que aquellos autores empleaban y que puede inducir a error. En sus informes utilizan muy frecuentemente términos como mineral de plata, que puede hacer pensar efectivamente en sulfosales o sulfuros de plata; esto es verdadero sólo en el caso de las minas de La Acebeda y Robregordo en la Somosierra Madrileña. En ellas se explotaban los minerales de plata freibergita, pirargirita y anecdóticamente proustita y argentita, presentándose muchos filones aflorantes que pueden ser todavía estudiados.

Por el contrario, hasta bien entrado el siglo XIX, la principal mena de plata en la minería madrileña era la arsenopirita, que puede presentar un alto contenido en ese precioso metal (en forma de matildita submilimétrica), tal es el caso del grupo de minas del cerro de la Plata en Bustarviejo, o las de Guadalix de la Sierra, en las faldas norte del Cerro de San Pedro.

Se hace referencia a metal acerado y plata en un contexto de minería de cobre, que puede ser interpretado como cobres grises, con contenido en plata. También aparecen abundantes y dudosas demarcaciones de oro, referencias que han sido omitidas en este manuscrito. Muchas de esas “minas de oro” podrían tratarse, a lo sumo, de cierta cantidad de ese precioso metal recuperado junto a la plata. Por otra parte, el trabajo de campo ha permitido

descartar otro gran número de indicios: los que aquí son presentados han sido siempre verificados⁴⁷.

3.2.6.- MINERÍA DE LA PLATA

SOMOSIERRA MADRILEÑA: LA ACEBEDA Y ROBREGORDO

Entre 1625 y 1640 se citan demarcaciones de numerosas minas de plata en los montes que rodean la localidad de La Acebeda y la contigua de Robregordo (LARRUGA, 1787, LÓPEZ CANCELADA, 1831). Las labores realizadas se localizaban en: El Carcabón, Peña Quemada, Cerro de las Cornetas, Puerto de la Acebeda y Cerro de la Cabeza, así como en la zona de Los Rasos, la antigua carretera a Robregordo y en las inmediaciones de éste. Se trata en su mayoría de grandes zanjones y galerías en dirección del filón cubiertas por la vegetación y la erosión⁴⁸.

⁴⁷ Así, incluimos algunas citas a modo anecdótico; por ejemplo, el supuesto hallazgo de azogue en las afueras de Madrid o de plomo en Chinchón (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832): “Chinchón. En 15 de julio de 1638. Cédula de S.M. para que Gabriel Gonzalez de don Antona, el licenciado Juan González de don Antona y consortes, vecinos de Colmenar de Oreja, pudiesen beneficiar una mina que habían descubierto en Chinchón, provincia de Madrid, y que parecía ser de plata y otros metales, á do decían la Vega, bajo del castillo de Casasola, en un cerro y loma que alindaba con una calera de agua que iba por la falda de dicho cerro para regar la vega, y cerca de unas casillas caídas de pastores”.

⁴⁸ Recogemos la cita más antigua que hemos localizado sobre la comarca de La Acebeda (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832): “En 20 de marzo de 1610. Carta para que las justicias del reino dejasen beneficiar á Pedro de la Mata y Alonso Gutierrez Calderón dos minas, la una de oro, y la otra de plata, en término de la villa de Buitrago, en la sierra de la Aceveda, aguas vertientes al lugar de este nombre”.

Las minas trabajadas serán abandonadas al poco tiempo ya que no se vuelve a tener noticias de ellas hasta el siglo XIX, durante el cual se llevaron a cabo intensas explotaciones.

Las labores que corresponden al siglo XVII son las de los cerros que dominan La Acebeda, mientras que las de la carretera (siglo XIX) enmascararon casi por completo a las primitivas. Según el ingeniero de minas SÁNCHEZ LOZANO (1896), las labores practicadas en las minas de La Acebeda y Robregordo en el siglo XVII debieron ser poco importantes, reduciéndose a algunas explotaciones a cielo abierto. Discrepamos del autor en este punto, según iremos comprobando explotación tras explotación.

MINA DE LA PLATERA

La mina da nombre al túnel del ferrocarril contiguo “La Platera”. Los vestigios mineros son: una larga calicata con posibles labores someras de interior, dos muros de tosca mampostería de piedra y escombreras (aproximadamente 75 m³). La vía férrea ha cortado en dos la zona de las escombreras están a un lado. Al lado opuesto de los minados quedan visibles dos pequeños muros de tosca mampostería en piedra, sobre ellos se dispone dispersa parte de la escombrera. Desconocemos la utilidad de estos muros.



Figura 71: Filón de la mina de La Platera y labores antiguas (2003).

Datamos esta mina como del siglo XVII. SÁNCHEZ LOZANO no la menciona siquiera en su trabajo. Este autor estudia las minas que se encuentran en la

carretera de La Acebeda a Robregordo, haciendo hincapié en aquellas trabajadas o investigadas en el siglo XIX.

La mina de La Platera se encuentra en esta misma ruta. Encontramos en LARRUGA (1791), en su tomo número 9 (pp. 31 y 32) referente a Segovia de las “Memorias Políticas y Económicas sobre los Frutos, Comercio, Fábricas y Minas de España” las únicas referencias a esta mina:

“En la jurisdicción del lugar de Aceveda se hallan quatro minas de diferentes metales: la una está en el cerro de Peñaquemada (..) y la otra en el sitio que llaman la platera de la dehesa del monte arriba, hasta el Carcabón. Las descubrió con ánimo de beneficiarlas en tiempo de Felipe IV Ruiz Frias. Así consta en una real cédula expedida en 3 de Febrero de 1625”.

Más adelante en el texto (pp. 63-64) hay nuevas referencias a la comarca y cita una demarcación en un paraje semejante pero citando una real cédula de 10 de Febrero, para el mismo RUIZ DE FRÍAS. Este RUIZ DE FRÍAS buscará minerales de plata en La Acebeda en compañía de BALTASAR DE CHAVES. Este último personaje es un prospector de minerales que debió de ser conocido en la época: en su haber se encontraba el descubrimiento y explotación de varias de las mineralizaciones de cobre más importantes de Colmenarejo y Galapagar.

EL CARCABÓN

Intensamente trabajado en el siglo XIX, el Carcabón es una labor minera de relativa envergadura que se remonta al siglo XVII. Es una gran zanja que explotaba la parte aflorante y más superficial de un filón de cuarzo con mineralizaciones argentíferas. En la mina María Josefa, situada en el lugar llamado el Carcabón se excavó un socavón entre 1853 y 1857 en el cual se encontraron indicios de explotaciones antiguas.

MINAS DE LA DEHESA DE NAVALVILLAR O NUESTRA SEÑORA DE LOS REMEDIOS (COLMENAR VIEJO)

Existe una intensa minería de esos siglos en la vertiente Sur del Cerro de San Pedro, que beneficiaba la plata contenida en las “*margajitas argenteas*” (arsenopirita con alto contenido en plata). Las minas se encuentran en la Gran Dehesa de Colmenar Viejo, también llamada Dehesa de Navalvillar o de Nuestra Señora de los Remedios (por la ermita cercana). Hay dos labores principales, o grupos de minas: una situada en el arroyo de los Maderones y otra en el arroyo del Cerro de los Lobos.

MINAS Y FUNDICIÓN DEL ARROYO DE LOS MADERONES O CERRILLO DEL ESCORIAL

Las primeras referencias datan de 1417 son de TOMÁS GONZÁLEZ (1832) y ANTÓN VALLE (1841) (pie: las transcripciones citan erróneamente tanto 1517 como 1617):

“Colmenar Viejo. En principios de mayo de 1417, se permitió beneficiar una mina de cobre muy fino, en la dehesa de dicha villa en el Real de Manzanares; e inmediato otra de margajitas arjénteas”.

Coincide con nuestras observaciones de campo, pues en las labores principales, aparece abundante arsenopirita y escorodita; y en lo alto de la loma situada al Oeste del arroyo se aprecian labores de menor envergadura y calcopirita-malaquita dispersas. Esta calicata pudiera corresponder a la mina de cobre citada. LÓPEZ CANCELADA (1831) hace mención a minas de plata, cobre y otros metales en 1570 y 1683. Asimismo TOMÁS GONZÁLEZ también describe en orden cronológico las citas que ha transcrito de los Archivos de Simancas, en el apartado de Bustarviejo (tomo I p. 213) así como en el de Colmenar Viejo.

Se tiene una Cédula de S.M. de 1649 (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832) en la que ANTONIO ZAMBRANA de VILLALOBOS, caballero de la Orden de Alcántara solicita administrar y labrar cuatro minas que presumiblemente estarían abandonadas o como se denominaba en aquel tiempo desamparadas. Una de ellas sería la del arroyo de los Maderones:

“otra de cobre á la falda del cerro de San Pedro, en un cerrillo llamado el Escorial, en la dehesa y término de Colmenar Viejo, la cual parecía haber sido labrada anteriormente por un hoyo grande que tenia tapado y ciego de tierra que no daba lugar á que se pudiese ver la veta, y sólo descubría en la parte alta del dicho hoyo un ramo angosto de metal de cobre”.

La situación que se describe es la misma que encontramos actualmente en la parte Norte de la mina, hay efectivamente un hoyo grande de 10 metros de diámetro aterrado donde se pierde la veta de cuarzo. Sin embargo, se reconoce

una tímida mineralización de malaquita y vetillas de calcopirita/covellina en el borde mismo del hoyo, donde prosigue hacia el Norte el dique de cuarzo. Hay nuevas referencias a estas minas, aunque las descripciones son más vagas, en 1683. La mina se encuentra a ambos lados del arroyo de los Maderones, en la falda Sur del Cerro de San Pedro, y a unos 3,3 kilómetros de la ermita de Nuestra Señora de los Remedios. En el margen Oeste se encuentra un gran dique de cuarzo y las escombreras, así como unos restos de edificaciones que por las escorias dispersas, creemos que era empleado para una primera tostación del mineral. Cabe destacar una gran pila de granito, cuya utilidad desconocemos.

MINA DEL ARROYO DE LOS LOBOS

En la obra de LARRUGA (cfr. Memoria 62 pp46-47, 1787) leemos:

“Otra real cédula del mismo Monarca de 15 de Enero de 1631, se halla, dando facultad á Juan Francisco Navarro y Casa para beneficiar una mina de plata y cobre en la misma jurisdiccion de Colmenar en dehesa cerrada de arroyo Tejada, dos mil pasos desde la puerta de dicha dehesa. en una peña de mas de dos estados de alto. Sin duda se desampararia esta mina, porque por otra real cédula de 24 de Marzo de 1642, se hizo gracia de ella á Don Joseph Pellicer y Don Matheo de Orozco, con libertad de derechos por 4 años.

Las confrontaciones ó señas del sitio, fueron el camino que vá por la dehesa de Colmenar á la villa de Guadalix, hácia el collado de Tejada”.

Por la descripción de la peña de dos estados de alto (aproximadamente 4 m.) creemos que se refiere a la mina del Cerro de los Lobos, que consta de una galería inundada y un pozo muy antiguo encajado en un crestón intrusivo que forma un hito muy característico. El pozo cuadrado, aproximadamente de 3 m. de lado se halla en el extremo Sur del Peñón. El emboquille del pozo tiene unos nichos que sirvieron para el emplazamiento de traviesas de madera, para escalas o malacates. Junto a este pozo, existe otro de similares características, pero aterrado. Entre ambos un pequeño muro mineralizado con marcasita, arsenopirita y escorodita, ya muy alterado en el que se observan marcas de rudimentarios barrenos (posteriores al siglo XVII).



Figura 72: Labores de seguridad en el pocito de Los Lobos, en 2007.

Unos 10 m. ladera abajo está la entrada a una galería parcialmente cubierta por la vegetación, y anegada por el agua. Las escombreras de la mina corresponden a periodos muy diferentes, encontrando desde materiales poco alterados, a otros recubiertos por abundante líquen. La mayoría de las labores corresponden a finales del siglo XVII.

Desde el punto de vista histórico lo más significativo es la presencia de algunos trabajos que podrían ser anteriores. En uno de los laterales del peñón hay un gran bloque de piedra en el que está excavada una cubeta perfectamente circular que creemos servía para moler el mineral. Semienterrada a pocos metros hay una pequeña rueda de molino con un

agujero en su centro: no hemos podido datar estos elementos. En esta parte de la mina hay abundantes restos cerámicos: ladrillo y tejas, tal vez de una primitiva fundición.

ARROYO DE VALDEMORO Y OTRAS MINAS DE GUADALIX DE LA SIERRA

La mineralización habría sido descubierta en 1417 al tiempo que la otra vertiente del cerro, en la campaña de exploración de la Sierra de Guadarrama del rey JUAN I. Los primeros trabajos mineros de los que se tiene noticia datan de 1613 y 1649. De estas primeras labores prácticamente nada queda, han sido borrados por la minería y fundición de mediados del siglo XIX.

CUESTA DE LA PLATA (BUSTARVIEJO)

Las minas del Cerro de la Plata de Bustarviejo son las explotaciones metálicas que más tiempo han estado activas en la provincia de Madrid, prácticamente de forma ininterrumpida desde el siglo XVII hasta 1890, alternándose numerosos explotadores. Había periodos de febril actividad y épocas de completo abandono. Ha sido difícil distinguir las labores más antiguas dentro de la cantidad de trabajos posteriores y enormes escombreras que han sepultado muchos vestigios.

Lo mismo sucede con la metalurgia, que habrá ido creciendo absorbiendo o demoliendo las obras anteriores. Aún así tenemos catalogados cerca de una

veintena de elementos minero metalúrgicos de gran valor desde el siglo XVII al XX. Siendo el más importante las ruinas de la torre, de 15 metros, con restos de una rueda del molino en el interior, que datan de 1660 y están declaradas Bien de Interés Cultural de la Comunidad de Madrid. Interpretamos este elemento como un molino eólico de mineral.

Según ANTÓN VALLE (1841), el filón de arsenopirita con alto contenido en plata se descubrió en 1417 denominándose en un principio “*un venero de margajitas arjenteas*”. En 1625 se redescubre la mineralización y se realizan ensayos que dan un contenido en plata y oro que justifican mayores labores, sin embargo la apertura de una mina requería una fuerte inversión y se abandonan los trabajos.

No se tienen nuevos datos de explotación de la zona hasta 1649, cuando se demarca una mina en ese paraje sobre pozos antiguos llenos de agua (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832). No se sabe cuáles fueron los trabajos realizados ni la duración. En 1659 aparece en escena “*un Indio*” (LARRUGA, 1787) que empieza a trabajar una de estas minas y construir un molino, el cual fallece al parecer sin acabar su obra. Es posible que esta historia inspiró el nombre de la concesión Indiana (Siglo XIX), una de las más importantes que han trabajado el yacimiento.



Figura 73: Torre de la mina de Bustarviejo, del año 1659, y declarada BIC

(Antes de su restauración, 2004).

En 1666 se pide información sobre el estado de una mina en la zona de la Cuesta de la Plata, que había sido registrada en 1658 por unos tales SEBASTIÁN de BALENDA y DIEGO RUBIO, pero no se llega a demarcar. Así pues creemos que por lo menos en esa época podría haber al menos dos explotaciones contiguas, una próxima al molino (mina del indio) y otra algo más alta en la ladera, probablemente donde se encuentran hoy día los restos del pozo maestro.

En 1679 el rey CARLOS II tiene noticia de este criadero de plata y decide investigarlo; para lo cual envía a LORENZO de SANTARÉN a quien otorga carta blanca para operar en la zona. De las investigaciones que se realizaron no sabemos qué conclusiones obtuvo el rey, pero se demarcaron varios

permisos mineros que explotarán minas contiguas ininterrumpidamente entre 1683 y 1692. Se llevan a cabo durante esos años grandes y costosos trabajos que culminan en una galería inferior que desagua los pozos superiores. En 1685 ya tenemos referencia clara de dos minas en explotación (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832), y al año siguiente se vuelve a explotar otra antigua así que pasan a ser tres:

“En Aranjuez á 11 de mayo de 1685, Cédula de S.M. concediendo licencia á Fernando Portero Garcés para beneficiar una mina de plata en el cerro del mismo nombre, término de Bustarviejo, linde de otra que se estaba trabajando cerro arriba”.

En Madrid á 25 de enero de 1686. Cédula de S.M. concediendo licencia á don Martín Madera para beneficiar y labrar una mina de plata que habia descubierto en el cerro de la Plata, término de Bustarviejo, contigua su veta á la que labraba Fernando Portero Garcés”.

Estos personajes siguen trabajando estas minas en los años siguientes demarcando todos los “veneros” posibles de la zona. En 1689 un platero, LUIS ROMERO, al parecer “práctico en la mineralogía” construye nuevas infraestructuras y se hace cargo de los ensayos, sin aportar más datos del estado de la metalurgia en ese siglo.

PORTILLO DE LA MINA (MORALZARZAL)

Existen varias referencias a la minería de plata en la zona de Moralarzal, en los alrededores del actual “Cerro de las Minas“. Este cerro corre de Norte a Sur dominando en su vertiente Oeste la urbanización de Fontenebro, acabando en un collado denominado “Collado o Portillo de la Mina“. La continuación hacia el Sur son las berroqueras que conforman la Peña del Águila. En este collado está la única mina que hemos localizado y que sin duda corresponde a las explotaciones citadas en los siglos XVI y XVII.

La primera referencia es de 1563, en que se presenta un testimonio de un tal DIEGO ORTEGA OJALVO de la existencia de una veta de plata, que ya tenía registrada y junto a la cual ya había otros pozos. Así pues, históricamente han existido dos minas de plata de mayor entidad: una en el paraje del Portillo, así como otra ladera abajo, donde actualmente se asienta la urbanización Fontenebro; así como otras muchas minúsculas.

En 1577 se cita la demarcación de siete minas en Moralarzal (TOMÁS GONZALEZ, 1832). En 1625 hay una intensa demarcación de concesiones de plata en la Sierra de Moralarzal y Peñacardín de Cerceda. Sin embargo sólo constan trabajos en el Portillo, que a partir de entonces se le llamará “*de la Mina*“. Las labores parece ser que sólo duran un año, volviéndose a demarcar en 1629 (LARRUGA, 1787), 1632 y 1643 (LARRUGA, 1787 y TOMÁS GONZÁLEZ, 1832). Y nuevamente en 1643:

“En Madrid á 21 agosto de 1643. cédula de S.M. concediendo licencia á Pedro de Orellana Chaves y Maqueda para beneficiar una mina de plata que habia descubierto en término del lugar del Moral, á media legua de distancia poco mas ó menos”.

No hallamos nuevas citas acerca de esta explotación minera hasta el año 1911, en el que la “Estadística Minera” hace alusión a un manantial de aguas ferruginosas y arsenicales llamado *Mina Fé*, exactamente en este paraje. Se trataba de un manantial de agua que brotaba de la caldera de un pozo de mina primitivo al fondo de una calicata.

El propietario llevó a cabo el saneamiento de esta calicata con un sostenimiento de mampostería de piedra (parte de la cual podría ser original) y construyó una canalización desde la bocamina hacia cada una de las dos casas en las que instaló unas embotelladoras. Estas construcciones son las ruinas que pueden apreciarse en la actualidad. Del pozo ya no mana agua y el fondo de esta labor se encuentra impracticable por la vegetación. Junto a las casas hemos hallado algún resto de vidrio.

Citamos a continuación algunos extractos del artículo (“Estadística Minera”, 1911):

“La Fe.- El manantial de agua arsenical ferruginosa titulado La Fe se

encuentra en el sitio llamado Portillo de la Mina, en término de Villalta, lindante con el de Moralarzal, en la cumbre de la Sierra del Hoyo, (...) en paraje donde desde el siglo XVI hay noticia de haberse investigado depósitos metalíferos”.

Los autores señalan que las labores seguían masas y filones que cruzaban el granito, apareciendo cuarzo y baritina con óxidos de hierro y piritas arsenicales, así como otros metales de forma accesoria. Su opinión es que nunca pudieron ser considerados como menas aprovechables.

MIRAFLORES DE LA SIERRA⁴⁹

La minería es muy tímida en esta localidad en estos siglos XVI y XVII. Creemos que sus veneros serían descubiertos y aprovechados por los explotadores de las cercanas minas de Bustarviejo o del Cerro de San Pedro, muy activas en aquella época. Las minas de mayor entidad del municipio, las galerías de La Carcamal y El Cubero, se localizan en las faldas S y SE del pico de La Pala, y son del siglo XIX. Aunque pudieran haber sido descubiertas y explotadas mucho antes, los vestigios actuales apuntan a una minería de ese siglo. En las inmediaciones se han encontrado herraduras de buey y burro que no han podido datarse.

⁴⁹ Antiguamente llamada Porquerizas.

Existen dos vestigios mineros, un pozo en el Cerro de los Santos, con escombrera estéril y unas ruinas aguas debajo de ese mismo paraje que pudieran ser las minas más antiguas de la localidad (aparecen como mina abandonada en la hoja MAGNA 1:50.000 de 1987). TOMÁS GONZÁLEZ cita en 1832: *“En 7 de junio de 1649. Cédula de S.M. para que don Antonio Zambrana y Villalobos (el cual ya tenia minas en Bustarviejo, Guadalix y Colmenar) para administrar cuatro minas (las anteriores) y la otra en el término de Porquerizas, en un cerrillo llamado la Berro cosilla”*.

FUENTE DE LA PLATA DE COLMENAREJO

La exploración de plata en Colmenarejo es un dato curioso, ya que si bien no se ha podido localizar ningún indicio argentífero, sí que aparecen labores en los parajes descritos por los archivos. Las labores encontradas son en su mayor parte estériles o a lo sumo con algún carbonato de cobre: la mineralogía más abundante en la zona. Sin embargo el topónimo de “Fuente de la Plata” en esa zona creemos que tendrá relación con hallazgos o pequeñas labores sobre cobres grises o galenas argentíferas (tal y como existe una mina de este tipo no muy lejos, en la ribera del Embalse de Valmayor).

La zona llamada La Plata o Fuente de la Plata se encuentra a tres kilómetros al Sur de Colmenarejo, entre la carretera a Villanueva del Pardillo y la senda pecuaria del Cordel de la Espernada (altos de la Chaparrita). De ella parte en dirección SSE el Barranco de la Fuente de la Plata. No hemos hallado ningún

indicio de minería en este paraje y sí en sus proximidades: pozos estériles de la Picaza y minas de cobre al Sur).

LÓPEZ CANCELADA (1831) aporta detallada información sobre la situación y laboreo de numerosas concesiones de plata. La primera reseña es del año 1615, en el cual se cita el descubrimiento de oro, plata y “*otros metales*”. Dudamos del descubrimiento de oro, en cuanto a la plata, nos inclinamos, de ser cierto aquel hallazgo, a que fuese algún tipo de cobre gris (sulfuros y sulfosales de cobre tipo tetraedrita), que pudiera haber aparecido en cierta cantidad en alguna de estas minas. El autor continúa describiendo las posteriores labores mineras registradas en el año 1626.

MINA DE EL ESCORIAL

Según la “Enciclopedia Universal Ilustrada” (Espasa Calpe, 1915): “*Escorial es un sitio donde se han echado las escorias de las fábricas metalúrgicas*”. También aparece como “*terreno donde se han beneficiado minas de oro, plata ú otros metales, y está ya labrado y cavado*”. Según TOMAS GONZÁLEZ (1832):

“*En 11 de julio de 1608. Cédula para que las justicias del reino dejasen beneficiar á don Jerónimo de Ayance una mina de plata que había buscado en término del Escorial en las sierras, por la parte como se va desde la villa de Madrid*”.

En la extensa Contaduría de 1609 en la que se describe el litigio e irregularidades de la mina próxima al Pardo también se hace referencia a una mina de plata en el Escorial: *“hizo relación que tenia receta de dos minas riquísimas de plata que estaban la una mas arriba del Escorial...(...) En 19 de septiembre de 1629. Cédula de S.M. para que Pedro López de Arenas y consortes, pudiesen continuar en el beneficio de una mina de oro, plata y otros metales que habían descubierto y registrado en la jurisdicción del Escorial, pasada la Albarradilla, al desbarradero que llaman de la Cruz⁵⁰ en frente del Real palacio”* (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832).

⁵⁰ Pudiera tratarse de la Cruz Verde, donde se ubican las minas de magnesita, y donde ha aparecido pirita. Aunque se trata de una mera especulación. En las proximidades se encuentra el skarn con magnetita de Robledondo.

NAVALAGAMELLA

La mina de plomo de Navalagamella aparece mencionada en ocasión de la demarcación de una mina en El Escorial, en 1629 (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832), citando cómo los propietarios también tenían otras registradas de oro, plata y otros metales “una en jurisdicción de Navalagamella”.

Mina:	Paraje:	Localidad:	Observaciones (S XVI y XVII)
Cerro de la Plata	Cuesta o Cerro de la Plata	Bustarviejo	Difícilmente reconocibles. Enmascaradas por las labores posteriores. Molino del Indio
Minas de Guadalix	Fondo del arroyo de Valdemoro, próximo a la desembocadura al embalse del Vellón	Guadalix de la Sierra	La mayor parte destruida por labores posteriores. Restos de pequeña labor aterrada en el arroyo de Valdemoro. Filón de arsenopirita
Arroyo de Maderones	Dehesa de Navalvillar	Colmenar Viejo	Escorias (plata-cobre), escombreras, socavón y galería
Arroyo del Cerrillo de los Lobos	Inicio Dehesa de Navalvillar	Colmenar Viejo	Piedra rústica moler. Escombreras, galería y pozo grande inundados
Pequeñas minas dispersas de Somosierra	Prácticamente en todos los cerros alrededor de La Acebeda. Puerto de la Acebeda. La Platera, El Carcabón	La Acebeda	Rafas y calicatas.
Portillo de la Mina	Portillo de la Mina. Fontenebro	Moralzarzal	Emboquille del pozo y parte de la trinchera
Pozo La Picaza o Madroñal y Cerro de los Quemados	Cumbre del Cerro del Burro o de los Quemados y ladera Norte del Cerro Madroñal en crestón de cuarzo del arroyo de la Picaza	Colmenarejo	Pozo oval 15 metros profundidad y fondo abovedado. Escombreras estériles. Pozo sin explorar en el cerro de los Quemados

Tabla 32: Inventario de vestigios minería y metalurgia de plata en Madrid (S. XVI - XVII).

3.2.7.- MINERÍA DE COBRE

MINA SAN MARCELINO, ALTO DEL PEÑALVENTO (COLMENAR VIEJO)

Se trata de una de las labores más espectaculares y mejor conservadas del siglo XVII. Aparece citada en 1684 (ANTÓN VALLE, 1841) como:

“mina de oro, plata, cobre y otros metales en el río desde el molino del concejo hasta la dehesa de Nuestra Señora”.

El llamado Molino del Concejo, son en realidad 4 enormes molinos de agua antiguos en el río Manzanares, con canalización desde el Puente del Grajal. Las labores principales de la mina eran dos galerías de 30 y 40 m de recorrido, una junto al río y la otra a 20 m sobre el nivel de éste en la falda del cerro de Peñalvento. El emboquille de la última es de mampostería.

La mina situada más abajo era una galería prácticamente horizontal, mientras que la superior presenta interesantes trabajos en pequeños realces siguiendo un filón. En 2007 en nuestra última visita a la zona constatamos el desmoronamiento de buena parte del emboquille y primeros metros de la galería inferior.

La mena debió de ser rica comparada con las pobres leyes que se explotaban en la zona, a la vista de la abundancia de minerales que hemos hallado en las escombreras: calcosina, cuprita (muy abundante), calcopirita, malaquita y crisocola. Debido a su situación nunca ha pasado desapercibida para los prospectores que la han vuelto a demarcar y trabajar durante todos los siglos siguientes, si bien los trabajos se limitaron a partir de entonces a tomas de muestras y eventuales saneamientos.

MINAS DE COBRE ANTIGUAS DE COLMENAREJO

Las minas demarcadas en 1649 y explotadas en el siglo XVII han sido identificadas gracias a que los nombres de los parajes no han sufrido cambio alguno: se trata de tres minas: Las Cuestas, La Osera y Zona de la Mina Antigua Pilar.

MINAS DE LA OSERA

Con fecha de 1626 se describe cómo FRANCISCO ANTOLÍN (que junto con BALTASAR CHAVES son personajes muy citados en las prospecciones y demarcaciones de la época por toda la Sierra de Guadarrama) administra una mina en este lugar, que ha sido trabajada por JUAN de BURIEL demarcada como Espíritu Santo. Son las explotaciones de mayor envergadura de la época en la zona. Constan de un pozo y galería anegados por el agua y una galería llena de limo que bien pudiera tratarse de la mina “*labrada y tapada*”

del tiempo antiguo” (GONZÁLEZ, 1832). Las escombreras son de relativa importancia, con mucho mineral de cobre y restos de lo que parecen ser una eras de calcinación.

Lo más interesante es el pozo de sección cuadrada, en cuyo borde existe una curiosa pileta en piedra, con un sistema de canalización a una pequeña construcción contigua, que creemos sería el sistema de desagüe. Desde la boca del pozo el agua iría canalizada al arroyo, o por lo menos al final de las escombreras, estaría construida con tejas, por la cantidad que hemos encontrado.

MINA ANTIGUA PILAR Y OTRAS

La tercera zona se encontraba en el lugar de las ruinas de la mina Pilar. Las labores llevadas a cabo durante todos los siglos posteriores (mina El Terrible a mediados del siglo XIX, mina Pilar hasta finales del siglo XIX y minas Sebastián, Aurora y María en la primera y segunda década del siglo XX) han borrado casi estas primeras explotaciones. En la exploración de uno de los pozos de esta mina se han descubierto labores más antiguas puestas al descubierto en una de las cámaras más grandes, la del primer nivel. Se trata de una galería estrecha en la parte baja parcialmente aterrada así como una galería con entibado en pésimo estado, colapsada en parte y que fue tapiada en los últimos años de actividad.

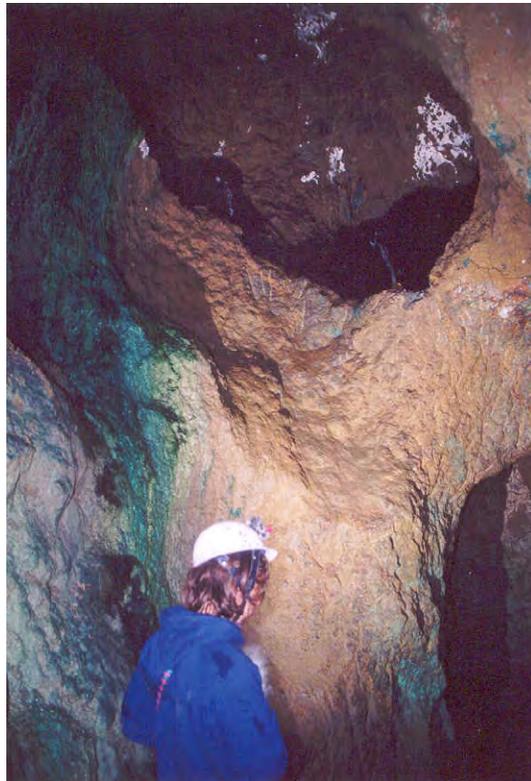


Figura 74: Labores más antiguas de la mina Antigua Pilar de Colmenarejo.

MINA DEL ARROYO TROFAS (TORRELODONES)

Según TOMÁS GONZÁLEZ (1832):

“En 13 de diciembre de 1663. Cédula de S.M. para que el capitán Esteban Vimercato pudiese beneficiar una mina de cobre que había descubierto en término de la villa de Torreldones, provincia de Madrid, junto a una heredad sita en el camino de Colmenar Viejo”.

Creemos que esta mina es la que se encuentra en la antigua carretera de Torreldones a El Pardo, en la margen izquierda frente a la urbanización Arroyo de Trofas. La mina de cobre fue explotada en el siglo XVII mediante un pozo del cual queda aún el emboquille.



Figura 75: Brocal del antiguo pozo de la mina de arroyo Trofas (cortesía de Ramón Jiménez, 2004).

En 1955 fue demarcada con el nombre de Rosa María, y se llevaron a cabo ensayos sobre su contenido en cobre y especialmente la abundancia de minerales de uranio, que aún hoy pueden encontrarse con facilidad (torbernita, autunita, tyuyamunita y uraninita, junto con volframita, malaquita y crisocola).

En la demarcación de la concesión se especifica un pozo de una antigua mina de cobre abandonada. En los últimos años se ha referido a esta explotación como la mina de uranio de Torrelodones (JIMÉNEZ, 1993).

MINA DE CASA BLANCA DE EL PARDO (HOYO DE MANZANARES)

En 1609 se constituye una comisión para estudiar un posible delito de explotación ilegal de una mina de plata a distancia de una legua de El Pardo. No se tienen más datos de la ubicación de la mina, así pues sólo hemos encontrado una mina que pudiera encontrarse en ese radio de acción, no en línea recta sino a esa distancia por caminos carreteros (puesto que en línea recta quedaría ubicada en terrenos terciarios).

Esta mina es de cobre, aunque de aparecer cobres grises pudiera haber tenido cierto contenido en plata. TOMÁS GONZÁLEZ (1832) transcribe la “*Comisión al licenciado Puebla Oreja para que siguiese la información que se habia hecho en averiguación de dos minas de plata que manifestó Bartolomé Somarriba, fundidor de artillería, una mas arriba del Escorial, y la otra una legua en circunferencia del Pardo*”.⁵¹

La mina se encuentra aproximadamente a medio camino entre la mina de Arroyo de Trofas y la mina de Peñalvento, en el límite justo del escalón tectónico hacia el terciario. En este lugar hay una importante explotación de cobre, que creemos corresponde a esta mina demarcada en el siglo XVII.

⁵¹ “Contadurías generales, núm. 854. 4 de mayo de 1609. (...) Ya sabeis que Bartolomé Somarriba, fundidor de mi artillería, por un memorial firmado de su nombre, fecho en tres de abril deste presente año, (...) hizo relacion que tenia receta de dos riquísimas minas de plata que estaban la una mas arriba del Escorial, y la otra una legua de circunferencia del Pardo; y por haber estado cinco años ausente desta mi corte, no habia podido apurar hasta ahora el lugar á donde estaban, y que dellas tenia nota un Antonio Napolitano residente en esta mi corte, y estaba en su poder un pedazo de metal de las dichas minas que pesaba hasta cinco libras, que era riquísimo, que no mermaria cinco por ciento, y tambien tenian la misma noticia otras personas, y habian entendido que de una de las dichas minas, la mas cercana al Pardo, se iba sacando mucho metal de noche ascondidamente,...”.

Creemos que la ruta de acceso sería por la antigua carretera Torreledones – El Pardo hasta la finca Cantos Negros, de donde se seguiría la ruta medieval que lleva al Puente de La Marmota sobre el Manzanares.⁵² La última referencia a esta explotación es de 1684, encontramos en TOMÁS GONZÁLEZ (1832):

“En 10 de junio de 1684. Cédula de S.M. mandando que las justicias y guardas de la jurisdicción de Colmenar Viejo dejasen reconocer á Cristóbal Garcia Salmeron un cerro mineral que habia descubierto á distancia de legua y media (nota autor: 1 legua es aproximadamente 6 kilometros) de dicha villa, entre la fuente de Valtravés y la casa blanca del Pardo; con vetas distintas y criaderos de metales de plata con alguna de ley de oro y cobre”.

No hemos vuelto a encontrar referencias a esta explotación. Ni siquiera la hemos encontrado demarcada en los años del apogeo del siglo XIX. Lo remoto de su ubicación, así como encontrarse en un paraje de finca particular junto al

⁵² TOMÁS GONZÁLEZ (1832) prosigue la transcripción:“... y se traia á esta villa de Madrid y se fundia, de que procedia mucha plata, y se aprovechaba della el dicho Antonio Napolitano y otras personas: y porque él denunciaba y daba noticia de las dichas minas, me suplicó mandase hacer sobrello las informaciones y averiguaciones necesarias, (...) y resultado de ello culpado el dicho Antonio Napolitano y Jerónimo su hijo, los prendisteis, y de sus confesiones han resultado otros culpados que algunos han sido presos, y á mi servicio y buen recaudo de mi Hacienda conviene se lleven a cabo; (...) apruebo las dichas informaciones, y averiguaciones, y demás diligencias que hasta agora habeis hecho sobre las dichas minas, y os mando las prosigais, y hagais de nuevo todas las que convengan; por manera que se sepa si hay las dichas minas, y en qué parte están, y si dellas se ha sacado algun metal, y si se ha fundido, dónde y por qué personas, y la plata que ha procedido dello, y en cuyo poder ha entrado, y en qué se ha convertido; y hareis prender á las personas que resultaren culpadas, y procedereis contra ellas,(...) y lo cumplan so pena de la mi merced y de la de cincuenta mil maravedís para mi Cámara y Fisco, y en todo lo susodicho entenderéis durante el tiempo que estuviéredes ocupado en las dichas vuestras comisiones; y de esta mi Carta se ha de tomar la razon por el contador del libro de caja y mis contadores de minas. Dada en Madrid á cuatro dias del mes de mayo de mil seiscientos y nueve años.- Don Juan de Acuña.- Bernabé de Pedroso.- Don Pedro Megía de Tobar.- Diego de Herrera.- Yo Martín de Pradeda, escribano de Cámara del Rey Nuestro Señor”

Pardo, ha hecho que se preserven intactas las labores de interior con las huellas primitivas de explotación. La mina fue saneada posteriormente a su primer periodo de explotación, por los dos colores de materiales que encontramos en la escombrera, y los bloques colocados en los laterales de las galerías. Tal vez estas labores sean de finales del XVII mientras que la excavación principal fuera de principios.

Como elemento de interés arqueológico minero, citar la presencia de huellas de trabajos a martillo y punterola o cincel en todas las galerías secundarias, así como “arañaduras” en los frentes. El techo esta completamente quemado, incluso en algunas zonas concretas, tales como los cruces de galería; existen trazas de fundidos en el techo y que pudieran interpretarse como una aplicación del histórico método de “las caldas”.

Mina:	Paraje:	Localidad:	Observaciones (S XVI y XVII):
Minas de la Osera	En la ladera occidental cerro de la Osera, nacimiento arroyo de la Ventilla	Galapagar	Minería: galería aterrada, un pozo y galería anegado por agua. Posible estructura bombeo y canalización. Calicatas. Varias escombreras medianas (malaquita y azurita). Metalurgia: posibles eras de tostación, horno hormiguero
Fundición de Colmenarejo	Carretera Villanueva del Pardillo próximo a Mina Pilar	Colmenarejo	Fundición y escoriales
Las Cuestas	Vía pecuaria de Cabeza Aguda. Entre La Chaparrita y la ladera Norte del Cerro Cabeza Aguda o Buda	Colmenarejo. Linde con Valdemorillo	Pequeña calicata y escombrera, hallazgo pico de minero. Mina con pozo 5 m galería de 2 y pequeña rampa con pedriza. Escombrera con crisocola y malaquita
Mina Arroyo Trofas	Junto a la antigua carretera Torrelodones- El Pardo. Lado Norte, en la finca Cantos Negros	Torrelodones	Restos de la estructura del pozo. Escombreras con malaquita y crisocola
Dehesa de Navalvillar	Pequeñas labores para cobre cercanas a las minas más importantes de arsenopirita: arroyo Maderones	Colmenar Viejo	Minería: pequeñas calicatas y zanjón ladera oeste arroyo de los Maderones
Mina de Casa Blanca de El Pardo	Finca Casa Blanca de El Pardo	Hoyo de Manzanares	Unos 100 m ³ de escombrera. Labores subterráneas secas y en perfecto estado. Galería principal de 50 m de recorrido con 3 transversales. Huellas de trabajo a pico y martillo y punterola o escoplo (en mineralización y filón y en estéril), techos quemados.
Antiguas minas de Peñalvento	Ladera del cerro Peñalvento, hacia el río Manzanares. Unos 3 Km. aguas abajo del puente del Grajal	Colmenar Viejo	1 galería 50 m 1 galería 60 m con realces y emboquille en mampostería. Escombrera con calcosina, cuprita, malaquita, calcopirita y crisocola.

Tabla 33: Inventario de vestigios de la minería y metalurgia del cobre en Madrid (S. XVI y XVII).

3.2.8.- MINERÍA DE PLOMO

GALENA ARGENTÍFERA EN CADALSO DE LOS VIDRIOS Y CENICIENTOS

Las primeras citas de plomo argentífero, o plata y plomo, así como de otros metales se remontan a 1568 (TOMAS GONZALEZ, 1832):

“En la villa de Madrid á 5 de noviembre de 1568, ante el Consejo de la Contaduría mayor de S.M., el capitán Juan García de Toledo, vecino de la ciudad de Toledo, presentó un registro de dos minas; una en término del lugar de Cadalso, jurisdicción de la villa de Escalona, al pago que decían de Pero Abad, en viña de Hernando Cansabo vecino del dicho lugar; y la otra en dezmería del lugar de Cenicientos, al pago que decían del Franquillo de aquel cabo de las Canalejas, y atravesaba por ella el camino que va á la Higuera de las Dueñas, de las cuales minas salía plomo y plata; y visto por los señores contadores mayores, las hubieron por registradas tanto quanto de derecho había lugar, y que guardase las ordenanzas”.

En la zona de Cadalso y Cenicientos, es muy probable que se produjera galena para la venta a la vecina Escalona (provincia de Toledo). La galena era empleada en la industria alfarera local, de amplia tradición. En 1572 hay una cita en la que (excepcionalmente en estos archivos, para minas que no eran trabajadas por la Corona) añade la producción:

“Cadalso. En 1º de octubre de 1572 se registró una mina de plomo que daba por quintal de tierra media onza y media, situada en los Vigos de Franquillos, junto á unas casas de retama que estaban en la parte de abajo”.

En 1568 se cita una explotación de plomo y plata en el vecino Cenicientos y en 1576 LÓPEZ CANCELADA (1831) y TOMÁS GONZÁLEZ (1832) citan minas en los mismos parajes de Pero Abad y en la “Dehesa de las Bellotas, conocida por otro nombre de los Bueyes”. Los restos de las labores de la época son muy escasos.

MINERÍA ANTIGUA DE COLMENAR DEL ARROYO

El primer filón de barita y galena ya se conoce en 1564, pues encontramos referencia a la utilización de las minas ya existentes (TÓMAS GONZÁLEZ, 1831 y ANTÓN VALLE, 1841⁵³). Esta primera zona explotada de Colmenar del Arroyo estaría situada en lo que hoy ocupa la mina San Eusebio y Pozo San

⁵³ “En Madrid á 30 de enero de 1564, ante los señores contadores mayores se presentó una petición en nombre de Jerónimo de Briones y Manuel de la Peña, ambos vecinos de la ciudad de Segovia, manifestando que habían hallado y descubierto dos minas de alcohol, plomo y otros metales: una junto a Colmenar del Arroyo, do decían Navalmoral, y otra junto al lugar de Robledo de Chavela, á do decían la Fuente del Abad, las cuales habían registrado ante el corregidor de dicha ciudad (...). Y en 2 de febrero del mismo año se mandó al corregidor de Segovia ó a su teniente reconociesen dichas minas, enviando relación de la calidad de ellas dentro de treinta días, y cobrando lo que á S-M perteneciese”.

“En 19 de septiembre de 1578, se permitieron beneficiar, en término de aquella villa, tres minas de plomo alosado, con plata y otros metales. En 24 de abril de 1621, otra mina de plomo y alcohol; y en 9 de agosto de 1626, igual licencia para otra de la misma clase que se halló desierta(es decir, una mina abandonada) encima de la dehesa”.

Eusebio (conocida localmente esta última como mina o pozo de “La Corvera”). En la última mina citada, en 1626, interviene el ya mencionado Francisco Antolín, un carpintero, que ya había buscado minerales y demarcado minas en Colmenarejo.

La galena era muy utilizada en la época en municiones, tuberías y en la alfarería, por esto último, cuando aparecía masiva-espática se la denominaba alcohol de alfareros, o alcohol de hoja. El plomo es fácilmente beneficiable, por su bajo punto de fusión. Las minas de galena explotadas en la primera época serían aquellas donde la galena afloraba en filones de considerables dimensiones.

En la mina de Nuestro Padre Jesús la baritina aflora en la zona del pozo Medio y la galena aparece como una masa grisácea por su grado de alteración, las muestras frescas llegan a ser masas de varios kilos en filones, de hasta 40 por 10 centímetros. Esta sea probablemente la mina de “*encima de la dehesa, o la situada a media legua*”. También aflora un potente filón de galena, si bien menos espectacular en las proximidades de la estación de bombeo de agua en la zona denominada La Carrala.

MINA LA MONTAÑESA (NAVALAGAMELLA)

En 1624 se pide licencia para beneficiar “*una mina de alcohol*” que se descubrió desierta (TOMÁS GONZÁLEZ, 1832). Estaría ubicada en la zona que ahora ocupan los restos de la explotación La Montañesa en el paraje del Horcajo. Es la única zona de Navalagamella donde se ha encontrado galena espática que se puede denominar como “alcohol“. A pesar de lo vistoso de algunas muestras (que debió de llamar la atención) se encuentra muy dispersa en un filón de baritina de más de un metro de potencia. Esto haría poco rentable su explotación. Creemos que la galena nunca ha llegado a beneficiarse en Navalagamella, ni siguiera como subproducto (como sí lo fue en Colmenar del Arroyo, incluso cuando se beneficiaba la barita y la fluorita).

Mina:	Paraje:	Localidad:	Observaciones (S XVI y XVII):
Antiguas minas	Zona viñedos Norte de antigua carretera a Higuera de Dueñas	Cenicientos	2 pozos revestidos de piedra anegados. Utilizados posteriormente para riego de viñas
Antiguas minas	Minas de Nuestro Padre Jesús, Mina San Eusebio y Mina de La Chaparra	Colmenar del Arroyo	Desaparecidas por labores posteriores, posibles calicatas más antiguas

Tabla 34: Inventario de vestigios de minería de plomo en Madrid (Siglos XVI y XVII).

3.3.- LA MINERÍA Y METALURGIA MADRILEÑAS EN EL SIGLO

XVIII

3.3.1.-CONTEXTO CIENTÍFICO EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

EN EL SIGLO XVIII

Durante ese siglo gran parte de las obras escritas técnicas y científicas se refieren a la mineralurgia y metalurgia de la plata. Se busca mejorar las técnicas de amalgamación para incrementar la recuperación de las menas. Las minas del Nuevo Mundo habían desbancado casi por completo a la minería Peninsular. La producción de las minas americanas es fundamentalmente de plata: que era empleada en la acuñación de moneda.

En relación con la metalurgia argentífera, en 1713 se publica “Theoría y practica de la arte de ensayar oro, plata y vellón rico” de JOSEPH GARCÍA CABALLERO. En 1734 se edita el “Promptuario y guía de artífices plateros” de JOSEPH TREMULLS y en 1741 “Proporción aritmética practica de la plata” de BERNARDO MUÑOZ que consta de un segundo volumen dedicado al oro. Este último publica también en 1755 el “Arte de ensayar oro y plata”.

Asimismo se publican en América manuales de beneficio de plata, como el “Arte o cartilla del nuevo beneficio de la plata en todo género de metales finos y calientes” de LORENZO PHELIPE DE LA TORRE BARRIO y LIMA

(CALVO, 1999) o los primeros manuales mineralógicos: “La Orygthología de Juan José Elhuyar y la Oritognosia de Andrés Manuel del Río” (PUCHE y AYALA, 1994).

La única mina que constatamos fue trabajada en ese siglo fue la de plata de Bustarviejo.

3.3.2.- INICIO DE LA METALURGIA DE LA PLATA A MAYOR ESCALA EN BUSTARVIEJO

Tras intensos trabajos de laboreo y prospección en el siglo XVII, construcción del molino inacabado en 1660, y la galería de desagüe, comienza el siglo con unas halagüeñas perspectivas para la mina. LARRUGA (1787) cita los trabajos llevados acabo a partir de 1701:

“Juan de Aranda, platero, la empezó á laborear; para cuyo efecto se valió de Don Luis Romero, vecino de la ciudad de Cádiz, y práctico en la Mineralogía en cuanto lo permitían las circunstancias de su tiempo; pues se había exercitado 20 años en beneficiar metales de plata y oro en diferentes minerales, así del Perú, como en la Nueva España; habiendo hecho lo mismo en estos reynos desde que vino á ella. Este, pues, pasó a la de Bustarviejo en 1701, e hizo diferentes ensayes y experiencias de los metales antiguos que tenía sacados Aranda, y no pudo beneficiar éste, por causa de no haberse dexado cortar leña para la fundición de ellos, de que tenia pleyto pendiente.

Conoció Don Luis Romero que de esta oposición se le había seguido gran perjuicio, pues como el mineral era tan anexo, y de muy corta ley, se alcaparrosaron; y no pudiendo sacar metales, destruyó los azogues que con los minerales se echaron en los incorporaderos. De los metales nuevos no pudo hacer experiencia, así por no estar corriente dicha fábrica, como por estar la mina llena de agua, y estarse á la sazón continuando en un socabon para su desagüe”.

Por otro lado, las expectativas de la mina estaban puestas en continuar las labores de la parte superior, “*adentrándose en la montaña*”, para lo cual deberían avanzar la galería de desagüe (posteriormente empleada como galería de acceso y extracción de mineral). Aranda prosiguió el socavón entre el 24 de Junio de 1701 y el 23 de Junio de 1705 (en que aún proseguía), empleando para ello cuatro mineros. Mientras tanto realizaba ensayos de los minerales que iba extrayendo, y utilizando en la fundición la leña “*que le querían vender los lugares inmediatos*”(LARRUGA, 1787).

Día	Año	Cantidad (marcos, onzas y octavas)	Cantidad actualizada (en gramos)
17 Julio	1703	3 marcos, 6 onzas, 4 octavas	876,875 g
27 Octubre	1703	4 marcos	920 g
17 Noviembre	1703	3 marcos, 6 onzas, 1 octava	866,094 g
23 Diciembre	1703	2 marcos, 7 onzas, 3 octavas	672,031 g
22 Marzo	1704	4 marcos, 4 octavas	934,375 g
20 Agosto	1704	2 marcos, 3 onzas	546,25 g
31 Enero	1705	2 marcos, 4 onzas, 5 octavas	592,969 g
4 Abril	1705	1 marco, 1 onza, 0.5 octavas	260,547 g
5 Junio	1705	2 marcos, 1 octava	463,594 g
Total	1703- 1705	26 marcos, 5 onzas, 2.5 octavas	6132,731 g

Tabla 35: Plata extraída en Bustarviejo, en los ensayos metalúrgicos realizados entre 1703 y 1705 (fuente: LARRUGA) ⁵⁴ .

⁵⁴ Medidas de peso de la época:

1 marco = 0,5 libras = 230 gramos; 1 onza = 28,75 gramos

8 onzas = 1 marco; 8 octavas = 1 onza

1 arroba castellana @ = ¼ quintal castellano = 11 Kg y 502 gramos

1 quintal castellano = 46 Kg

La mina había sido adjudicada a Aranda en el año 1686, y desde 1692 se le había “preservado de paga de los quintos”, alegando el coste que tenía el socavón. Tras los resultados obtenidos con los ensayos de 1703-1705, debido al poco metal obtenido, sólo 6132 g, y a los enormes costes que seguía teniendo el socavón, y estimados en 809 pesos los gastos de esta explotación, el Juez conservador de la mina Don Manuel García de Bustamante dio un informe favorable para la exención de impuestos.

Sin embargo el Fiscal de la Real Hacienda desestimó la propuesta, alegando que la familia había sido mantenida con “bastante conveniencia” desde que explotaba la mina, y que de algún modo habría tenido beneficios, pues “los trabajadores comían y bebían” (LARRUGA, 1787). La mina se abandonó en 1718. En 1722 se le dio licencia al Doctor Don Millán Velilla y Cordón, médico de Miraflores, quien también pidió exención de impuestos (esta vez a la mitad), que no le fue otorgado.

3.3.3.- LAS VICISITUDES DE CAPUA Y ARENI: LA COMPAÑÍA

El 21 de septiembre de 1725 la mina pasa a manos de Don Bernardo Ventura de Capua, Teniente Coronel de los “*Exércitos de S.M.*” y Don Bartolomé de Areni. Estos realizaron un primer ensayo con un quintal de piedra (46 kilogramos de todo-uno) que arrojó 17 onzas de plata (488,75 g, no confundir con el termino “granos”, también muy usado en las medidas de la época) lo que representa una ley de más del 1% en plata, cantidad muy considerable para este tipo de yacimientos, y también se obtuvo, al parecer algo de oro. Ello despertó nuevas expectativas, y por primera vez especulaciones e incluso fraudes (como se verá más adelante). Es una época de bonanza en la mina pero también despierta momentos turbios en la historia de Bustarviejo.

El 2 de abril de 1726 se empieza el proceso de fundición de 200 arrobas de piedra (mineral). De esta primera fundición se produjo metal bruto de oro y plata, que se llevó a afinar al pueblo de Bustarviejo. De éstas crónicas deducimos la existencia de una planta de concentración y primera fundición en la mina y una fundición de afino en el propio pueblo. De las primeras 60 onzas afinadas se extrajeron 25,5 de oro (la nada despreciable cantidad de 733,125 g). Acto seguido Bernardo Ventura pidió se le remitiese un sello real para poder marcar las fundiciones, dándose cuenta del enorme valor que se estaba extrayendo de los afinos. En ese momento la fundición estaba expuesta a fraudes.



Figura 76: Calle de la Fundición de Bustarviejo: el topónimo es el único vestigio.

Se acordó que de la fundición de la mina se llevasen los minerales a la casa de afino de Bustarviejo, y no se extrajesen los metales nobles hasta estar sellados (LARRUGA, 1787). El mineral se llevó a Madrid sin haber sido sellado, y fueron por ello reprendidos. Capua, Areny y Pons, tras los resultados obtenidos en las fundiciones, que arrojaban contenido en oro, propusieron formar una sociedad, cuyo fin era mejorar las labores en la mina de la Cuesta de la Plata, en la que los trabajos debían de ser por aquel entonces poco ordenados.

Hasta ese momento comentaban que solo se había beneficiado la plata, y se pretendía trabajar ambos metales preciosos “hasta que por los beneficios de éstos se había hallado tener más ley de oro, que de plata”.

La idea era poner en explotación no sólo esa mina en curso sino otras vetas en esa zona de la Sierra. La respuesta de la administración fue que por el beneficio de estas minas “pagar á la real Hacienda la mitad del oro, y quinto de la plata que de ella sacaren” (LARRUGA, 1787).

Se asocian finalmente Bernardo de Capua y Bartolomé Areny, el primero suplía el caudal y el segundo los conocimientos técnicos. Ambos ya tenían experiencia en el ramo de la minería y metalurgia, pues según apunta LARRUGA, habían beneficiado minerales en Galicia. Decidieron que se repartirían los beneficios de la mina de Bustarviejo. Se hicieron los primeros ensayos, que arrojaron resultados positivos y se hicieron dos fundiciones: la ya mencionada de un quintal de mineral, de la que se obtuvieron 17 onzas de plata y otra de 200 arrobas que dieron ochenta onzas de oro (incluyendo las 25,5 onzas del primer afinado) y ciento cuarenta de plata (LARRUGA, 1787).

Capua debió querer lucrarse más y pretendió cambiar el contrato, pagando a Areny un sueldo, en lugar de lo convenido. Prosiguieron disconformidades entre ambos, y al parecer Areny que era el responsable de la explotación la abandona. Fue encarcelado por ello. Estuvo al menos un año y ocho meses en prisión. Durante ese tiempo, escribió cartas “*moviendo a compasión*” diciendo que la mina daría muchos beneficios a la Corona si se explotaba con inteligencia. Capua alegaba todo lo contrario, diciendo que sólo pretendía lucrarse y que no tenía habilidad. No volvemos a encontrar referencias a Areny. Debido a estas turbulentas confrontaciones, el Consejo decide

asegurarse de la calidad de la mina, para lo que analiza en Madrid el mineral. Se ensayaron tres arrobas de piedra (todo uno) de la que se obtuvieron “*ocho onzas menos una octava de plata en dos planchillas*”.

En 1727 Bernardo de Capua sigue a cargo de la fundición de Bustarviejo, trabajando también alguna de las minas. Figura en LARRUGA (1787) que se entregan ese año 900 arrobas de mineral (ya concentrado y con contenido en plata significativo) a la fundición. Este tenía un nuevo maestro fundidor.

Se fundieron 400 arrobas que dieron 29 arrobas de aleación plata – plomo. Éstas se sometieron a copelación (proceso de extracción de la plata de su aleación con plomo) produciendo nueve onzas y media de metal puro, una cantidad (ley) diez veces menor que la ley que se había obtenido en Madrid, y muy inferior a lo que había obtenido Areny. De nuevo recayeron sospechas sobre el fundidor. A partir de aquel entonces se puso un vigilante a cargo del Consejo en la bocamina principal, otro en la bocamina secundaria y un tercero que se ocuparía de la fundición y fábrica de afino.

En esa misma época aparece un nuevo explotador llamado Don Manuel Valenciano. También tenía experiencia en fundición y amalgamación. Trabajaba para “la compañía” de Capua como explorador, y después pasó a trabajar por cuenta propia y “*registró todo el monte*”. Reconoció toda la zona del Collado de la Plata y descubrió que en otras partes el “monte era copioso de metales”. Estudió socavones antiguos y abrió nuevos pozos y catas. La

compañía de Capua tenía asignadas minas diferentes. No tenemos más referencias escritas a fundiciones en lo que queda de siglo.

Fundición	Contenido en plata en medidas de la época	Contenido en plata en kilogramos	Contenido en oro en medidas de la época	Contenido en oro en gramos	Cantidad de mineral de partida en la fundición
Ensayos 1703 - 1705	26 marcos, 5 onzas y 2,5 octavas	6,132 Kg	-	-	Desconocido
Ensayo 1725	17 onzas	0,489 Kg	-	-	46 kg
Fundición 1726	140 onzas	4,025 Kg	80 onzas	2300 g	200 arrobas (2300,4 Kg)
Ensayo entre 1726 y 1727	7,875 onzas	0,226 Kg	-	-	3 arrobas (34,506 Kg)
Fundición 1727	9,5 onzas	0,273 Kg			400 arrobas (4600,8 Kg)

Tabla 36: Producción de plata y oro en la fundición de Bustarviejo en la primera mitad del siglo XVIII. Elaboración propia; fuente: LARRUGA (1787).

3.3.4.- RESPUESTAS AL CUESTIONARIO DEL CARDENAL

LOREZANA

En cuanto al resto de las minas de la provincia la actividad es muy reducida. Se trata de una escala de trabajo prácticamente de investigación y no comparable a la actividad desarrollada en la centuria anterior. Así como LARRUGA (1787) es la mejor referencia sobre la zona de Bustarviejo, en cuanto al resto de la provincia prácticamente la única documentación (y es muy parca) corresponde al censo del cardenal LOREZANA, de 1782. Ese año, el cardenal LOREZANA realiza su recopilación de datos, las respuestas se empezaron a “publicar” en 1782, y aportan noticias bastante fidedignas del estado de la minería en el final del siglo XVIII.

Esta obra ha sido recopilada en numerosos tomos de los Anales del Instituto de Estudios Madrileños por JIMÉNEZ DE GREGORIO, bajo el título general *“Notas Geográfico – Históricas de pueblos de la actual provincia de Madrid en el último cuarto del siglo XVIII”*. En ellos se reflejan que pocas minas quedan en explotación, y de las numerosas trabajadas en las dos centurias anteriores, se ha perdido los conocimientos de su existencia, sólo aparecen reflejadas algunas de ellas como pozos llenos de agua.

En Colmenar Viejo, las minas descritas por LARRUGA en actividad en el siglo XVII, están abandonadas al final de la centuria, según la transcripción de JIMÉNEZ DE GREGORIO: (Anales del Instituto Estudios Madrileños en el tomo V p 284) leemos: *“Minas y piedras.- En Navalvillar parece que sacaron*

cobre, plata y algo de oro. Hoy estas minas están llenas de agua. Se descubrió una mina de plomo a tres cuartos de legua a occidente, ya abandonada y con agua”.

No se citan minas en Colmenar del Arroyo, ni en Hoyo de Manzanares, ni en Cenicientos ni Galapagar, datos que cuanto menos nos parecen curiosos, pues eran localidades en las que la tradición minera se remontaba a casi dos siglos. Las minas se encontraban en remotos parajes de estas localidades, y al llevar décadas abandonadas, ello explicaría que en el pueblo no supieran de su existencia.

En Colmenarejo, tomo V (1979) p 281 *“Minas.- en esta jurisdicción, cerca del camino de El Pardillo, hay unas minas de plata que se trabajan hace tiempo”.*

Nos encontramos ante una nueva cita que lleva a confusión. El único topónimo referente a la plata es el de la Fuente de la Plata, precisamente en el camino de Colmenarejo a Villanueva del Pardillo y Valdemorillo. Sin embargo no hemos encontrado prácticamente vestigios mineros en el área que impliquen “trabajadas hace tiempo”. Nos inclinamos a pensar que estas minas que se citan en explotación fueran las de la zona de Los Quemados (mina Antigua Pilar) que se paralizaría con la invasión francesa. Estas labores son de las primeras en retomar su actividad en el siglo XIX lo que sugiere que la tradición minera estuviera todavía presente, y por tanto activas en las últimas décadas del siglo XVIII.

Po otra parte, sobre el Real de Manzanares de la Sierra (vol, IX, 1973, p368)

“Algunos han gastado sus caudales en buscar cobre, pero han desistido por ser mayor el gasto que la utilidad”. En Canencia (vol XV 1978) “Minería: Se dice que hay en esta jurisdicción minas de cobre y que en los años anteriores se trabajó en ellas”.

Otra obra de la época, el catastro del MARQUÉS DE LA ENSENADA de 1762 no aporta documentación relevante sobre minería.

3.4.- LA MINERÍA DE LOS METALES Y LA METALURGIA EN EL SIGLO XIX

En el primer cuarto de siglo, la Guerra de Independencia y la subsiguiente inestabilidad política llevaron a la casi paralización de la actividad minera. En el caso concreto de Madrid, la minería de los metales había vivido un desarrollo relativamente prolongado entre 1417 y finales del siglo XVIII. El abandono del sector minero madrileño fue absoluta entre la Guerra de Independencia hasta 1840 (LABORDE, 1808 y MENA, 1819).

3.4.1.- CONTEXTO POLÍTICO Y CIENTÍFICO (1840 – 1872)

En la provincia de Madrid entre los años 1841 y 1843 hubo un gran desarrollo de la minería con más de 500 registros de minas, y otros tantos en el decenio siguiente (PRADO, 1864). De todos ellos ni siquiera una décima parte aparecía reflejada en la “Estadística Minera”. Esta publicación anual registra por provincias las producciones de minerales extraídos en las minas y tratados en las fábricas de toda España.

Esa enorme cantidad de permisos mineros a que nos referimos en el párrafo anterior, que no aparecen en la “Estadística Minera” eran labores de tipo esporádico, hallazgos de viejas minas prácticamente agotadas o de leyes

ridículas; eran trabajadas durante uno o dos años sin obtener ningún resultado. Su estudio sin embargo brinda una interesante información sobre el panorama que existía en la provincia, especialmente en las primeras décadas del resurgimiento (1840-1860). Podemos calificar este fenómeno de auténtica “fiebre de los metales” o “efecto Hiendelaencina”; por la riqueza de las vecinas y célebres minas de plata de Guadalajara. Prácticamente la totalidad de las minas explotadas en los siglos anteriores volvieron a demarcarse, y gran parte se abandonaron en el mismo estado en que se encontraron.

La mayor parte de estos registros no perdurarán más de dos o tres años, como hemos ido constatando en los libros de demarcaciones mineras de la Dirección General de Minas (la histórica Jefatura de Minas). Los dos primeros tomos de los: *“Planos de las demarcaciones de minas que desde Noviembre de 1854 hasta fin de 1857 se han practicado en el Distrito de Madrid”* y : *“durante los años 1858 a 1861”*, nos proporcionan valiosa información sobre muchas minas de las que son la única referencia escrita.

Casi todas las demarcaciones utilizaron minas antiguas, casetas y pocillos como referencia de situación, se realizaban saneamientos, así como exiguos muestreos y frecuentemente constan de valiosas explicaciones: de gran valor histórico pues pone de manifiesto el desarrollo alcanzado por las labores de los siglos precedentes, especialmente en el siglo XVII (en ese siglo las minas fueron mucho más trabajadas que en el siguiente de XVIII)⁵⁵.

En cuanto al marco geopolítico y legal, Las Cortes de 1820 van a restablecer (con algunas disposiciones añadidas en 1822) las Reales Ordenanzas de Felipe II. En 1825 se aprueba un nuevo proyecto de ley de Minas, auspiciado por FAUSTO DE ELUYAR, que ya resultaba anacrónica en el ámbito europeo, sin embargo aseguraba la propiedad y el disfrute de los criaderos e hizo renacer el sector minero.

En 1859 se promulga una nueva Ley de Minas en la que se contempla ya la posibilidad de acceder a la concesión por investigación o por registro. La facilidad de denunciar y obtener una concesión que equivalía en la práctica, a cambio de una liviana tributación, a un derecho de propiedad, favoreció el

⁵⁵ La siguiente poesía de “Historia de Don Frutos de las minas” de FRAY GERUNDIO (seudónimo de Modesto Lafuente, Madrid 1846) resume en tono burlesco el espíritu de la época:

“¡Oh siglo de las minas!
En busca de metales
Los avaros mortales
Horadan montes, cerros y colinas
Creyendo que un tesoro
En cada uno han de hallar de plata y oro”.

desarrollo de la pequeña minería, pero también provocó la aparición de la especulación, minifundismo y del laboreo desordenado (MARTÍNEZ CUADRADO, 1974). Un claro ejemplo es la minería de galena argentífera en Gargantilla de Lozoya en los primeros años.

En cuanto al dinero necesario para emprender las explotaciones mineras, en la “Estadística Minera” de 1867 se apunta la necesidad de capitales extranjeros para el desarrollo minero (ANÓNIMO, 1867: 104-106):

“Con los capitales extranjeros se establecerían grandes campos de explotación haciendose el laboreo de una manera regular, previas las labores de investigación bien estudiadas, aumentando así en el país el estímulo á esa clase de empresas desconocidas casi en su totalidad (...). De esa manera desaparecerá por completo la desconfianza que hoy todavía existe por los abusos cometidos en años aciagos en que la ley de minas que regia (...) carecía por completo de una buena ley de sociedades mineras”.

En el caso de la provincia de Madrid no es hasta los últimos años del siglo y las primeras décadas del siglo XX cuando se asientan en la provincia numerosas compañías extranjeras, tales como The Escorial Copper, Caridad Copper Mining Company, y Ahrendo. Así que este fenómeno de “extranjerización” de la producción acusado en otras partes de España no tendrá relevancia en la pequeña minería de Madrid. En 1869 se publicó un decreto estableciendo las bases para una Nueva Legislación de Minas. Según MADARIAGA (1917), se trataba de fomentar el desarrollo de la minería

basándose en la facilidad y seguridad para la concesión, existiendo un deslinde neto entre suelo y subsuelo.

CONTEXTO CIENTÍFICO Y CULTURAL EN LA MINERÍA Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Bien entrado el primer tercio del siglo es cuando se fomenta la enseñanza de la ingeniería de minas, que se había empezado a establecer a finales de la centuria anterior. En 1835 se traslada la Escuela Especial de Ingenieros de Minas desde Almadén a Madrid. En la nueva Escuela empezaron a hacerse análisis mineralógicos de muestras traídas de minas de toda España, destacando un importante número procedentes de explotaciones de la propia provincia de Madrid. También se donan minerales de minas madrileñas al museo dirigido por FELIPE NARANJO.

Aparecen publicaciones periódicas, que sirven para de forma regular, dar a conocer los nuevos hallazgos y técnicas. Entre 1838 y 1842 se publican los “Anales de Minas” y en 1844 y 1845 el “Boletín Oficial de Minas”. La “Revista Minera” comienza su larga andadura en 1850 y la “Estadística Minera” en 1856 (CALVO, 1999)

Existieron también otras muchas publicaciones mineras e industriales de carácter más efímero entre 1848 y 1857. El 12 de Julio de 1849 se crea por Real Decreto la Comisión encargada de la elaboración de la carta Geológica

de Madrid y la General del Reino. Ello marca un hecho trascendental en la promoción del estudio de la Geología y la Minería en España.

La publicación más relevante y que tendrá más influencia será la “Descripción Física y Geológica de la provincia de Madrid” de CASIANO DE PRADO en 1864, que servirá además de modelo para otras monografías geológicas provinciales y referencia para muchos otros Geólogos e Ingenieros de Minas. El épilogo de su obra resume muy bien la forma de trabajo y las nuevas inquietudes de estos geólogos e ingenieros ilustrados y naturalistas del siglo XIX (PRADO, 1864):

“He salido siempre de Madrid con mi brújula y mi martillo, ufano y lleno de alegría: a la vuelta no entré nunca por sus puertas sin un vago sentimiento de tristeza”.

3.4.2.- EL RESURGIR DEL ESPÍRITU MINERO: EN LA PROVINCIA DE MADRID

En el desarrollo de la actividad minera en el siglo XIX en la Sierra Madrileña se distinguen varios períodos claramente identificables y con características propias. La metalurgia, aún más insignificante que la minería va a seguir un desarrollo paralelo a ella:

1. Hasta 1840 podemos definirlo como una etapa en la que casi no hay casi minería.
2. Entre 1840 y 1860 es la época del auge desmesurado, con cientos de concesiones mineras y paradójicamente casi ausencia de producción.
3. Entre 1860 y 1872 son muchas menos las minas demarcadas, pero fueron en su mayor parte activas. Así en la “Estadística Minera” se recogió producción de mineral de plomo, plata y cobre.
4. Después prosiguió un periodo de decadencia (1872-1886) con la práctica paralización de la minería metálica en la Sierra de Guadarrama.
5. Por último entre 1887 y 1892 hay un tímido resurgir, para volver casi a abandonarse la minería de los metales en el último decenio. La minería vuelve a recuperarse en las dos primeras décadas del siglo XX.

En esa década de 1840 como apunta MADDOZ (1847) la producción de minerales fue tan pequeña que no se llegó a montar ninguna fábrica de beneficio. Sólo hubo una que trabajó a modo experimental: la fundición de Colmenarejo. Esta fábrica se dedicó a ensayos “sin buen éxito” en un horno de cortas dimensiones. Resulta significativo el pesimismo con que MADDOZ (1847) finaliza este apartado: *“Podemos deducir de estos datos y de las investigaciones hechas, que la provincia de Madrid no es llamada á un gran desarrollo en su industria minera”*.

Pueblos	Carbón	Hierro	Plomo	Cobre	Estaño	Galena	Plata	Oro	Total
San Agustín de Guadalix			2	1			8	2	13
Atazar	3								3
Becerril			2				5		7
Boalo				1			2		3
Buitrago							1		1
Cadalso		2	3	3		1			9
Cenicientos			33	1		4			38
Cerceda				2			1		3
Colmenar del Arroyo			13	1		2			16
Colmenar Viejo		6	1	6			1		14
Colmenarejo		2	30	31		3	4		70
Collado Villalba				2					2
Chapinería				1					1
Chozas (Soto del Real)	11								11
Fresnedillas			6						6
Galapagar		1	4	14	1				20
Garganta		1					1		2
Gargantilla			33						33
Guadalix	13		3						16
Guadarrama				4					4
Horcajo							1		1
Horcajuelo							1		1
Hoyo de Manzanares		3	2	5	1		3		14
San Lorenzo de El Escorial			2						2
Lozoyuela			1						1

Tabla 37: Listado 1 de las minas registradas en la provincia de Madrid entre 1842 y 1844, ambos inclusive.

Pueblos	Carbón	Fe	Pb	Cu	Sn	galena	Ag	Au	Total
San Mamés							1		1
Manzanares el Real	1		1	1			1		4
San Martín de Valdeiglesias			32	3		7			42
El Molar	1								1
Montejo de la Sierra							2		2
Navacerrada	1								1
Navas del Rey			20	3		2	3		28
El Pardo				1					1
Patones	1	2							
Pedrezuela							2		2
Pelayos			8	1					9
Peralejo			2						2
Pinilla de Buitrago		1							1
Pradeña		1							1
Villa de El Prado (San M Valdeiglesias)				9					
Redueña			2						
Robledo de Chavela		2	41	9		5	1		58
Robregordo		1							1
Rozas Puerto Real		1	5						6
Sevilleja			1						1
Somosierra		4							4
Torrelaguna	7								7
Torrelodones				2		1			3
Valdemorillo		7	25	3					35
Valdemaqueda		4	16	2		4			26
El Vellón	3								3
Zarzalejo		2	3	1					6
TOTAL	41	40	221	107	2	29	38	2	480

Tabla 38: Listado 2 de las minas registradas en la provincia de Madrid entre 1842 y 1844, ambos inclusive.

No figuran en la tabla algunas de galena y y calcopirita (Fuente: MADOZ, 1847 y “Boletín Oficial de Minas”). Resulta curioso el listado diferente entre galena y plomo (tal vez la galena hará referencia a mineral más masivo antiguamente llamado alcohol, o galena espática). Destacar la ausencia de demarcaciones de plata en La Acebeda que comenzarán a explotarse en la década siguiente.

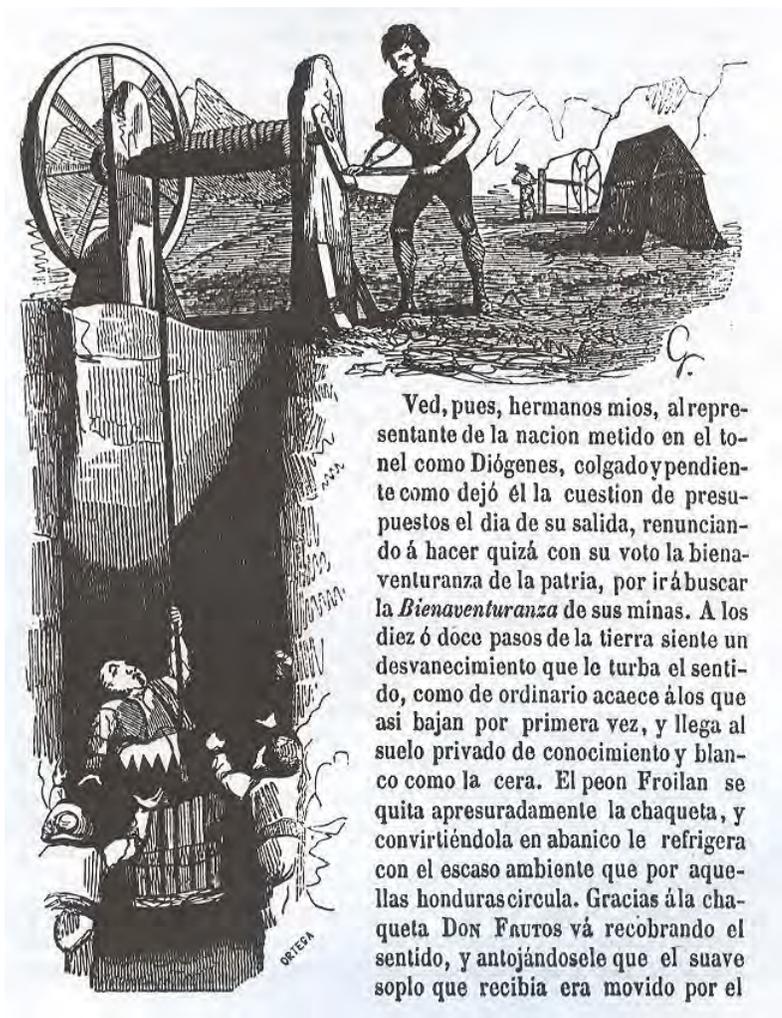
En 1844 y 1845, en el “Boletín Oficial de Minas” existe una sección en la que se divulgan los “ensayos verificados en el Laboratorio de la Escuela Especial de Minas”, en ella encontramos por ejemplo ensayos de minerales provenientes de las minas de Bustarviejo y de Robledo de Chavela.

RELACIÓN ENTRE LA MINERÍA Y LA ESPECULACIÓN: TERTULIAS DE CAFÉ Y SOCIEDADES

Alrededor de la minería y de las “sociedades mineras de papel” surgieron muchas estafas y especulaciones, y se trató en clave de humor en versos, chistes y viñetas. La búsqueda minera, especialmente en el decenio de 1840, constituía una auténtica obsesión. Así en las proximidades de un filón prometedor se agolpaban en derredor una serie de concesiones en terrenos completamente estériles.

Descubiertos los famosos yacimientos de Sierra Almagrera, en 1825, en el filón del Jaroso y de Hiendelaencina en 1840, se lanzaron atrevidos

especuladores a la búsqueda de “El Dorado hispano”. Eran “minas a la sombra de minas”. Movidos por los especuladores, gentes guiadas por credulidad o buena fe se dedicaron primero a la exploración y luego a la minería. Este movimiento especulador fue decreciendo con el siglo en la provincia de Madrid, si bien volvía a resurgir cuando se descubría o redescubría (aunque cada vez menos quedaría por descubrir) un yacimiento o la exploración de alguna mina abandonada arrojaba posibilidades no vistas hasta el momento.



Ved, pues, hermanos míos, al representante de la nación metido en el tonel como Diógenes, colgado y pendiente como dejó él la cuestión de presupuestos el día de su salida, renunciando á hacer quizá con su voto la bienaventuranza de la patria, por irá buscar la *Bienaventuranza* de sus minas. A los diez ó doce pasos de la tierra siente un desvanecimiento que le turba el sentido, como de ordinario acaece á los que así bajan por primera vez, y llega al suelo privado de conocimiento y blanco como la cera. El peon Froilan se quita apresuradamente la chaqueta, y convirtiéndola en abanico le refrigera con el escaso ambiente que por aquellas honduras circula. Gracias á la chaqueta Don Fautos vá recobrando el sentido, y antojándosele que el suave soplo que recibía era movido por el

Figura 77: Ilustración del texto “Fray Gerundo de las Minas” ridiculizando la especulación minera del siglo XIX.

Adelantándonos a final de siglo en este tipo de movimientos, el ejemplo más claro de obsesión fue el de las minas de cobre de Colmenarejo cuando se volvió a explotar un criadero abandonado en la mina Pilar y en dos años se demarcaron todos los filones de cuarzo mineralizados de la localidad. Estas pertenencias incluían algunos diques prácticamente estériles que cruzaban por el mismo pueblo.

SANZ (1994) apunta que el furor minero de mediados de siglo alimentaba todas las conversaciones. Los buscadores de minas se lanzaban a la Sierra en pos de aquellas que estaban abandonadas desde los siglos anteriores. Muchas de estas labores habían cesado su actividad precisamente por su escasez de riqueza o agotamiento. Los nuevos explotadores las saneaban, tal vez profundizaban algunos metros y la abandonaban al cabo de uno o dos años de ridículas labores.

Ese tipo de trabajos son los que por ejemplo se produjeron en Cercedilla, en la mina Las Cortes de Siete Picos. En muchos casos se perseguía algún hallazgo que pudiera revalorizar la inversión y vender la concesión a mayor precio, por las expectativas creadas.

Algunas minas abandonadas en los siglos anteriores se encontraban, sin embargo, en parajes tan inaccesibles y su aproximación sería tan poco evidente, que pasaron desapercibidas en esa primera década de furor y no fueron exploradas hasta la década siguiente de 1850; tal es el caso de las minas de La Acebeda. En esta localidad los filones mineralizados de arsénico

y plata (arsenopirita con sulfosales de plata) afloran en las mismas bocaminas o pocillos y son abundantes hasta en las escombreras más antiguas. Estas labores no habían sido trabajadas desde el siglo XVII.

ESTABILIZACIÓN DE LOS REGISTROS MINEROS HACIA 1860

En 1859 según CASIANO DE PRADO (1864) existían todavía en la provincia 30 minas demarcadas y sujetas al pago de la contribución de pertenencia, 23 de ellas de plata, 3 de cobre, una de piritita arsenical y 3 de antimonio; y al mismo tiempo 32 minas por demarcar, 12 de galena, 6 de plata, 6 de cobre y 8 de hierro; pero ninguna fundición en marcha.

Hay una considerable disminución de minas registradas pasados 20 años de periodo álgido de la fiebre minera y que corresponde a la desaparición de las minas más pequeñas, interesándose las compañías en labores de mayor entidad. Comienzan a establecerse “verdaderas” sociedades mineras. En las minas más prometedoras de la provincia figuraron como directores facultativos los ingenieros de minas de mayor renombre de la época como MAESTRE y NARANJO (profesores de la Escuela Especial de Minas). En un informe de 1860 del Ingeniero Jefe del distrito, publicado en la “Revista Minera” de 1862 dice así:

“Todas las minas de hierro argentífero, plomo, cobre y plomo argentífero, se explotaban con poca actividad y las labores se dirigen todas ellas á reconocer la potencia y riqueza de los criaderos, y no tengo noticia e que esté en producto una sola. Las principales minas de Gargantilla y de Bustarviejo, de que podría ocuparme por haberlas visitado, como son san José e Indiana, han sido abandonadas, sin saber yo cuál sea la causa”.

En 1861 aparecen en la “Estadística Minera” los primeros datos oficiales de producción en Madrid: 200 t de mineral de plomo, como única producción metálica, cantidades generadas en las minas de Gargantilla de Lozoya en su primera época. En 1863 no hay producción de metales. En 1864 leemos en la “Estadística Minera” que se han abandonado las pocas minas metálicas que existían; la causa entonces, es la escasa ley de las partes conocidas de los criaderos, la dificultad de las comunicaciones, la carestía de combustibles y también se menciona *“la imposibilidad de reducir o concentrar aquellos por su especial composición”*.

En 1865 aparece una mina demarcada y productiva sin que se diese su nombre ni datos de producción. En 1866 figuran en aquella obra la tramitación de registros en Gargantilla y Pinilla de Buitrago. En la “Estadística Minera” de 1867 (cfr. p. 104) encontramos una nueva referencia a los problemas de las comunicaciones y a otros que dificultaban la explotación:

“En efecto, sin las vías de comunicación necesarias, sin combustible mineral á un precio conveniente y sin los capitales indispensables para atender á los cuantiosos gastos de explotación y beneficio, es imposible el desarrollo de la minería en este distrito”.

Se apunta, sin embargo, también un cierto optimismo: *“Por fortuna estas causas van disminuyendo en fuerza, y no creo lejano el día en que desaparezcan por completo.”* Durante esos años las minas con mayor

desarrollo e inversión son las de plomo y plata de Gargantilla, en el documento anterior se hace referencia a ellas (“Estadística Minera” de 1867, página 106):

“... las concesiones de plomo de Gargantilla en la provincia de Madrid, las de plomo argentífero de Madrideojos, de plomo en Sevilleja de la Jara (...) se ven obligadas a arrastrar una vida raquítica por las causas expresadas anteriormente”.

Las minas de galena argentífera de Gargantilla, que se habían abandonado, se encuentran en 1867 en estado de exploración y acometida la construcción de la fábrica de beneficio, para extraer la plata y elaborar lingotes. Ese año venderá toda su producción a la fundición La Constante de Hiendelaencina. En 1869 se confirma la tendencia positiva de la minería madrileña. En 1870 continuaron como minas principales Bustarviejo y Gargantilla.

En Gargantilla se han ido desaguando algunos de los trabajos antiguos, extrayendo 200 quintales de mineral. El resto de la minería es de muy pequeña escala, si bien existe producción de mineral de plomo (600 quintales) y de cobre (2000).



Figura 78: Panorama de las escombreras de la mina San José de Gargantilla de Lozoya (2003).

Las minas de Bustarviejo van a trabajar de forma ininterrumpida entre 1867 y 1872. En 1871 en el grupo minero de Gargantilla trabajaban 30 operarios y la producción de galena argentífera fue de 500 quintales métricos. En la mina de Bustarviejo trabajaban 23 operarios y 6 muchachos. La producción ascendió a 5400 quintales métricos de arsenopirita argentífera.

Aparece la producción de 350 quintales de cobre en la mina Gran Suerte de Garganta (12 operarios), la cual aparece citada al año siguiente con una producción mucho mayor.

En cuanto a fábricas, la de Bustarviejo produjo 314,4 kg de plata a partir de los 5400 quintales métricos de mineral extraído. En ella trabajaban 8 hombres y 4 muchachos. En la fábrica La Constancia Industrial de Gargantilla se produjeron 93 kg de plata a partir de 500 quintales de mineral. En esta industria trabajaban 2 operarios.

En 1872 se reactiva la provincia con nuevos proyectos mineros en una zona que llevaba tiempo abandonada: el plomo de Cenicientos y Cadalso de los Vidrios. En Cadalso de los Vidrios se comienzan a explotar tres minas de plomo y nueve en el cercano municipio de Cenicientos. La fábrica de vidrio de Cadalso consumía ciertas cantidades de plomo procedente de estas minas. Ese mismo año se hace referencia en la “Estadística Minera” a otras minas de Madrid y al abandono de la fábrica de amalgamación de Gargantilla:

“La exportación de algunas toneladas de pirita cobriza argentífera de la mina Gran Suerte, de Garganta, y el recuerdo de los productos obtenidos en la hoy abandonada fábrica de amalgamación de Gargantilla, llamada Constancia Industrial, han dado margen á que se practicasen nuevos registros en dichos términos, y en el de Pinilla del Valle y otros puntos del N.O. de la provincia de Madrid, donde existen filones de mineral cobrizo y plomo argentífero”.

En el primer número del “Boletín de la Comisión del Mapa Geológico” (1874) el ingeniero de minas AMALIO GIL MAESTRE informa de los

resultados de dos expediciones llevadas a cabo en octubre-noviembre de 1872 y abril- mayo de 1873, en ese informe, titulado “*Datos Geológico- Mineros sobre algunos grupos de minas del distrito de Madrid*”, cita:

“El principal interés minero de la provincia de Madrid está hoy concentrado en la parte del Norte y Noroeste y en los términos de los pueblos de Gargantilla, Garganta, Cenicientos y Cadalso...”.

En 1872 la mina de Bustarviejo produce 6000 quintales de pirita arsenical argentífera, y en ella trabajan 40 operarios y 3 muchachos. La mina Gran Suerte de Garganta de los Montes produce 1100 quintales de mineral de cobre. La fábrica de Bustarviejo beneficia ese año 12000 quintales de mineral, es decir, el doble que el producido en la mina. Ello se debió al excedente de los años precedentes. Ese año se producen 518 kg de plata. Ese mismo año se abandona la fábrica La Constancia Industrial de Gargantilla que constaba de un molino, horno de cloruración, toneles de amalgamación y una campana de destilación.

En 1873 la situación se agrava en la provincia con la inestabilidad política civil y sus consecuencias. El renacimiento del espíritu minero queda abortado. Todas las minas de metales de la provincia de una cierta entidad están paradas, así como las dos fabricas de beneficio de minerales argentíferos: Bustarviejo y Gargantilla. Hay una paralización casi total de la minería de los metales entre 1874 y 1879.

En la década de los años 1880, vuelve tímidamente la actividad minera metálica a la provincia, si bien se acusará de nuevo un minifundismo crónico y labores de pocos años de vida. No figura oficialmente producción de metales entre 1873 y 1886. En 1880 aparecen expedientes de minas de plomo y numerosos de hierro en localidades conocidas de minería de plata como Montejo, Horcajuelo, Prádena, Paredes, Berzosa y Gargantilla; ello da a entender el ocultismo de cara a varias ricas minas de plata que se explotarán en los años siguientes. Entre 1881 y 1882 nada reseñable aparece publicado.

Entre 1882 y 1886 no hay datos muy relevantes en la “Estadística Minera”, muy pocas minas están activas y las que lo hacen es de forma esporádica. La mina Perla produjo mineral de plata entre 1883 y 1886, con 25 operarios, pero sin revelar los datos de producción. En 1884 la mina San José de Gargantilla produjo 60 toneladas de galena argentífera. No aparece reseñada ninguna fábrica de beneficio en la provincia. El resto de minas figuran como improductivas: 38 de hierro, 2 de hierro argentífero, 9 de plomo, 8 de plomo argentífero, 4 de plata, 9 de cobre, 1 de cobre y hierro y 2 de pirita arsenical argentífera. En la “Estadística Minera” de 1887-1889 se hace referencia a la mina Perla, que produjo 854 kg de mineral de plata:

“Comparando el estado de las minas productivas del año económico pasado con el actual, se observa un aumento en el número de datos, hasta el punto de que se ha precisado de una manera fija la producción de la mina Perla, del término de Montejo, notable por la sustancia explotada”.

Otras minas productivas ese año fueron: Consuelo en Garganta de los Montes para cobre, Buena Fé de Horcajuelo, demarcada como mina de hierro (aunque fue una mina de plata) y Gargantilla, de la que se apunta:

“Notándose, sin embargo, la carencia de datos respecto de algunas minas del término de Gargantilla, especialmente la señalada con el nombre San José, debido indudablemente á hallarse paralizados los trabajos de la misma ó de ser de tan escasa importancia, que no han dado ocasión á exigir una visita de inspección”.

En 1889 lo más notable en la provincia es la producción de arsénico en la fábrica de beneficio de Bustarviejo, que estaba parada por motivos desconocidos. En ella trabajan 8 hombres y diez muchachos. Se producen 16,1 t de arsénico a partir de 515,2 t de mena. Pero se para al final del año (“Estadística Minera” de 1889), hasta 1896 aparecerá referida como fábrica de arsénico parada.

De la época de la fábrica de arsénico conservamos la torre del tiro de la fundición, tal y como muestran los planos de ORMAZA del siglo posterior.

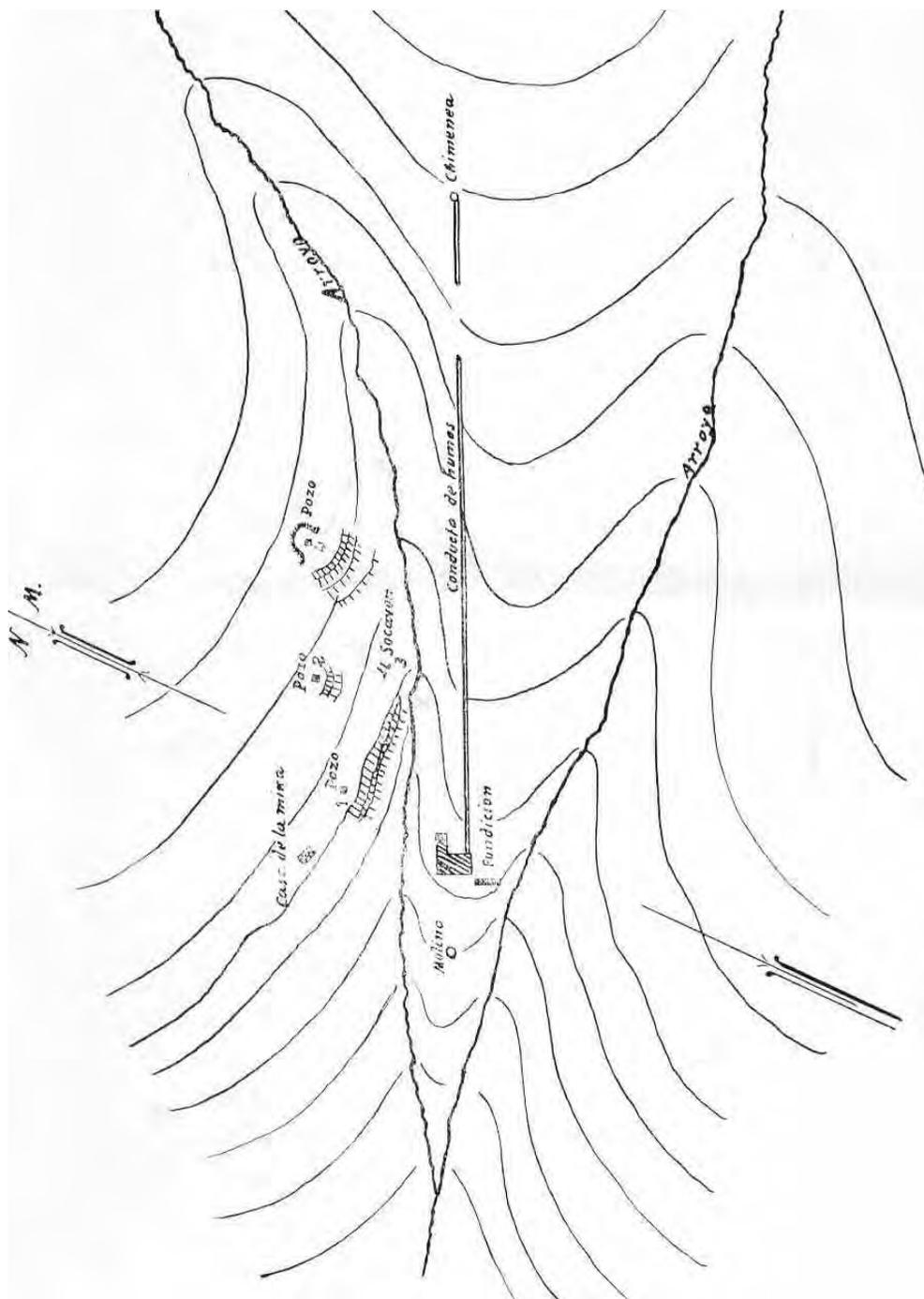


Figura 79: Croquis de J.M. ORMAZA de las labores de la mina de Bustarviejo a finales del siglo XIX.



Figura 80: Restos de la chimenea de la fundición de arsénico de Bustarviejo, de finales del siglo XIX.

Hay nuevas exploraciones y profundizaciones en la mina Perla. Las minas La Verdad, La Buena Fé, El Porvenir y otras de Horcajuelo se encuentran paradas, así como la mina de cobre Aurrerá de Garganta de los Montes. Entre 1890 y 1899 no hay casi ninguna mina metálica en activo en la provincia de Madrid, a excepción de una producción de 87,850 t de mineral de plata en La Perla de Prádena en 1892.

En 1896 quedan todavía sujetas a contribución 10 minas de plata y 10 de cobre. En 1899 el total de minas que figuran como inactivas es de 12. Cabe sin embargo destacar el gran número de demarcaciones de minas de cobre en

Colmenarejo, ocupando la totalidad de los indicios. Por las descripciones de los planos de demarcación presumimos que se realizarían importantes saneamientos de labores antiguas, aunque esto no figure en la “Estadística Minera”, y que marcará cual será la zona más activa en la primera década del siglo XX.

Año	Pirita arsenical argentífera	Galena	Mineral de cobre	Galena argentífera	Mineral de plata (sulfuros y sulfosales)
1861		200			
1867	25				
1868	500				
1869	1825	300	2220	50	
1870	1460	60	200	20	
1871	540		35	50	
1872	600		110		
Entre 1873 Y 1886 no figura producción de ninguna mina de metal					
1887					0,854
1888			9		
1889	1080 *				
1890					0,400
1891					
1892					87,850

Tabla 39: Producción minera en toneladas. *sólo arsenopirita (no Ag). Donde no hay valores en la tabla, no hubo producción oficial (Fuente: “Estadística Minera”).

Año	Fabrica de amalgamación Bustarviejo Ag	Fábrica de arsénico Bustarviejo	Fundición de cobre de Garganta	Fábrica de amalgamación de Gargantilla Ag
1867	53			
1868	316			
1869	562			
1870	350		1600	
1871	314,5			93
1872	518			
1889		16100		

Tabla 40: Producción de metal en kilogramos en las fábricas de beneficio de la provincia (Fuente: “Estadística Minera”)

3.4.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA EN MADRID EN EL SIGLO XIX

Durante este siglo ya no puede decirse que se descubran indicios minerales importantes. Las prospecciones se van a llevar a cabo con mayor o menor éxito siempre sobre labores preexistentes (se denominarán labores “antiguas” en los mapas y planos geológicos y mineros). Según el capital disponible se sanean labores quitando el escombros que las atora, se prosiguen rafas, pocillos y calicatas en los filones ya trabajados. En muchas ocasiones, como fruto del azar se encontraron las continuaciones más prometedoras de las mineralizaciones.

A mediados del siglo XIX algunas de las investigaciones llevan a buen puerto, tal es el caso de la galena argentífera de Gargantilla y de calcopirita de Garganta de los Montes. En otros casos se descubren prometedores criaderos que son abandonados sin un motivo aparente (que no sea el especulativo), como probablemente fuera el caso de las minas de plata de La Acebeda, Horcajuelo y la Mina Perla de Prádena del Rincón. También hay yacimientos que son muy conocidos y están “a la vista de todos”, su único problema es la inversión en desagüe y tratamiento del mineral, como es el caso de Bustarviejo.

En la investigación de algunas minas se empiezan a aplicar principios de geognosia y técnicas de prospección buscando estructuras paralelas o similitudes con las conocidas, donde puedan continuar las mineralizaciones. A

ese respecto es curioso el fenómeno de las Minas de Gargantilla, donde si bien el laboreo fue desordenado, como era habitual en la zona, los filones fueron reconocidos en globo.

En algunas explotaciones no se consigue encontrar la parte más rica. Esas minas se abandonan aún cuando esconden riquezas para una explotación interesante: es el caso de las minas de cobre de Colmenarejo. Tal vez porque la mineralización llegaba al nivel freático y no fueron capaces de encontrar soluciones técnicas, por lo que desistieron en su laboreo a mediados del siglo. Se trabajó de modo caótico en las bolsadas más ricas, las galerías eran laberínticas y con pasos estrechos y había pequeñas rampas por doquier. La concesión de la Mina El Terrible se encontraba en la que después será la rica mina Pilar y mina María (también llamadas minas de Riosequillo) y no se cita, como un notable criadero, hasta final del siglo.

El esquema de los trabajos mineros sigue siendo muy primitivo, buscando las partes más ricas y explotándose durante unos pocos años. La mayoría de las labores no tienen ni siquiera un circuito de ventilación natural. El esquema más clásico de una mineralización filoniana (como son prácticamente todas las de metales de la Sierra) consta de una galería a media ladera y un pocillo, ambos sobre el mismo filón.

Las labores más comunes en esta zona se pueden considerar más bien como amagos de exploraciones pues ni siquiera llegan a ese esquema. Encontramos socavones a media ladera hasta cortar un filón, de donde parten cortos

ramales sobre el mismo (ejemplo de la mina “Las Cortes” en Cercedilla) o pocillos hasta un filón, de donde partirán las galerías en dirección, al estilo de las labores de los tiempos más antiguos. Solamente cuando algunas minas están ya desarrolladas, se excavan pozos auxiliares que faciliten la ventilación y se aprovecha para el acceso a zonas más profundas, tal es el caso de las minas de la zona de El Carcabón, de La Acebeda.

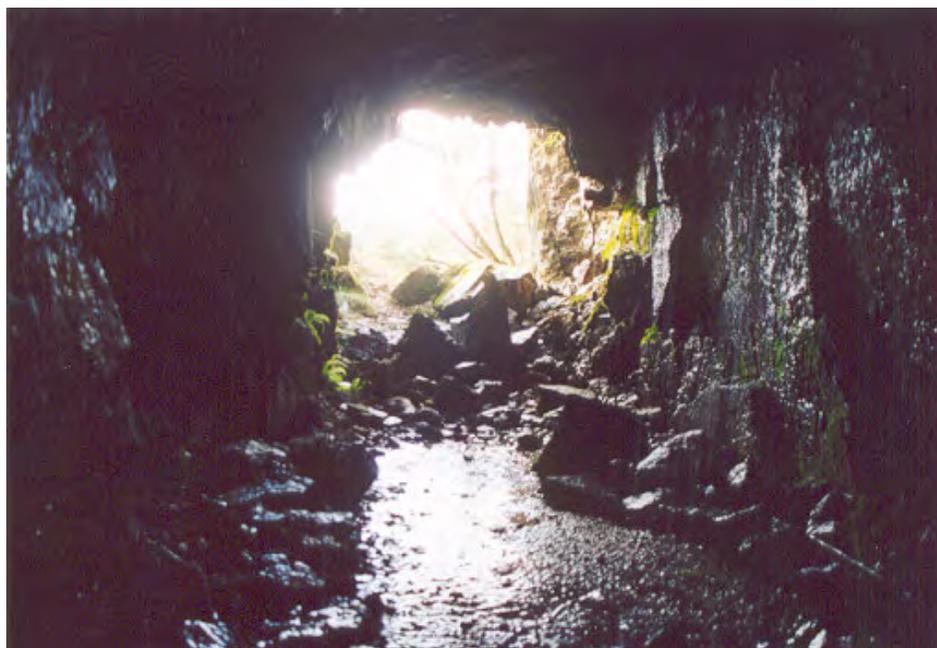


Figura 817: Interior de la mina de Las Cortes, típica labor de exploración del siglo XIX en Madrid (Cercedilla- Navacerrada).

El sistema de drenaje sigue siendo un problema, y sólo en algunas minas más grandes se construyen galerías destinadas a tal fin, por ejemplo en Garganta de los Montes y Gargantilla. En la mentalidad de “rapiña” de esos momentos, no cabe el abrir una galería auxiliar en estéril, ni galerías de exploración. El resultado es que la zona mineralizada conocida viene a ser siempre la misma y se agota rápidamente abandonándose la mina. Prácticamente hacia 1870 no

queda ninguna manifestación filoniana mineralizada aflorante, por exigua que sea, que no haya sido prospectada o explotada de algún modo.

Fuera de este esquema de minería de fortuna, hay que situar las minas que sí van a tener una vida más o menos larga en ese siglo y que fueron dirigidas con pericia y mucho “espíritu minero”. Muchos de estos yacimientos no serán criaderos extraordinarios, pero posiblemente la cercanía espacial a Madrid, el centro neurálgico de la Minería y la Geología, jugarán a su favor.

La técnica era muy rudimentaria pues no atraían grandes inversiones. La extracción del mineral fuera de los pozos era siempre manual o en el mejor de los casos mediante malacates movidos por caballerías. La máquina de vapor se empleó muy raramente en la provincia de Madrid. En las minas de cobre de Colmenarejo, por ejemplo, aunque en los últimos años de explotación, hacia 1909, se barajó la utilización de una máquina de vapor, nunca llegó a instalarse.

3.4.5.- MINERÍA DE PLATA EN EL SIGLO XIX

MINAS DE LA ACEBEDA Y ROBREGORDO

La zona que se extiende entre el Pico de las Cornetas (Sur de La Acebeda) hasta la localidad de Robregordo es conocida por sus indicios argentíferos. La minería de la plata ha tenido dos períodos de explotación documentados: uno en la primera mitad del siglo XVII que ya hemos comentado y ahora pasamos al estudio del segundo, en la década de 1850-1860⁵⁶. A mediados del siglo XIX se crea una sociedad llamada La Nueva Buena Dicha que trató de explotar las minas. Existió una memoria firmada por un tal SABATER con plano sobre las obras acometidas por la empresa, de 1857, pero no se ha podido encontrar; algunos extractos de esa Memoria están recogidos en el trabajo de SÁNCHEZ LOZANO (1896).

Este autor visitó las minas a final de siglo, indicando el estado de estas labores, muchas obstruidas y con agua. Resulta significativo el hecho de que un ingeniero las recorra como si de un espeleólogo se tratase. SÁNCHEZ LOZANO explora las galerías hasta donde ya no puede proseguir e incluso descende un pozo valiéndose de una cadena anclada a una máquina de extracción.

⁵⁶ Hasta la fecha existían dos trabajos fundamentales (prácticamente únicos con desarrollo) para el estudio de la minería argentífera de la zona. El primero de ellos es “Nota sobre algunos criaderos argentíferos de los términos de La Acebeda y Robregordo en la Provincia de Madrid” de SÁNCHEZ LOZANO (1896) y el segundo “Metalogenia de las mineralizaciones argentíferas del Sistema Central: Zona de La Acebeda – Robregordo” obra de MAYOR YAGÜE, VINDEL CATENA, y LUNAR HERNÁNDEZ, de 1986.

Sólo tenemos algunos datos del aspecto histórico y desarrollo de estas explotaciones a través de SÁNCHEZ LOZANO (1896). Según este autor la entrada a la galería de El Carcabón era por una trinchera de 24,70 m y desde la boca hasta los 42,70 m se encontraba entibada con portadas de madera de roble y encostillado de fuertes rollizos en buen estado de conservación. Desde la última portada hasta el final de la galería había 66,45 m lo que hace una longitud total de 109 m toda ella excavada en filón. La altura en la boca es de 1,80 por 1,40 m de ancho ensanchándose más adentro, llegando en la zona sin entibar a 2,50 m de alto por 1,90 de ancho. La pendiente media del suelo es del 4,4 %, para permitir el desagüe. SÁNCHEZ LOZANO (1896) lo describe de la siguiente manera:

“A los 80 metros de la entrada se encuentra á la izquierda el “rompimiento” del pocillo Antonia, y un poco antes a la derecha una pequeña labor en banco aguada con 2,40 metros de profundidad; en este punto, en que la galería tenía su mayor amplitud, el filón buza con 84° al Este, hay una labor en testero y entre ella y el pozo se pone de manifiesto la roca caolinizada de caja del criadero. El filón en la parte de la galería sin entibar tiene una potencia de 2 metros, presentando el cuarzo atravesar vetas negruzcas en las cuales se reconcentra la parte metalizada”.

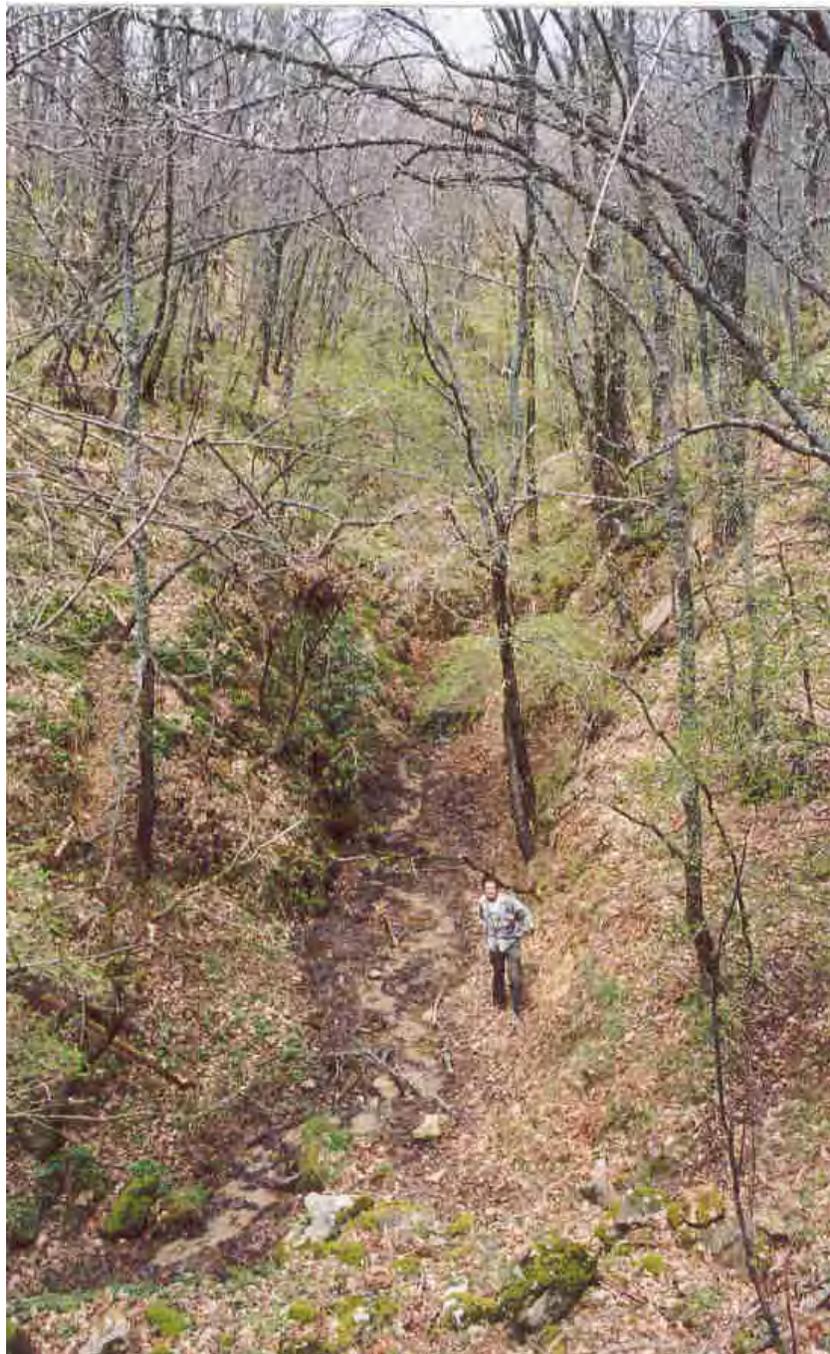


Figura 82: El Carcabón de La Acebeda (2002). No sabemos si se trata del comienzo de una galería, es decir una calicata algo aterrada o si por el contrario es la propia galería colapsada.

MINAS DE CABEZA DE RULLUECO

Hacia los años 1993-1994 las obras de ampliación de la carretera N-I dejaron al descubierto la boca de una pequeña explotación en un talud hacia el punto kilométrico 86,700. Según MARCOS BERMEJO (1994) la labor consiste en una galería en forma de “L” y unos 25-30 m. Hay dos pozos en sus extremos completamente inundados de 9 y 11 m.

Nosotros hemos visitado la labor en el año 2003, y esta se encuentra semi-inundada en sus primeros 15 m, según observamos a partir de esa distancia, el piso aparecía seco. En la entrada de la galería hacia la izquierda observamos un primer pozo anegado por el agua y una pequeña labor en realce.



Figura 83: Galería de Cabeza del Rullueco, desde la N-1.

En 2005 procedimos a una campaña de geofísica con objeto de encontrar la continuidad de la mina más allá del desmonte. En esta primera mina que investigamos mediante tomografía eléctrica, se persiguió precisamente averiguar “hasta dónde se podía llegar”. Se eligió un objetivo *a priori* muy difícil, y siguiendo las indicaciones de la tabla inicial, se vio que no podía detectarse una galería de mina de 2 m de altura situada a 8 m de profundidad. La cavidad se encuentra exactamente al aplomo del punto de máxima cota del desmonte. En este caso el dispositivo está separado 3 m- y con 9 niveles de investigación.

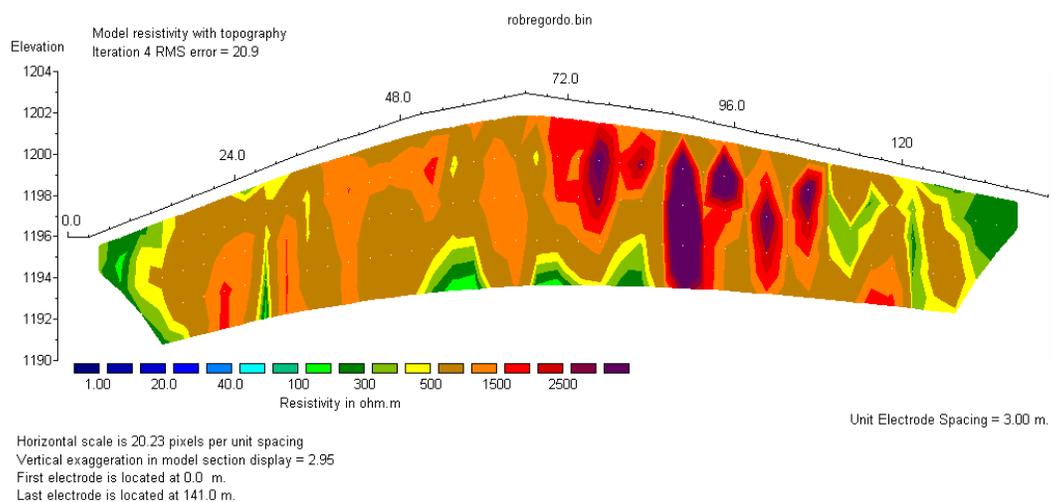


Figura 848: Sección geoelectrica de la mina de Cabeza del Rullueco.

MINERÍA DE PLATA EN MONTEJO DE LA SIERRA Y PRÁDENA DEL RINCÓN

En Somosierra los trabajos más importantes se llevaron a cabo en la mina Perla, la cual llegó a los 106 m de profundidad. Esta mina, hoy desaparecida estaba situada entre las localidades de Prádena del Rincón y Montejo de la Sierra. Entre 1855 y 1860 se demarcan muchas pequeñas minas de plata en Montejo de la Sierra. Una de las primeras es una llamada Conchita, en el paraje del Lomo de la Tejera, que no hemos podido ubicar. Al parecer fue poco trabajada y las labores eran principalmente de los siglos anteriores. En la “Revista Minera” de 1853 (cfr, T-IV, pág.562) leemos:

"Tenemos entendido que al ingeniero del Cuerpo de minas don Ramón Rúa Figueroa se le ha concedido un año de licencia para ocuparse de la dirección facultativa de varias minas que la sociedad minera las Maravillas posee en término de Montejo de esta provincia".

En 1856 se demarca la mina Patrocinio, de pirita de hierro y sulfuro de antimonio, en el paraje de Majada Peña, que caduca el mismo año por no cumplir “*los requisitos de la ley*”. La mina se encuentra alineada hacia el Sur con la mina San Diego, que consta de una sola galería y con el pozo de la mina La Buena Dicha (que nada tiene que ver con las explotaciones de La Acebeda). En las observaciones de la explicación del plano de demarcación, el ingeniero de minas CIRILO DE TORNOS describe con detalle las labores:

“El terreno corresponde á la formación gneísica y en el viene un filón de cuarzo con pirita de hierro y sulfuro de antimonio, que se dirige de N 12° E á S 12° O. buzando al E 12° S con 0,14 m (1/2 vars.) de potencia. Todo lo cual se descubre por medio de un pozo inclinado, abierto en la caja del criadero, de 9,19 m. (11 vars.) de profundidad...” .

Todas esas minas demarcadas fueron de pequeña entidad, exploraban filones de cuarzo con mineralizaciones de arsenopirita y anecdóticamente sulfosales de plata. Todas esas labores ya habían sido trabajadas de forma rudimentaria en los siglos anteriores. No habrá ninguna mina duradera hasta que se descubre la mineralización de La Perla. A partir de entonces se suspenderán todas las pequeñas labores para centrarse en esa prometedora mineralización. Además, es la única de la provincia en la que se han encontrado minerales de plata en abundancia, algunos de ellos comparables en calidad a los de Hiendelaencina.

Según FERNÁNDEZ AGUILAR (1924) en la zona denominada la Arganchuela hubo en el siglo XIX seis concesiones denominadas La Concepción, La Paloma, Santa Clotilde, La Perla, La Asunción y Virgen del Carmen, siendo La Perla la que más importancia tuvo. Este autor escribe que:

“De esta mina he podido ver un plano en el que hay marcados cuatro niveles, dos muy importantes a 35 y 60 metros, cuyas galerías pasan de 400 y 250 m. Respectivamente, y otros dos de menor importancia a 30 y 37 m. En el plano hay marcados cuatro pozos, el más profundo de los cuales llega

a 65m. en dicho plano, pero según referencias, su profundidad actual es de 106 m. Ha sido explotada por una sociedad francesa durante 21 años, comenzando los trabajos hacia el año 1880. Al comenzarlos, parece ser que se encontraron algunas labores sin importancia como tales, pero que sí la tienen histórica, pues estaban realizadas con punterola, sin que en su trabajo hubiera intervenido la pólvora, lo cual prueba que su antigüedad es aun más grande que la de la primera cita que se tiene de ellas”.

Parece ser que la administración de esta mina era deplorable y ésta fue la causa de que cesaran los trabajos. Poco después de haber sido cerrada, otra empresa, inglesa, la desaguó, pero no realizó más trabajos, sin que conozcamos las causas de ello. Otra mina es Virgen del Carmen, siempre según FERNÁNDEZ AGUILAR (1924):

“En 1872 se constituyó en Madrid una Sociedad con el nombre de “Virgen del Carmen” para explotar e investigar la concesión del mismo nombre. Esta empresa emitió doscientas acciones a cien pesetas, pero sospecho que no llegaron a cubrirse ni con mucho, pues he visto la acción número 102 sin extender”.

En la “Estadística Minera” de 1889 leemos que *“Los trabajos de investigación han continuado en algunas minas, y entre ellos los más notables son los hechos en “La Perla”, del término de Montejo de la Sierra.”* (DOMÍNGUEZ, 1890). En esa misma “Estadística Minera” se adjunta un informe del ingeniero de minas JUAN FALCÓ, quien recorrió estas labores:

“En la mina Perla, del término de Montejo de la Sierra, se sostuvo el desagüe hasta 1º de Enero, en que se emprendieron trabajos en el interior, profundizando el pozo maestro y otro pocillo sobre el filón á los 65 metros de profundidad, llevando la de aquél hasta 91 metros aprovechando la gran sequía del año. Se continuaron las galerías de dirección de 1ª y 2ª planta. De estos trabajos se ha obtenido alguna cantidad de mineral bastante reducida que, como anteriormente se hacía, se ha almacenado. La defectuosa fortificación del pozo ocasionó la caída de una piedra que hirió gravemente á un minero que trabajaba en la caldera del mismo, destrozándole completamente una pierna. Este desgraciado accidente tuvo como consecuencia la muerte del referido obrero. En el trabajo de desagüe se emplearon dos hombres y cuatro mulas”.

La extracción se realizaría con un malacate movido por estas mulas. En cuanto a la producción de esta mina es una incógnita, pues a lo largo de los años que estuvo en explotación sólo se tienen datos aislados de tres de ellos. Volviendo a los primeros años de explotación de la mina Perla, en la “Estadística Minera” de 1890 se menciona una producción de 400 kg de mineral de plata. En esa crónica el ingeniero de minas FALCÓ da los pocos detalles que se tienen de la explotación de la mina Perla:

"En esta mina suspendieron los trabajos a fines de octubre de 1890 después de haber hecho 121,75 metros lineales de galería, 43 en calderillas, 6.30 de pozo maestro y 4 en cruceros. En el trabajo de anchurones sacaron

17200 metros cúbicos de escombros. Según noticias de la localidad, en todo el año de 1890 se han empleado 7013 jornales de barreneros, zafreiros y entibadores por contrata, y además unos 3700 por administración en el interior y exterior".

Indica que la potencia media del filón es de 0,15m y la producción la arriba indicada, con mineral de poca riqueza. Después de la paralización de la mina en el mes de octubre sólo se tenían empleados dos peones para cuidar del malacate, sosteniendo el desagüe de la mina hasta mayo del año 1891. Prosigue FALCÓ, diciendo que, en ese mes visitan la mina un ingeniero inglés y otro francés:

"han empleado otros dos mineros y un entibador que han hecho 20 metros de galería en la del Norte, en el último piso que se halla á 100 metros de profundidad, extrayendo algún mineral, cuyo valor no daría seguramente en venta para el coste de estos trabajos.

Durante el mes actual (junio de 1891, n.d.a.) ha habido empleados seis hombres en el interior y uno en el exterior para retirar los escombros, además de los dos hombres empleados en el malacate para el desagüe, como antes digo".

Existe también una mina próxima denominada El Porvenir, en la que según FALCÓ (1891) *"se han hecho 10 metros de galería al Norte, empleando en este trabajo seis hombres".*



Figura 85: Escombreras de residuos sólidos urbanos cubriendo la mina La Perla de Prádena del Rincón.

MINA SAN FRANCISCO

En 1858 se demarca una mina de plata como La Cazadora en las proximidades de lo que luego sería la Mina San Francisco.

Esta mina es actualmente un pozo inundado con unas voluminosas escombreras. Creemos que este pozo se integraría más tarde a la mina San Francisco, y será el que le daría reputación por la calidad de sus minerales de plata. En sus escombreras es el único lugar donde hemos hallado minerales de plata con cierta abundancia: cristales idiomórficos de freibergita embutidos en cuarzo, y cristales malformados pero brillantes de pirargirita en pequeñas cavidades del filón. Aparecen en ocasiones asociadas cantidades muy pequeñas de haluros de plata y plata nativa. En la “Revista Minera” de 1856 al referirse a la mina San Francisco se cita:

“ha cortado con un pozo interior de 40 m de profundidad el gran filón que constituye este importante criadero, el cual presenta ricos ejemplares de plata nativa, plata roja y vítrea”.

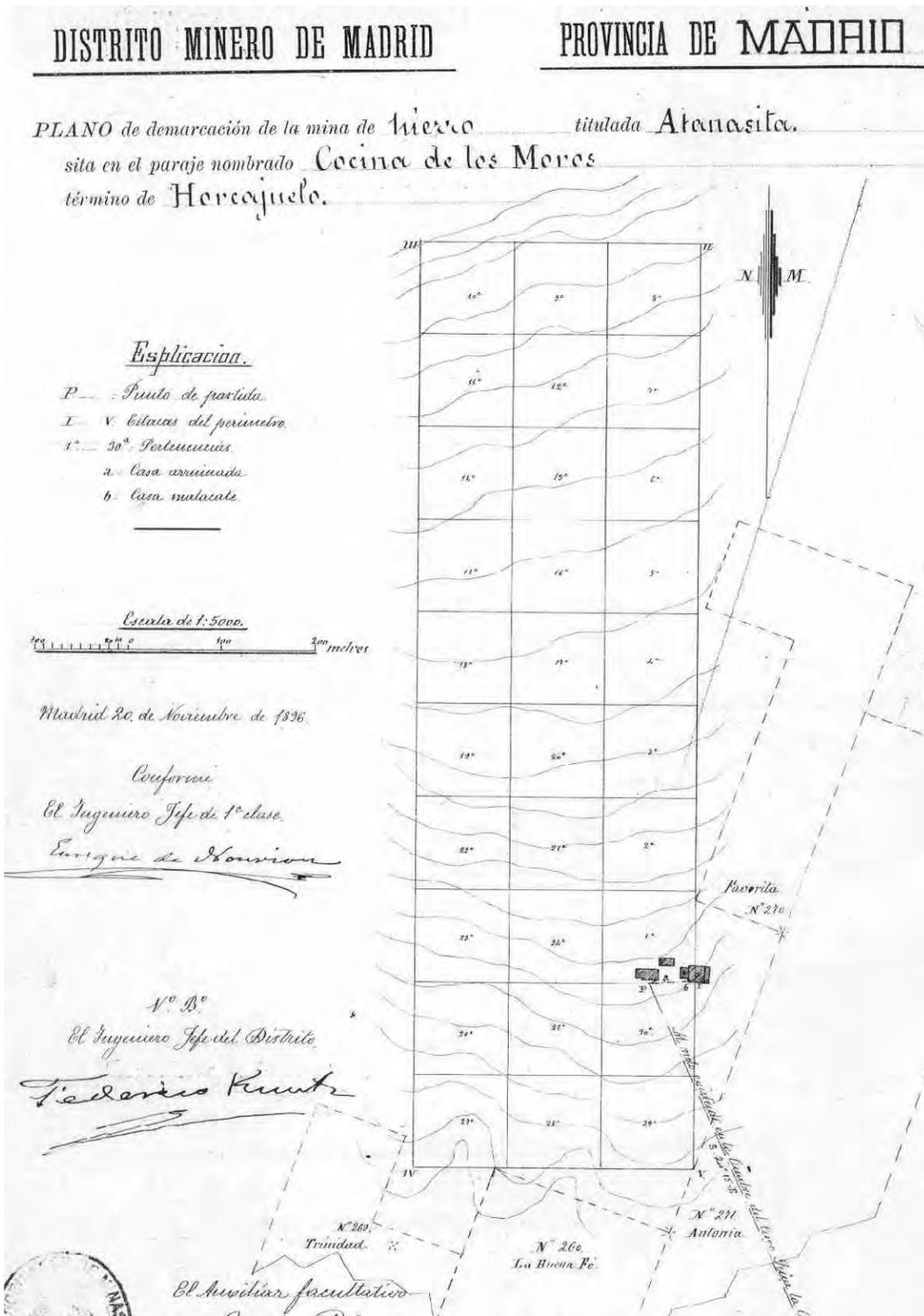


Figura 869: Plano de las minas de Horcajuelo de 1896.

En el efímero diario minero “La Antorcha” encontramos una referencia a estas minas. También se hacen eco del descubrimiento de un importante filón, tal vez una parte diferente del que menciona la “Revista Minera”. En el Jueves 4 de febrero de 1857 (Cfr. La Antorcha, año I N° 7 p.4) leemos:

“El descubrimiento efectuado últimamente en la mina San Francisco en Horcajuelo, propiedad de la compañía titulada Hispano-Mejicana, demuestra que cuando a la explotación de un criadero que presenta indicaciones de riqueza en la superficie; preside una bien entendida dirección facultativa y la actividad correspondiente, los resultados satisfactorios no se hacen esperar.

La mina San Francisco ha cortado un filón conteniendo plata agria, plata roja oscura y cloruros de plata, presentándose también la plata nativa”.

A continuación en el mismo texto se señala que se analizó el mineral tal cual salió de la mina, sin separar la ganga y el resultado fue el siguiente:

	Contenido en onzas/quintal (métrico) en la bibliografía	En porcentaje %	kg de plata por tonelada de roca
Muestra 1	6,75	0,191	1,91
Muestra 2	2,49	0,071	0,71
Muestra 3	8,92	0,253	2,53
Muestra 4	6,55	0,186	1,86
Muestra 5	17,53	0,492	4,92

Tabla 41: Ensayos de los minerales obtenidos en la mina de plata de San Francisco. Fuente: La Antorcha (1857). Las segunda y terceras líneas son las actualizaciones de las medidas empleadas.

Tras este ensayo publicado, la redacción de “La Antorcha” descalifica a los especuladores por el precio que han alcanzado las acciones de muchas minas sin haber logrado aún ningún objetivo, y por el contrario el éxito de Horcajuelo no está siendo valorado:

“En vista de los ensayos de que damos noticia, nuestros lectores graduarán si existen asomos de lógica siquiera, en la apreciación que se da en el mercado al papel de ciertas minas, cuyas condiciones de riqueza hasta el presente, son las de que esperan cortar un filón...”

La redacción de “La Antorcha” apunta que no se fija la atención pública en sociedades mineras como Hispano-Mejicana. Estos dos documentos, de la “Revista Minera” y “La Antorcha” son los únicos que hemos encontrado que datan de la época de explotación de las minas.

No sabemos a ciencia cierta cuáles fueron los principales años de actividad de estas minas que sin embargo nos inclinamos a pensar que fue contemporánea de las de La Acebeda, es decir, activas principalmente en el decenio de 1850-1860. Despertaron interés por sus minerales y presentan unas labores de cierta entidad. Creemos que se abandonarían hacia 1860 al mismo tiempo que otras minas de su entorno como las de La Acebeda.

Dudamos del espíritu emprendedor de las compañías que explotaron la plata en la Somosierra en esos años 1840-1860. Sospechamos, que el fin era vender al mejor precio posible unas minas que habían cortado unas mineralizaciones cuanto menos interesantes. LUCAS ALDAMA en 1860 cita las platas antimoniales y arsenicales “*son notables los ejemplares de las minas de Horcajuelo, Montejo de la Sierra, Cerceda y otras*”. Según CASIANO DE PRADO estas minas estarían todas abandonadas al final de la década de 1860.

Según FALCÓ (1890) “ En las minas La Verdad, La Buena Fe y El Porvenir, así como en las demás que existen en el término de Horcajuelo, no se ha hecho trabajo alguno durante el año”



Figura 87: Pie del malacate de Horcajuelo (fotografía de 2007). Se sitúa en las ruinas de una gran edificación junto al Pozo Maestro, colapsado.

Existió un malacate de cierta envergadura situado sobre el pozo contiguo a la bocamina. Este pozo aterrado a tres metros presenta un enorme diámetro y sería el pozo maestro. Junto a él existe unas ruinas rectangulares de gruesos muros que creemos albergaría la construcción donde los animales moverían el eje vertical del malacate. Hemos encontrado una pieza de granito que creemos serviría de soporte al poste fijo del eje vertical. Según el mismo plano de

demarcación existirían otras dos casas en ruinas, de las que quedan todavía la parte baja de los muros. También podemos identificar las labores que hay aterradas y con grandes escombreras de estériles, ladera abajo de la mina San Francisco: son las minas Trinidad, La Buena Fé y Antonia.

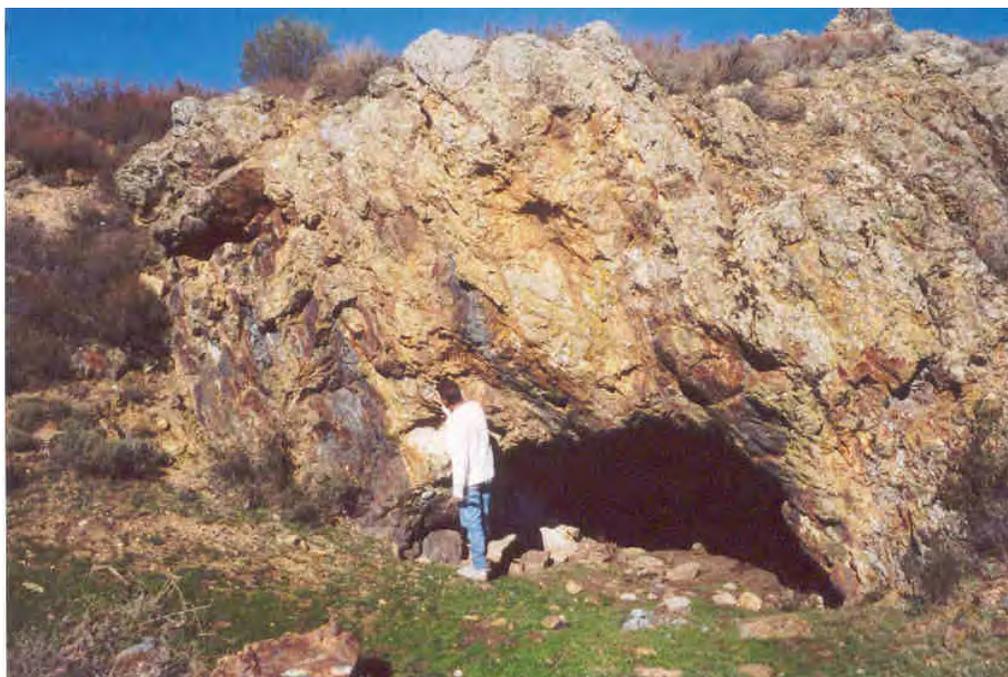


Figura 88: Emboquille de la mina San Francisco, nótese la falla con grafito a la izquierda.

NOTAS SOBRE LA MINERALOGÍA DE LA MINA SAN FRANCISCO DE HORCAJUELO

Aparecen actualmente tres minerales de plata en cierta abundancia: freibergita, pirargirita y acantita. El tercero se presenta frecuentemente alterándose a pirargirita en pequeñas oquedades. Lo más importante es conocer cuál era la mena principal de la plata. Pese a que aparecieron tanto plata nativa, como cloruros de plata e incluso plata agria (estefanita) creemos que eran la freibergita y la pirargirita los fundamentales.

La freibergita es el mineral de plata más abundante en la mina San Francisco; se presenta incluida en el cuarzo como cristales aislados xenomorfos o más raramente como asociaciones de varios individuos. Al partir el cuarzo de la mina La Cazadora se aprecian muy frecuentemente secciones triangulares de los tetraedros. El tamaño puede alcanzar 5mm, aunque lo más frecuente es que estén en torno a los 1-2 mm de arista. No la habíamos encontrado todavía citado en esta mina, así que realizamos análisis químicos para diferenciarlo de una tetraedrita. VINDEL y GUMIEL (1981) describen por vez primera esta especie en Somosierra, en las vecinas minas de Prádena del Rincón. Allí lo citan como el mineral de plata más abundante.

En Horcajuelo aparece tanto en los minerales seleccionados y escombreras del socavón San Francisco como en el pozo de La Cazadora, siendo mucho más abundante en el segundo.

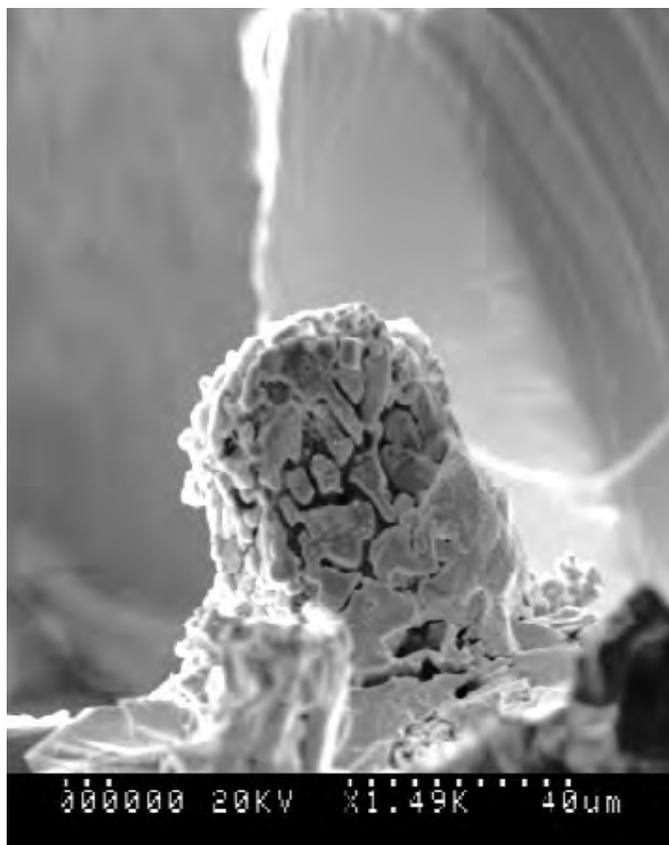


Figura 8910: Imagen de MEB. Clorargirita del pozo La Cazadora de Horcajuelo (recogido en 2002).

La pirargirita ha sido citada en esta mina por todos los autores que la visitaron en el siglo XIX y principios del XX, siendo relativamente abundante. Aparece en cristales con clara tendencia al idiomorfismo. Forma cristales aéreos en oquedades en el cuarzo, dejadas por la alteración de minerales primarios de plata, especialmente la acantita/argentita a los que reemplaza. Presenta un intenso color rojo y brillo submetálico. La hemos encontrado con cierta abundancia en el Pozo de La Cazadora.

MINAS DE ARSÉNICO Y PLATA DE BUSTARVIEJO

Ya desde los primeros años del resurgimiento de la minería, el yacimiento de Bustarviejo es de los primeros en ser investigado. En el “Boletín Oficial de Minas” de 1844 se cita un ensayo en el laboratorio de la Escuela Especial de Minas de *“un mineral procedente de la mina Felicidad, término de Bustarviejo, dió por resultado 30 por 100 de plomo, 2 onzas, 8 adarmes, 34 granos de plata por quintal de mineral”*.

MADOZ (1847) en su “Diccionario Geográfico Estadístico”, se refiere a Bustarviejo apuntando:

“brotan en él varios manantiales: en un cerro llamado la Cuesta de la Plata hay una mina de este metal con dos antiguos, otra de oro se registró en un sitio llamado de la peña de los Grajos, y alguna otra de cobre o metal acerado”.

Esta referencia anterior indicará los comienzos de las prospecciones y saneamientos de labores. En la “Revista Minera” de 1852 se cita:

“En la mina Indiana, sita en el término de Bustarviejo, propia de la sociedad La Madrileña, se ha descubierto un nuevo filón al ejecutar un rebaje para colocar el cobertizo de un pozo, que corre en alguna extensión y con continuidad sobre la superficie en dirección N-50° O á S °3° E

inclinado 75° al NE compuesto casi exclusivamente de galena hojosa y plata arsenical”.

Creemos que serán trabajos preparatorios, hasta que en 1855, según el ingeniero de minas MENÉDEZ ORMAZA (1928):

“En 1855 aparecen en la Jefatura de Minas los primeros datos oficiales, precisando en la mina “Indiana” la labor legal de un pozo de sección cuadrada de 2,30 metros, con 25 metros de profundidad en el granito, y sobre esa masa, que presenta riñones y bolsas de pirita arsenical argentífera. El mismo año en la mina colindante “Soledad” se trabajó un pozo de 10 metros en formación análoga a la anterior”.

Hemos tenido acceso en la Dirección General de Minas a ese mismo plano que en su día consultó ORMAZA, adjunto al cual hay un croquis con todas las labores existentes en el plano de demarcación. Esta mina Indiana era limítrofe con la mina “Soledad”, la mina consta de tres pertenencias, y aparece como mina de *“pirita arsenical argentífera con pirita de cobre”*, sita en el paraje de la Cuesta de la Plata y fue denunciada por D. PÍO DE GOYA a 7 de enero de 1855, firma el ingeniero TOMÁS JABÁN.

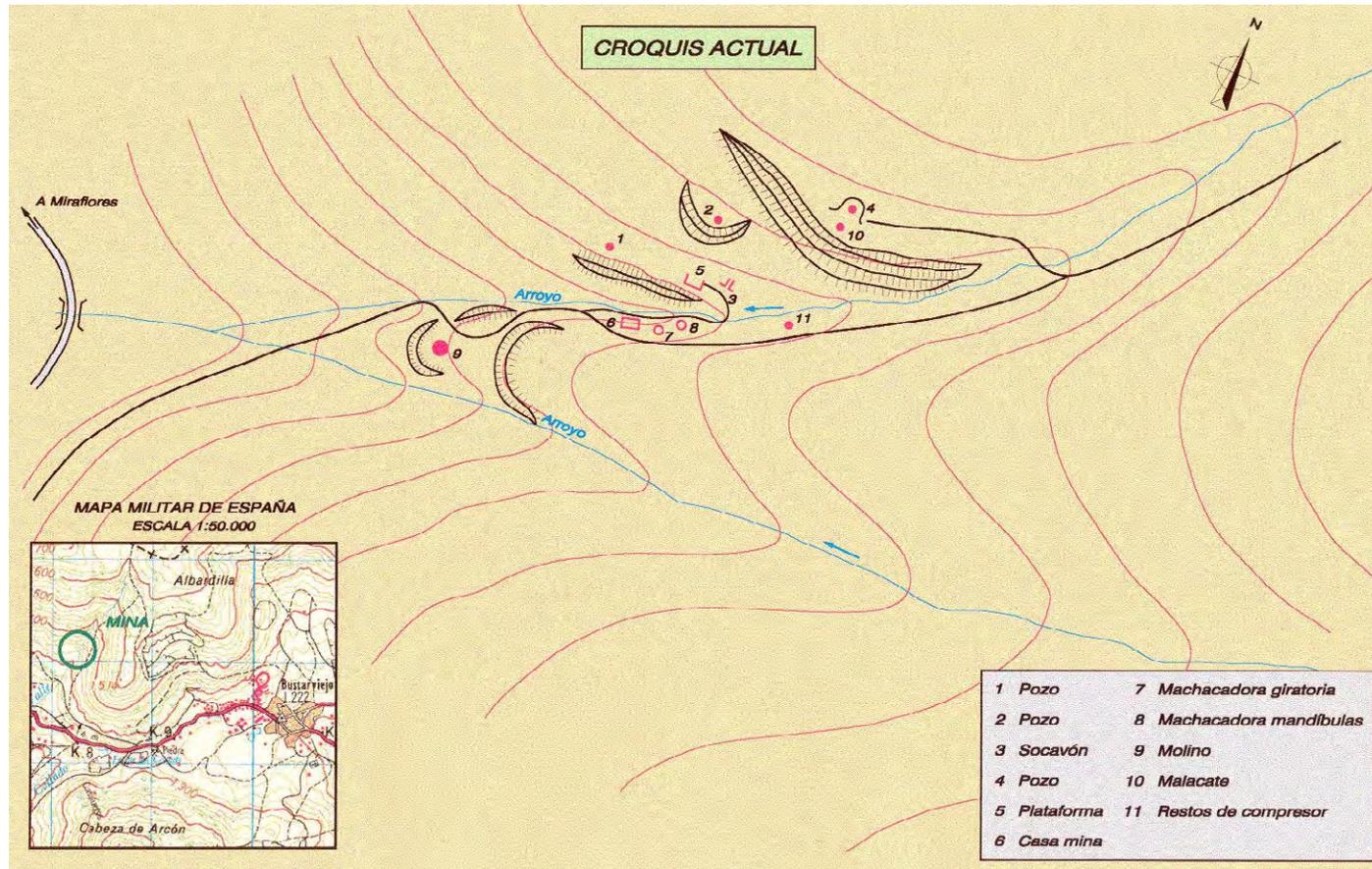


Figura 90: Croquis de las labores de la mina de Bustarviejo, modificado del original de ORMAZA (MAZADIEGO y PUCHE, 1997).

La mina caducó y volvió a registrarse en 1863 con el nombre de Providencia, según consta en el plano de demarcación. En las observaciones de la explicación de la demarcación, algunos párrafos, son de difícil lectura por estar manuscrito (JABÁN, 1855), pero leemos:

“Los labrados de esta mina consisten en dos pozos verticales exteriores, llamados Indiana y San Juan; de 25,07 m (30 v.) el 1º y de 16,71 m (20 v.) el 2º; de dos socavones llamados San Pedro y S. Joaquin con algunas galerías en cada uno de ellos que componen 100 metros (119,73 v) en San Pedro y 40 met. (47,85 var,) en San Joaquín; además dos pozos verticales interiores denominados S. Joaquin y S. José; de 16,71 m (20 v.) el 1º., y de 25,07 m (30 var) el 2º.: abierto todo por los actuales dueños de la mina, en la formación granítica sobre una masa que contiene riñones y bolsas de pirita arsenical argentífera con pirita de cobre y galena = Los nuevos trabajos descritos, siguen el plan trazado sin hacer caso de los pozos antiguos que allí existen = La boca del pozo punto de partida dista de la esquina NO. De la casa de la sociedad de la mina Indiana 176,80 m (...).”

LUCAS ALDAMA en 1860 cita las piritas arsenicales: *“muy notables y de suma variedad también antimoníferas”* en la mina Indiana. Ese año se demarca una nueva mina llamada Facundita, también en Bustarviejo. El lugar es la Ladera de la Quebrada, en una veta en terrenos vírgenes. No la hemos hallado por el momento.



Figura 91: "Riñón" mineralizado.

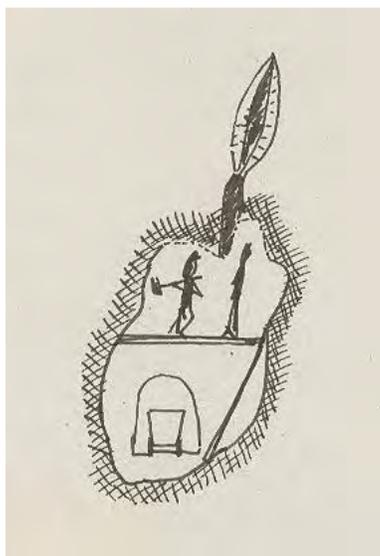


Figura 92: Explotación ascendente de un "riñón" o de un filón mineralizado.

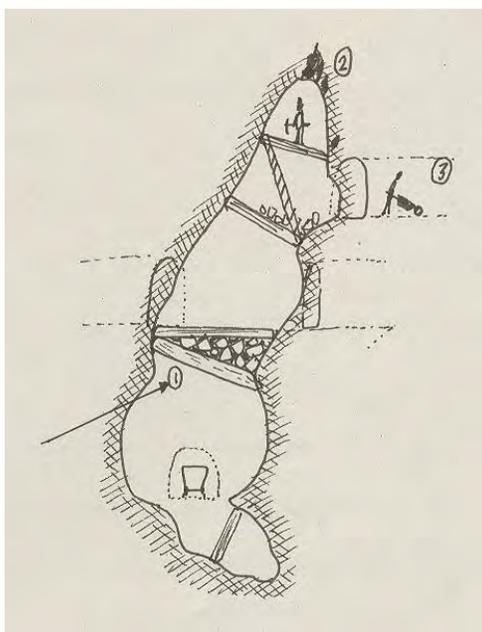


Figura 93: Explotación mixta ascendente – descendente en la mina Indiana.

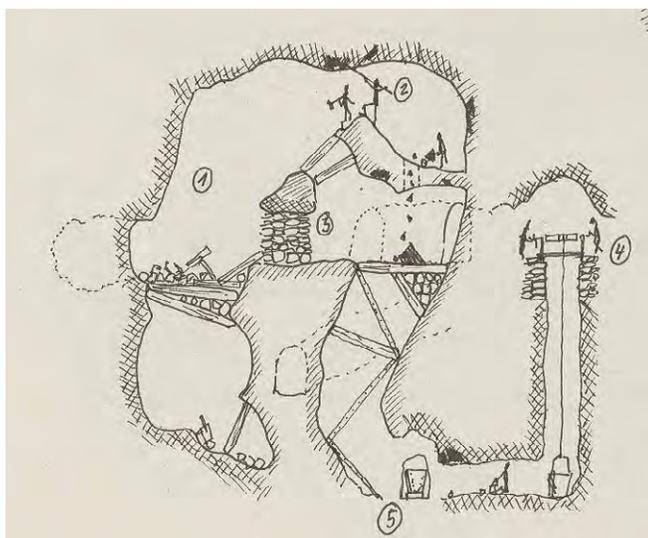


Figura 94: Explotación de una cámara grande con varias bolsadas o "riñones" mineralizados. Ejemplo de la "gran sala" del pozo maestro de Bustarviejo.

Sobre estas líneas, diversos esquemas de los métodos de laboreo en Bustarviejo en el siglo XIX.

El laboreo se realizó normalmente de arriba abajo, empezando por filones aflorantes. En el interior, las grandes cámaras se abren de arriba abajo por banqueo descendente mientras que las bolsadas pequeñas o “riñones” mineralizados se extraen a modo de testers desde una galería de arrastre inferior. El método es una variante de corte y relleno ascendente y explotaciones entibadas.

MENÉNDEZ ORMAZA (1928) apunta que:

“Ya en 1863 se precisa más el asunto al ponerse nuevamente en marcha la mina Indiana, por medio de dos pozos verticales exteriores de 25 y 16 metros y dos socavones, además de dos pozos interiores de 16 y 25 metros, y a los riñones y bolsas de pirita arsenical argentífera del yacimiento añade el Ingeniero que la demarcó la existencia de piritas de cobre y galena”.

Este mismo autor indica que en 1867 el pozo denominado Lucera alcanzaba 70 m; el de San Joaquín, 80, y el de San José, 40, y se puntualiza la forma del yacimiento indicando gangas de óxido de hierro y cuarzo para la pirita arsenical argentífera y una dirección de la mineralización de N 75° a S 75° E. CASIANO DE PRADO (1864) escribe: *“En Bustarviejo llegó a construirse una fábrica de fundición que costó 30.000 duros, y que desde que se construyó permanece cerrada.”* Sus visitas a la zona son de 1860. En la “Estadística Minera” de 1867 encontramos un cambio de nombre de la concesión a Emilia:

“En término de Bustarviejo y en el sitio llamado Cerro de la Plata, se han hecho algunas investigaciones y un registro con el nombre de Emilia. El criadero consiste en una bolsada de grandes dimensiones pues está reconocida por labores antiguas en unos 80 metros de profundidad y más de 20 de latitud. El mineral beneficiable consiste en la pirita arsenical argentífera acompañada de alguna cantidad de pirita de cobre y cuya ley en plata es muy variable, pues oscila entre una onza y 14 que se ha encontrado en algunos ejemplares escogidos; su término medio vendrá a ser de 3 á 4 onzas”.

FÁBRICAS DE BENEFICIO EN BUSTARVIEJO

Desde que se comenzaron a explotar las minas de arsenopirita (argentífera) en Bustarviejo han ido parejas las fundiciones o fábricas de beneficio. Algo más tarde aparecen mencionadas dos factorías, una que estaría en funcionamiento a principios de la segunda mitad del siglo y otra en el último decenio que trataría de beneficiar únicamente el arsénico. En 1868 BONA apunta en su “Anuario”:

“se ha montado como vía de ensayo una fábrica de beneficio por el sistema de amalgamación consistiendo en un molino de volandera vertical, un horno de calcinación y cloruración, un juego de toneles y una campana de destilación.

El tiempo en que hacen la calcinación, cantidad de sal empleada, cantidad de mercurio necesario para verificar la amalgamación y tiempo que se necesita en esta operación para obtener la pella en sus buenas condiciones, ha sido

objeto de una porción de ensayos, consiguiendo por fin tan buenos resultados, que han obtenido residuos hasta de ocho céntimos de onza de plata por quintal de mena empleada, y el de 15 por término medio. La plata obtenida en la campana de destilación la funden en crisoles de hierro y obtienen barras de plata con alguna cantidad de cobre (...) Pensaban hacer otro molino, dos hornos de cloruración y montar otro juego de toneles”.

Se trata del método de los toneles de amalgamación de Ignaz Von Born. Estos ensayos auguraban un buen porvenir a la explotación, en la cual se habían hecho ensayos y fundiciones de manera no apropiada, que llevaban a la paralización de la mina. En este caso, el único obstáculo que al parecer se presenta es el elevado precio de la sal, según indicaban “*á mas de cinco escudos quintal*”. Al parecer, a ese precio les era imposible continuar el beneficio, por ello solicitaron de la Administración de Hacienda sal “impurificada con cal á 600 milésimas de escudo quintal”

La fábrica de Bustarviejo produjo en 1867 la cantidad de 53 kg de plata, proveniente de la mina Emilia, de la que se habían extraído 250 quintales de mineral. En 1868 son ya 316 kg de plata beneficiados y 10 quintales de cobre todos de la mina Emilia, donde trabajaban 36 hombres y 13 niños. La producción de la mina asciende a 5000 quintales métricos. En la “Revista Minera” de 1868 leemos que la mina sigue trabajando a modo de ensayo:

“En la provincia de Madrid en término de Bustarviejo se están beneficiando como via de ensayo, los minerales arrancados en concesiones anteriores y pertenecientes hoy a la mina Emilia”.

Los resultados son alentadores, teniendo en cuenta que se trataba de un ensayo para investigar el interés industrial. La fábrica montada no permitía una perfecta recuperación. Aún así la ley en plata de la arsenopirita beneficiada oscilaba entre 0,115 y 0,172 % (en el original en onzas por quintal). El mineral se obtiene según se indica de algunas galerías antiguas desazafradas. Ciertos ejemplares escogidos llegaron a una ley de 0,42% en plata. En 1868, continúa la explotación de la mina Emilia aunque de forma modesta por los escasos recursos con que cuenta la Sociedad. En 1870 se producen 350 kg de plata a partir de 7200 quintales de arsenopirita, mientras que la mina había extraído 14600 quintales, lo que nos hace suponer que tendría un enorme “stock” para los años siguientes. En 1871 se trataron 5400 quintales métricos de pirita arsenical argentífera, obteniendo 314,5 kg de plata. En ella trabajan 8 hombres y 4 muchachos (“Estadística Minera”, 1871).

En 1889, y tras ya varios años de abandono de la fábrica de amalgamación se instala una nueva planta de beneficio, pero esta vez para arsénico. Según FALCÓ (1890) *“En la mina San Miguel, de Bustarviejo, se han emprendido trabajos, pero no en busca de mineral de cobre, que es como existe demarcada, sino que el objeto de la explotación es hoy el mispiquel, pues lo que principalmente se persigue es la obtención del arsénico”.*

FALCÓ (1890) menciona la forma de tratar el mineral de arsénico en la fábrica de beneficio:

“A este fin se han montado una fábrica, en la que existen 10 hornos, especie de pequeños cubilotes y una galería de condensación de humos que tiene cerca de 300 metros de longitud, con su correspondiente chimenea.

El procedimiento que han seguido en el beneficio del mineral es el de Pengilly (ver glosario). Se han sometido á la destilación 515 toneladas de mineral, que han producido 16.000 kilogramos de arsénico, sin contar lo que existe condensado en las chimeneas que no se habían limpiado en 1º de Julio. Además de los 10 hornos antedichos, hay otro para el refino”.

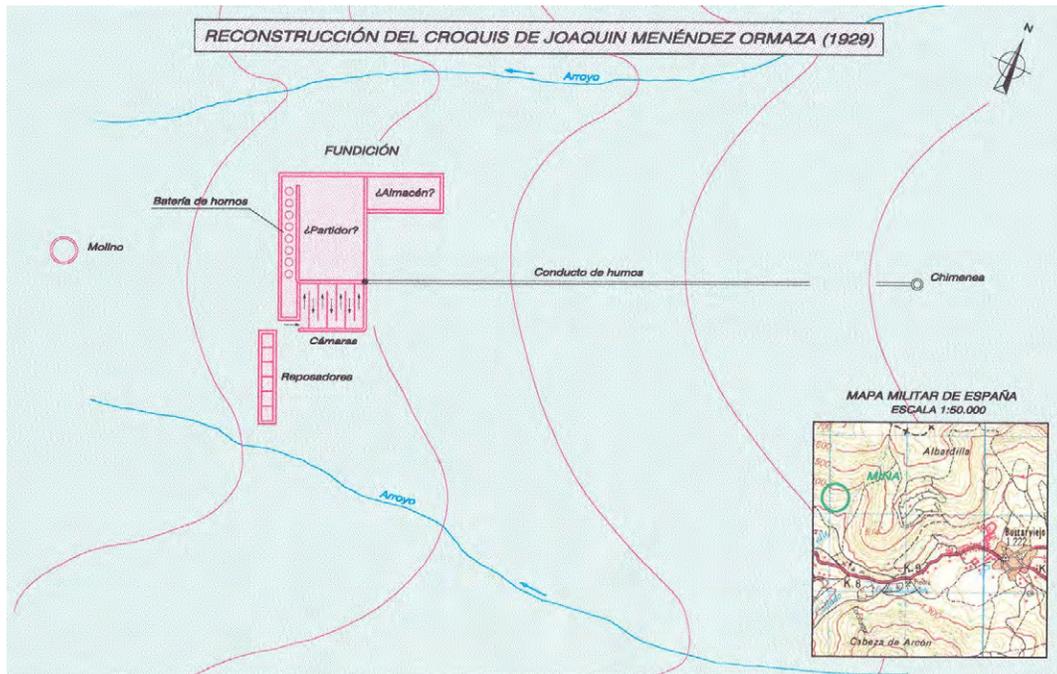


Figura 95: Reconstrucción en planta de los hornos de arsénico de la mina de Bustarviejo (MAZADIEGO y PUCHE, 1997).

En el mismo texto FALCÓ (1890) también indica como se lleva a cabo la preparación de la mena:

“En el taller de preparación de las menas hay una máquina quebrantadora para triturar el mineral, 11 estanques para lavar los minerales después de calcinados, y un molino para el arsénico obtenido. Han trabajado diariamente durante el segundo semestre en la mina 12 barreneros, con un jornal de 2,25 pesetas, y 18 muchachos con el de una peseta.

La fábrica se ha parado, y se dice que el estado financiero de la Sociedad explotadora no es muy próspero, siendo esta la causa de la paralización de los trabajos”.

Al año siguiente, también según FALCÓ (1891):

“De la mina San Miguel y la fábrica de arsénico, del término de Bustarviejo, se ha dicho en la localidad si una nueva Compañía tomaría la fábrica para continuar los trabajos, pues que el resultado de los minerales parece no indica nada en contra de su beneficio industrial, pero hasta la fecha, ninguna noticia digna de crédito había sobre el particular”.

3.4.5.- MINERÍA DE COBRE

NOTAS GENERALES SOBRE LA COMARCA CUPRÍFERA DE LOZOYA

Esta comarca siempre ha despertado el interés por la riqueza de sus filones. Existen multitud de labores pequeñas dispersas por los montes que circundan las localidades de Lozoyuela, Garganta de Los Montes y El Cuadrón. Estas pequeñas labores son en su mayoría calicatas, rafas y pequeños pozos con sus respectivas escombreras oxidadas, donde es difícil estudiar el tipo de mineral beneficiado (por ejemplo la mina de la Urbanización Los Gargantales, donde nos ha sido imposible encontrar menas metálicas excepto limonita pulverulenta).

Las minas históricas más notables han sido tres, cuyos nombres han ido cambiando según se alternaban los explotadores: La mina Chilena de El Cuadrón (minerales de cobre y blenda), la mina Aurrerá de Garganta de los Montes (futura mina Descuido y Fernandito en el siglo XX) y las minas de cobre de Lozoyuela.

Según AMALIO GIL MAESTRE (1874):

“Entre Lozoyuela, Garganta y Cuadrón, poblaciones situadas, la primera sobre granito y las otras dos sobre el gneis, se extiende una cordillera gnesica que se enlaza por el Mediodía con el pico de la Miel y deja al E. La carretera de Francia: el camino de Lozoyuela á Garganta la cruza por el sitio llamado la Horcajada ó las Tijeras, y sobre ella ó en sus laderas occidental y oriental y cañadas ó valles que de ella parten, se hallan todas las minas demarcadas en estos términos, formando un grupo bastante considerable y de idénticas condiciones de yacimiento en todos sus criaderos, de los cuales pueden presentarse como tipos, sin que por esto se entienda que sean los principales, los de la Gran Suerte de Garganta, la Chilena del Cuadrón y la Estrella de Lozoyuela (...) Como formación curiosa citaré una masa gnesica cuajada de cristales de pirita de hierro con alguna pinta cobriza, sobre la que se ha demarcado la mina La Peruana, entre Garganta y Pinilla del Valle al N.O. del primer pueblo”.

MINAS DE GARGANTA DE LOS MONTES

Según FALCÓ (1890) en el año 1889 no se llevaban a cabo trabajos en la mina Aurrerá del término de Garganta. Esta labor es la que precederá a la mina Descuido, del siglo siguiente. En 1894 se demarca la mina con el nombre de Abandonada que posteriormente sería Amy V, leemos en el plano de registro que para demarcarse se emplea una visual al *"edificio del pozo maestro de la mina Aurrerá"*.

Las ruinas de la mina de la Urbanización Los Gargantales, las más próximas al pueblo de Garganta se demarcan en 1894 como "Doña Flora" para cobre, y que tienen un "pozo antiguo cercado de un muro de piedra".

MINA DE LA ALDEA DE EL CUADRÓN

Pocos restos quedan ya de esta legendaria explotación. Esta pequeña mina, se trabajó de manera artesanal e intermitente entre 1847 (o tal vez algo antes) y 1862. A partir de ese año las referencias son algo más confusas sobre el laboreo.



Figura 96: Escombreras de la mina Chilena, de El Cuadrón, detrás, posiblemente la casa de la mina, del siglo XIX. (Foto de 2002).

En 1915 LUCAS FERNÁNDEZ NAVARRO publica un extenso trabajo titulado “Monografía Geológica del Valle de Lozoya” donde encontramos una referencia a la mina del pueblo de El Cuadrón:

“Merece especial atención entre los minerales de la comarca (...) la blenda cadmífera, de El Cuadrón. Es un mineral negruzco, mate, en nódulos

espáticos del tamaño del puño, recubiertos en la superficie por un polvo amarillento- verdoso de greenockita. Se encuentra en pequeña cantidad revolviendo un antiguo resto de escombrera que hay en el mismo pueblo, calle de la Fuente, donde existió un pozo de 27 varas, de una de tantas incipientes explotaciones en busca de cobres”.

El análisis del mineral arrojó además del Zn, Fe, Cu y S un contenido de 0,18 % de cadmio y 0,30% de bismuto. LUIS DE LA ESCOSURA (1852) apunta: *“No tenemos noticia de otro mineral de España que contenga bismuto y cadmio y esto nos ha movido únicamente a publicar los análisis de la blenda del Cuadrón”.* En las citas posteriores mineralógicas, aparecerá este mineral como blenda cadmífera o doble sulfuro de cinc y cadmio (ALDAMA, 1860, y PRADO, 1864).

En 1852 se demarca con el nombre de Aurora, por Francisco Llovet. En planos de demarcación de minas que se conservan en los registros de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de Madrid se describe la labor como un pozo vertical de 18,81 m (22,5 varas) y dos galerías practicadas en él; una 11,70 m con un sentido hacia el O y 8,36 m de corrida; la segunda galería se halla a 17,55 m, tiene la misma dirección y una longitud de 15 m. En la memoria se refleja que los denunciadores continúan la labor antigua, llamada Esmeralda. Existe en las proximidades otro pozo abierto en estéril, anegado por el agua. El pozo de la mina se encuentra dentro de una casa de la primitiva aldea de El Cuadrón. En 1862 los explotadores abandonan la mina, que se vuelve a registrar en 1867 con el nombre de Esperanza.

MINAS DE COLMENAREJO Y GALAPAGAR

En 1855 aparece el primer registro como Mina El Terrible. Los nuevos explotadores se topan con primitivas labores, especificándose pocillos antiguos de pequeño alcance en la zona de Los Quemados (que luego sería ocupada a finales de siglo por la mina Pilar) según los planos de los registros 22 y 23 de la Jefatura de Minas.

En el siglo XIX ya estaban descubiertos por pequeñas rafas y pocillos la totalidad de los indicios cupríferos, siendo las dos zonas más prometedoras, las labores antiguas del arroyo de Riosequillo y los Quemados (donde se ubicará la mina Pilar). La zona minada de los Quemados ya era conocida como los pozos de los Quemados.

Además de las calicatas antiguas (siglo XVI o anteriores), alguno de los pozos como Jaime o el Maestro daría ya acceso al primer nivel de la mina. Ambas zonas, los Quemados y el arroyo de Riosequillo estaban agrupadas a mediados de siglo XIX en la mina El Terrible. Junto al arroyo Riosequillo se menciona expresamente una “galería antigua” que hoy en día se encuentra aterrada pero visible. En cuanto a la zona del cerro de la Osera, activa en el siglo XVII, no hemos encontrado nuevas citas a lo largo del siglo XIX, quedando como unas labores remotas y olvidadas hasta nuestros días.

Las observaciones del plano de demarcación de la mina El Terrible están firmadas por CIRILO DE TORNOS (1855). En el plano aparecen otros pozos, así como una mina limítrofe al Norte denominada Encarnación. En 1858 vuelve a demarcarse estas mismas pertenencias de El Terrible con el mismo nombre. Por una parte existe una labor “legal”, una galería irregular de 33,44 m, igual que tres años antes, en la margen Oeste del arroyo del Membrillo, o del Rosquillo.

Al lado opuesto figura una galería antigua. Esta mina aparecerá más adelante (principios del siglo XX) como la mina María, una prometedora labor que será eclipsada por el descubrimiento de los filones (o gran bolsada) de calcopirita de la mina Pilar. Actualmente es reconocible por una gran calicata en dirección del filón de cuarzo, que comienza en el mismo arroyo junto a una voluminosa escombrera y asciende hacia el cerro de Los Quemados unos 40 m. Resumiendo los datos que vuelven a aparecer en la memoria de la demarcación:

“la labor legal consiste en una galería irregular de 33,44 m (...) sobre la caja del criadero que consiste en un filón E á O con inclinación 50° al N. y una potencia variable entre 0,42 m y 1,67 m. Compuesto de cuarzo con cobre carbonatado azul y verde y óxido rojo del mismo metal. Hay además otras labores cegadas o llenas de agua, y unas y otras abiertas en terreno granítico...”.

Es importante señalar que en el plano de demarcación aparece señalado un pozo donde se situaría la mina Pilar. Este pozo sería el Maestro o bien el pozo

Jaime, que da acceso a las labores en profundidad más antiguas. También muy próximo al arroyo de Riosequillo, a unos 300 m al Norte de las galerías del río, hay una labor indicada como “*no sabemos el nombre*”, que hace referencia a unos trabajos antiguos. Esa labor puede reconocerse en la actualidad por un zanjón y una pequeña escombrera. La mineralización es muy pobre. Se trata de dos filoncillos de cuarzo de unos dos centímetros encajados a favor de una fractura N110-120 en la roca granítica. La labor es un socavón de 10 metros de diámetro y 3 de profundidad. Parecen indicios de carbonatos de cobre y pirita alterada; también minerales secundarios tipo crisocola impregnan intersticios alterados (caolinizados) de feldespatos, en la roca de caja. En otros planos de minas contiguas a estas labores se las menciona como los pozos Santa Clara y San Pío.

En un número de la “Revista Minera” (1860) se aventura sobre la riqueza cuprífera de la zona, ya que al hacer inventario sobre los minerales existentes en la provincia de Madrid se indica Colmenarejo y Galapagar como unos de los puntos más notables de presencia de carbonatos de cobre. Se indica además que:

“en Colmenarejo se dieron tres expedientes de cobre con seis pertenencias modernas”.

Según CASIANO DE PRADO, en su “Descripción física y geológica de la provincia de Madrid” (1864) a mediados de siglo sólo quedaría en explotación

alguna mina de galena, y el resto, incluidas las de cobre estarían paradas o abandonadas:

“ En las oficinas de Hacienda consta que en fin de 1859 existían todavía en la provincia 30 minas demarcadas y sujetas al pago de la contribución de pertenencia, 23 de ellas argentíferas, 3 de cobre, una de pirita arsenical y 3 de antimonio [...] fabricas de fundición en marcha ninguna....”.

MINAS DE COLMENAREJO AL FINAL DEL SIGLO XIX

En la década de 1890, se explotan unas pequeñas calicatas al Norte de la mina Pilar, es la concesión o mina Jaime (que no debemos de confundir con el pozo Jaime, de la mina Antigua Pilar, el único practicable hoy en día). Hoy pueden verse a la izquierda del camino hacia la mina Pilar, al empezar la última cuesta, abajo, a 200 m del pozo Maestro. Queda una calicata en filón de cuarzo, aterrada y una pequeña escombrera donde aparece algo de crisocola y malaquita pulverulenta.

Es en esa última década del siglo que si bien ninguna producirá, se van a demarcar todos los indicios de cobre conocidos hasta la fecha, que incluirán algunas minas abandonadas desde el siglo XVII. De todas ellas, sólo se llevan a cabo trabajos de cierta entidad en La zona de la Mina Antigua Pilar.

Posteriormente, la zona de Los Quemados se demarca como mina Antigua Pilar en 1896 y será junto con Garganta de los Montes la mina de cobre más grande de la provincia de Madrid. En el perímetro de esta mina se incluye hasta el río Riosequillo. En la zona alta, donde los vestigios actuales de mina Pilar, sólo había dos pozos en ese año: Maestro y Jaime, y al parecer no habría ninguna calicata. La zona de las demarcaciones de cobre aparece limitada por el camino de la Espernada, que actualmente es la carretera en mal estado que une la Universidad Carlos III con Villanueva del Pardillo a través del Aeródromo.

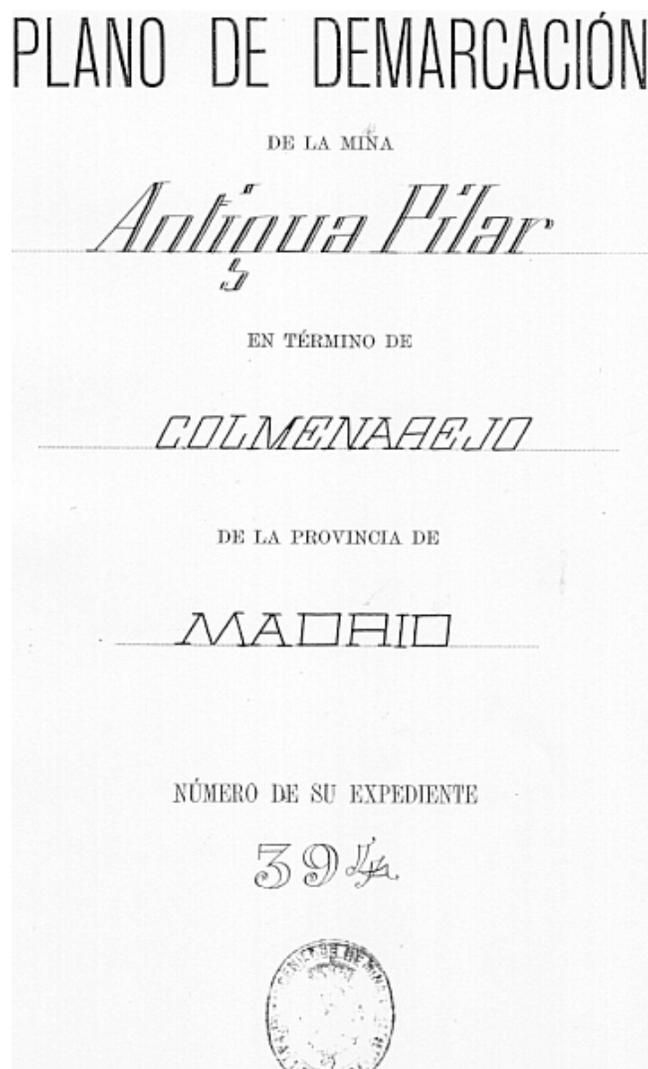


Figura 97: Demarcación de la mina antigua pilar, de 1898.

LA FUNDICIÓN DE COLMENAREJO

En la década de 1840 esta fundición trabajó de modo experimental (MADOZ, 1847), y no disponemos de otros datos hasta 1892. Es de crucial importancia desde el punto de vista Histórico-Industrial el expediente número 377 de la dirección General de Minas (antigua Jefatura de Madrid) de 1892, en el que se demarca una pequeña calicata que beneficia mineral de cobre junto a las actuales ruinas de la fundición. En la explicación del plano de demarcación se cita "*Fábrica antigua arruinada*".

Hemos visitado la fundición en varias ocasiones. Llama la atención la casi inexistencia de escoriales, solamente un pequeño montón semienterrado junto a un lateral, en el exterior de la fundición. Hay fragmentos cerámicos en el montículo lo que sugiere que sea parte de un horno. En otro de los laterales, el opuesto al camino, hay dos pequeños montículos de material seleccionado de baja ley.



Figura 98: Panorama de la fundición de Colmenarejo (2003).

La fundición consta de dos partes:

Un gran patio con dos paredes que parecen ser el soporte de una gran estructura y un foso. Todo ello de piedra y enfoscado con mortero moderno. Lo que sugiere ser la parte más moderna, tal vez un taller de estrío, trituración y concentración de la última etapa de la mina. Hay una pequeña caseta en un lateral. Al parecer esta zona fue instalada hacia 1912-1915 en época de la concesión Aurora, lo que justifica el buen estado del conjunto y muro.

A la zona de la fundición propiamente dicha se accede a través de un pórtico desde el patio antes mencionado. De aspecto más antiguo que el patio, lo fechamos por los documentos en 1840-1850. Los hornos se encuentran en un lateral, con tres chimeneas en perfecto estado pero inaccesibles al estudio de detalle por lo impenetrable de los espinos que cubren la zona. Hay dos casetas, reconstruidas, a modo de oficinas y laboratorio o taller. Es de la época de la concesión El Terrible. En otro lateral hay unas ruinas de una caseta. Creemos probable que los montones de escoria del exterior se depositaran allí en un momento de limpieza del patio de los hornos a principios del XX.

Los hornos tenían una puerta de carga exterior cada uno de ellos y acceso desde el interior del cerco.

MINAS DE COBRE DE COLMENAR VIEJO

LUCAS ALDAMA en sus “*Sustancias minerales más notables del distrito de minas de Madrid*” de 1860, cuando hace mención al cobre, apunta que la malaquita y azurita tiñen filones de cuarzo en el granito y también hay óxido “*rojo de color teja*” en Cuadrón, Colmenar Viejo, Colmenarejo y Galapagar, siendo en la mina Marcelino donde hemos encontrado las mayores cantidades de cuprita.

A pesar de no haber existido nunca explotaciones importantes, ni siquiera de tamaño mediano, es una localidad clásica de cobre en la provincia. Se han demarcado multitud de diminutas minas por todos los alrededores de esta localidad, desde la ribera del río Manzanares a las estribaciones del Cerro de San Pedro. Todas las minas son localizables, y a pesar de sus reducidas dimensiones poseen unas escombreras con rica mineralogía cuprífera.

MINA SAN MARCELINO DE PEÑALVERO

Peñalvero tal vez sea una deformación del toponímico Peñalvenero. La mineralogía es remarcable por la cantidad de cuprita y calcosina que presenta. La labor se encuentra en la falda NO del cerro de Peñalvero. Existen dos galerías cuyas bocaminas miran hacia el río Manzanares. Una de estas galerías se encuentra prácticamente a la altura del río mientras que la otra está 50 m más arriba. La superior se encuentra toda ella excavada en filón, como se

hacía en las labores antiguas para ahorrar trabajo. Hay dos pequeños frentes en realce sobre piso de relleno. La escombrera exterior tiene unos 70 m³ y debería de declararse su interés para preservarla y poder estudiar la parte inferior de ella.

Sin embargo por las referencias del Plano de Demarcación (Registro nº33) los principales trabajos debieron de ser de desescombro de una mina ya existente. En el informe de la concesión de Mina San Marcelino parece que no se hicieron trabajos en los frentes sino de deszafrado en períodos aislados entre 1858 y 1861.



Figura 99: Bocamina de San Marcelino, Colmenar Viejo (2003).

3.4.6.- MINERÍA DE PLOMO Y PLOMO ARGENTÍFERO

MINAS DE GALENA ARGENTÍFERA DE GARGANTILLA

Para acceder a las minas hay que desviarse desde la carretera N 604 hacia Gargantilla de Lozoya. La mina se encuentra al Oeste de la ruta en el punto kilométrico 14, frente al antiguo apeadero ferroviario. Destaca una enorme explanada donde se ubicaban las escombreras, y si bien la mayor parte ha desaparecido, todavía queda un gran volumen. La superficie ocupada por éstas sería de aproximadamente 5000 m² lo que multiplicado por una altura cercana a los 3 m. (de la parte que queda) da una idea del notable volumen de material que se extrajo. En estas escombreras es posible encontrar abundante galena argentífera y esfalerita en cristales de hasta 2 centímetros de arista; además de otros minerales minoritarios.

Hay una larga calicata que sigue la estructura filoniana más de 200 m y tiene más de 3 m de ancho. Sólo quedan dos pozos tapiados, uno de los cuales es utilizado para el riego. La morfología de la mineralización es de tipo filoniano. El filón se bifurcaba en tres ramas, siendo la anchura total de 1 a 1,5 m y está reconocido superficialmente en unos 600 m (TORNOS, inédito 1982). La parte mineralizada del filón suele estar en el núcleo o en pequeños filoncillos en la roca de caja y asociados a la alteración. La roca de caja está constituida de paragneises migmatíticos bandeados con una alteración hidrotermal importante.

Según FELIPE NARANJO (1853) el criadero de Gargantilla era ya explotado en 1843, por el Marqués de la Remisa. El hecho de encontrar a un personaje como el Marqués en esta zona, da a entender el interés que suscitó el yacimiento, pues fué una figura importante en la minería y metalurgia de la época, con intereses en Riotinto y en Linares. No parece que llegase a buen fin la actividad primera en Gargantilla y el Marqués de la Remisa⁵⁷ dejó la explotación.

Se sucedieron varias compañías hasta que “Ruiz del Cerro y Compañía”, explotara una parte del criadero; sin estar al parecer correctamente demarcado. Tras ésta, se hace cargo la Compañía San José, que será una de las que llevarán a cabo trabajos más importantes en la comarca. MADDOZ (1847) al referirse al término de Gargantilla *“se encuentran en el 5 fuentes de buenas aguas, 25 pozos de minas plomizas los cuales se trabajan desde el año 1842”*. Todo ello confirma los datos mencionados unas líneas más arriba, y la envergadura que habían adquirido, tal vez en detrimento de un orden en la explotación. La “Revista Minera” de 1852 menciona que se va reanimando la minería en la comarca, con varias empresas trabajando con actividad.

⁵⁷ El Marqués de la Remisa: Muy ligado a la metalurgia, en 1825 funda la fundición de La Cruz, en el distrito de plomo de Linares, Jaén. Conserva esta fundición y la mina de La Cruz hasta 1864 en que es adquirida por la familia Neufville. El Marqués de la Remisa se hizo cargo en 1829 de las minas de Riotinto, en Huelva.

En la “Revista Minera” de 1853, FELIPE NARANJO publica un extenso trabajo titulado “*Descripción de las minas de galena argentífera de Gargantilla de Buitrago*” este ingeniero de minas era el Jefe del Distrito Minero de Madrid y asimismo el director facultativo de la compañía San José. En este informe apunta que las minas de Gargantilla habían sido explotadas de forma desordenada por una compañía anterior denominada Ruiz del Cerro y Compañía, no existían planos de labores y algunos de los pozos habían sido realizados en estéril.

Tras la publicación de este trabajo, el anterior director facultativo, un tal Lotario Castelaín refutó los escritos de Naranjo, quién a su vez contestó a los de este último (pie pagina Cfr. “Revista Minera”, 1953). No podemos ser imparciales en la evaluación de las labores de ambos ingenieros de minas pues sólo hemos encontrado publicados los escritos de Naranjo. Se produjo una confrontación que debió de tener cierto eco en la época. Describiremos los pormenores en las siguientes líneas. Antes de hacerse cargo de la dirección facultativa, NARANJO lleva a cabo una visita a las minas en 1851 que el autor describe así:

"Tal era el estado de las minas cuando en diciembre de 1851 pasé, á petición de parte, á reconocerlas en unión de mi amigo y compañero el profesor de la Escuela D. Ramón Pellico, y a consecuencia de gestiones de otro ingeniero que, aunque en globo, había formado ideas favorables del terreno, pero un tanto exageradas".

Los resultados de esta visita son los que publica en el primer artículo del año 1853. En este trabajo aparece un mapa con una detallada descripción de las labores exteriores, sin el cual no sería posible hoy en día identificar en campo los vestigios.

En el año 1853 prácticamente alineadas había 7 minas: la más importante era San José que trabajaba en la zona más explotada en los años anteriores, con dos pozos y galerías con desarrollo importantes: pozo San Carlos y de la Magdalena, la mina Arturo, la mina Deseada (que no figura en mapa) lindante con el río Lozoya y al Levante con la mina San Antonio, la mina San Antonio. La mina Los Manolos, estaba en estado incipiente y con muy poco mineral arrancado. Muy separadas de la dirección del filón explotado por las anteriores se encontraban las minas Mirla y Astrea.

Según FELIPE NARANJO (1853) cuando el ingeniero Lotario Castelaín deja la explotación de la mina San José, los dos pozos principales se encontraban perfectamente emboquillados y fortificados. En el Pozo San Carlos, en el primer año de explotación por la nueva compañía se emboquillan dos galerías, la primera a 26 m, llamada Esperanza, que produjo 3000 a 4000 quintales de mineral; después, se prepararon cuatro testereros en la misma galería de los que se obtuvieron 20000 quintales de mineral (cuyo análisis arrojó 30% de plomo y 1 onza por quintal de plata). Desde la segunda galería, a 50 m de profundidad, se excavó una traviesa que cortó el filón, aunque una tercera parte menos potente, se construyó un pequeño pozo inclinado para seguir su buzamiento. Las escalas llegaban hasta ese nivel situándose la caldera del pozo unos metros más profundo.

El pozo Magdalena se encontraba en la parte más oriental de esta concesión, y está rodeada de antiguas calicatas y pozos. Esta labor tenía que bombear mucha mayor agua que el otro pozo. Esta mina contaba con dos niveles cuando empieza la compañía los trabajos, sin embargo se hallaba inundada poco antes de la visita de NARANJO. Cuando se desagua por debajo del primer nivel o galería Positiva los trabajos en ella realizados (125 m en filón) arrojaron 2000 quintales de mineral con 50% de plomo y 2 onzas de plata por quintal. En 1851 se empezó a excavar en filón hacia el segundo nivel hasta 6,7 m. El bombeo requería una segunda bomba para ese nivel.

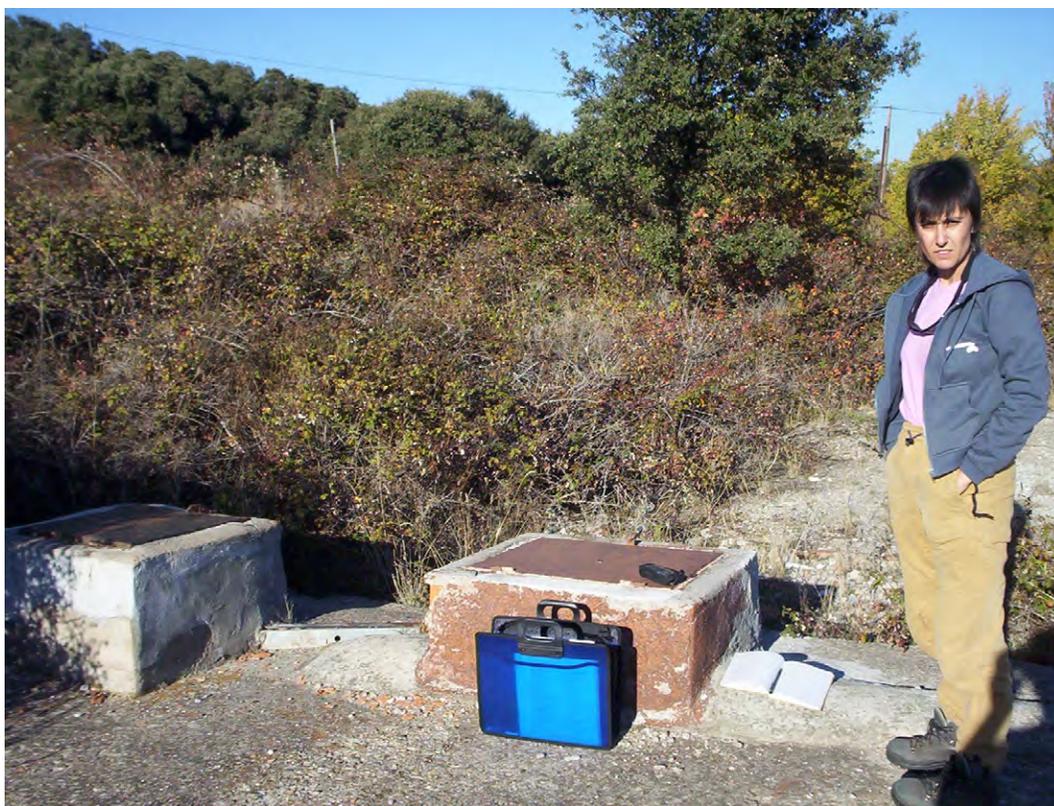


Figura 100: Uno de los pozos principales de la mina San José de Gargantilla (2007). Las minas presentaban importantes problemas de agua y hoy día se emplean para captación de agua.

En 1851 se estaba instalando la planta mineralúrgica que iba a emplear el agua excedente en los pozos. Asimismo se pretendía comunicar el pozo existente “El Buen Deseo” en el extremo Oeste de San Carlos con la galería Esperanza, y así facilitar la ventilación y servir de auxiliar al pozo principal San Carlos.

Por otra parte junto al Pozo Magdalena se encontraba el primitivo San José, se trabajaba en este pozo con el fin de comunicarlo con la galería de la Luz y la Positiva que conduce al pozo Magdalena: El principal problema era el agua y al parecer se estaba acometiendo una galería de desagüe *"...y si se construye un cañón de bóveda de mampostería para reforzar los cimientos de la primitiva zanja y dar salida por ella á las aguas del modo más conveniente á esta mina y á la del Arturo su colindante..."* (NARANJO, 1853).

Tras la publicación del estudio de Naranjo sobre Gargantilla, en el que pone de manifiesto el desorden en la planificación de las labores y la ausencia de planos, el anterior facultativo lanzó duras críticas al primero. Y publica un informe en el que señala los puntos que pasó por alto Naranjo. No hemos hallado esos documentos. En la “Revista Minera” NARANJO (1853) refuta ese informe, y del que presentamos los extractos más significativos:

"Hemos visto con sorpresa el peregrino y difuso escrito de D. Lotario Castelaín, presentado a esta sociedad en contestación á nuestro informe sobre las minas de Gargantilla de Buitrago, (...) Ocioso cuando menos sería ocuparnos de un escrito que revela la más crasa ignorancia".

Algunas de las observaciones que debió de hacer Castelaín no serían tan descabelladas como Naranjo afirma, así éste cita:

"También parece rechazar (refiriéndose a CASTELAÍN, n.d.a.) la idea, por nosotros emitida, de que el filón principal de Gargantilla pertenece al mismo sistema de los argentíferos de Hiendelaencina, como los de Santa Cecilia, San Miguel, etc., y da a conocer que no comprende los fundamentos en que nos apoyamos".

En la parte final de su escrito Naranjo defiende sus trabajos como facultativo de las minas frente a los de Castelaín, que según él, no dieron ningún beneficio a la compañía:

"Sus proyectos (refiriéndose a CASTELAÍN n.d.a) que consistían en cuatro años de espera, y sobre 40.000 duros de gasto, para pronosticar entonces si habría de alcanzarse algo. Mis proyectos y plan de labores que están en práctica, y basados en datos, extensas instrucciones y detallados planos, coronado todo por un resultado feliz (...) he conseguido declarar estas minas verdaderamente productivas, y con rendimientos tales, que compensen los gastos de explotación en mi época empleados (...)".

NARANJO asegura que los 30 años que lleva sirviendo en el cuerpo de ingenieros de minas, sólo ha trabajado como facultativo en tres minas *"por más que para centenares de ellas hubiese sido invitado"* y de las tres minas,

una dio y dará buenos resultados, refiriéndose a Gargantilla, mientras que las otras dos se costearon, y menciona *"No sé si el Sr. Castelaín podrá decir otro tanto respecto de las muchas que parece ha tenido y tiene aun á su cargo en España"*.

En 1854 en la "Revista Minera" se describen los nuevos trabajos. La empresa San José ha dado un gran impulso a sus explotaciones. Lleva ya un mes construido y en funcionamiento un malacate en el pozo Maestro Número Uno que desagua por medio de dos caballerías. Se ha concluido también un segundo malacate de menores dimensiones en el pozo Maestro Número Dos, que se colocará en el mes en curso. También se cita *"se trabaja con empeño para establecer una oficina de beneficio dentro de las pertenencias de la citada sociedad"*.

En la misma noticia, se menciona que en la mina Arturo, colindante con la anterior, se prosiguen sin interrupción los trabajos para reconocer el criadero. Donde se ha situado un pozo Maestro, que ha avanzado bastante en profundidad. En la "Revista Minera" de 1856 encontramos mención a la mina La Mirla, una de las que se encontraban en estado embrionario en los años anteriores y que cobrará importancia en los años siguientes frente al resto:

"En fines de Abril último se cortó á 71 varas de profundidad en la mina La Mirla (...) un filón de galena y burnonita de dos pies de potencia con ganga de espato barítico y cuarzo (...). El mineral se presentó, durante los primeros días, diseminado con escasa abundancia en el criadero, mas reconocido este

por medio del pozo maestro á las 75 varas de hondura, se ha observado que aumenta la galena y también su contenido en plata, hasta el punto de haber rendido 4-7 onzas este último metal por cada quintal de mena, según tres ensayos verificados hace unos dos meses en el laboratorio docimástico de la mina Suerte de Hiendelaencina".

"Con posterioridad y siguiendo el criadero en dirección por medio de galería que, partiendo del pie del citado pozo, alcanza hoy doce varas de longitud; aparece el mineral mas abundante y de mejor calidad, esto es, la galena de color gris de plomo oscuro, poco brillante, fino-granuda y salpicada de pintas de pirita cobriza, produce 43 por 100 de plomo y 15 onzas de plata por quintal de mena".

"Tal es el notable resultado obtenido a mediados del corriente en dos ensayos verificados en la Escuela especial de Ingenieros de Minas. Desearemos que este descubrimiento (previsto hace tres años por la ciencia), llegue a ser provechoso á la industria y que por ahora sirva de guía á otras empresas y contribuya á reanimar algún tanto la abatida minería de la comarca de Gargantilla".

FÁBRICA DE AMALGAMACIÓN LA CONSTANCIA. GARGANTILLA

Hay varias citas históricas de esta fábrica que no hemos podido reconocer en campo, de momento. En los alrededores de las minas aparecen varias construcciones antiguas alguna de las cuales pudiera corresponder con la fábrica de amalgamación de Gargantilla.

En la “Estadística Minera” de 1868 leemos:

“En término de Gargantilla, se está montando una fábrica para ensayar el beneficio de los minerales de aquella comarca, componiéndose de un horno de cloruración, un juego de toneles, un molino de volandera vertical y una campana de destilación.” Se esperaba obtener mejores resultados que en ese momento en Bustarviejo “pues proceden de un sistema de filones de hierro argentífero que apenas tiene cobre y plomo, y suele acompañar alguna cantidad de cloruro de plata”.

En 1871 la fábrica La Constancia Industrial había beneficiado 500 quintales métricos de mineral plomizo argentífero, que produjo 93 kg de plata. En ella trabajan dos operarios.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA Y ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS DE GARGANTILLA DE LOZOYA

Las minas abandonadas de Gargantilla de Lozoya suponen un grave riesgo geotécnico para las edificaciones y viales de su entorno. Este hecho se puso de manifiesto claramente tras el socavón producido en la mina San José. Se trata de una de las minas en las que primero se va a actuar en este aspecto por la Comunidad de Madrid.

De los numerosos pozos escombreras y vestigios mineros existentes en Gargantilla de Lozoya hemos seleccionado la única galería reconocible denominada mina Mirla. Se trata de unas de las zonas con mayor profusión de labores de la Sierra de Madrid y el Valle de Lozoya, donde precisamente se produjo el hundimiento que ya hemos citamos. La bocamina estudiada se encuentra a escasos metros del río Lozoya junto al desvío a Gargantilla y el puente ferroviario. El objetivo era estudiar la signatura de una galería completamente anegada por el agua. Realizamos el perfil a 4 – 5 m en la vertical perpendicular al eje de la galería.

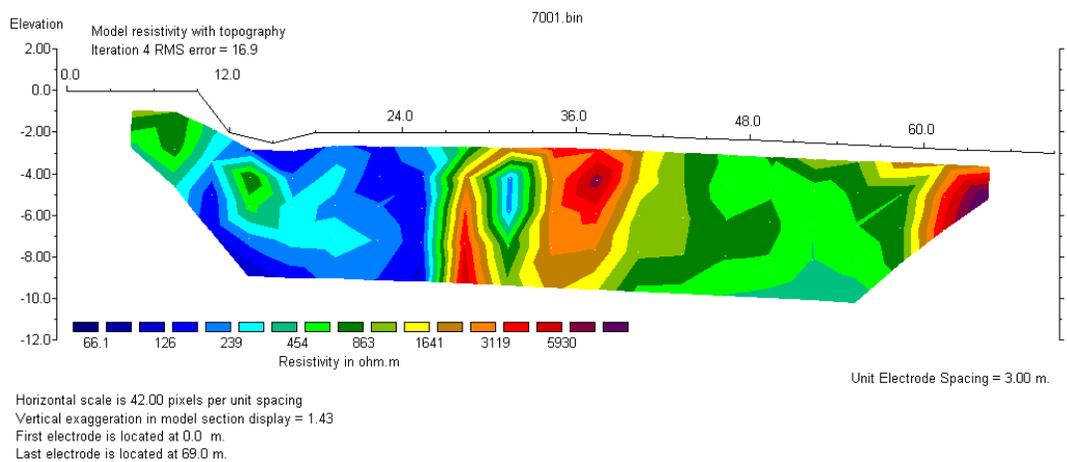


Figura 101: Sección geoelectrica de la mina mirla (Gargantilla de Lozoya).

Tal y como se aprecia, no se detecta la galería.

MINERÍA EN COLMENAR DEL ARROYO

Entre 1855 y 1869 aparecen numerosas demarcaciones de blenda y galena en Colmenar del Arroyo, en la zona de la cañada de Fuente Canales y Vallejo de Antón Cabezas; creemos que se trata de minas demarcadas sobre labores antiguas. Estas labores serían calicatas, escombreras con poco material y un pozo inundado que hemos localizado en las proximidades del camino del canal de Isabel II, junto a los sifones de la conducción de agua al Noroeste de Colmenar del Arroyo.

En esos años se trabajan tres concesiones: Mina San Pablo, Mina la Madrileña (pozo Flora) y Mina Encarnación (pozo del mismo nombre y concesiones nº15, nº16-nº79, nº17, nº18). La mina Encarnación fue la más longeva, estuvo demarcada entre 1856 y 1863.



Figura 102: Minas de Fuente Canales en Colmenar del Arroyo (2006).

En 1854 se registra la mina de blenda y galena Madrileña en el paraje del Prado Capón, limitando con dos minas ya demarcadas, al Norte San Pablo y al Sur La Encarnación, caducaría en 1858. Las observaciones de la explicación del plano dicen así:

“El terreno corresponde á la formación granítica y en ella se hallan encajonados varios filones de cuarzo y barita con blenda y galena; que se dirigen aproximadamente de E á O. buzando al N. Y con potencia variables entre 0,62 m (3/4 varas) y 0,31 m (cuarta y media). Todo lo cual se descubre por un pozo abierto en la caja del 1er filón y adonde (a partir de ahí se lee con dificultad) sucesivamente han ido entrando, al tendido los demás; que

tiene 30,09 m (36 varas) de profundidad; y por dos galerías de 4,179 m de longitud, abiertas ambas una al E y otra al O. sobre los dos filones que se cortaron a una profundidad de 16,71 m (20 varas) ...”.

En esa misma época se instala una fundición de plomo en la vecina San Martín de Valdeiglesias, lo que indica las expectativas puestas en la minería. Por aquel entonces los filones situados en la parte de la provincia de Toledo parecen ser más interesantes. Éstos se agotarán y el interés minero del área Cenicientos – Colmenar del Arroyo aumentará su interés. En la “Revista Minera” de 1855 (página 576) leemos:

“En las cercanías de S. Martín de Valdeiglesias se ha establecido una pequeña fundición de plomo con objeto de beneficiar los minerales de las minas de Almorox, Ladrada y otros pueblos de aquellas inmediaciones. Sabemos de una mina llamada La Dolorosa, que ha encontrado un filón de galena, y que ofrece algún porvenir”.

MINAS DE CALDALSO DE LOS VIDRIOS Y CENICIENTOS

Las mineralizaciones de Cenicientos y Cadalso de los Vidrios consisten en varios filones de baritina con galena (principalmente) encajados en rocas de tipo granítico, porfídicas. Estas rocas se han explotado históricamente en los lanchares y constituyen actualmente una importante industria de cantería. Aunque según MADDOZ ya existen referencias a minería desde la década de 1840.

Encontramos hacia 1860 el primer registro minero de importancia, el número 117 de la Jefatura de Minas, llamado mina Cesarina en Cadalso de Los Vidrios. El mineral beneficiado es la galena a la que acompaña la calcopirita. Figura como vuelta a registrar, con el nombre de La Perla. Se ubica en el paraje de “Lanchalices” y el pozo maestro tiene 90 m de profundidad. No hemos localizado en campo estas labores.

Estas minas al igual que Colmenarejo vuelven a ser una excepción en la minería del siglo XIX pues la parte más rica de sus filones no fué explotada a mediados del XIX sino más bien a finales, posiblemente por motivos técnicos. Según la descripción de minería de la Hoja Geológica escala 1:50.000 número 580: *“Durante mucho tiempo no se volvió a tener indicios ni noticias de este distrito minero hasta que en 1872 y 1873 empezó a ser de nuevo objeto de alguna actividad, denunciándose dos minas en el paraje de Fuente Jaral ”*. Sin embargo, no es hasta 1911 en que hay un notable aunque efímero resurgir.

Según la “Estadística Minera” de 1872:

“En este caso se halla la comarca minera de Cenicientos y Cadalso (refiriéndose a minas demarcadas siguiendo antiguas labores, nd.a.), provincia de Madrid, en la que existen labores en pozos y galerías, practicadas con anterioridad a los años de 1854 ó 56 y que revelan el intento de explorar y explotar los filones que asoman en diferentes puntos de los términos de ambos pueblos”.

MINAS DE GUADALIX DE LA SIERRA Y FUNDICIÓN DEL ARROYO HORCAJO

La mayor parte de las concesiones de Guadalix de la Sierra, aparecen como de plomo y hierro. No teniéndose apenas datos escritos de minería de arsénico. Sin embargo en la mayoría de las minas de Guadalix son mayoritariamente de arsenopirita, existiendo además una fundición de este mineral perfectamente conservada, de la que no hemos encontrado referencias.

Hacia 1856 y 1857 se demarcan varias minas de exigua vida en la vertiente Norte del Cerro de San Pedro. La más importante, de arsenopirita es la mina Verdadera, según el plano de demarcación aparece un pozo vertical de 36 m de profundidad y una galería de 16 m, inmediatamente al lado del arroyo Valdemoro. Al Oeste aparece una mina llamada San Antonio, en la zona que actualmente ocupa una pequeña fundición de mineral de arsénico abandonada. Esta fundición es el vestigio minero-metalúrgico más importante de esta parte de la Sierra. Se trata de un recinto con ruinas de varios hornos y abundantes escombreras de mineral y escorias.

No hemos encontrado referencias escritas de esta fundición. Un posible indicio para datarla sería el de los ladrillos refractarios que cubren la parte inferior de los hornos (JORDÁ, 2003), y que están firmados: “Cerámica Entero Valdemorillo”. La cerámica Entero aún funciona, aunque probablemente se refiere a la de los tíos del actual Sr Entero, cuyos hornos

ubicados en el centro de Valdemorillo se derribaron hace unos 30 años (PUCHE y MAZADIEGO, 2002).

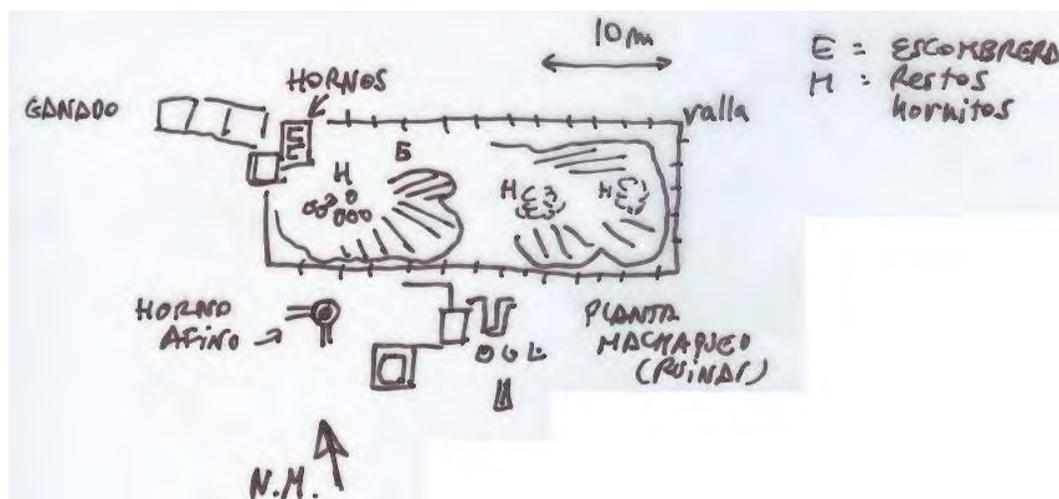


Figura 103: planta de la situación actual de la fundición de Arroyo Horcajo.

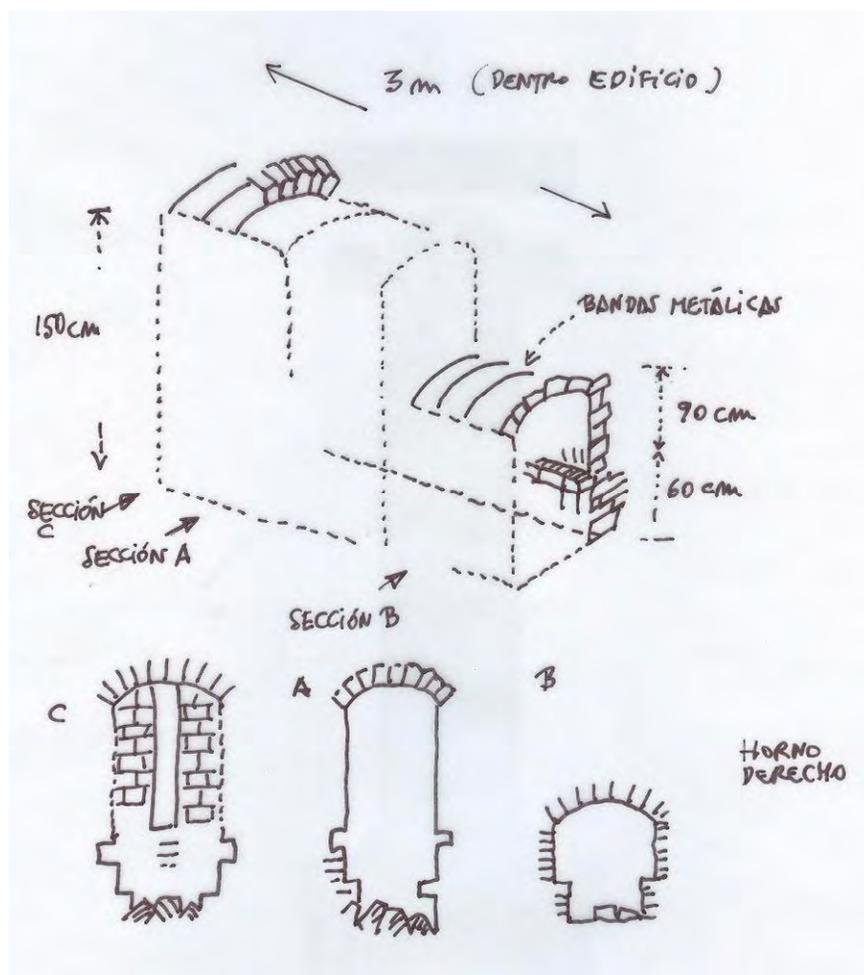


Figura 104: Detalle de la tipología de los hornos.

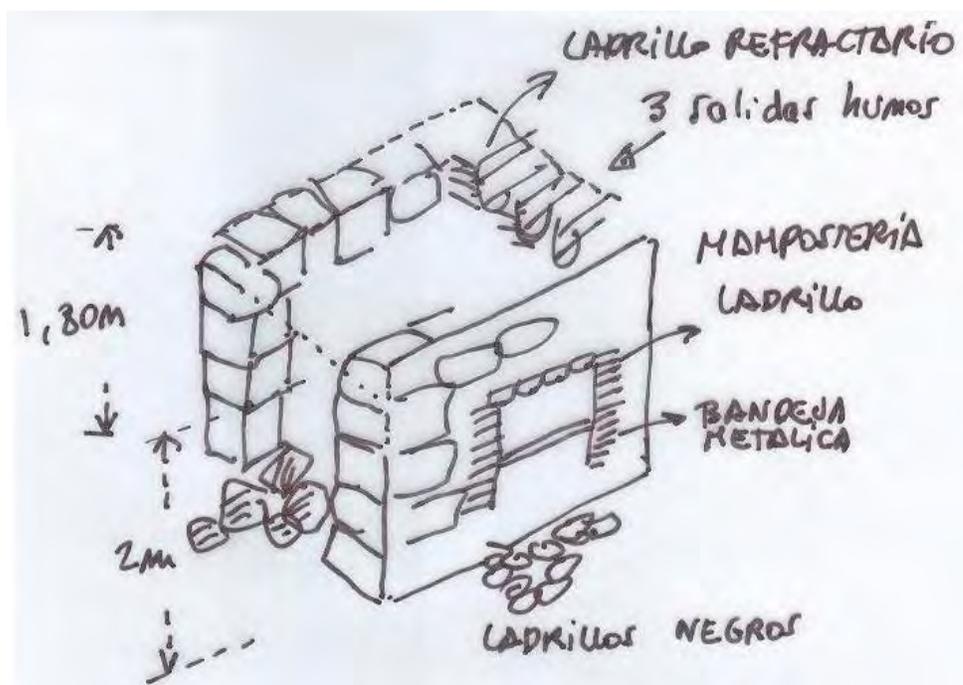


Figura 105: Detalle horno izquierdo.

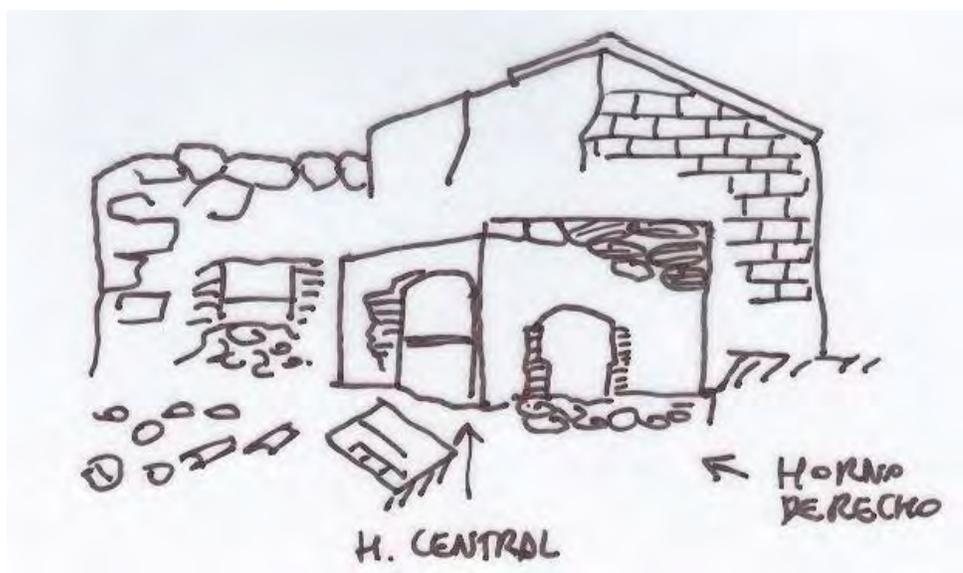


Figura 106: Vista frontal hornos de arsénico Guadalix.

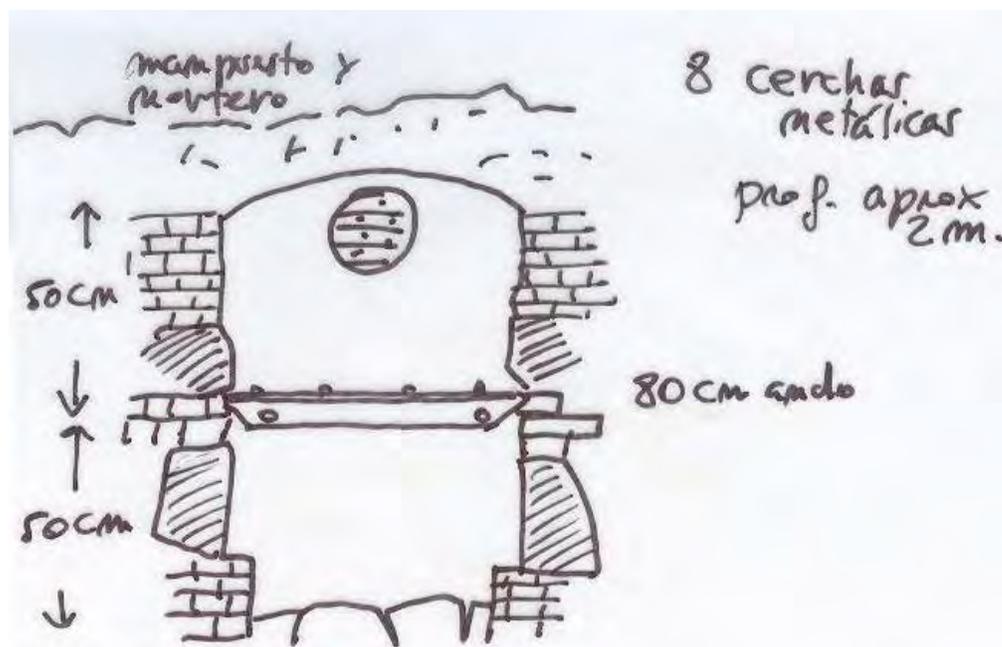


Figura 107: Detalle horno central.

En el recinto hay abundante material sin fundir. Por los minerales encontrados, el mineral que se trataba era la arsenopirita. Aparecen también montones de escorias. En el extremo superior de este escorial se encuentran los hornos, dos de ellos en perfecto estado. Poseen dos niveles separados por una parrilla (que sólo se conserva en uno de los hornos). Existe un horno de mayor tamaño contiguo, medio hundido, y otro, el más pequeño prácticamente destruido, de aspecto más primitivo. Podrían tratarse de un horno de primera tostación y los pequeños de afino.

3.5.- LA MINERÍA MADRILEÑA EN EL SIGLO XX

El siglo XX comporta dos periodos muy diferentes en la provincia de Madrid: Antes de la década de 1930 y de 1940 hasta 1970.

3.5.1.- CONTEXTO ECONÓMICO, POLÍTICO Y CIENTÍFICO DE LA MINERÍA MADRILEÑAS EN EL SIGLO XX

En las primeras dos décadas todavía existieron explotaciones artesanales, algunas se éstas serán adquiridas por compañías más grandes, a veces extranjeras. La minería en general fue mucho más juiciosa que en el siglo XIX y desaparece ese efecto fiebre que había caracterizado al siglo anterior.

Sólo hubo un tímido estallido especulativo en las minas de cobre de Colmenarejo en los primeros años del siglo: este fenómeno desapareció al comprobarse que era la mina Pilar la única cuya mineralización tenía algún interés, siendo el resto de los filones de Colmenarejo y Galapagar ridículas impregnaciones de calcopirita en filones de pocos centímetros.

El segundo período aparece tras la Guerra Civil Española, hacia 1940. Primero con la autarquía, España necesita materias primas para autoabastecerse. A lo largo del decenio se explotarán numerosas minas y calicatas, las cuales darán tan sólo unas pocas toneladas de mena; sin embargo en el contexto que vive el país son minas rentables. A partir de 1950, la fisonomía de las minas cambia

por completo. Se instalan pequeños castilletes metálicos en las minas más importantes como Garganta de los Montes y en las prospecciones de Bustarviejo.

La electricidad y el aire comprimido poco a poco hacen su aparición en las minas madrileñas después de la Guerra Civil. Así junto a todas ellas vemos el característico transformador, los más antiguos los tenemos en Torrelodones, Puerto de la Cruz Verde (este no ligado a la minería metálica) que datan de 1945. La electricidad mueve los ingenios de extracción y la mineralurgia: tal es el caso de Las minas de Nuestro Padre Jesús, Eusebio, Garganta de los Montes y Torrelodones. En algunas se conservan los restos de las conducciones para los compresores como en Navalagamella. Además del método de concentración en mesas de sacudidas que se venía empleando en muchas de las minas, se introducen otros nuevos; por ejemplo, en Garganta de los Montes se emplea la flotación y en el lavadero de Valtraviesa la separación magnética de los concentrados aluvionares pesados.



Figura 108: Transformador de la mina de W, Cu de Cantos Negros en Torrelorones (2007).

3.5.2.- EVOLUCIÓN DE LA MINERÍA METÁLICA MADRILEÑA EN EL SIGLO XX

PRIMERAS DÉCADAS

El siglo XX comienza con la minería de metales en un estado de casi total abandono, muchos de los yacimientos clásicos se han agotado o sus leyes y tonelajes ya no interesan desde un punto de vista moderno. Aún así quedan zonas de criaderos conocidos casi vírgenes, pues se habían beneficiado partes muy superficiales, como los de plomo de Colmenar del Arroyo, cobre de Garganta de los Montes, etc. Las compañías no parecían dispuestas en los primeros años del siglo a la inversión necesaria.

Una novedad respecto al siglo anterior va a ser la de la minería del estaño y del volframio, que si bien comienza en las primeras décadas, no es hasta la autarquía cuando tiene mayor auge. Sobre todo con la Segunda Guerra Mundial. Estas pequeñas labores mediante rafas, catas y pocillos surcarán buena parte de los filones (hasta los más pequeños) próximos a escalón tectónico meridional.

Sólo la mina de cobre de Colmenarejo está en explotación al cambiar el siglo. En el año 1900 se llevan a cabo ligeros trabajos de investigación en las nuevas demarcaciones (existentes desde la última década del siglo XIX) en

Colmenarejo y Galapagar, así como otras nuevas en Villalba y Garganta de los Montes.

En 1901 figuran 18 minas metálicas inactivas, es decir minas sujetas a contribución pero sin producción. En la “Estadística Minera” encontramos también una fábrica de arsénico parada, la de Bustarviejo. En el primer decenio sólo la producción de la mina Antigua Pilar de Colmenarejo aparecerá reflejada en los datos oficiales. En esta mina se trabajará de forma intermitente entre 1902 y 1906, alternando meses de parada con otros de producción confirmada.

Entre 1906 y 1909 figurará oficialmente como “*en mantenimiento*”. Entre ese año y 1912 se llevarán a cabo gestiones para una nueva concesión, pero a partir de 1912 no hay más noticias de actividad en la zona, presumiendo un abandono definitivo.

En el cuarto trimestre de 1906 se desaguan antiguas labores en la Mina El Descuido de Garganta de Los Montes, apareciendo al año siguiente como una mina activa aunque no figuran los datos de producción. En 1908 sin embargo, no hay ninguna mina metálica en producción. Garganta de los Montes producirá en 1909 y 1910 y entre 1914 y 1917. Se montó una fábrica de beneficio importante para lo que era habitual en la provincia, incluso contó con un horno que sólo produjo cobre metal durante el año 1909. En 1910 el resto de las minas metálicas de la provincia figuran inactivas.

En 1911 cesan los trabajos en Garganta de los Montes. Se empieza a trabajar la mina de plomo argentífero Isabel, en Cenicientos. Sin embargo esta prometedora labor es efímera y no producirá al año siguiente. En Cenicientos en 1913 se paraliza la mina Isabel y se prepara la mina Elvira, mediante un pozo circular de 22 m de profundidad cuya boca se reviste de mampostería. La mina El Descuido de Garganta sigue paralizada, aunque se mantiene el desagüe. En 1914 el panorama en la provincia es mucho más halagüeño, tal vez impulsado con la Primera Guerra Mundial. La mina Descuido produce 50 t de mineral de cobre de una ley del 8%. En cuanto a las minas Elvira e Isabel de Cenicientos se encuentran paradas, pero en Gargantilla se desagua la mina María Luisa.

En 1915 la única mina en producción es Descuido, con 93 t de mineral de cobre. Se investiga la mina de cobre de Nuestra Señora del Rosario en Colmenar Viejo. Prosiguen las labores de desagüe de la mina María Luisa de Gargantilla, así como en dos nuevas minas de plomo en Robledo de Chavela: Mina Eusebio y mina Elena. Estas dos últimas, aunque se encuentran actualmente en el término de Colmenar del Arroyo, siempre han sido conocidas localmente como “las minas de Robledo”.

En 1916 la Mina Descuido tiene ya un desarrollo importante, con tres niveles, a 13, 30 y 60 m. Hay un pozo maestro, por el que se desciende con escalas, y un pozo de extracción nuevo, de 60,50 m de profundidad y bomba de desagüe que trabaja durante 3 horas al día. 1917 será el último año en que figurará producción oficial de minerales metálicos en la “Estadística Minera” de la provincia hasta 1953. El cobre dejará de aparecer como una sustancia

explotada en la provincia hasta bien entrada la década de los años 50. Los años anteriores a la Guerra Civil se redescubre un prometedor yacimiento de galena en Colmenar del Arroyo, la mina de Nuestro Padre Jesús, pero no se llegará a poner en producción hasta varias décadas después de finalizada ésta.

En 1917 prosiguen las investigaciones de las minas Eusebio y Elena de Robledo de Chavela por la Real Compañía Asturiana. En 1918 en la mina Eusebio, se profundiza el pozo grande de la Corvera hasta los 75 m, de los 100 previstos. La galena salpica el filón en superficie y se busca su continuidad inferior, no hay aún producción. En las cercanías, en la mina Padre Jesús, se perfora un nuevo pozo maestro. La Real Compañía Asturiana crea una nueva sociedad "Minera Castellana" y se llevan a cabo estudios para delimitar la continuidad de los filones de la zona. En 1919 hay gran entusiasmo en la comarca de Colmenar del Arroyo con trabajos de exploración y preparación de labores, por la Real Compañía Asturiana y Minera Castellana para galena y blenda. En 1920 se paralizan sin embargo las labores.

A partir de 1920 y hasta 1940 cesa la minería metálica casi por completo, y no hemos hallado ninguna referencia a producción. Durante ese periodo tienen lugar labores esporádicas de reconocimiento de criaderos, que no producirán. En 1927 se investigaron los criaderos argentíferos de la Somosierra madrileña, particularmente en Horcajo de los Montes y Horcajuelo de la Sierra. Según la "Estadística Minera" en 1928 se emprenden "*trabajos serios*" en Horcajo y Horcajuelo. Prosiguen al año siguiente aunque se vislumbra que no cumplirán las expectativas de la compañía. Según se indica existían unos planes de explotación proyectados que no llegarán a comenzar. En la "Estadística

Minera” de 1930 podemos leer: *“los trabajos en la zona argentífera de Horcajuelo han resultado infructuosos, al menos en la medida esperada por la empresa concesionaria”*.

En cuanto a concesiones improductivas sujetas a contribución resumimos en el cuadro inferior los años 1927 y 1928 referentes a minerales metálicos

	As	Cu	Fe	Ag	Pb
1927	1	10	9	1	9
1928	0	7	9	0	8

Tabla 42: Concesiones mineras de metales en 1927 y 1928 en Madrid. Fuente: “Estadística Minera”.

En ese mismo año 1930 aparece en la “Estadística Minera” la primera referencia a una concesión de volframio inactiva. Entre 1930 y 1938 sólo hallamos citas de índole mineralógica. En 1932 según el artículo de "Reservas de cobre de España" (pp. 125-126):

"En el Quejigar, al SO de Navalagamella, hay un criadero singular en el que el mineral, que es de pirita cobriza con alguna blenda, se presenta formando una columna vertical en medio del granito. En ella se abrió un pozo y las

galerías que desde él se han abierto han dado enseguida con la roca estéril, que es el granito”.

No hemos localizado este paraje del Quejigar. La mina de baritina La Montañesa, que se explotaría décadas más tarde se encuentra al SO. de Navalagamella. En la parte superior de la mina hay una galería tapizada de minerales supergénicos de cobre como crisocola pulverulenta, así como trazas de calcopirita. Junto a ella hay varios pozos. Podría tratarse del criadero de cobre, y que es citado en las referencias históricas de los siglos anteriores. En ese trabajo se apunta también la riqueza de las minas de Colmenarejo, referente a la malaquita: *“En las minas de Colmenarejo (Madrid) los carbonatos han aparecido en relativa cantidad para ser objeto de explotación”.*

También cita como localidad interesante Colmenar Viejo donde señala que la mineralización dió hasta un 35 % de cobre. También se citan las localidades de Cerceda, Galapagar y El Espinar (ya en Segovia). Una nota curiosa es que también hace referencia al cobre nativo como *“ejemplares desprovistos de importancia”* en Colmenar Viejo. Según el informe los filones de calcopirita son paupérrimos, cita Galapagar, Villalba, Torreldones, Colmenar Viejo. Sólo destaca las dos minas de cierta entidad clásicas de Madrid: Colmenarejo y Garganta de los Montes:

“Especialmente en Colmenarejo, donde su criadero en rosario está formado por esta especie de mineral pura granudo cristalina, a veces abigarrada

(cuello de pichón) y con cristales. También se presenta en la mina "El Descuido".

La Guerra Civil (1936-1939) supondrá un abandono total de todo tipo de minería. Sólo la industria del cemento sobrevive a duras penas en esos años en la provincia. En la "Estadística Minera" de 1938 JOSÉ LANDECHO, jefe del Distrito Minero de Madrid tras la Guerra Civil, escribe referente al trienio 1936-1938:

"Por las dificultades habidas durante este trienio con motivo de la guerra dejaron de pagar muchos propietarios el canon de superficie y, por consiguiente, fueron caducadas por el ministerio de la ley las concesiones que no ingresaron el canon de superficie; pero en los expedientes no se pusieron las notas de caducidad ni se declaró el terreno franco y registrable, en espera de que el Gobierno Nacional liberase Madrid y concediera una moratoria para rehabilitar dichas minas, como efectivamente así ha ocurrido".

Año	Cobre	Galena-Ag	Galena	Casiterita	Vólfram
1900	-	-	-	-	-
1901	-	-	-	-	-
1902	326	-	-	-	-
1903	160	-	-	-	-
1904	-	-	-	-	-
1905	25	-	-	-	-
1906	17	-	-	-	-
1907	-	-	-	-	-
1908	-	-	-	-	-
1909	90	-	-	-	-
1910	639	-	-	-	-
1911	-	2	-	-	-
1912	-	-	-	-	-
1913	-	-	-	-	-
1914	50	-	-	-	-
1915	93	-	-	-	-
1916	360	-	-	-	-
1917	27	-	-	-	-

Tabla 43: Producción minerales en la provincia de Madrid en la primera parte del siglo XX. Producción extraída a bocamina en toneladas. Fuente: “Estadística Minera”.

FINAL DE LA GUERRA CIVIL Y SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX

La extracción de minerales se paraliza como ya hemos visto totalmente durante los años de la Guerra Civil. La Segunda Guerra Mundial supone el surgimiento de una minería poco trabajada en la Sierra hasta entonces: el volframio. Los criaderos de estaño - volframio, de minúsculo tonelaje, fueron intensamente laboreados por las aplicaciones militares de éste. En la zona de Guadalix de la Sierra, Colmenar Viejo y Hoyo de Manzanares aparecen numerosísimos filones vaciados a cielo abierto. En 1940 empieza a normalizarse la situación. LANDECHO, apunta en la “Estadística Minera”:

“En el ramo de la minería existe la posibilidad de que se pongan en breve en explotación algunos yacimientos conocidos en las proximidades de la Sierra de Guadarrama y en las cercanías de la capital”.

En la “Estadística Minera” de 1942 se apunta que es probable que empiecen a explotar algunos de los numerosos yacimientos de mineral de volframio de los términos de Collado Mediano y Hoyo de Manzanares:

“En el ramo de beneficio se anuncia que al año siguiente se ofrecerá la producción de las fábricas de beneficio de estaño que se han autorizado”.

Desde el punto de vista de la minería metálica, el hito más importante de la década es la instalación de las fábricas de beneficio y fundiciones de estaño

de Villaverde y de la calle Diego de León hacia 1943. En la primera además se separa la volframita y se producen aleaciones. La aparición de estas industrias propiciará la activación de la minería de estos metales en un gran número de pequeñas explotaciones. Estas minas beneficiarán mediante zanjones y pequeñas catas superficiales, los filones intragraníticos que surcan el borde meridional de la Sierra entre Collado Mediano y Hoyo de Manzanares, llegando incluso hasta San Agustín de Guadalix.

En la “Estadística Minera” de 1946, el jefe del distrito hace una reflexión sobre la situación de las minas de la provincia, en lo que se refiere a las metálicas, que llevan largo tiempo abandonadas. Indica que el alza de los precios en aquel momento, podría ayudar a que se reanudase alguna explotación. Señala como más importantes las minas abandonadas y criaderos conocidos de plomo en la zona de Colmenar del Arroyo, Navalagamella y Cenicientos, de arsenopirita en Bustarviejo, estaño y otros metales en Somosierra, así como en Colmenarejo y Galapagar. El año 1953 figura como el primero de producción de plomo en la comarca de Colmenar del Arroyo. Se explotaban dos concesiones. Al año siguiente se indica que los trabajos son de preparación, aunque hay una pequeña producción de mineral vendible.

En 1956 y 1957 se extrajo volframio en la mina Pepito de Colmenar Viejo, que es abandonada en 1958. En cuanto al estaño en 1957 hay una pequeña producción de 250 kg en el permiso de investigación Rosario de Hoyo de Manzanares, que el año anterior no tuvo producción. En 1958 figuran los trabajos preparatorios en la concesión de volframio Felisa en Becerril, pero

no hay producción. Por otro lado figura por primera vez la producción de 7,21 t de casiterita en varias concesiones de Hoyo de Manzanares.

	Estaño	volframio
1942		
1943		
1944	85	
1945	64	
1946	Siguietes años sin producción	
1955		
1956	133,033	
1957	104,4	
1958		

Tabla 44: Producción de las fábricas de beneficio de la provincia de Madrid (Fuente: “Estadística Minera”).

A partir de 1958 se aprecia un punto de inflexión en la tendencia minera. Aparece producción en la minería del plomo, con 840 t de mineral bruto y 25 t

vendibles. Hay una producción importante de cobre en Garganta, así como trabajos preparatorios en la mina La Montañesa de Navalagamella. Este último es un yacimiento conocido desde antaño por la galena y la calcopirita pero que empezará a trabajarse de forma seria para la baritina. En 1959 aparecen dos minas de plomo en producción, y una de cobre, la mina Fernandito. Referente al volframio, la mina Felisa no ha tenido producción y no existen más concesiones en explotación de ese mineral. Había varias concesiones de casiterita en Hoyo de Manzanares pero no tuvieron producción.

La década de los sesenta va a ser una de las más prósperas para la minería de los metales en la provincia de Madrid, y paradójicamente la última. En 1960 y 1961 están en producción pequeñas minas de casiterita en Hoyo de Manzanares, Lozoyuela, Guadalix de la Sierra, y Colmenar Viejo, con una labor en las proximidades del Monte de El Pardo. Prosigue la actividad en la mina Fernandito de Garganta de los Montes. Sin embargo, toca a su fin la minería de plomo.

En Colmenar del Arroyo empieza en 1961 la explotación de los filones de fluorita y barita, especialmente la primera. Para ello se instala un lavadero de concentración en Colmenar del Arroyo y otro en San Martín de Valdeiglesias. La compañía Minera Los Guindos abandona las concesiones de Colmenar del Arroyo, que retoma Minero-Metalúrgica Asturiana en 1960.



Figura 10911: Casa de la mina de Nuestro Padre Jesús. Colmenar del Arroyo (2006).

La barita surge como un elemento de interés. Por ello empezará a ser explotada en antiguas minas en las que se beneficiaron ridículas cantidades de galena como en Navalagamella, Fresnedillas y Navas del Rey; también se explota en filones de “sólo baritina” en las mismas localidades. De entre todas, la mina más importante va a ser La Montañesa en Navalagamella. Las demás serán labores de pequeña escala o concesiones de investigación. El elevado número de concesiones da una idea del interés por esa sustancia anteriormente desechada. Las investigaciones en las localidades de Fresnedillas y Navas del Rey se abandonan al año siguiente de haberse empezado (1961-1962).

Parece que en 1962 hay un pequeño decrecimiento de la actividad, siendo un año de reconocimiento de labores, en la mayoría de las minas; de esta manera leemos en la “Estadística Minera”, en cuanto a la casiterita:

“Las explotaciones de Hoyo de Manzanares, Guadalix de la Sierra y Lozoyuela, así como las de Colmenar Viejo y en las proximidades de El Pardo siguen reconociéndose, aunque con un ritmo menor...”.

En cuanto al cobre se prosiguieron las prospecciones y hubo algo de explotación en la mina Fernandito de Garganta de los Montes. Caduca la concesión Consuelo, colindante con ella. 1963 es un año en el que disminuye la producción metálica, presagiando lo que va a ser el final de la misma. Sólo quedan dos concesiones de casiterita que están paradas; comprenden labores en filón como explotaciones de aluvión. La mina Fernandito produce 2209 t de mineral de cobre y cesa su actividad ese año.

En la “Estadística Minera” de 1964 se menciona que la producción de minerales de estaño, barita y magnesita continuó manteniendo el ritmo pequeño de producción del ejercicio anterior. Se indica expresamente que en la mina de plomo San Eusebio se da por finalizada la explotación de metal. Se aprecia una cierta nostalgia al describirla ahora como una mina de fluorita y no como plomo. Se indica que se había instalado el año anterior un lavadero para concentración en Fernandito, pero no se inician los trabajos y la mina sigue parada. En 1965 la producción de casiterita es ridícula, siendo con la de

volframio la única producción metálica declarada. En 1966 se escribe en la “Estadística Minera”:

“la minería metálica continúa con una actividad muy lánguida, tanto en volframio como en estaño”.

Figura una mina de estaño y volframio aunque sin producción. En los años siguientes hasta 1971 no hay producción metálica alguna en la provincia. De forma aislada figura una producción de 2,8 t de casiterita en una mina en 1972, sin figurar cuál. No hay ninguna producción oficial hasta 1981. Hacia 1980 existió un rudimentario lavadero de estaño que tal vez trabajaba en aquel entonces como permiso de investigación previo a la concesión minera Maribel. Mediante una mesa de sacudidas, concentraba los pesados de los aluviones del río Guadarrama en las inmediaciones de la urbanización Molino de la Hoz. En 1982 al parecer según JIMÉNEZ (1993) la mina Asturias (o lavadero de Valtraviesa) situado junto a la tapia de El Pardo (entre Colmenar Viejo y Hoyo de Manzanares) produce algo de casiterita. En 1983 desaparece la producción metálica de Madrid.

Año	Cobre	Galena-Ag	Galena	Casiterita	Volframio
1952			-		
1953			28		
1954			33		
1955			24		
1956					6,8
1957				0,25	6
1958	2341		25	7,21	
1959	337		10	-	
1960	-		-	1,7	
1961	4250	Se inicia como minas de fluorita (C. Arroyo)		2,245	
1962	5841			5,5	
1963	2209			-	
1964	-			1,5	
1965				0,35	
1970				1,8	
1971				-	
1972				2,8	

Tabla 45: Producción de minerales a bocamina en toneladas en la segunda mitad del siglo XX.

Explicación de la tabla anterior:

Los años 50 y 60 son testigos de una minería relativamente moderna y de cierta envergadura, nunca vista en la provincia, acostumbrada a labores siempre artesanas. Destacar las más de 12.000 t de concentrado de cobre extraídos en los años 60 de la mina Fernandito de Garganta de los Montes. Los sesenta supondrán los últimos años para los metales en Madrid. Durante el decenio que seguirá sólo la ganga de algunos de estos filones de fluorita y barita mantiene vivas a alguna de estas comarcas. El año 1971 fue el último de producción en la mina San Eusebio de Colmenar del Arroyo, y en 1979 cierra definitivamente la minería de Navalagamella. Algunos mineros pasaron a la cantería (donde se podía), otros, cambiaron de trabajo o emigraron a la capital.

En la década de los ochenta aparece citada como productiva la mina Maribel (Libro Blanco de la Minería, IGME), un lavadero de estaño en las proximidades del río Guadarrama. Tras el cierre definitivo de todas las labores metálicas y con algunas investigaciones esporádicas se comienza la década de 2000- 2010 con diversos proyectos y obras encaminadas a preservar el patrimonio minero y eliminar los riesgos existentes en las labores abandonadas.

3.5.3.- MINERÍA DE PLOMO EN EL SIGLO XX

Entre los años 1915 y 1919 la Real Compañía Asturiana realiza intensas labores de valoración de las posibilidades de la zona, desaguando las antiguas minas San Eusebio y Elena. Se estudian los filones paralelos y se llega al descubrimiento de nuevas mineralizaciones de galena y blenda en las Minas de Nuestro Padre Jesús. Se crea en 1918 la sociedad Minera Castellana para explotar esta mina. Los trabajos continúan de forma intermitente sin apenas producción en la década de los años 20, parándose durante los años 30 y 40. A principios de los años 50 la compañía minera Los Guindos, explotadora de minas en El Centenillo y la Carolina retoma las concesiones, produciendo plomo hasta el año 1960.

Entre 1960 y 1971 La compañía Minera Metalúrgica Asturiana retoma los permisos para explotar la fluorita (que junto con la baritina formaba la “ganga“ de la mineralización metálica), para lo cual se construyó un lavadero y planta de concentración en la mina Eusebio. Tras la parada definitiva de la actividad minera en 1971 una parte de los mineros de la zona se reciclan pasando a las nuevas canteras para áridos de Navalagamella.

MINA SAN EUSEBIO

A la entrada de la Mina San Eusebio se distinguían en 2006 los edificios de la mina y transformadores. En una zona más o menos llana se dispersan pequeños montones de mineral de barita y estéril granítico, junto a una serie de muros: esa zona correspondía a las tolvas, molino y planta de lavado, que desaparecieron. Próximo a la casa de transformadores se encuentra la boca de una de las dos galerías practicables, parcialmente anegada por el agua.

Continuando en la dirección de esta galería se advierten en el exterior varias calicatas y una vagoneta-tolva en muy buen estado de conservación. A 50 m había una gran socavón de donde partían dos galerías, una, que tenía 30 metros, y presentaba las huellas de los raíles para la vagoneta. La segunda galería siempre estuvo impracticable, pero en su entrada se podía estudiar el filón principal, con un zonado de barita-fluorita, con diseminaciones y sustituciones galena-blenda perfectamente cristalizadas.

Las labores sobre el filón continúan en una calicata y un pozo parcialmente hundidos. En 2007 todo esto quedó tapado y restaurado.



Figura 110: Aficionados a la mineralogía en el socavón de la mina San Eusebio (2003), hoy desaparecido, relleno completamente de tierras.

En la “Estadística Minera” de 1964 se puede leer “En la mina San Eusebio, de mineral de plomo, sólo se han beneficiado 1612 t de fluorita, porque se ha renunciado a las investigaciones de plomo”.

Año	Producción fluorita
1961	705
1962	377
1963	525
1964	1612
1965	1218
1966	230
1967	No hay producción
1968	No hay producción
1969	450
1970	950
1971	605
1972	Sin datos

Tabla 46: Producción de fluorita en la mina Eusebio en toneladas a bocamina (se obtenía también baritina, aunque no se tienen datos sobre su tonelaje)

Fuente: “Estadística Minera”.

MINAS DE NUESTRO PADRE JESÚS

Las Minas de Nuestro Padre Jesús se encuentran en el collado del Pico del Pajar Viejo junto a la cañada occidental de Colmenar del Arroyo (aparecen indicadas en la hoja topográfica 1:50.000, nº 557) y revisten un notable interés histórico-minero.

Estas minas son un fabuloso vestigio de los principales años de explotación de plomo en la comarca por parte de la compañía minera Los Guindos. En el área de la mina hay abundantes escombreras con ricas muestras de minerales: calcopirita, esfalerita cristalizada y galena masiva, y gran cantidad de restos de las explotaciones en un buen estado. Cabe destacar La Casa de la Mina, muy bien conservada con su sala para máquinas enfrentada con el pozo maestro (el cual se encuentra tapiado).

También queda en pie la casa del polvorín, aunque algo alejado de las labores. La explotación recorrió varios filones paralelos de hasta medio metro de potencia de barita muy rico en galena y blenda en una distancia de al menos 200 m. Son reconocibles dos pozos de ventilación desde donde se ve el nivel de agua a 5 m y el pozo maestro. La otra entrada a la labor era por una galería horizontal actualmente hundida.



Figura 111: Galería de la mina de Nuestro Padre Jesús (2002). Nótese a la izquierda dos filones mineralizados.

De los dos pozos de ventilación, uno de ellos sirvió para acceso en el siglo XIX, antes de la construcción del pozo principal: Tenía 40 m de profundidad. Desde este pozo, puede recorrerse una de las galerías, la única que se encuentra por encima del agua. La segunda galería se encuentra sumergida entera en invierno y sólo a la mitad, en verano. No sabemos las características de las labores inferiores. En la galería superior distinguimos abundante mineralización de galena y calcopirita, en dos filones. Estos afloran también en el pozo donde se hallan más alterados, apareciendo minerales supergénicos como la anglesita y cerusita, muy abundantes.

Las minas figuran con el nombre de “Padre Jesús” por primera vez en 1918. En el plano de demarcación se apunta que el criadero descubierto consiste en *“un filón de cuarzo con impregnaciones de galena”* y que el mineral beneficiable es la galena. El punto de partida tomado para demarcar las pertenencias es *“un pozo minero de unos cuarenta metros de profundidad”*. No aparecen nuevos datos en los archivos de la Dirección General de Minas hasta el año 1931. Se demarca la misma mina con el mismo nombre y las características son las mismas, tomando como punto de partida (P) ese mismo Pozo Antiguo. Al paraje se le llama “Dehesa de Pajares Viejos”. Este año de 1931 se repiten los mismos comentarios en el plano de demarcación, incluyendo el filón de cuarzo. Hemos observado que el filón aflora en el emboquille del pozo antiguo y predomina sin duda la baritina sobre el cuarzo.

Aparte de las tímidas tentativas de producción anteriores a 1953 (siglo XIX y segunda década del XX), en las que se excavan varias galerías y se construye un pozo de 40 m, la producción de galena no empieza hasta 1953. Ese año se producen 28 t en dos concesiones. No se ha encontrado qué producción corresponde a Padre Jesús y cuál a Eusebio (que pensamos es la segunda concesión). El estrío de la mina Padre Jesús se haría de forma manual, separando la galena de la blenda y la calcopirita de forma muy rudimentaria. No hemos encontrado restos de planta de concentración. Solamente algunas ruinas circulares que pudieran haber servido para la trituración.

En 1954 sólo aparece en Colmenar del Arroyo una concesión de plomo, explotada por la compañía “Minero Metalúrgica Los Guindos”. La actividad extractiva se paraliza hasta al parecer 1958, en que de nuevo aparecen dos

concesiones y una producción de 25 t. Trabajan 23 empleados en las minas, 9 de ellos en el interior. En la “Estadística Minera” de ese año se menciona: “*De momento, no se ven buenas perspectivas en las labores que se realizan en la concesión*”. El año 1959 es el último con producción declarada: 25 t. La mina Padre Jesús se abandona. El personal ya había disminuido bastante, con tres mineros en el interior, 6 en el exterior y dos directivos-técnicos. La mina contaba de una máquina motriz para extracción con un motor eléctrico de 80 CV.

MINA LA MONTAÑESA. NAVALAGAMELLA

La mina del paraje de “El Horcajo” (pues con el nombre de la Montañesa se llegó a designar a toda la concesión, incluyendo diferentes calicatas y pozos) es una mina con labores de interior de cierto recorrido. Las galerías están en buen estado y puede estudiarse el sistema de transporte por gravedad mediante pozos y tolvas entre el nivel superior y el nivel de arrastre que comunica con la tolva de mineral. Es una de las minas más interesantes de visitar en nuestra provincia, ya que presenta gran cantidad de elementos geológicos y mineralógicos. La mina beneficiaba un filón de barita principal de un metro de espesor, así como otros más pequeños alrededor, perfectamente visibles tanto en las bocaminas como en los contornos del hundimiento superior.

año	Producción en toneladas
1959	100
1960	71
1961	80
1962	71
1963	70
1964	Sin p.
1965	Sin p.
1966	Sin producción
1967	100
1968	4
1969	Sin producción
1970	1000
1971	1244
1972	1182
1973	465
1974	3040
1975	2560
1976	2560
1977	3424
1978	3261
1979	3250

Tabla 47: Producción de baritina en Navalagamella (fuente: “Estadística Minera”).



Figura 112: Panorama de la mina La Montañesa (Navalagamella, 2001).

La mina poseía una casa de compresores, presumiblemente la ruina existente junto a la bocamina inferior. En el año 1993, primera vez que visitamos la mina, aún se conservaban los raíles y la canalización para el aire comprimido que circulaba por la galería de arrastre. Hoy todo ello ha desaparecido.

En la zona superior hay una galería de exploración en la zona más alterada. Junto a ésta se encuentran los niveles de explotación principales: dos pequeñas galerías en dirección del filón, y dos pocillos de 15 m que conectan con la galería inferior. Este nivel superior se encuentra parcialmente hundido, ya que en su cono recibía tanto mineral de las galerías como de las calicatas superficiales próximas: los derrumbes se han ido acreciendo de modo que es la única zona de difícil acceso. La galería de exploración superior presenta las paredes tapizadas de alteraciones de cobre (crisocola), tiene poco recorrido y al final presenta numerosos agujeros de barrenos.



Figura 113: Galería de la mina La Montañesa. Nótense los raíles y la tubería el aire comprimido (2002).

3.5.4.- MINERÍA DE COBRE EN EL SIGLO XX

MINA ANTIGUA PILAR (COLMENAREJO)

La mina Pilar es la explotación de mayor envergadura de toda la zona de Colmenarejo y Galapagar. Se trata de labores de interior mediante cinco pozos, galerías y pocillos interiores todo ello llevado a cabo con mucho desorden. Fue explotada de forma intermitente, sin arrojar datos oficiales de producción, durante el siglo XIX. Es a finales del siglo cuando se acometen obras de infraestructura para acondicionar la mina. Ésta, estará operativa nada más despuntar el siglo. Es en la primera década del siglo XX cuando se desarrollarán la mayor parte de los trabajos de la mina y los vestigios que hay en pié. Sin embargo todos ellos aprovecharán labores y construcciones anteriores que han sido difíciles de datar.

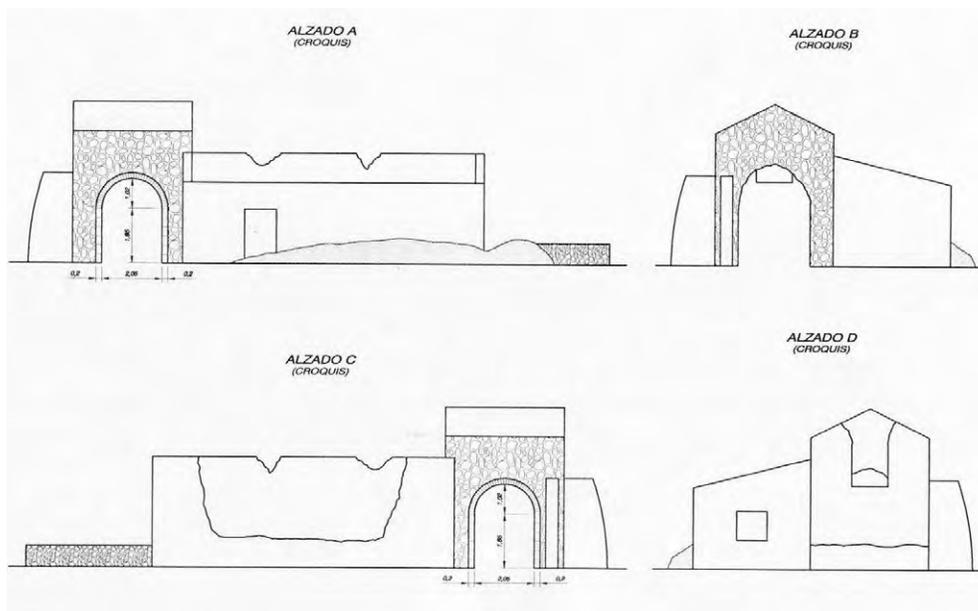


Figura 114: Croquis de las instalaciones de la mina Antigua Pilar (MAZADIEGO y PUCHE, 1999).

Prácticamente todas las instalaciones de la mina, de principios de siglo XX permanecen en pie. Cabe destacar el malacate del Pozo Maestro con arcos de mampostería de ladrillo (dataría de los últimos años del siglo XIX o primeros del XX). Junto al Pozo Maestro está la oficina, que ahora sirve de casa de pastores y un pequeño patio que serviría de almacén. Hay otro patio mayor, del que se conservan parte de las paredes, donde estarían las caballerizas que movían el malacate de extracción. Además había un taller de estrío, del que sólo quedan los cimientos.

A la misma cota que el Pozo Maestro está el pozo Dolores, que tiene sección cuadrada y está inundado a cuatro metros de la boca. Entre ambos está la zona de estrío superior. El resto de las instalaciones exteriores de la mina se

encuentran a una cota inferior: se trata de un área allanada con una caseta y tres pozos. Parece tratarse de otra zona de estrío, por el tamaño de los minerales que allí están dispersos. En esta zona hay tres pozos: el más alejado es el llamado Pozo Nuevo, que está inundado.

Los otros dos pozos son probablemente anteriores al siglo XIX. Estos dos pozos llamados Jaime y Chimenea dan acceso al primer nivel de la mina a 18 m de profundidad. Jaime es practicable con material de espeleología y por él se accede al primer nivel, y mediante un pozo interior al segundo y tercer niveles. De ahí hacia abajo la mina está inundada.



Figura 115: Pozo Maestro de la mina de cobre Antigua Pilar de Colmenarejo. Cartel informativo destruido (2007).

Durante 1907 los únicos trabajos fueron de desagüe y conservación de labores. En la “Estadística Minera” de ese año se describe someramente el criadero como un *“filón en rosario”* armando en terreno granítico. Se han estado explotando esos años tres grandes bolsadas, mediante tres anchurones que *“se sostienen casi sin fortificación alguna”*. Varios de esos anchurones miden más de diez metros de longitud por seis de anchura y de siete a ocho de altura. Según se indica las labores han llegado a más de 60 metros de profundidad. En la “Estadística Minera” de 1907 se subraya que las condiciones de explotación son favorables. El mineral se presenta bastante puro y compacto y al parecer se obtiene un producto vendible mediante el golpeo del martillo. Los minerales pobres se concentran por lavado en cribas inglesas.

No parece que haya existido ninguna máquina de vapor en la mina. Todo el laboreo y extracción serían manuales. Creemos que existirían varios tornos y malacates movidos por energía humana y animal. El desagüe se realizaba por medio de bombas de mano, convenientemente escalonadas. En la “Estadística Minera” de 1908 podemos leer:

“Se ha sostenido durante tal año el desagüe y se han ido conservando las excavaciones, siempre en espera del traspaso de la concesión, para lo cual el propietario está en negociaciones”.

Es por ello que en esas fechas se encarga a Ventura Santos, director facultativo de la mina, la elaboración de un informe sobre el estado de las

explotaciones. Este informe consta de dos partes, un resultado de las campañas llevadas a cabo posiblemente hasta 1908; y una como segunda parte en la que añade los últimos trabajos de la mina de 1909. El informe está fechado en 1913. Hacia 1908 la profundidad máxima alcanzada es de 62 m y como se indica *“es de advertir que siempre se encontraron en ellas trabajos antiguos que bordeaban las cuentas del rosario ó bolsadas, que últimamente se explotaron”*.



Figura 116: Interior del pozo Jaime, Colmenarejo, el único practicable. Segundo nivel (2003).

Diversos ingenieros visitan las labores durante las campañas anuales de policía minera; todos ellos señalan el gran desorden de las galerías. Citan que en los últimos años la dirección de los trabajos no ha sido muy acertada y se debería de reconocer el criadero en profundidad. Las galerías siguen muy diversos rumbos y de los 5 pozos existentes hay algunos muy próximos (especialmente Jaime y la Chimenea). Las profundidades alcanzadas y estado actual de los pozos se describe en la tabla:

Pozo	Profundidad en 1913	Profundidad en 2003	Galerías en 2003
Maestro	50 m	20 m (vallado)	
Nuevo	40 m	Aguado a 4m	
Jaime	19 m	19 m	Galería en filón a -19 m. Prosigue un pozo interior a -20
Chimenea	18,75 m	18,50 m (vallado)	Galería en fondo
Dolores	30 m	Aguado a 2 m	

Tabla 48: profundidades de los pozos de la mina Pilar de Colmenarejo (Elaboración propia a partir de observaciones de campo y el informe de VENTURA SANTOS, de 1913).

Se apuntan también en los informes de policía minera de 1908 cuáles serán las labores de la campaña siguiente (y que será la última):

“Hay varias labores más profundas que el pozo Maestro, de modo que, si se emprendiesen de nuevo los trabajos, debería empezarse por profundizar dicho pozo, pero antes se tendría que reparar, ó mejor aún, rehacer la fortificación del mismo, que en varios puntos deja mucho que desear”.

SANTOS también menciona estas últimas labores en la segunda parte de su informe. En verano de 1909 se incendia la escalera y entibación del pozo maestro, sobre cuyo estado se había informado tras la visita de policía minera anterior. Las labores seguirán paradas en 1909. En 1909, figura en el Catastro como propietario de Antigua Pilar PEDRO SOLER, quien también posee las concesiones Jaime y Ramón. En la “Estadística Minera” de 1910 podemos leer, referente a Colmenarejo:

"En las minas de cobre de Colmenarejo han continuado paralizados los trabajos, por cuya razón no se ha hecho á ese término la acostumbrada visita por los ingenieros al servicio de este distrito (...) La mina Antigua Pilar, propiedad de D. Pedro Soler, no se han hecho trabajos desde el incendio ocurrido en el pozo maestro en el verano de 1909".

SANTOS toma muestras de unos frentes a 60 y 100 pies; preparará dos muestras en sacos del interior de la mina, cada una de ellas con diez partes: dos partes de la galería a 60 pies y 8 de la de 100. El resultado final del análisis de los sacos es de un contenido de cobre de 15,90 % en el primero y 19,16 % en el segundo. Entre las observaciones del informe cabe destacar (Cfr. p. 2):

“La anchura de este yacimiento es variable, pero en algunos sitios, encima y debajo del suelo, pasa de 25 pies en línea horizontal. Contiene un número de venas de muy rico mineral, que en la proximidad vienen a ser marcadamente paralelas y aumentan en magnitud inclinándose regularmente con el yacimiento, separadas por divisiones de roca de inferior calidad, aunque muy bien impregnada de mineral. La forma irregular de las explotaciones ha hecho que las galerías sean tan curvas y mal trazadas, por lo que se hace muy difícil trazar en un diseño cada una de las venas desde el techo al fondo y así formarse una idea aproximada del total grueso de las fajas de rico mineral. Sin embargo, en los cortes transversales inferiores se presentan gran número de ricas venas en apretada continuidad sobre una anchura que excede de veinte pies y toda la roca intermedia aparece en gran manera impregnada de mineral. Algunas de las venas son casi contiguas. De hecho, en el frente de la galería hay un filón casi intacto de rico mineral”.

Una vez alcanzadas en 1909 las labores antiguas más profundas que estaban alrededor de los 60 m de profundidad, se prosiguió profundizando mediante rampas. A partir de este punto las labores serían aún más rústicas,

ascendiendo el mineral mediante espuertas que volcaban en alguna vagoneta para su transporte por las galerías de arrastre hasta el pozo maestro.



Figura 117: Torno manual en interior de la mina de cobre de Colmenarejo (2003).

En el resto de la mina el mineral se descendía por gravedad mediante pocillos-piquera o calderillas hasta el nivel de arrastre. A este respecto, existe un elemento patrimonial muy interesante. En el segundo nivel de las labores antiguas (Jaime) se conservan los restos de un torno de mano. Junto a él hay un acopio de mineral y una carretilla. Este pozo serviría para ascender el mineral desde el nivel inferior, pero en una última etapa se emplearía, al igual que otro pocillo contiguo, para descarga de mineral hacia las partes inferiores de dónde partiría hacia la galería de arrastre.

En su informe, SANTOS (1913) describe la última campaña en la mina, en 1909, justo antes del incendio del pozo maestro:

“Con posterioridad y siguiendo siempre las labores antiguas en plano inclinado persiguiendo la riqueza del filón, se hicieron tres galerías a los 75 metros de profundidad; una de ellas, abierta al Este, hízose con propósito de comunicar con el pozo maestro (y así dar salida a los minerales de la parte más inferior, pues ha de recordarse que la galería de arrastre se encuentra 30 metros por encima, n.d.a.); la segunda con plano inclinado fijada en su lado Norte nos dio rico mineral. En esta galería y más propiamente dicho pozo en plano inclinado o de arrastre, de 10 metros de profundidad (aunque no se puede leer bien), se cortó otro filón de mineral de cobre de bastante potencia con una veta de pirita arsenical completamente separada del mineral de cobre, que después ha desaparecido, quedando sólo la pirita de cobre de distintos caracteres que el filón que llamaremos general, y la otra galería en su lado oeste de 28 metros de longitud por 2 de ancho, va toda ella sobre un macizo de riquísimo mineral de cobre de lo más selecto que puede desearse”.

SANTOS (1913) continúa describiendo esta prometedora parte de la mina:

“En esta labor de disfrute se dispone de una gran masa de mineral cuyo tipo medio es seguramente de 23 al 26 por ciento. Digna es de estudio esta hermosa labor tan llena de bondad. Es pues, a no dudarlo el verdadero filón lo que pudiéramos llamar tronco por su potencial (no sabemos si se

refiere el autor a potencia de filón o potencial) *tipo; así por lo menos lo demuestran todos los demás que por sus caracteres parecen ser ramificaciones y vetas más o menos metalizadas*".

El producto de estos frentes "*hastiales, lecho y techo*" fue enviado a Londres en diciembre de 1909. Existen más labores que el autor no reseña pues fueron rellenadas con estéril. En ese año se acometen las últimas obras, "*dos edificios destinados a casa de máquinas, carbonera y taller de estrío o selección de minerales, todos ellos en la mina Sebastián*". Anteriormente los talleres estaban junto a la antigua fundición, en la mina Aurora. Esta máquina de vapor para el pozo nunca llegó a utilizarse, y ni siquiera estamos seguros de que llegase a instalarse. A partir de 1910 se está a la espera de un traspaso de la concesión. En 1912 caduca la concesión de mina Pilar y en 1913 se conceden las nuevas Sebastián, Aurora y María, que si bien nunca fueron activas, perdurarán por lo menos hasta 1960 (PÉREZ REGODÓN, 1970).

PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN COLMENAREJO

En 2005 empezamos varias campañas encaminadas a valorar los riesgos y posibilidades de puesta en valor de diversas minas de la Sierra. Colmenarejo es una de las que ofrecían a priori más posibilidades. El objetivo de la geofísica es detectar galerías someras en el entorno minado.

Hemos tomado para su estudio una galería de muy difícil acceso pero muy superficial, que fué reutilizada como almacén y trinchera defensiva en la Guerra Civil. Se sitúa en los altos de Villanueva del Pardillo. En este caso, por tratarse de un emboquille con cobertera muy somera, se escoge un espaciado de electrodos de 1 m. La resolución es muy elevada, marcándose incluso una forma ojival de la galería, aunque se producen algunos artificios de interpolación, debido tal vez a un mallado no muy ajustado. La profundidad alcanzada es de 2,70 m.

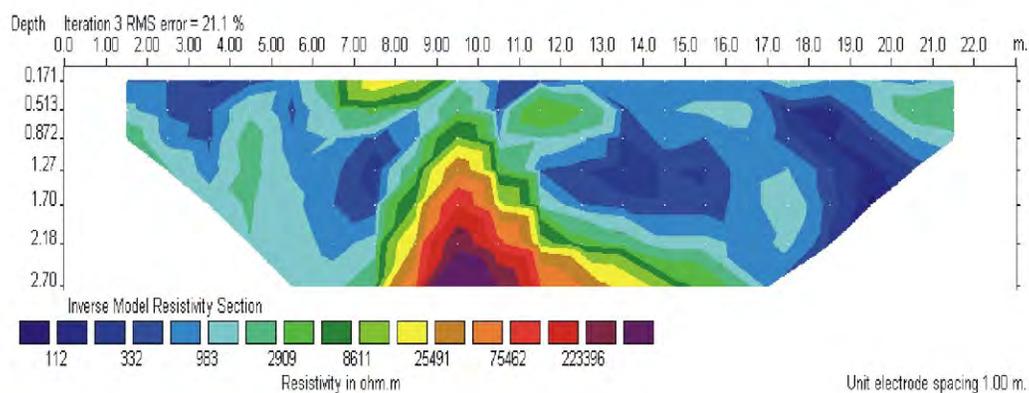


Figura 118: Localización de una galería en Colmenarejo, mediante tomografía eléctrica.

FUNDICIÓN DE COBRE DE TORRELODONES

Se tienen pocos datos sobre la fundición de Torrelodones. Se sabe por uno de los planos de demarcación de permisos mineros en la zona que se construyó hacia 1900. La fábrica de beneficio se ubicaba dentro de la actual Urbanización las Minas, en un solar junto al río Guadarrama, a 200 m aguas arriba del Puente de Herrera. La parcela donde se encontraba la fábrica es de las pocas que están aún sin edificar.

Prácticamente no quedan restos industriales. Debido a que esta zona ha sido intensamente urbanizada ha sido difícil encontrar vestigios de actividad metalúrgica. En esta parcela los lugareños comentan que existieron unos hornos, y allí hemos encontrado un montón de piedras: que serían de algún muro, irreconocible, rodeado de abundante maleza y un claro yermo con tierra de color ocre rodeado de árboles. Hemos encontrado una pieza pequeña de escoria y lo que parece un trozo de muro de piedra impregnado de cobre. En 1905 aparece un artículo en la “Revista Minera” sobre minerales radioactivos en Colmenarejo. El autor, JOSÉ MUÑOZ DEL CASTILLO, los descubre en la fábrica de Torrelodones y a partir de ahí busca la mina de la cual provienen. En el informe trata brevemente de esta instalación:

“A pocos cientos de metros de la estación ferroviaria tiene establecida el Sr. D. Joaquín Llorens la extracción de cobre por cementación en una fábrica recientemente montada; y á la puerta de ésta nos llamó la atención un montón

de 50 toneladas de mineral machacado, dispuestas para el tratamiento, procedentes de Colmenarejo”.

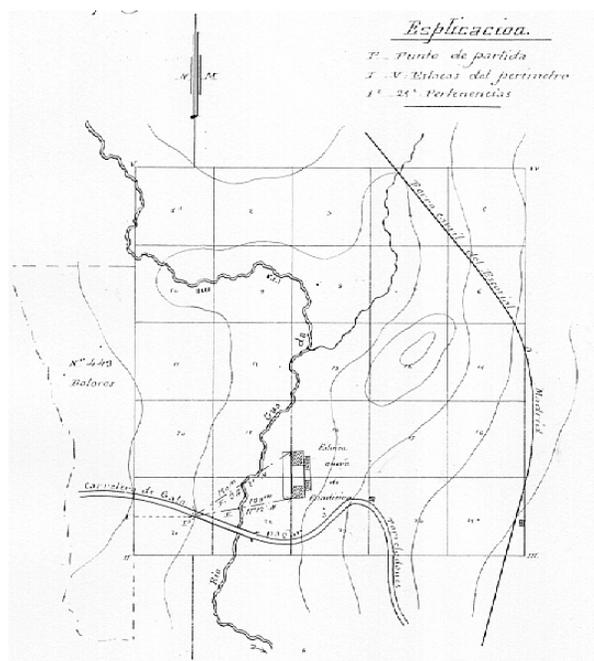


Figura 119: Plano de la concesión y fundición de cobre de Torreldones (1900). Creemos que se trataba más bien de una fundición de afino, con una planta de cementación tal y como describe MUÑOZ DEL CASTILLO.

MINA DESCUIDO (FERNANDITO). GARGANTA DE LOS MONTES

La mina Descuido, que tendrá cierta importancia a principios del siglo XX se demarcó en 1897. Como parece habitual en las concesiones de aquel momento no se mencionó el mineral principal, apareciendo como una explotación de hierro (Cfr. Planos de demarcación, Dirección General de Minas). Se toma como punto de partida para delimitar la concesión el Pozo Maestro existente que pertenecía a la mina anterior (llamada Aurrerá), y que ya estaba caducada. Durante el cuarto trimestre de 1906 se desaguan las antiguas labores, que datarían de mediados del siglo XIX, proceso que termina al final del año. A partir de entonces comienzan los trabajos de preparación sobre el criadero, en los primeros meses de 1907. De estos trabajos se obtuvieron 20 t (métricas) de mineral de cobre, de una ley del 12% que se envió a Cartagena. Trabajaban 2 mineros en el interior y 4 en el exterior, según la “Estadística Minera” de 1907.

A lo largo del año continuaron las labores preparatorias de un modo muy primitivo: se desagua y se extrae material mediante cubos y tornos de mano. Son unos trabajos caros, por lo que la compañía explotadora decide suspenderlos hasta no tener instalados medios mecánicos. Todos los ingenieros que visitan la mina están de acuerdo en que es un criadero muy favorable, pero cuyo principal inconveniente es la mala comunicación, que encarece el transporte. Al año siguiente se decide montar una fábrica de beneficio a bocamina para obtener un producto vendible de mayor valor añadido y costear el transporte.

Con motivo de la visita de la policía minera de 1909 se publica en la “Estadística Minera” de ese año el primer informe sobre el estado interior de la mina. Esta tiene tres niveles: el primero a 13 m, el segundo a 30 m y el tercero a 60m. Existirían tres pozos: El llamado Nuevo (principal) alcanzaba 65,53 metros de profundidad y tenía una sección de 2,50 x 1,50. A través de éste se realiza la extracción y desagüe. Este tenía un pequeño castillete de madera de 8 m de altura, poleas de 1,20 metros de diámetro y un torno con tambores sistema “Pinette” movido gracias a una caldera de vapor vertical tipo “Field” de 20 caballos. El pozo La Calleja era de 2,50 x 2 m y 26 m de profundidad y sólo servía para la ventilación. El pozo Maestro tenía 15 metros de profundidad y una sección de 3 por 2,20 metros y servía para el acceso de los mineros (probablemente fuera el primero en construirse). Ambos pozos ya existían pero no estaban comunicados cuando empezaron los trabajos. A través del primer nivel se unieron de forma que se facilitara la ventilación natural (“Estadística Minera”, 1909).

Existen dos filones principales: el llamado Filón Primero estaba reconocido como mineralizado a lo largo de 200 m. Posiblemente gran parte del primer nivel, hoy inundado hasta la mitad de la galería, estaba excavado en él. En el segundo piso del pozo maestro se hicieron dos emboquilles, hacia el Oeste y hacia el Este, el primero de ellos para facilitar el laboreo del primer filón entre este piso (-30) y el primer piso (-13). El segundo filón es casi paralelo al primero y subvertical en algunos tramos. Del tercer piso del pozo maestro partían dos galerías E-O excavadas en este segundo filón y de ambas arrancaban dos transversales al Norte con el fin de cortar al primer filón.

Excavando el nuevo pozo de extracción se cortó el segundo filón a 46 m de profundidad. A continuación transcribimos las observaciones sobre el método de explotación de la “Estadística Minera” de 1909:

“Se hace por testeros ó realces, rellenando con cuidado sobre camadas de estemples, que forman la fortificación de la galería en los sitios en que no se cree necesario poner portales. Las chimeneas o coladeros se dejan de 15 en 15 metros, y se van elevando conforme va subiendo la explotación”.

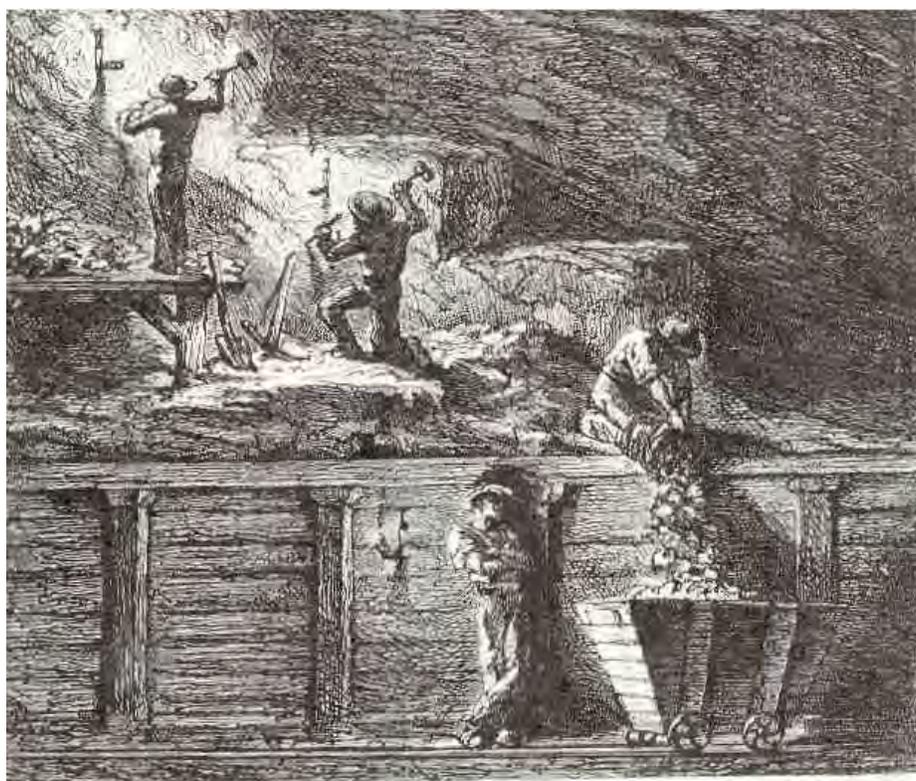


Figura 120: Explotación por realces y coladeros. Tomado de “La vie souterraine”, Simonin (1867). El minero de la izquierda esta picando sobre una “camada de estemples”.

En la mina trabajan 30 personas entre el interior y exterior (aquí sólo mujeres, que se ocupan del transporte y del estrío manual). En 1909 la mina El Descuido de Garganta produce 90 t de mineral de cobre de los que se obtienen 22,4 t (nos referimos siempre a toneladas métricas) de mata de cobre. Al año siguiente, 1910, la producción de mineral asciende a 639 t con una fábrica de beneficio de cobre activa. Los ingenieros que visitan la mina, pese a las favorables condiciones de la explotación y al esfuerzo de la sociedad en modernizarla son pesimistas sobre el futuro: el ferrocarril, que aún no ha llegado a las proximidades solucionaría los problemas del precio del transporte. Aún así, en 1910, de la mina se extraen 639 t de mineral de cobre. En la “Estadística Minera” de 1911 podemos leer:

“Se cumplió los que pronosticaba el año anterior respecto a la mina El Descuido, cuyos trabajos cesaron en los primeros meses del año 1911. En 1912 y 1913 sólo se mantenía el desagüe de la mina, probablemente para que no se estropeasen los trabajos realizados, con vistas al traspaso del arrendamiento de la concesión”.

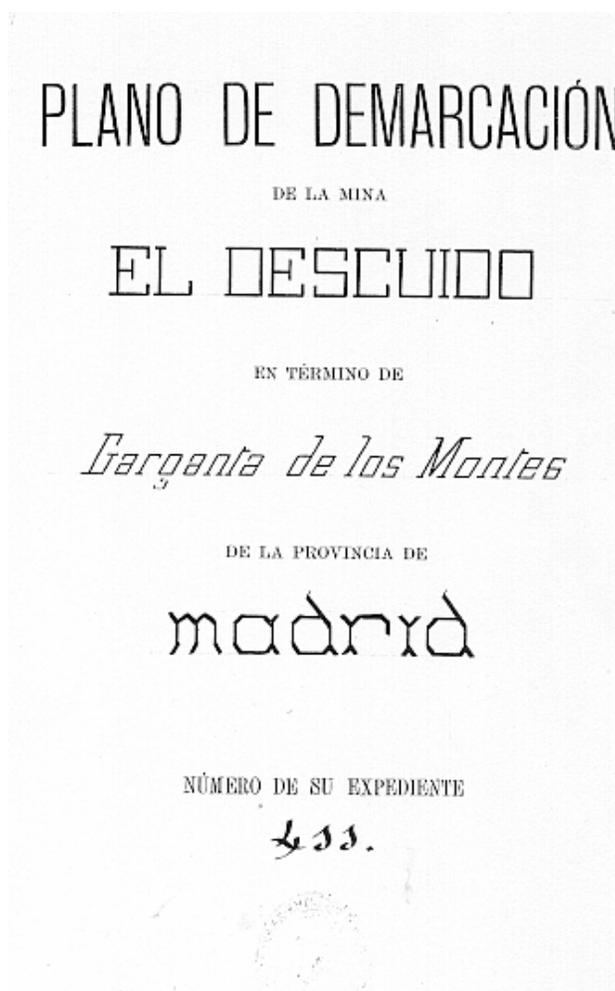


Figura 121: Portada del plano de demarcación de la mina Descuido de Garganta de los Montes.

El propietario de la mina sigue siendo Narciso Mauri, quien ha arrendado la explotación a “Ahrendo Limited” de Lisboa, rescindiendo el anterior con la compañía francesa. Los años siguientes sólo se empleará una parte de la planta de concentrado francesa y la fundición se abandona.

En 1914 se extraen 50 t de mineral de cobre con una ley del 8%. En 1915 la producción asciende tímidamente a 93 t, pero sólo se trabajó tres meses.

Después se suspenden los trabajos el 1º de diciembre rescindiéndose el contrato. La mina se inunda de forma natural. El 6 de marzo de 1916 pasa a arrendarse a Leoncio Martínez y Martínez quien obtiene 360 toneladas de calcopirita durante el año. Este nuevo explotador trabaja con un sentido “más práctico” (Cfr. “Estadística Minera”, 1916) extrayendo la mejor parte de los filones: primer filón a 30 m y segundo filón 60 m, y emplea sólo una parte de la tecnología francesa. Trabajan en la mina 35 personas. En la “Estadística Minera” de ese año leemos como se van añadiendo las nuevas labores al plano de la compañía francesa. No hemos localizado ese documento. El ingeniero de minas RAMÓN ALONSO, durante la visita de la Policía Minera da una visión global del estado de las labores, más preciso aún que los años anteriores. A falta del plano, es la mejor descripción que hay de la mina:

“Visité las actuales explotaciones o trabajos que están en los niveles 30 y 60, o sea los pisos 2º y 3º, bajando por las escalas del pozo maestro hasta el nivel 13 metros, o sea el primer piso, en el cual no hay hoy ningún trabajo de explotación, y después fui por rampas de éste al 30, así como de éste al nivel 60 metros”.

La explotación se sigue haciendo por testeros o realces, dejando coladeros cada 14 a 16 m, al igual que en los años anteriores. Manaba bastante agua del segundo y tercer pisos. El pozo nuevo o de extracción no ha cambiado su fisonomía ni ha aumentado su profundidad, el desagüe del mismo por medio de la bomba Wortington existente, trabaja tres horas al día. La máquina de extracción sigue siendo el torno Pinette instalado por la compañía francesa.

Las labores son algo más desarrolladas que en la anterior descripción. El segundo nivel tiene 250 m de galería siguiendo el primer filón mineralizado.

En 1947 se investiga y explora la mina Descuido y la minería vuelve en 1957, con el alza del precio del cobre. Hay un gran entusiasmo en la comarca, pues algunos ancianos todavía recordaban las explotaciones de principios de siglo y vieron un nuevo resurgir. Se desagua la mina y al parecer el interior se encontraba en un estado bastante aceptable (comunicación oral popular). En 1957 no aparece ninguna cita en la “Estadística Minera”, y sí al año siguiente en el que escuetamente se menciona una producción de 2341 t aunque no se dan más datos sobre las labores. La concesión pasa a llamarse mina Fernandito, ubicada exactamente sobre la antigua Descuido.



Figura 122: Panorama de las ruinas de las instalaciones de la mina Fernandito.

el ingeniero de minas José Becerril fue el director facultativo en esta época y quien diseñó el plan de explotación. La compañía explotadora es Electrolísis del Cobre, S.A. En 1959 trabajan 12 personas en la mina, de las cuales 8 en el interior y un técnico. El acceso a las labores seguía siendo similar a antaño, con un pozo con escalas para acceso de personal y que todavía recuerda el dueño de la finca como “una paliza por lo separado de los peldaños”. Hay otro pozo que se utiliza para extracción, con una pequeña torreta y un torno eléctrico. Por un informe geofísico de 1962 firmado por Jorge Doestsh (que fué profesor de Mineralogía de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid), tenemos varias fotos de las instalaciones de la mina y vemos que el castillete era pequeño: de aproximadamente 5 m de altura.

En 1959 la producción fue de 337 t, y hay referencia del consumo de 8m³ de madera para entibado. Suponemos que ese año se llevan a cabo labores preparatorias o de exploración sobre nuevas zonas. En 1960 no hubo producción, y en 1961 se extrajeron 4250 t. La mina alcanza los 80 metros de profundidad, pero no sabemos especificar si se trata de un nuevo piso o son labores en rampa que parten del tercer nivel.

Ese año 1961 la compañía explotadora encarga un estudio geofísico sobre el criadero. Se busca caracterizar las zonas ya explotadas, definir la zona mineralizada que se va a beneficiar en la campaña siguiente (desde los tronques de los transversales Norte y Sur de las galerías inferiores) y descubrir otras zonas favorables. Se encarga a la compañía de DOETSCH.

El trabajo de campo se realizó durante los meses de agosto, septiembre de 1961 y febrero, abril y mayo de 1962. Se aplica un método de inducción electromagnética, que DOETSCH denomina: *“un procedimiento electromagnético de reflexión y que nosotros mismos hemos desarrollado en los últimos 15 años”*. Se trata de un método que básicamente va a consistir en excitar el cuerpo mineralizado mediante una corriente de inducción y la elaboración de una cartografía superficial de anomalías. Sin embargo los autores no aportan detalles sobre el tipo de dispositivos emplazados en campo. Como resultado obtuvieron cuatro zonas de anomalías de dirección aproximada Este-Oeste y de contorno irregular. Las dos primeras anomalías correspondían a las zonas minadas más importantes. Otra anomalía era atribuible al afloramiento del filón y galería más superficial y la cuarta podría ser una nueva zona mineralizada.

En 1962 son extraídas 5841 t y en 1963, último año de producción, se extrajeron 2209 t. Se para la producción y en 1964 leemos en la “Estadística Minera”:

“La mina Fernandito, sita en Garganta de los Montes, en donde como se recordará se había instalado un lavadero para concentración de mineral de cobre, no se han iniciado los trabajos, continuando, por tanto, completamente parada dicha explotación”.

Ya no volverá a reactivarse la minería. Todavía recuerdan los más viejos del pueblo: la mina traía buen ambiente al pueblo, los mineros eran “gentes

alegres”; en Santa Bárbara se tiraban petardos y se organizaba una corrida de toros.

Actualmente la mina está completamente abandonada, los pozos y galerías se encuentran clausurados y todos los niveles anegados excepto parte del primer nivel. Quedan multitud de vestigios en el exterior, de la última etapa de producción de la mina: casas de mineros, oficinas, ruinas del lavadero, depósito de agua y sala de máquinas del pozo principal.

TRATAMIENTO DE LA MENA EN GARGANTA DE LOS MONTES

El momento de mayor desarrollo e inversiones en este aspecto tuvo lugar a principio de siglo, en los años de actividad de la compañía francesa (no hemos encontrado referencia a su nombre). Las empresas concesionarias posteriores utilizaron parte de sus infraestructuras. Entre 1909 y 1915 se llevaba a cabo un primer estrío manual y trituración a martillo clasificando los minerales en tres clases 1ª, 2ª y 3ª. El mineral rico, de las dos primeras clases, pasaba una vez molido al horno “Water Jacket” para su fundición. Como la ganga era de cuarzo, se añadían como fundentes caliza y pirita; ésta última, creemos que provendría en parte de los pequeños yacimientos demarcados en las proximidades en esos años. El horno, provisto de un gran ventilador era de la casa “Fraser & Chalmero”, de este horno se obtenía el producto vendible para exportación.

Los minerales de 3ª clase se trituraban en una quebrantadora (machacadora) y después pasaban a un molino de dos cilindros. De ahí pasaba a una criba de cajón con palanquín y las tierras se concentraban en una mesa. El agua para todos los trabajos mineralúrgicos provendría de la propia mina y se elevaba a un depósito mediante una bomba Worthington. Toda la mineralurgia y metalurgia se encontraba en un edificio que había construido en 1909 la compañía francesa; había, pues, una trituradora, molino y mesas de sacudidas con mecanismo Wilfley movidas por una “locomóvil” de 45-50 CV. De las 180 toneladas extraídas en 1909, 90 t se beneficiaron en el horno “Water- Jacket”, obteniendo 22,4 t de mata que se exportó. No tenemos desglosados estos datos para los años siguientes. La fundición trabajó sólo 4 meses, con 8 mujeres, 5 chicos y 20 hombres. Las mujeres y los niños solían ser responsables del transporte y del estrío.

La mineralurgia de Garganta llega al punto de trabajo más rústico de todo el siglo en 1916. Sólo se extrae la parte más rica de la mena, que se estría y quiebra a martillo. Después se tritura en un molino y se enriquece en tres cribas de cajón. El producto comercial tiene un 10-12 % de cobre, que se remite a Madrid.

El resto de instalaciones y hornos están parados desde el final de la época francesa: lavadero con cribas mecánicas, quebrantadora americana y molino triturador, todo movido por vapor, y el horno “Water-Jacket”. En la última época, en los años 1960 el tratamiento es diferente, empleándose un (clásico ya en esos años) sistema de flotación de la calcopirita. Había dos plantas rectangulares escalonadas que conocemos gracias a las fotografías del informe

geofísico y que intuimos por las ruinas de campo. Tenían tejados a dos aguas. La primera de ellas era la planta de trituración y molienda de unos 20 m de largo y ocho de alto; de este edificio queda una pared.

De ahí, el mineral pasaba a la segunda nave donde se encontraban las celdas de flotación. Este edificio tendría unos 4 m de altura: todavía quedan restos de las celdas y parte de la estructura. Se empleaban como aditivos el aceite de pino como espumante, xantato como colector de la calcopirita, y no sabemos cual era el regulador de PH, aunque seguramente fuera sosa, así como el depresor de la pirita, que sería la cal. El estéril decantaba y flotaba la calcopirita empleándose xantato y aceite de pino. El flotado se extraía con unas paletas. De ahí pasaba a secarse a un horno y el concentrado era enviado a Palencia, donde se afinaba electrolíticamente en una planta de la propia empresa.

PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN MINA FERNANDITO 2006- 2007

Con objeto de poner a punto equipos de geofísica que sean capaces de detectar galerías mineras someras, se aprovecharon las especiales características de la mina Fernandito. La galería del primer nivel, se encuentra muy somera, a aproximadamente 2-3 m. y una pista forestal pasa perpendicularmente sobre ella. Los perfiles de georradar y de tomografía eléctrica se hicieron precisamente a lo largo del camino. Los resultados, como mostrarán las imágenes son espectaculares. En tomografía eléctrica se empleó un dispositivo dipolo – dipolo con una separación de electrodos de 3 m.



Figura 123: Equipo de georadar trabajando en mina Fernandito, al aplomo de la galería que pasa bajo el camino (2005).

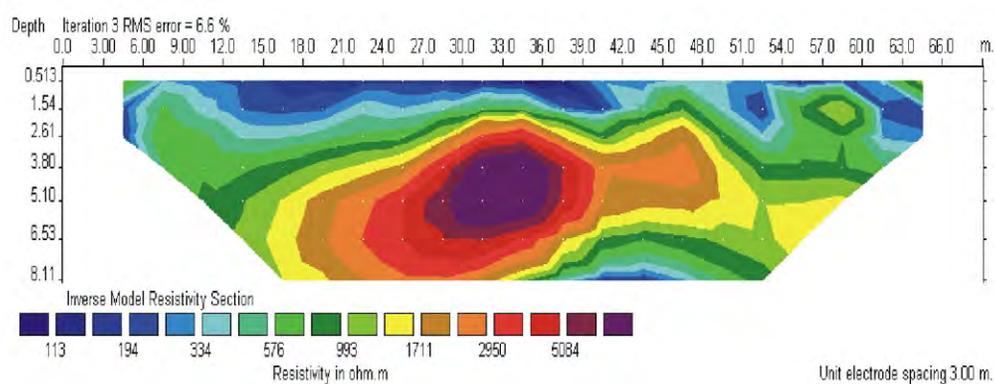


Figura 124: Localización de la galería del nivel 1 (Garganta de los Montes), mediante tomografía eléctrica (2005).

Para la detección de esta misma galería mediante georradar se utilizó primero una antena de 400 Mhz, de alta resolución, pero que no llegó a profundizar lo suficiente. No se detectó la galería. Posteriormente se hizo el mismo perfil pero con una antena de 100 Mhz, la cual sí detectó la anomalía.

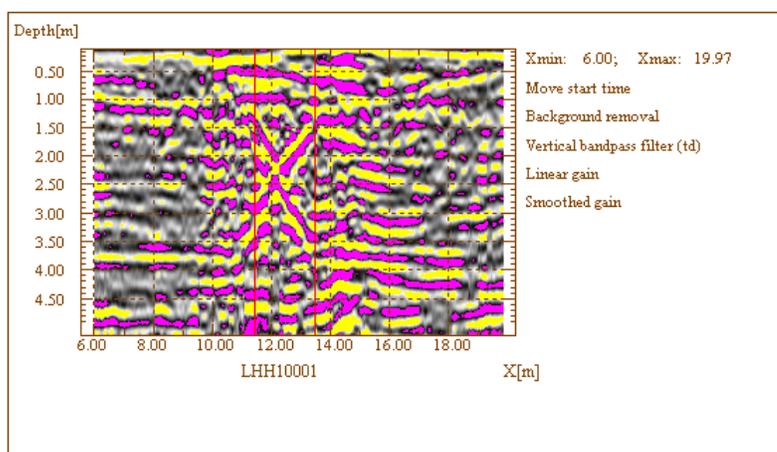


Figura 125: Perfil de georradar con antena de 100 MHz Implantado en la misma alineación que el de tomografía eléctrica (2005).

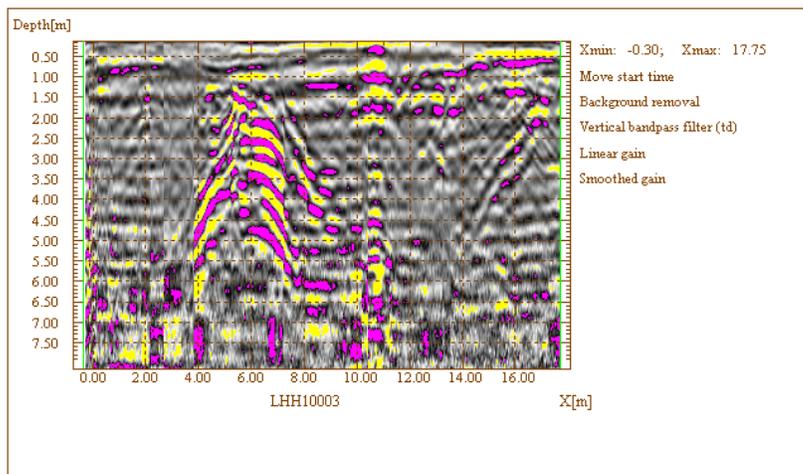


Figura 126: El perfil desplazado unos metros hacia el pozo. Las difracciones son de índole diferente. (Antena de 100 MHz), tal vez por la mayor presencia de agua.

3.5.5.- MINERÍA DE ESTAÑO Y VOLFRAMIO

Las citas sobre minería de volframio en la “Estadística Minera” y en la cartografía geológica madrileña son muy extensas. Sin embargo prácticamente no hay descripciones concisas de los métodos de laboreo. Hay escasas explotaciones subterráneas de esta substancia en el caso de Madrid, donde la mayoría correspondían a calicatas de mayor o menor desarrollo. La mina subterránea de mayor envergadura se sitúa en el Collado de la Mina, bajo el cerro de Cabeza Lijar, en Guadarrama, mientras que la labor superficial más grande es la mina Celia en Garganta de los Montes, a los pies del pico del Mondalindo.

MINA DE VOLFRAMIO Y COBRE PRIMERA. CABEZA LIJAR. GUADARRAMA

Trataremos esta mina en un capítulo entero. En el alto de Cabeza Lijar, se ubica una de las labores de interior mejor conservadas de la Sierra de Guadarrama. Se trata de una mina de volframio y cobre (calcopirita y numerosos minerales secundarios) muy conocida por los mineralogistas de Madrid.

Resulta cuanto menos curioso, la escasa información que tenemos de esta mina. Creemos que se explotaba en la década de los años 1950, volviendo a realizar campañas exiguas en los 1960’.

MINAS DE ESTAÑO Y VOLFRAMIO DESDE HOYO DE MANZANARES A COLMENAR VIEJO

Vamos a tratar a continuación de enumerar la gran cantidad de vestigios mineros y plantas de tratamiento que han quedado en la zona. Normalmente existía un núcleo de laboreo que contaba con las instalaciones de machaqueo y/o cribado en la que se encontraba la casa de transformadores. Alrededor de esta labor principal existía un rosario de labores pequeñas artesanales en un radio de varios kilómetros.

MINAS Y LAVADEROS DE TORRELODONES Y HOYO DE MANZANARES

La explotación más occidental de esta área, era un lavadero en la zona que ahora ocupa la urbanización el Peñalar de Torreلودones. Como único vestigio, queda una malla de criba en un descampado contiguo. Hemos encontrado algo de volframita en cuarzo, así como tierras removidas que atestiguan el laboreo. Este descampado posee el topónimo relativamente moderno de “Prado de las Minas” (Hoja Topográfica IGN 1:25000 de 1997).

MINA ASTURIAS O LAVADERO DE VALTRAVIESA

En el límite entre Hoyo Manzanares y Colmenar Viejo está la labor más moderna de la zona, que dataría posiblemente de los años 80, aunque no lo hemos podido confirmar. Se trata de un completo lavadero de aluvión de estaño y volframio en perfectas condiciones. Todo se ha preservado incluso la techumbre. Se sitúa en una ladera del arroyo de Valtraviesa para aprovechar la gravedad. El mineral provenía del lecho del arroyo infrayacente que sería explotado en una profundidad aproximada de 2 m, conservándose muchos restos de maquinaria en el mismo. El mineral se llevaría a un descargadero y tolva en la parte superior del lavadero. El material pasaría una primera criba fija de donde una cinta transportadora acumularía lo más grosero que se desechaba.

La planta no trituraba mineral. El material pasa varias cribas de donde, mezclado ya con agua de un estanque próximo se repartía en las mesas de sacudidas de madera. Estas separaban los pesados: casiterita y wolframita del estéril ligero. Existen seis mesas de sacudidas en paralelo junto a dos en reserva. El material lavado llegaba a una parte inferior donde una noria de canjilones lo depositaba en otra línea para un relavado. D. Antonio Sánchez Lozano, actual concesionario de la mina Maribel de Galapagar nos apunta en una entrevista (2003) que fue él, personalmente quien instala y pone a punto esta planta hacia 1984. La planta proviene de una que se desmontó en Salamanca.

MINA MARIBEL

Este empresario señala que del tratamiento del material detrítico, se obtiene mediante gravimetría (en mesas de sacudidas) concentrados de minerales pesados, tales como casiterita, ilmenita, monacitas y circón, y como subproducto un volumen considerable de gravas y arenas silíceas de muy buena calidad que se comercializan como áridos naturales.

La explotación se lleva a cabo con buldózer y palas cargadoras, en un frente de 50 m de longitud, 100 de avance y 3 a 4 m de espesor. Las instalaciones de la planta incluyen una tolva, trómel, vibro- tamiz, jigs y mesas de sacudidas. En Noviembre de 2003 nos entrevistamos con Antonio Sánchez Lozano, dueño de los terrenos y de la concesión de explotación de Minera del Guadarrama. Recordamos una de sus frases:

“Un criadero de esta magnitud hay que tratarlo con mucha delicadeza y no dejarlo en manos de especuladores”.

El Sr. Lozano nos explicó la historia de esta singular explotación, por ser la única de metales activa en Madrid desde los años 80. La concesión se denunció en 1969 como mina Maribel y se obtuvo el permiso en 1973. Desde 1967 sin embargo, el Sr. Lozano ya trabajaba en exploración por toda la zona. Trabajaba con 4 mesas de sacudidas “tipo gallegas” junto al antiguo Puente de Molino de la Hoz. En la década de los 90 es cuando va a trasladar y

modernizar la planta de tratamiento a su ubicación actual. Entre 1990 y 1992 realiza las pruebas necesarias hasta que en 1992 se pone en marcha la explotación de los concentrados.



Figura 127: Sobre estas líneas diversas imágenes de la campaña de prospección llevada a cabo en Mina Maribel en 2006. Detalle de la concentración en mesas de sacudidas y el pre-cribado mediante zaranda.

De tipo confidencial, entre 2006 y 2007 el autor es encargado junto con otro equipo de técnicos, de llevar a cabo una valoración de las posibilidades del

yacimiento. La campaña realizada contó con la ejecución de sondeos mecánicos con toma de muestras, calicatas y estudio de las leyes del frente de explotación, así como prospección aluvionar (bateo) y puesta a punto de las mesas de sacudidas.



Figura 128: Ejecución de un sondeo en la mina Maribel. Galapagar (2006).

FUNDICIÓN DE ESTAÑO DE VILLAVERDE

La fundición de Minero Metalúrgica del Estaño S.A se instala en Villaverde en el año 1943. La fábrica se encontraba en un terreno de 5000 m² (LANDECHO, 1946) en el cruce del ferrocarril de M.Z.A. y la carretera que atraviesa el pueblo de Villaverde. Constaba de tres edificios: una nave principal con cobertizos laterales de 400 m², una caseta para el guarda y la casilla para el transformador. En la nave principal se situaban las oficinas, despachos y laboratorio en una parte (con cámara oscura para el espectroscopio) y almacenes para metales y minerales.

En el resto de la nave se encontraba la fundición, con un primer horno basculante y con quemador de fuel oil. Después, se pasaba a la sección de afino, donde había un horno de licuación metódica que tenía tres calderas de hierro fundido y de la última, por medio de cazo, se hacía salir el estaño lingoteado. Había además un horno de crisol para fabricar aleaciones: estaño con antimonio, cobre y plomo. Para estos minerales se había montado un horno de calcinación. Existía un separador magnético para separar la wolframita de la casiterita. En la “Estadística Minera” de 1947 leemos:

“Dos fundiciones de estaño funcionan en esta capital, autorizadas por esta Jefatura. La Fábrica Minero- Metalúrgica del Estaño S.A., del término de Villaverde, y la fundición de la Estannífera Castellana, situada al final de la calle Diego de León. Esta última no se ha trabajado en 1947”.

En la década de 1940 se produce un aumento de la producción de estaño en España, estimulada por el aumento del precio. Se modernizan todas las fundiciones y se instalan otras nuevas como las de Madrid, con el fin de aumentar la capacidad de producción.

.

La minería de los metales en la provincia de Madrid: Patrimonio minero y puesta en valor del espacio subterráneo

MINAS Substancia metalica principal

Siglos en que han permanecido activas

Estadística de minas	Total	Au	Ag	As	Pb	Zn	Cu	Fe/Mn	Sn	W	desc	XV	XVI-XVII	XVIII	XIX	XX	Desc	Desaparecida
ROBREGORDO	3			3										2		1		
LA ACEBEDA	12			12										10		5		
GANDULLAS	1	1												1				
BRAOJOS	1			1										1				
CERVERA	1				1											1		
MADARCOS	1			1										1				
HORCAJUELO DE LA SIERRA	3			3											3			
PRADENA DEL RINCÓN	1			1											1			1
MONTEJO DE LA SIERRA	1			1											1			
EL MOLAR	1							1							1			
PINUEGAR	1														1			
BUSTARVEJO	1			1									1	1	1		1	
OTERUELO DEL VALLE	1				1										1			
MIRAFLORES DE LA S.	2				2									1	2			
GARGANTILLA DE LOZOYA	1					1									1			
GARGANTA DE LOS MONTES	4						1	2			1				3	2		
LOZOYUELA	3						1			1	1				1	2		
TORRELAGUNA	1					1									1			
GUADALIX DE LA SIERRA	5				3							2			1	4		
COLMENAR VIEJO	5				1			3		1				3	3	2		
HOYO DE MANZANARES	5							1		2	2				1	4		
TORRELODONES	1							1							1			
GALAPAGAR	5							3		2				1		3	1	1
MORALZARZAL	1				1										1			
VALDEMORILLO	3					1		1	1						1			
LAS ROZAS	1									1						1		
COLMENAREJO	8							8						5	3	1	1	1
NAVACERRADA	2				2										2	1		
COLLADO MEDIANO	2										2					2		
GUADARRAMA	1										1					1		
NAVALAGAMELLA	2					2								1		2		
CHAPINERIA	1							1						1				
COLMENAR DEL ARROYO	6					6								1	2	5		
ROBLEDO DE CHAVELA	1					1									1			
VILLALBA	1							1								1		1
CENICIENTOS	1					1									1			
SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS	1					1									1			
PEGUERINOS	1								1				1					
SAN LORENZO DE EI ESCORIAL	1														1			1
totales	93	1	23	10	15	1	22	5	7	7	2	2	37	1	39	34	3	5
total	Au	Ag	As	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn	Sn	W	desc	XV	XVI-XVII	XVIII	XIX	XX	desc	desaparecida

Tabla 49: resumen histórico del laboreo de metales en Madrid.

**CAPÍTULO 4.- CONSIDERACIONES HISTÓRICAS SOBRE
LOS MÉTODOS DE LABOREO Y BENEFICIO DE METALES**

El presente capítulo viene a resumir de forma sucinta el desarrollo histórico y los métodos de laboreo que han aparecido en el capítulo anterior. A excepción de la metalurgia, podemos decir que los métodos de laboreo y concentración han permanecido siempre muy rústicos en la Sierra de Guadarrama y prácticamente no han evolucionado en 500 años. Como diferencias sólo citar el uso de los explosivos en el XIX y la precaria electrificación ya avanzado el siglo XX.

4.1.- PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS

En general la prospección de minas como tal no ha existido en Madrid. Durante el siglo XVI se “lanzan” al monte las gentes del campo y en siglos posteriores se redescubren las minas abandonadas. A lo largo de los siglos se han ido explotando una y otra vez concesiones antiguas hasta su completo agotamiento. Sólo tenemos constancia de dos prospecciones como tales: la detección de la continuidad de los filones de Gargantilla de Lozoya (en globo en el siglo XIX) y la prospección geofísica en la mina Fernandito (en la segunda mitad del XX).

4. 2.- ILUMINACIÓN EN LAS MINAS

En la sierra madrileña se han encontrado muy pocos vestigios que atestigüen el tipo de iluminación empleada en las minas. El autor no ha encontrado referencia escrita ni vestigio alguno de lámparas de aceite, no hay huecos para lucernas o lámparas en ninguna de las galerías exploradas. Solamente se han encontrado carbureros (en la mina San Eusebio y en Cabeza Lijar). Tampoco se tienen referencias de lampisterías eléctricas. Como nota anecdótica citar la lámpara Davy utilizada por el director facultativo (ya fallecido) de la mina San Eusebio, en Colmenar del Arroyo y que se exhibe en su domicilio.

4.2.1.- LÁMPARA DE ACEITE

Eran también muy empleadas en el campo hasta inicios del siglo XX. Las encontramos en innumerables casas rurales de la sierra madrileña pero ninguna mención ni hallazgo en minas. Suponemos debió de ser la forma más usual de iluminación desde el siglo XV hasta finales del XIX, con la aparición de la lámpara de acetileno o carburero.

4.2.2.- CARBUREROS

No se tienen datos escritos pero hemos realizado algún hallazgo. Inmediatamente finalizada la explotación de la mina de Cabeza Lijar (W-Cu) quedaron numerosos vestigios mineros desperdigados por las antiguas casas de mineros y la propia bocamina: según nos comentó un montañero asiduo de esa zona en los años 1960 – 1970, llamado LUIS ARENAS. En el interior de la mina de San Eusebio hemos encontrado asimismo la parte inferior de un carburero, en la llamada sala del cabrestante. Por comentarios locales sabemos que en la mina Fernandito de Garganta de los Montes, los mineros entraban “carburero en mano”.

4.3.- MÉTODOS DE ARRANQUE, LABOREO Y SOSTENIMIENTO

4.3.1.- EXCAVACIÓN POR MARTILLO Y PUNTEROLA

Se han observado trazas de este tipo de herramientas en la mina de Casa Blanca de El Pardo, así como en Colmenarejo. Sólo hemos encontrado referencias escritas en las crónicas del siglo XIX (“Estadística Minera”) de la mina La Perla de Prádena del Rincón.

4.3.2.- BARRENOS ANTIGUOS Y MODERNOS

En casi todas las minas exploradas se aprecian barrenos. En los barrenos manuales, trabajaban dos o tres operarios, uno para sujetar y girar la barrena, el otro para golpear. El taladro rara vez excedía del metro de profundidad. En tiempos más modernos se instalarían compresores, y se barrenaría mediante martillos neumáticos. El compresor debía de ser portátil. No era la tónica general de la Sierra de Guadarrama, y solo creemos se emplearía esta técnica en la mina de Navalagamella y tal vez en Garganta de los Montes.

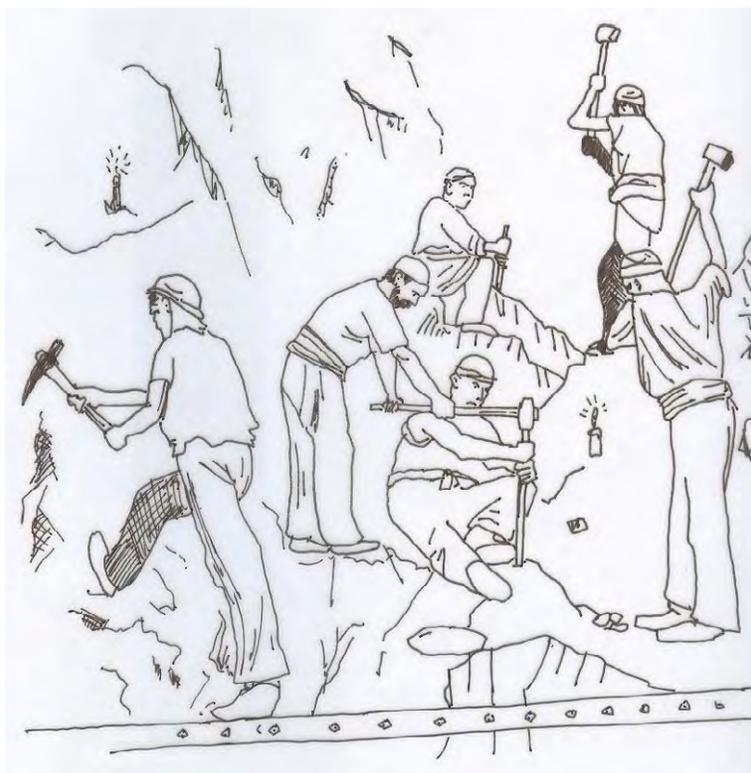


Figura 129: Mineros barrenando a mano. Dibujo propio.

4.3.3.- LABOREO DE UN FILÓN METÁLICO DE INTERIOR

En la minería metálica madrileña, con filones estrechos y roca competente, el método más usual ha sido el de realces y filones vacíos sobre relleno: una especie de combinación de corte y relleno ascendentes con cámaras vacías. Tal es el caso de las minas de San Marcelino, Cabeza Lijar. Rara vez se entiba. Hemos observado una especie de laboreo por testeros en las cámaras y anchurones más grandes de Bustarviejo y de Colmenarejo.



Figura 130: Saneo de un anchurón. Dibujo propio.

Consideramos dos tipos de escala de laboreo de filones metálicos, relacionados con el número y espaciamiento de filones, espaciamiento y volumen y distribución de los trabajos. En primer lugar, está el laboreo

sencillo de un filón o de varios muy juntos. En el caso habitual de que éstos estén aflorantes la explotación comienza con una galería o pocillo directamente extrayendo mineral. Es el caso que encontramos en las minas de Miraflores, Oteruelo del Valle, Colmenar del Arroyo, etc. Se intenta beneficiar el mineral desde superficie explotando sólo la parte enriquecida, las labores en estéril son casi inexistentes. La fisonomía habitual de este tipo de minas en la sierra de Guadarrama es la de una galería a media ladera, con un pozo en el extremo o próximo a él, la longitud total no suele exceder de 40 m.

El segundo gran grupo de minas son las que poseen más de un filón de cierta entidad y con una separación de orden decamétrica entre éstos. En estos caso una vez reconocida parte de la mineralización en el pasado se pasa a un laboreo con cierta organización incluyéndose ya trabajos en estéril encaminados a facilitar los trabajos mineros, aparecen ya galerías de conexión entre filones o con la superficie excavadas en estéril o también pozos no encajados en filones. Es el caso de las minas de Garganta de los Montes, Bustarviejo, La Perla, etc.

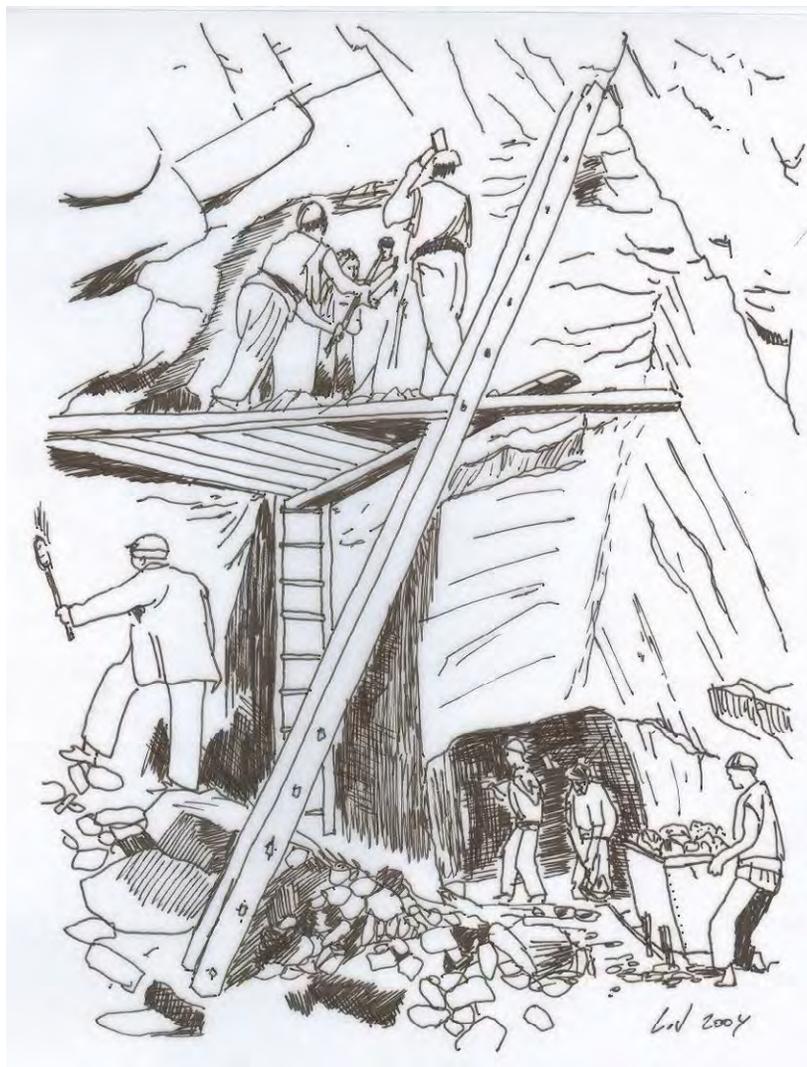


Figura 131: explotación con galería de arrastre. Dibujo propio.

4.3.5.- ENTIBADOS EN MADERA, CUADROS Y MAMPOSTAS

No queda reconocible ninguna galería minera en la Sierra de Guadarrama con entibación sistemática en madera, a excepción de la mina de magnesita del Puerto de la Cruz Verde. Históricamente sabemos que algunas de las minas con entibado sistemático, pero hoy día no practicables fueron: Mina La Perla (Prádena del Rincón) todas las de La Acebeda, en general caso todas los embarques, así como galerías de Gargantilla y Garganta de los Montes.

En general la roca de Guadarrama es excelente y para pequeñas galerías no se requiere sostenimiento, salvo en emboquilles.

En la mina de plomo de Nuestro Padre Jesús encontramos una galería con tres cuadros completos. En Bustarviejo, sólo se entibaban, mediante estemples o codales, algunos de los filones o bolsadas más fracturadas. En esta mina encontramos algunos jabalcones en confluencia de galerías de arrastre. Ahí también encontramos la única llave completa de madera, que puede ser atribuible al siglo XIX.



Figura 132: Detalle de una llave de madera en la mina de plata d Bustarviejo. Probablemente anterior al siglo XIX. Fotografía tomada en 2007.

En las minas de la Sierra de Guadarrama no hemos encontrado referencia alguna ni vestigio de entibación metálica.

4.3.6.- EMBOQUILLES EN ROCA Y EN SUELO, ROCA FRACTURADA

Uno de los principales problemas de estabilidad en minas filonianas de estas características es el emboquille. Muchas veces es la bocamina la única parte que presenta problemas de sostenimiento: se trata de una zona de suelo o roca fracturada que da paso al encajante competente. Esta zona, en general no posee más de cinco metros de longitud inestable y se reviste de ladrillo o de mampostería de piedra.

Ejemplos de emboquilles con sostenimiento los encontramos en las minas Aníbal (Oteruelo del Valle), y la única galería practicable de Peñalvero (Colmenar Viejo). Los emboquilles que se sostienen mediante cuadros de madera, revisten una gran inestabilidad. Encontramos numerosos ejemplos derrumbados o precarios: todos los de la Acebeda estaban según archivos entibados y se han venido abajo. La galería de acceso a la mina de Nuestro Padre Jesús ha colapsado.

La mina Aníbal de Oteruelo, posee una roca en general muy fracturada e inmediatamente después del emboquille sostenido ha colapsado la galería produciendo un pequeño cráter-dolina. Igual sucede con la mina San José de Gargantilla, donde se produjo un colapso en 2005. En 2007 se vinieron abajo 10 metros del emboquille de la mina inferior de Peñalvero, en Colmenar del Arroyo. En 2006 habíamos visitado esta galería.



Figura 133: Emboquille de la galería inferior de Peñalvero. Fotografía tomada en 2005. Visitamos de nuevo la mina en 2006. En 2007 se derrumbaron 10 m de galería.

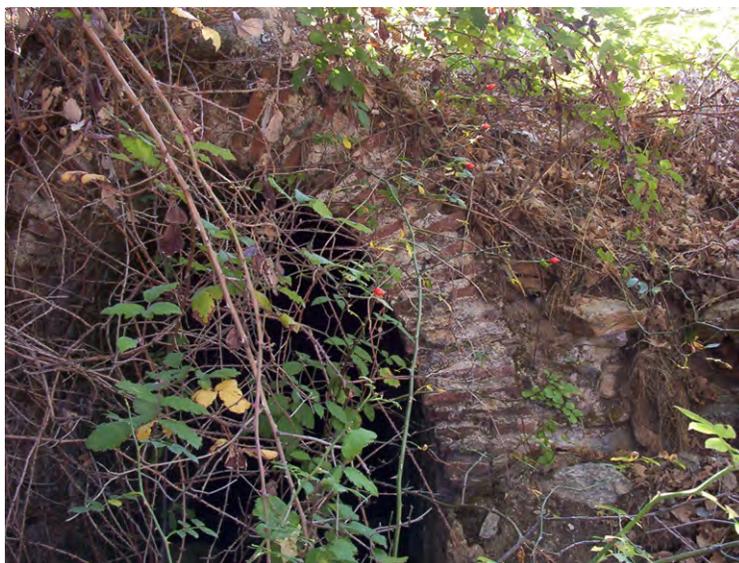


Figura 134: Detalle de la rosca de ladrillo del emboquille de la mina Aníbal, de Oteruelo del Valle, del siglo XIX. Fotografía tomada en 2003.

Otras muchas bocaminas “arrancan en terrenos muy competentes o muy poco fracturados, tal es el caso de todas las minas de Miraflores de La Sierra, la mina Indiana de Bustarviejo, Navalagamella (salvo alguna galería auxiliar), Cabeza Lijar, la mina de Casa Blanca de El Pardo, etc.

4.4.- TRANSPORTE INTERIOR Y EXTERIOR. MÁQUINAS DE ELEVACIÓN

4.4.1.- MALACATES

La mayoría de las minas de la Sierra, desde el siglo XVI hasta finales del XIX, poseían un malacate movido por energía de sangre, (ejemplo de la mina La Perla, 1890). Encontramos diversas citas sobre estos. El único vestigio ineludible de este tipo de malacates lo encontramos en la mina San Francisco de Horcajuelo de la Sierra, donde se conserva la plaza así como la base sobre la que se apoyaba el eje de giro. La mayoría de los pozos presentan las marcas de guías de madera.

La máquina de vapor llega a los malacates y bombas de extracción en las minas de Gargantilla y Garganta de los Montes, no teniéndose referencias en más minas, tan sólo mención de proyectos de implantación, como fue el caso de Colmenarejo. A lo largo del siglo XX se introdujeron los tornos eléctricos movidos por generadores portátiles en las minas de Garganta de los Montes, minas de Los Maderones en Colmenar Viejo, minas de Nuestro Padre Jesús, mina San Eusebio (plano inclinado con cabestrante) y Bustarviejo.

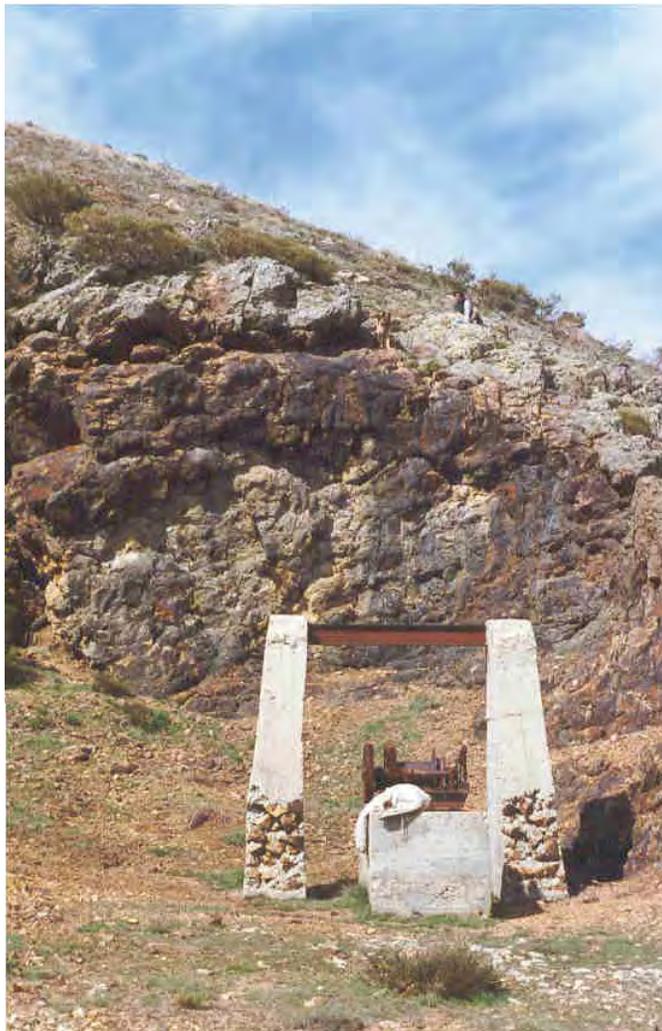


Figura 135: Pozo Maestro de Bustarviejo en 1996.

4.4.2.- TORNOS DE INTERIOR



Figura 136: Grabado de un torno manual de interior. La Vie Souterraine (Simonín, 1867).

Los tornos de interior en las minas eran todos ellos manuales. Los hemos encontrado en la mina de Bustarviejo y en Colmenarejo. En la primera de ellas encontramos además en el pozo mayor interno, un enorme cubo metálico que dudamos fuera movido por personas. Cabe pues la posibilidad de un baritel subterráneo movido por mulas.



Figura 137: En primer plano, detalle del torno manual de la galería principal o de arrastre de Bustarviejo. Probablemente del siglo XIX. (Fotografía de 2003).



Figura 138: Canasto metálico de la gran sala del Pozo Maestro de Bustarviejo.

4.4.3.- TRANSPORTE EN LA MINA: CANASTOS Y VAGONETAS

Todas las minas de la Sierra han tenido muy poco desarrollo horizontal, en casi ninguna encontramos raíles para vagonetas. Encontramos marcas de los raíles o traviesas únicamente en Bustarviejo (los mejor conservados), San Eusebio y Navalagamella. En estas dos ultimas minas hemos encontrado vagonetas metálicas (años 1960).



Figura 13912: Carretilla recuperada del pozo maestro de Bustarviejo.

4.4.3.- TRANSPORTE A LAS FÁBRICAS DE BENEFICIO

El transporte se realizaba mediante burros, mulas y en algún caso carros de bueyes. En la bocamina de la mina La Carcamala de Miraflores hemos encontrado una herradura de buey.

4.4.4.- DESAGÜE

Debió de ser manual, mediante bombas de achique o en algún caso mediante canjilones. No hemos encontrado más que una estructura de desagüe, en las minas de La Osera. El agua del interior era empleada en muchas de estas minas en las pequeñas plantas de concentración instaladas a pie de mina, tal y como atestigua la “Estadística Minera” en el caso de Gargantilla de Lozoya. La mayor galería de desagüe excavada y que tenemos noticia es la de la mina Indiana de Bustarviejo. En las escombreras de esta mina aparecen restos de conducciones metálicas para el desagüe de pozos.

4.5.- MINERALURGIA

4.5.1.- CONCENTRACIÓN DE MINERALES METÁLICOS

En cuanto a la concentración de menas metálicas debemos de diferenciar todos los sulfuros metálicos de la casiterita. Los únicos vestigios de cierta entidad que quedan, están pues ligados a la concentración aluvionar de casiterita en la segunda mitad del siglo XX.

Los mejores restos industriales conservados completos son los de la mina Maribel y la Mina Asturias. Sin embargo, se conservan algunos vestigios en el lavadero Isabelita de Lozoyuela, diversas zonas de Torreldones, Hoyo de Manzanares y la mina Carcavalindo de Las Rozas.

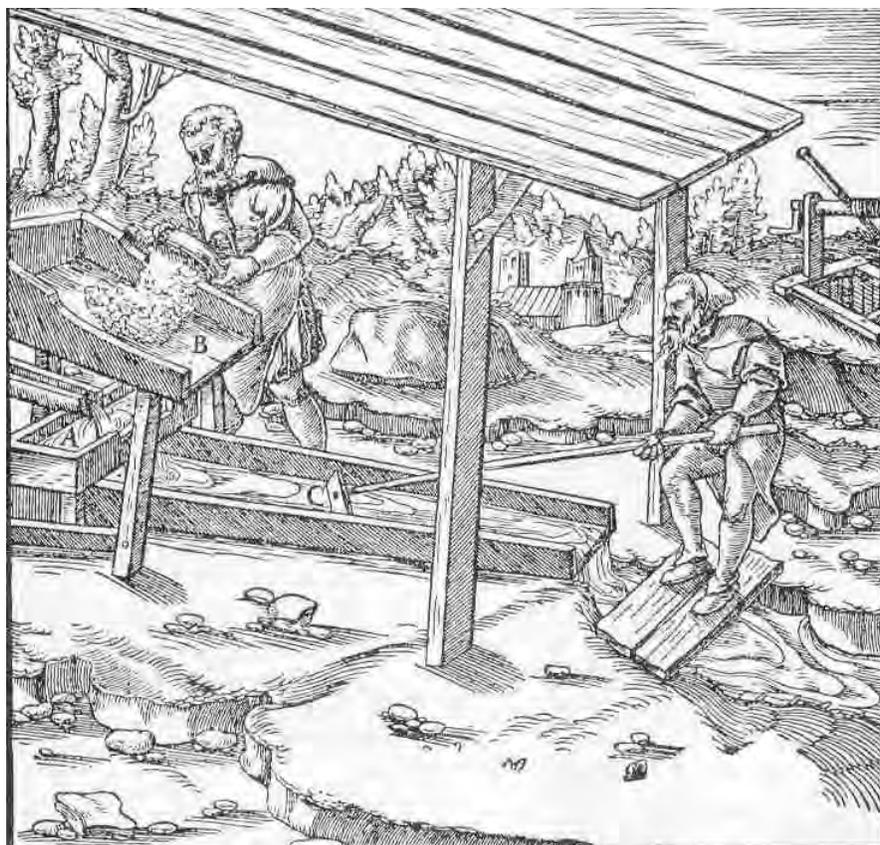


Figura 140: Grabado De Re metallica, concentración en lámina de agua.

Por otro lado reconocemos la dificultad para definir la concentración del resto de menas metálicas. En general el mineral era triturado a bocamina y separado de los “ligeros” mediante mesas de sacudidas o rudimentarias artesas. Tal es el caso de Bustarviejo en el siglo XVII o de Garganta de los Montes hasta mediados del XX. Únicamente en el caso de la mina Fernandino se llevó a cabo la concentración en celdas de flotación. Los sulfuros una vez separados de parte de la ganga eran tostados al aire libre, para liberar el azufre y en menor medida arsénico.

4.5.2.- MOLIENDA

Existen referencias de trituración mediante bocartes en las mina de Arroyo Maderones en Colmenar Viejo.



Figura 13: Cono Simons, abandonado junto a la bocamina de Bustarviejo.

El mejor vestigio de molienda es sin duda el molino del Indiano (1650-1660) de la mina de Bustarviejo, joya de la minería madrileña y recientemente restaurado por la Dirección General de Patrimonio de la Comunidad de Madrid. Se trata de un interesante molino eólico, con muela de cuarzo filoniano.



Figura 142: Molino eólico de mineral, de Bustarviejo (2004).

4.5.4.- CONCENTRACIÓN PRIMARIA POR GRAVEDAD. MESAS DE SACUDIDAS

Los minerales aluvionares como la casiterita se concentran en mesas de sacudidas, de las que quedan vestigios en el arroyo de Valtraviesa (mina Asturias) y en la mina Maribel (Galapagar).



Figura 143: Trabajos de mantenimiento de las mesas de sacudidas de la mina Maribel, en Galapagar (2006).

CAPITULO 5.- VALORACIÓN DE LA MINERÍA METÁLICA
Y ESPACIO SUBTERRÁNEO DE LA COMUNIDAD DE
MADRID- PROPUESTA DE FUTURAS ACTUACIONES

5.1.- CRITERIOS INTRINSECOS DE VALORACIÓN

Se trata de valorar uno a uno cada uno de los vestigios, y en base a las puntuaciones obtenidas en diversos apartados, sobre una puntuación máxima de 100. A partir de ahí se establecen unas prioridades de actuación e itinerarios. La clasificación establecida es la siguiente:

Máxima puntuación es 100

Estado de conservación	20 Todos los vestigios están en pie 15 Se pueden distinguir inequívocamente la utilidad de la mayor parte de los vestigios 10 Se distinguen bien varios vestigios 5 Sólo se aprecian escombreras, pozos y galerías 0 Sólo queda el toponimo o el enclave
Accesibilidad	20 Se puede llegar con un turismo fácilmente 15 Se accede por una pista apta para vehículos 4x4 10 Se accede a pie por un sendero menos de 5 km 5 Se accede por un sendero más de 5 km 0 No tiene acceso por sendero
Época	10 Mina del siglo XV 8 Mina de los siglos XVI a XVIII 6 Mina del siglo XIX 4 Mina del siglo XX
Interés docente	20 Presenta elementos únicos en España 15 Reviste interés para Universidades 10 Reviste interes para Enseñanza Secundaria 5 Elementos de dudosa comprension 0 No presenta interes alguno o los vestigios han desaparecido
interés turístico	20 El paraje merece una vista exclusiva 15 Se encuentra a menos de 5 km de un paraje turístico conocido 10 Puede integrarse en una ruta turística a pie o en coche 5 Escaso interes turístico 0 No tiene interes turístico
Interés científico	10 Es un referente de estudio y existe abundante bibliografía 8 Punto de interés para la comprension geologico minera de Guadarrama 6 Punto de cierto interés científico en el marco local o comarcal 3 Paraje escasamente conocido 0 Punto sin interes
Suma- puntuacion significado	
mayor de 81	Mina con grandes posibilidades de puesta en valor
61 a 80	Mina de cierto interés, merece una labor de intervencion somera, paneles didacticos
45 a 60	Merece ser nombrada en itinerarios y merece solamente labores de seguridad de sus labores
menor de 45	No tiene interés alguno que merezca acciones de preservacion

Tabla 50: Parámetros de puntuación de la “calidad” de las minas abandonadas. En el apartado de interés docente, la singularidad cómo elemento único se refiere a un elemento único desde el punto de vista también docente.

valoracion patrimonial de labores mineras metalicas de la comunidad de madrid										
mina nº	nombre	municipio	estado de conservacion	puntuacion						suma
				accesibilidad	epoca	interes docente	interes turistico	interes cientifico		
1	sinforosa	robregordo	0	5	8	0	0	0	13	
2	prados umbria	la acebeda	0	10	8	5	0	0	23	
3	platera	la acebeda	10	10	8	10	10	6	54	
4	carcabon	la acebeda	5	10	8	5	10	6	44	
5	pocillo antonia	la acebeda	5	10	8	5	5	0	33	
6	pozos la felicidad	la acebeda	5	10	6	5	5	6	37	
7	cabeza rullueco	la acebeda	15	0	6	10	0	6	37	
8	la cazadora	horcajuelo	5	15	6	10	5	8	49	
9	san francisco	horcajuelo	10	15	6	10	15	8	64	
10	astilleros	horcajuelo	5	10	6	5	5	6	37	
11	cueva de moros	montejo	5	10	6	5	15	0	41	
12	mina la perla	pradena	0	20	6	0	0	0	26	
13	mina caridad	lozoyuela	5	15	6	5	5	3	39	
14	mina chilena	garganta montes	5	20	6	5	0	0	36	
15	fernandito	garganta montes	15	20	4	15	10	8	72	
16	cella	garganta montes	5	5	4	10	5	8	37	
17	san jose	gargantilla	5	20	6	15	10	6	62	
18	mirla	gargantilla	5	20	6	5	0	3	39	
19	indiana	bustarviejo	15	15	8	15	20	10	83	
20	anibal	oteruelo	10	10	6	10	5	8	49	
21	el cubero	miraflores	10	10	6	15	10	6	57	

Tabla 51: Resumen de la valoración de las 21 primeras minas

Una vez catalogados y recorridos todos los vestigios objeto de este estudio resulta de gran actualidad clasificarlos. Mediante los criterios ya establecidos en la metodología, se puntúan una a una las minas y se integran en una u otra categoría.

De un total de 57 minas, 18 han resultado en la tercera categoría: de 45 a 60 puntos, lo que implica que la mina merece ser nombrada en itinerarios que ya existan (o que se puedan crear) en alguna localidad turística y llevar a cabo una intervención somera (un cartel y poco más).

Asimismo, 11 minas han resultado en la segunda categoría, de 61 a 80 puntos; esta categoría implica que merece la pena establecer un itinerario a la mina o un desvío de la carretera, cartel, etc. Siempre que se encuentre próxima a una vía de comunicación o municipio, merece una labor de intervención somera,

que sea algo más que un simple cartel didáctico (elaboración de un folleto en el pueblo, etc.).

Por último 6 minas han resultado en la primera de las categorías, de más de 81 puntos: son minas que merecerían su rehabilitación y supondrían un atractivo por sí sólo para la localidad en que se encuentran. El grado de intervención en cada una de ellas podía ser muy variable y dependiendo del alcance del proyecto.

Las minas catalogadas han sido las siguientes:

La minería de los metales en la provincia de Madrid: Patrimonio minero y puesta en valor del espacio subterráneo

Valoración patrimonial de labores mineras metálicas de la Comunidad de Madrid									
MINA Nº	NOMBRE MINA	MUNICIPIO	ESTADO DE CONSERVACION	PUNTAJACION					SUMA
				ACCESIBILIDAD	EPOCA	INTERES DOCENTE	INTERES TURISTICO	INTERES CIENTIFICO	
1	Sinforosa	Robregordo	0	5	8	0	0	0	13
2	Prados Umbria	La Acebeda	0	10	8	5	0	0	23
3	Platera	La Acebeda	10	10	8	10	10	6	54
4	Carcabon	La Acebeda	5	10	8	5	10	6	44
5	Pocillo Antonia	La Acebeda	5	10	8	5	5	0	33
6	Pozos La Felicidad	La Acebeda	5	10	6	5	5	6	37
7	Cabeza Rullueco	La Acebeda	15	0	6	10	0	6	37
8	La Cazadora	Horcajuelo	5	15	6	10	5	8	49
9	San Francisco	Horcajuelo	10	15	6	10	15	8	64
10	Astileros	Horcajuelo	5	10	6	5	5	6	37
11	Cueva de Moros	Montejo	5	10	6	5	15	0	41
12	La Perla	Pradena	0	20	6	0	0	0	26
13	Caridad	Lozoyuela	5	15	6	5	5	3	39
14	Chilena	Garganta montes	5	20	6	5	0	0	36
15	Fernandito	Garganta montes	15	20	4	15	10	8	72
16	Celia	Garganta montes	5	5	4	10	5	8	37
17	San Jose	Gargantilla	5	20	6	15	10	6	62
18	Mirla	Gargantilla	5	20	6	5	0	3	39
19	Indiana	Bustarviejo	15	15	8	15	20	10	83
20	Anibal	Oteruelo	10	10	6	10	5	8	49
21	El Cubero	Miraflores	10	10	6	15	10	6	57
22	Carcamala	Miraflores	10	15	6	15	15	6	67
23	Aleman	Miraflores	5	20	6	10	10	3	54
24	Verdadera	Guadalix	5	15	4	10	5	8	47
25	Sardinera	Guadalix	5	10	4	5	0	3	27
26	San Isidro	Guadalix	5	5	4	10	5	3	32
27	Navalvillar	Colmenar viejo	10	5	10	5	5	10	50
28	Pocito Lobos	Colmenar viejo	5	10	8	10	5	8	46
29	San Marcelino	Colmenar viejo	15	10	8	15	20	8	76
30	Asturias	Colmenar viejo	10	15	4	20	20	8	82
31	Casa Blanca	Colmenar viejo	15	15	8	10	0	8	56
32	El Canchal	Hoyo Manzanares	5	15	4	20	5	8	57
33	El Pendolero	Torrelodones	5	5	4	5	5	6	30
34	Fuente Testarillo	Torrelodones	10	20	4	10	5	8	57
35	Arroyo Trofas	Torrelodones	5	20	8	10	10	8	61
36	Cantos Negros	Torrelodones	10	15	4	10	5	8	52
37	Fe	Moralzarzal	10	5	4	15	10	6	50
38	Los Limos	Collado mediano	5	20	4	5	0	3	37
39	Las Cortes	Navacerrada	10	10	6	15	15	8	64
40	Primera	Guadarrama	15	20	4	15	20	8	82
41	La Osera	Colmenarejo	15	15	8	10	10	8	66
42	Antigua Pílar	Colmenarejo	15	15	6	15	20	10	81
43	Maria	Colmenarejo	5	10	6	10	10	6	47
44	Jaime	Colmenarejo	5	15	6	5	10	0	41
45	Pozo Picaza	Colmenarejo	5	10	8	10	10	6	49
46	Liebre	Colmenarejo	5	20	4	10	10	6	55
47	Chaparrilla	Colmenarejo	5	15	8	5	5	3	41
48	Cabeza Aguda	Colmenarejo	5	10	8	5	0	0	28
49	Vijias	Navalagamella	5	15	4	10	10	6	50
50	Montañesa	Navalagamella	15	15	4	15	20	8	77
51	Cruz Verde	Robledo Chavela	20	20	4	15	20	10	89
52	Fuente Canales	Colmenar Arroyo	5	15	4	10	5	3	42
53	La Carrala	Colmenar Arroyo	5	10	4	10	5	6	40
54	San Eusebio	Colmenar Arroyo	10	20	4	15	10	10	69
55	Padre Jesus	Colmenar Arroyo	15	15	4	15	20	8	77
56	Corvera	Colmenar Arroyo	5	15	4	5	0	6	35
57	Asturias	Robledo Chavela	5	15	4	10	10	6	50
58	Maribel	Galapagar	20	20	4	20	20	8	92

Tabla 52: Minas catalogadas.

5.2.- INTERVENCIÓN SOMERA: 45 – 60 PUNTOS

Las minas a las que consideramos deben de agruparse en esta categoría son:

La Platera (mina numero 3, La Acebeda), La Cazadora (8, Horcajuelo de la Sierra), Aníbal (20, Oteruelo del Valle), El Cubero (21, Miraflores de la Sierra), El Alemán (23, Miraflores de la Sierra), Verdadera (24, Guadalix de la Sierra), Navalvillar (27, Colmenar Viejo), Pocito de los Lobos (28, Colmenar Viejo), Casa Blanca de El Pardo (31, Hoyo de Manzanares), El Canchal (32, Hoyo de Manzanares), Fuente del Testerillo (34, Torrelodones – Hoyo de Manzanares), Cantos Negros (36, Torrelodones), Mina Fé (37, Moralzarzal), Mina María (43, Colmenarejo), Pozo de la Picaza (45, Colmenarejo), Minas de la Liebre (46, Colmenarejo), Minas de las Viñas (49, Navalagamella), mina Asturiana (57, Robledo de Chavela).

La mina de La Platera, en La Acebeda, se ubica cerca de un merendero y no lejos del propio casco urbano. Se requiere un vallado de seguridad a lo largo de la calicata, así como en la vía férrea, pues se atraviesan peligrosos taludes antes de llegar a la mina. Es recomendable la colocación de un cartel explicativo de la singular historia de esta mina de plata.

La mina de La Cazadora (Horcajuelo) se incluiría en las acciones de adecuación a realizar en la vecina de San Francisco.

La adecuación de las minas de El Cubero y El Alemán en Miraflores de la Sierra, ya despertó el interés de la Corporación Municipal en 2003. La ubicación de estas minas es ideal, en un entorno muy transitado por excursionistas.

Las minas Verdadera, Navalvillar y Pocito de los Lobos, alrededor del Cerro de San Pedro pueden integrarse en un único recorrido circular. El enfoque de este itinerario es poner de manifiesto los recursos geológicos y mineros del Cerro de San Pedro y su entorno. Todas las minas son fácilmente accesibles por pistas.

La mina de la finca de Casa Blanca de El Pardo está en una propiedad reticente a las visitas, que hizo la excepción para el catálogo de esta tesis. Es una singular mina en la que a priori no se realizará ninguna actuación.

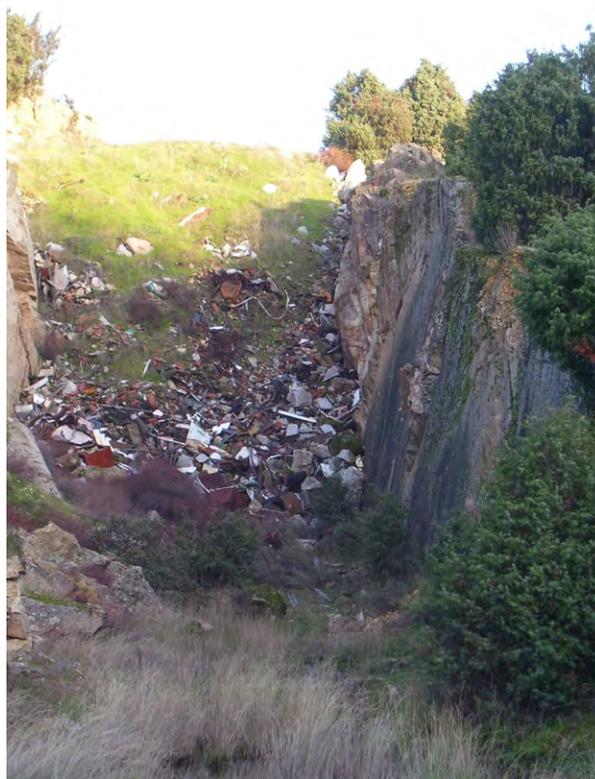


Figura 144: Calicatas rellenas de basura en las minas de Fuente del Testerillo (Torrelodones – Hoyo de Manzanares).

Las minas de El Canchal, Fuente de El Testerillo y Cantos Negros (Hoyo de Manzanares- Torrelodones) se encuentran todas ellas junto a pistas forestales relativamente próximas a la carretera comarcal que une Colmenar Viejo con Hoyo de Manzanares y Torrelodones, una zona muy transitada por excursionistas y aficionados a la bicicleta de montaña. En todas ellas puede hacerse hincapié en la mineralogía. Se requieren vallados de seguridad, especialmente en los enormes desmontes de las minas de Fuente del Testerillo. Los vestigios mineros, a excepción de pozos y catas son difícilmente interpretables.

La mina Fé, de Moralarzal se ubica en un punto de difícil acceso. Se trata de una crestería con impresionantes vistas de la Cuerda Larga de la Sierra de Guadarrama. Podía ser interesante establecer un sendero que la recorriese. Alguna de las casas de la mina, puede convertirse en abrigo de excursionistas con poco trabajo.

Las minas María, minas de La Liebre y Pozo de la Picaza en Colmenarejo se integrarían en el proyecto de restauración de la mina Antigua Pilar, de Colmenarejo. Se trata de un proyecto que ya ha comenzado, bajo auspicio de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de La Comunidad de Madrid y con la colaboración de la Escuela de Ingenieros de Montes.

Las minas de Las Viñas y la mina Asturiana se integrarían en un gran itinerario geológico y minero que recorrería Navalagamella, Colmenar del Arroyo y Robledo de Chavela.

5.3.- INTERVENCIÓN MEDIA: 61- 80 PUNTOS

Las minas seleccionadas en esta categoría son: San Francisco (9, Horcajuelo de la Sierra), Fernandito (15, Garganta de los Montes), San José (17, Gargantilla de Lozoya), La Carcamala (22, Miraflores de la Sierra), San Marcelino (29, Colmenar Viejo), Arroyo de Trofas (35, Torrelozanes), Las Cortes (39, Navacerrada), La Osera (41, Galapagar), La Montañesa (50, Navalagamella), San Eusebio (54, Colmenar del Arroyo), Padre Jesús (55, Colmenar del Arroyo).

Se trata de minas que merece la pena visitar por sí mismas. Podemos colocar un cartel en la carretera o en el municipio más cercano y una vez en la mina interpretar mediante reconstrucciones y carteles numerosos aspectos geológicos y mineros.

Mina San Francisco. Encontramos tanto aspectos geológicos (minerales argentíferos de interés en la escombrera, falla con grafito, etc.) como mineros (base de un malacate, escombreras, ruinas, pozos y una galería). Se trata de un lugar sumamente interesante, sobre el que ya se interesó la alcaldesa de 2004.



Figura 145: Restos de las celdas de flotación de la mina Fernandito, de Garganta de los Montes (cortesía de Octavio Puche).

La mina Fernandito, en Garganta de los Montes, fue una de las últimas minas de interior en abandonarse en la provincia. Las construcciones son las mejor conservadas de la provincia y merece una excursión de la Escuela de Minas y la Facultad de Geológicas. Además de numerosísimos elementos de interés, es la única mina de Madrid en la que se empleó la técnica de flotación para separar la ganga de la mena. Quedan restos de las celdas, así como los finos del lavadero.

La mina San José, de Gargantilla de Lozoya, poseía unas gigantescas escombreras que fueron empleadas como áridos para carreteras y balasto para vías férreas. La mineralogía que aparece en las escombreras es sumamente interesante, así como el hecho de observar un filón vaciado en una importante longitud. La zona presenta peligros objetivos que deberán ser remediados de

inmediatos: extracción de agua de pozos sin control, hundimientos de galerías, etc.

La mina La Carcamala, en Miraflores de la Sierra se encuentra en muy buen estado. Resulta interesante recorrer su galería, que tiene una longitud aproximada de 30 m. Se ubica, sin embargo en una propiedad particular. Tal y como se establece en minas de este tipo en el parque minero de Kongsberg, Noruega, se podría colocar un cartel a la entrada. Este cartel explicaría las labores mineras y recomendaría entrar en la galería con una linterna.



Figura 146: Entrada a la mina La Carcamala en Miraflores de la Sierra (2007).



Figura 147: Vista de la bocamina de La Carcamala desde el interior (2007).

La mina San Marcelino es una interesantísima labor minera del siglo XIX sobre trabajos anteriores. Por desgracia en los últimos años se ha deteriorado notablemente. El emboquille de la mina inferior ha colapsado, No es recomendable recorrer las galerías y solamente poner en valor adecuadamente (con desbroce, etc.) el espectacular emboquille revestido de mampostería.

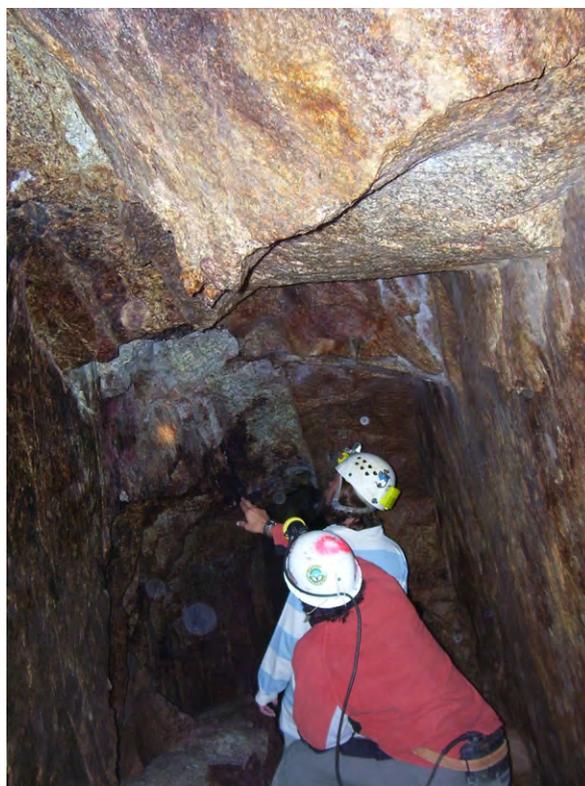


Figura 148: Revisando el estado de las galerías de la mina San Marcelino, en 2007. Se ha deteriorado el macizo notablemente, con peligrosas caídas de cuñas de roca y filtraciones de agua.

La mina del Arroyo de Trofas, en Torreloz tiene un notable interés desde el punto de vista mineralógico. La paragénesis de cobre y uranio es única en Madrid. Se están llevando a cabo estudios sobre las mineralizaciones radioactivas de Madrid, siendo esta mina una de las más interesantes al respecto. Los vestigios mineros no revisten interés alguno, pero las escombreras deberían de protegerse.

La mina de las Cortes es una galería en excelente estado de conservación que puede recorrerse sin riesgo alguno por excursionistas. Realizamos una visita

técnica a la misma con miembros de la corporación local de Navacerrada para comenzar un proyecto de puesta en valor: cartelería, itinerario a la mina y desbroce. No sabemos por qué motivo se paralizó.



Figura 149: Visitantes en la mina de Las Cortes, 2004.

Las minas de la Osera, en Galapagar tienen un indudable valor histórico por ser de los pocos vestigios de las primeras minas explotadas en la comarca, en el siglo XVII.

La mina La Montañesa, en Navalagamella, fue la primera mina en la que investigamos su posible puesta en valor, en el año 2002. Tras varios estudios y solicitud de información a la Comunidad de Madrid, se nos notificó de la existencia de un nido de Águila Imperial en sus inmediaciones lo que hacía inviable cualquier tipo de trabajo en ella.

La mina San Eusebio ha recibido regularmente visitas de estudiantes de Universidad por su interés minero y mineralógico. Realizamos un reportaje en la misma con la televisión autonómica “Telemadrid”, a través del programa “Madrid Directo” en 2003. Por desgracia en 2007 se restaura todo el espacio y has desaparecido la práctica totalidad de vestigios. Desde 2008 el entorno no tiene interés minero – mineralógico alguno.

Las minas de “Nuestro Padre Jesús” son los más interesantes desde el punto de vista minero que queda en la comarca de Colmenar del Arroyo. Parece mentira lo poco que va quedando de una de las zonas más mineras de la provincia. Todavía se pueden recoger interesantes minerales del plomo, cobre y cinc, así como apreciar de los mejores vestigios mineros de la provincia: pozos, casas de máquinas, de mineros, galerías, etc.

5.4.- MINAS A PONER EN VALOR: MÁS DE 81 PUNTOS

Son minas con buenas posibilidades de hacerlas visitables, especialmente por su interés subterráneo o por la cantidad de vestigios industriales. En todas ellas se podría establecer una tarifa de entrada y un centro de visitantes.

1. Indiana (19). Mina de Interior y fundición de plata y arsénico. Bustarviejo.
2. Asturias (30) o lavadero de Valtraviesa. Impresionante lavadero de estaño. Colmenar Viejo.
3. Cabeza Lijar o Primera (40). Mina de interior de volframio y cobre. Guadarrama.
4. Antigua Pilar (41). Mina de interior de cobre. Colmenarejo
5. Cruz Verde (51). Se incluye aquí por su valor patrimonial; aunque no se ha estudiado en esta tesis por ser de magnesita. Zarzalejo- Robledo de Chavela.
6. Mina Maribel (58). Impresionante lavadero de casiterita y Tierras Raras. Galapagar.

5.5.- PUESTA EN VALOR DEL PATRIMONIO. ITINERARIOS

La forma de poner en valor de todo este patrimonio descrito es muy variable, podemos distinguir 4 grados de itinerarios:

- 1.- Mina única con cartel, desvío desde una carretera.
- 2.- Itinerario por el exterior de varias minas con carteles, senderismo.
- 3.- Mina visitable.
- 4.- Coto minero, con mina visitable y senderos satélites.

A continuación describiremos los itinerarios en los que hemos agrupado las principales minas interesantes. Los senderos temáticos pueden integrarse en senderos turísticos que ya existen en las localidades por la cantidad de puntos geológicos de interés o se pueden crear otros nuevos:

ITINERARIO 1: VALLE LOZOYA

Este itinerario recorre el Valle de Lozoya, y ambas vertientes de la Sierra del Mondalindo- Morcuera.

La primera parada es la Fuente del Collado en Bustarviejo, donde se encuentra el famoso manantial, desde esta zona, históricamente conocida por la excelente calidad de sus ortosas, ascendemos a la mina de plata Indiana. Es posible recorrer la zona exterior de la explotación, donde se encuentra la antigua fundición a pie de mina, el molino del Indiano (1659) y las labores subterráneas cuyo emboquille se está acondicionando actualmente.

Las siguientes paradas son en la vecina localidad de Miraflores de la Sierra:. El punto principal es la mina La Carcamala, que con muy poco trabajo podría ser incluso visitada por el interior de forma libre, con linterna. Cada mina requiere su cartel explicativo, añadiríamos la mina de El Cubero, camino de La Morcuera. De ahí pasamos al valle de Lozoya por el Puerto de la Morcuera. Antes de llegar al propio valle, en la parte baja del arroyo quedemos a un lado se encuentra la mina Aníbal, de Oteruelo del Valle, difícil de encontrar.

La siguiente parada es en Gargantilla de Lozoya, ayuntamiento que mostró interés en dinamizar su patrimonio histórico. Aunque queden pocos vestigios de la legendaria mina San José (más de 1 km de filón con galerías y docenas

de pozos), se podrá sacar mucho provecho de las ruinas y escombreras existentes.

Terminamos el itinerario en la mina Fernandito, de Garganta de los Montes. Existen a varios senderos balizados y un centro de montaña en las afueras de esta localidad. La espectacular mina de cobre Fernandito se encuentra muy próxima.

ITINERARIO 2: HORCAJUELO DE LA SIERRA

La excursión a las minas de Horcajuelo de la Sierra se esta popularizando entre diversos colectivos de senderismo y turismo activo. Se visitaría el exterior de la mina La Cazadora y San Francisco, con posibilidad de entrada a esta segunda con linternas. De camino a Horcajuelo es parada casi obligatoria la villa medieval de Buitrago de Lozoya.

ITINERARIO 3: FRANJA DE HOYO DE MANZANARES HASTA COLMENAREJO

La excursión bordea el escalón meridional de la Sierra de Guadarrama, visitando minería de estaño, volframio, cobre y uranio.

La primera parada es la mina de “El Canchal” frente a las instalaciones militares de Hoyo de Manzanares. Se trata de una mina famosa por la extraordinaria calidad de cristales de molibdenita que en ella aparecieron. A pie podemos recorrer gran número de trabajos mineros superficiales y aluviones ricos en casiterita desde este punto hasta Torrelodones, recorriendo la antigua concesión de “El Pendolero”. Terminaríamos este primer recorrido en la mina de uranio del Arroyo de Trofas, en la carretera de Torrelodones a El Pardo. Esta última mina presenta una interesante paragénesis de minerales de cobre y uranio, que encontraremos en otras minas de cobre de Colmenarejo y Galapagar, si bien con menor profusión de radiactivos.

La siguiente parada sería la mina de cobre Antigua Pilar, en la carretera de Colmenarejo a Villanueva del Pardillo. El resto de minas del entorno resultan bastante difíciles de acceder.

ITINERARIO 4: COLMENAR VIEJO

Esta localidad está muy concienciada con la preservación del patrimonio histórico, las excursiones “mineras” pueden integrarse en el entorno la ermita de los Remedios (mina Navalvillar y pocito de los Lobos) y en el itinerario de batanes y puentes del río Manzanares (mina San Marcelino y lavadero Asturias). En estos momentos trabajamos junto con el consistorio local en la edición de un libro al respecto y la elaboración de varios senderos geológico-mineros.

5.6.- NORMATIVA APLICABLE A LA RESTAURACIÓN DE MINAS ABANDONADAS

Lo importante es estudiar las posibilidades de restauración de minas en su conjunto y crear un espacio patrimonial que atraiga visitantes por sí sólo. Algunas minas son “individuales”: Indiana, Cabeza Lijar, Cruz Verde, mina Maribel, y en cierta medida podríamos incluir la mina de Nuestro Padre Jesús. Otras podrían contar con otras minas y actividades en sus alrededores: minas de Colmenarejo y minas de Colmenar Viejo.

A la hora de acondicionar la mina deberíamos tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Se deberá valorar los posibles recorridos de visita a la mina, según la normativa de seguridad que se considere adecuada, evitando las zonas de mayor riesgo, y tratando de acceder a las zonas más vistosas de la explotación. Este estudio deberá realizar una estimación aproximada del coste económico de cada alternativa (ORCHE y PUCHE, 2002).
2. Hacer estudios previos para comprobar que la cavidad es globalmente estable, y auscultar zonas concretas de la mina para verificar que realmente lo son.

3. Se deben medir y analizar las condiciones ambientales de la mina, con el fin de valorar si se verifican las normas básicas de seguridad y confort que se deberían exigir. Así mismo, se deberá estudiar si una modificación en las condiciones ambientales, eventualmente generadas por la acción de las visitas, podría modificar las condiciones de estabilidad de la mina.
4. Una vez realizados estos estudios adicionales, se redactará un proyecto de acondicionamiento, que deberá incluir su viabilidad y valoración económica detallada.

En cualquier proyecto de puesta en valor o restauración de un espacio minero, máxime cuando va ser después visitado es obligatorio aplicar una normativa y una legislación. Pero la pregunta es ¿Cuál? En España no existe una normativa específica a aplicar a un proyecto de rehabilitación y aprovechamiento de minas abandonadas.

En general distinguimos dos etapas muy diferentes en una actuación de índole turístico en labores mineras abandonadas: la de rehabilitación y la de explotación.

Al respecto ORCHE (2004), divide la casuística de parques mineros en 6 grandes grupos:

- A. Minas ficticias construidas simulando ser minas reales. Son las denominadas minas imagen.
- B. Minas rehabilitadas sin actividad minera
- C. Minas no rehabilitadas sin actividad minera
- D. Minas con actividad minera que interrelaciona con el parque
- E. Minas con actividad minera que no interrelaciona con el parque
- F. Minas o partes de minas abandonadas que forman parte de una explotación minera activa mayor.

En el caso de la minería metálica de la Sierra de Guadarrama se va a tratar en todo caso de alguno de los tres primeros casos, pues ninguna de ellas tiene actualmente ni se prevé actividad industrial alguna. En el tercer caso C, minas no rehabilitadas, puesto que se trata de una mina abandonada y en ellas existen notables peligros deberá acometerse un proyecto de rehabilitación por lo tanto se incluyen en el grupo B.

En estos tres grupos vistos, durante el periodo de rehabilitación, si se emplea técnica minera, deberá aplicarse la legislación minera. En los casos en que no se emplea esta técnica, así como en el periodo de explotación como parque se deberá de adoptar una legislación de tipo general.

En el caso particular del grupo B y de minas subterráneas, como comenta ORCHE (2004): *“Una de las principales cuestiones que habría que analizar en estos parques del Grupo B (...) es si la legislación general que les es aplicable durante la explotación comercial es capaz de garantizar la seguridad de los visitantes, sobre todo en los espacios subterráneos”*.

La problemática es la misma que se genera en el caso de las cuevas turísticas. Un espacio subterráneo que se recorre a pie es muy similar a una mina en explotación con una mecanización moderada. Por lo tanto parece que la minera es la normativa más razonable. Por supuesto con la salvedad de los aspectos estéticos, pues no parece razonable que un visitante salga “negro” de la mina después de 45 minutos de visita.

La normativa minera es la única que regula de forma apropiada la problemática que puede presentarse en la explotación turística de un espacio subterráneo. No existe prácticamente normativa alternativa a la minería que regule estas cuestiones. La normativa de túneles ferroviarios o de carretera no se asemeja al posible uso ni a las secciones habituales a este tipo de espacios.

Debemos de tener en cuenta el uso que se le va a dar al espacio subterráneo, tanto en minas como en cuevas, de forma que los métodos

de sostenimiento dejen “ver” las estructuras que hacen el espacio objeto de la visita. La sección B de la ley de minas regula el espacio subterráneo para almacenamientos diversos, pero no hace mención a un aprovechamiento de tipo turístico, de hecho cuando esta legislación dio la luz, nadie en España pensaba siquiera en algo semejante.

“En resumidas cuentas, durante la fase de explotación comercial de los parques mineros se plantea una extraña contradicción que es la siguiente: interpretando estrictamente la legislación vigente no se puede aplicar la normativa minera en ellos pero, por otra parte, es recomendable e incluso necesario hacerlo para garantizar la seguridad de los visitantes. Consecuentemente, si la legislación minera no es aplicable, no es necesaria la presencia de un Director Facultativo”. (ORCHE, 2004).

Como corolario a estas reflexiones, no parece razonable en actuaciones tan particulares como estas aplicar normativas del todo diferentes en etapa de acondicionamiento y en etapa de aprovechamiento. Ya existe una normativa que regula el espacio subterráneo como es la ley de minas, simplemente hay que matizar algunos aspectos. Además tal y como apunta PEDRAZUELA (2007):

“Para una mayor seguridad jurídica en la solicitud de licencia de actividades o de uso del espacio natural subterráneo nos conviene aplicar literalmente (...) lo dispuesto en el artículo 51 del reglamento General para el régimen de la Minería. Dicho artículo aporta un impecable criterio a la hora de establecer la documentación técnica requerida para una solicitud de uso de una estructura subterránea, criterios técnicos no recogidos en ninguna normativa de otros ámbitos”.

Debemos pues ser muy rigurosos pues en el caso de producirse un percance las autoridades que han posibilitado la apertura al público de un espacio minero son responsables. La normativa más rigurosa al respecto parece ser la minera. En el caso de un hipotético percance, tal y como apunta PEDRAZUELA (2007): *“la única cobertura y defensa en el ámbito facultativo nos la presta el seguir las pautas y criterios técnicos de la normativa que mayor seguridad y especificidad aporte”.*

A título indicativo, la mina de Almadén, recientemente inaugurada al turismo dispone de un plan de labores y de un director facultativo. Es cierto que la mina de Almadén, (así como El Soplao, en Cantabria) dispone de una infraestructura y recursos no aplicables a otras minas del Estado. Es muy frecuente que las escasas minas rehabilitadas se asemejen a las cuevas turísticas. Se desarrollan en pequeños municipios con escaso nivel de recursos. El hecho de designar un director facultativo y la elaboración de un plan de labores anual no tiene porqué

constituir un impedimento, máxime cuando las explotaciones mineras de pequeña entidad son dirigidas por Facultativos comunes a varias de ellas.

En caso de que el municipio en el que se desarrolle la actividad no disponga de los recursos necesarios para sufragar estos gastos, se podrán elaborar convenios con la autoridad minera o los colegios profesionales, de forma análoga a lo que sucede con la figura del Arquitecto Municipal Honorífico”.

BOSQUEJO NORMATIVA APLICABLE

La normativa a cumplir en un proyecto de estas características que aúne acciones de tan diversa índole es muy variada. A título general las normativas que pueden ser necesarias incluso en una etapa como esta serían:

Norma Básica de Edificación NBE-CPI / 96, que regula el tema de salidas de emergencias, evacuaciones, etc., en edificios de diferente índole. Sería la norma a aplicar en un museo, etc. (Real Decreto 2177 / 1996).

Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, que regula el ámbito minero. (Real Decreto 863 / 1985).

Reglamento General de Policía de Espectáculos públicos y actividades recreativas. (Real Decreto 2812/82).

Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. (BOE 24/03/2007)

CAPÍTULO 6.- ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ESTABILIDAD GENERAL DE LA MINA PRIMERA (CABEZA LIJAR), GUADARRAMA



Figura 150: Vista de la galería de arrastre de la mina Primera en Cabeza Lijar, Guadarrama (cortesía Bocamina).

6.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MINA Y DE LAS LABORES SUBTERRÁNEAS

La Concesión “Primera⁵⁸” de Guadarrama es conocida también como “mina de Cabeza Lijar”. Se encuentra a los pies del cerro homónimo, y del collado denominado precisamente “de la mina”. Se trata de una pequeña explotación de W-Cu realizada mediante laboreo de interior y exterior. Se tienen muy pocos datos históricos sobre esta mina, desconociéndose la producción y los años exactos de laboreo.

Gracias al geólogo y montañero Luis Arenas, sabemos que en los años 1960 existían unas cabañas donde se alojaban los mineros, y los fines de semana, servían de abrigo a los montañeros y excursionistas que hasta allí llegaban. Recuerda los carbureros allí colgados. Existió al menos un pozo de comunicación con la mina en el entorno de la cantera, ya desaparecido.

La mina dispone actualmente de un único acceso mediante una galería a media ladera, con un posible pozo de ventilación colapsado, tal y como demuestra un cono de derrubios en un lateral de la galería de arrastre en el interior de la

⁵⁸ Coordenadas de la bocamina: 401754 E, 4504827 N y altitud 1700 m. La cantera: 401724 E y 4504895 N

mina. A grandes rasgos, las labores subterráneas constan de una galería horizontal en estéril de la cual parten 6 galerías en filón. El método es por realces con pequeñas cámaras filón abiertas y relleno del piso en las cámaras mayores, con alturas de explotación de 1,5 a 3 m. En las zonas de realces más altos, seguramente se apoyarían los mineros sobre camadas de estemples de madera en lugar de montones de esteril.

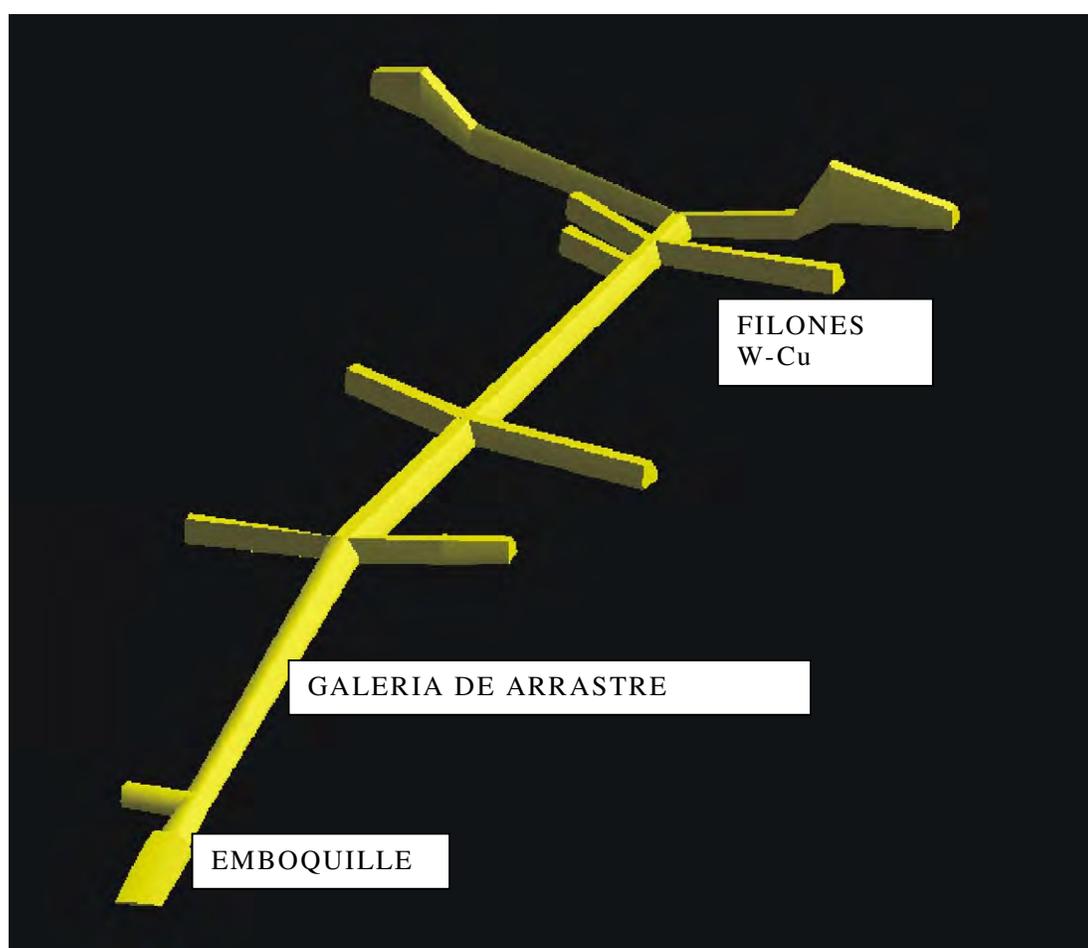


Figura 151: Esquema tridimensional de la mina de wolframio Primera.

La bocamina arranca en una trinchera con unos 2-3 m de talud y 15 m de longitud. El principio de la galería se encuentra inundado, aunque la presencia de troncos permite franquearlo (20-40 cm de agua).

Se atraviesa una primera galería corta a la izquierda, también inundada. A continuación, el resto del piso de la mina se encuentra seco, a excepción de algún cruce con transversales donde hay cortos rebajes del filón inundados. La dirección de la galería es sensiblemente constante a lo largo de todo su recorrido (80 m aproximadamente) con un rumbo de N 014 E y prácticamente horizontal (1° de caída hacia la bocamina). Las galerías en filón tienen unas direcciones de N120 a N100 E.

6.2.- MATERIALES Y GEOLOGÍA

El área de Cabeza Lijar corresponde a un afloramiento de leucogranitos de grano fino hercínicos y sobre parte de ellos se disponen coluviones de cantos y arenas cuaternarias (pleisto- holocenos). Este afloramiento tiene una disposición alargada con su eje mayor de 4 km según N-S y el menor 1,5 a 2 km.

El borde de esta estructura es un contacto ígneo a Este y Oeste con adamellitas débilmente porfídicas. Las fallas predominantes siguen una dirección N-030 (falla de Cueva Valiente) afectando a adamellitas y leucogranitoides y otra gran falla cartografiada en superficie 1 km (y que debe pasar por la mina) de N – 140E.

6.2.1.- MINERALOGÍA Y METALOGENIA

Los autores clásicos como VINDEL (1982) han estudiado la mineralización en el exterior de la explotación, presumiblemente en la cantera⁵⁹, donde aparece un potente filón de cuarzo con calcopirita y volframita. Se trata a su vez de la mineralización nº 174 (volframio/Cobre) referenciada en el “Libro Blanco de la Minería de la Comunidad de Madrid” (SÁNCHEZ, 1995).

⁵⁹ El estudio de los filones del interior de la mina sería pues, un trabajo original e inédito

VINDEL (1982) clasifica esta mineralización en un subgrupo como “Filones con volframita + sulfuros de Cu-Sn-Zn”. Este autor observa en superficie uno de los filones de dirección N 120°E / 85°N con una potencia de 0,3 metros. En bloques de granito extraídos reconocen filoncillos de cuarzo con volframita, molibdenita y calcopirita; presentando una disposición simétrica zonada la volframita y la moscovita en los bordes de los filones de cuarzo.

Según VINDEL (1982) la roca de caja es una leucoadamellita de grano fino, constituida principalmente por cuarzo, feldespatos potásicos (microclina), plagioclasa, moscovita, biotita subordinada y granates, como accesorios figuran apatitos y circón. VINDEL (1982) concluye la siguiente metalogenia a partir de la paragénesis y sucesión mineral:

Dos etapas metalogenéticas bien definidas, una de W-Mo y otra posterior de sulfuros de Cu-Sn-Zn. Los primeros minerales en formarse son wolframita y molibdenita. Posteriormente a su formación se produce una fase de brechificación (F2) que los fractura.

Después de esta fase de brechificación se deposita la scheelita reemplazando en parte a la wolframita y sulfuros de Cu-Sn-Zn,

6.2.2.- CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO

Se han realizado dos estaciones geomecánicas, una en la galería en estéril (E2) y otra en una galería transversal en filón mineralizado (E1). El espesor de la cobertera al final de las galerías es de aproximadamente 40 m.

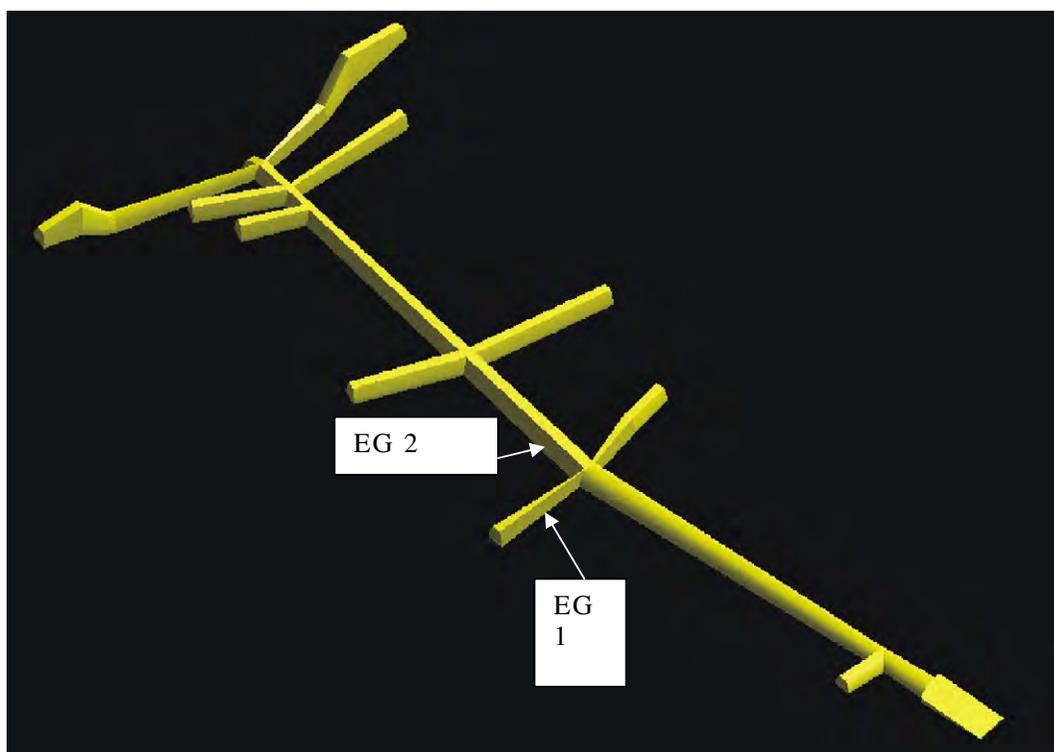


Figura 152: Zonas investigadas y modelizadas de la mina.

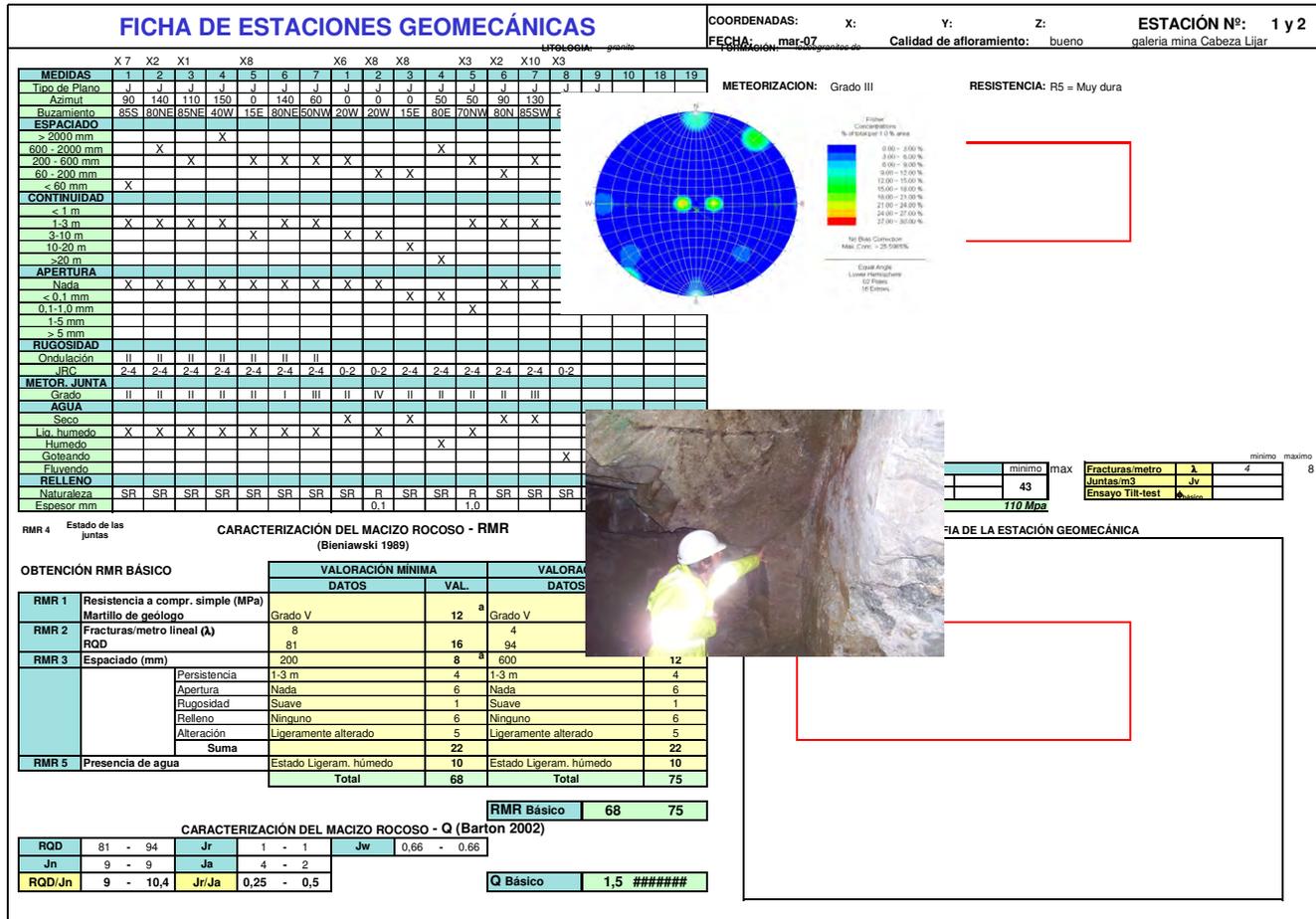


Figura 153: Estadillo geomecánico y tabla de caracterización RMR-Q de la mina de Cabeza Lijar (interior).

6.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA

El encajante es un leucogranito de grano fino con presencia de filoncillos de cuarzo con W-Cu y una limitada aureola de alteración de tipo hidrotermal. Dada la dificultad de realización de reconocimientos en la mina, se aplicó una metodología de caracterización basada en el esclerómetro, que es un aparato portátil de reducidas dimensiones, que pudo transportarse al interior de la cavidad.

A partir de los datos esclerométricos y los recopilados en la bibliografía, se han establecido unos parámetros geotécnicos para la matriz rocosa de la mina.

6.3.1.- RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS

De la bibliografía se han obtenido los siguientes parámetros geotécnicos para el granito:

<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Media</i>	<i>Fuente Bibliográfica</i>
Densidad	2,5 – 2,8 t/m ³	2,65 t/m ³	LÓPEZ MARINAS 2002
Resistencia a compresión	≥ 300 MPa	300 MPa	LÓPEZ MARINAS 2002
Módulo de deformación	3,9 – 89 GPa	46 GPa	LÓPEZ MARINAS 2002
Coefficiente de Poisson	0,125 – 0,36	0,24	LÓPEZ MARINAS 2002
m _i	29-35	32	HOEK 2001

Tabla 53: Parámetros geotécnicos para el granito, obtenidos de diversas fuentes bibliográficas.

6.3.2.- VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS

Se han realizado un total de 25 puntos de lectura de rebotes de martillo Schmidt a lo largo de la mina, obteniéndose el siguiente histograma de valores:

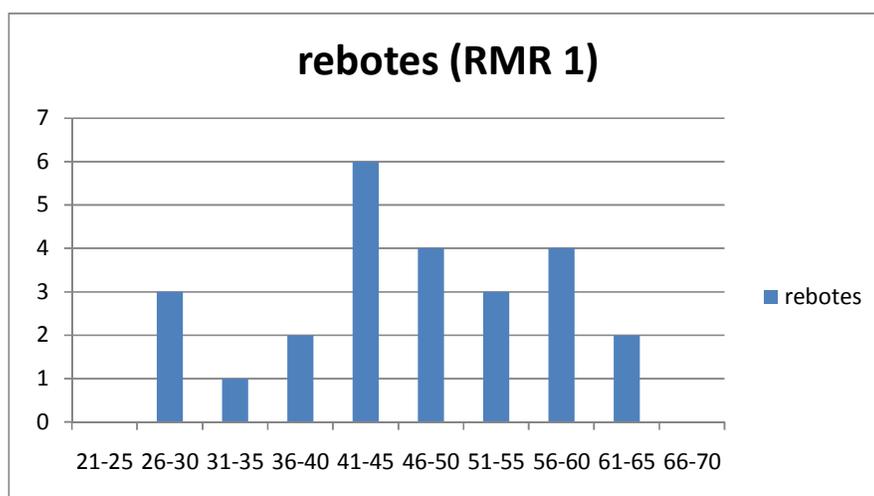


Figura 154: Histograma de rebotes del esclerómetro o martillo Schmidt en la mina de Cabeza Lijar.

Una vez realizado este proceso, se obtiene un índice esclerométrico $R(N) = 43$ para el granito sano, valor que se corresponde con una resistencia a compresión simple (RCS ó UCS) de 110 MPa.

Aplicando el criterio de rotura de HOEK y BROWN, puede obtenerse la resistencia a tracción de la roca, empleando para ello el valor de resistencia a compresión obtenido (110), y el parámetro m_i del granito (32):

$$\sigma_T = 0,5 \sigma_C [(m_i^2 + 4)^{0,5} - m_i] = 0,5 \cdot 110 [(32^2 + 4)^{0,5} - 32] = 3,4 \text{ MPa}$$

Considerando los valores del índice esclerométrico R(N), pueden obtenerse una serie de parámetros geotécnicos, a partir de diversas correlaciones. Uno de ellos es el módulo elástico del macizo rocoso (DEERE et alii. 1966); sin embargo nosotros sólo vamos a estimar el módulo del macizo, más adelante, a partir del criterio de HOEK y BROWN. Para la realización de cálculos tensodeformacionales, además de los parámetros descritos se requiere el módulo de deformación del macizo rocoso, que será obtenido en sucesivos apartados.

6.3.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS FINALES ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA

A partir de los datos bibliográficos y de los deducidos a partir de las mediciones esclerométricas, se ha elaborado una tabla con los parámetros geotécnicos recomendados para la matriz rocosa granítica de la mina. Estos valores se resumen a continuación en forma de tabla.

Parámetro	Valor Medio	Procedencia dato
Densidad	$\gamma = 2650 \text{ kg/m}^3$	Bibliografía
Resistencia a compresión simple	$\sigma_C = 110 \text{ MPa}$	Mediciones esclerométricas
Resistencia a tracción	$\sigma_T = 3,4 \text{ MPa}$	Correlaciones
Módulo de deformación	46 GPa	bibliografía
Coefficiente de Poisson	$\nu = 0,24$	Bibliografía
Parámetro m_i	$m_i = 32$	Bibliografía

Tabla 54: Resumen de parámetros geotécnicos asignados a la matriz rocosa (roca de tipo granítico) en Cabeza Lijar.

Respecto a la densidad solo se disponía de datos bibliográficos. La resistencia a compresión simple se ha obtenido del esclerómetro. La resistencia a tracción se ha obtenido a partir del criterio de rotura de HOEK Y BROWN. Para el

coeficiente de POISSON se ha optado por un valor bibliográfico de 0,24.

Finalmente, el m_i se ha tomado también de la bibliografía.

6.4.- FRACTURACIÓN

Se ha realizado un registro sistemático de fracturas aflorantes (también llamadas juntas) a lo largo de las galerías, contabilizándose un total de 63 fracturas reseñables. Se ha realizado un censado en proyección estereográfica de estas fracturas. El censado consiste en representar los polos de las discontinuidades sobre una red estereográfica ecuatorial.

Estos polos quedarán agrupados en determinadas zonas del estereograma, constituyendo familias; el criterio aplicado en este estudio considera como familia a toda agrupación constituida por un número mínimo de polos que suponga al menos un 10 % del total⁶⁰ y cuya dispersión, tanto en rumbo como en buzamiento, sea menor de 50°.

Una vez seleccionadas las agrupaciones que consideraremos como familias, se buscará el polo medio de cada una de ellas con objeto de reducir cada familia a un solo plano que sea representativo de ella. Este proceso se realizará con el programa informático comercial DIPS, desarrollado por el Rock Engineering Group, de la Universidad de Toronto (Canadá), bajo la dirección del profesor EVERT HOEK.

⁶⁰ El criterio habitual es del 5%, sin embargo el número de mediciones es escaso.

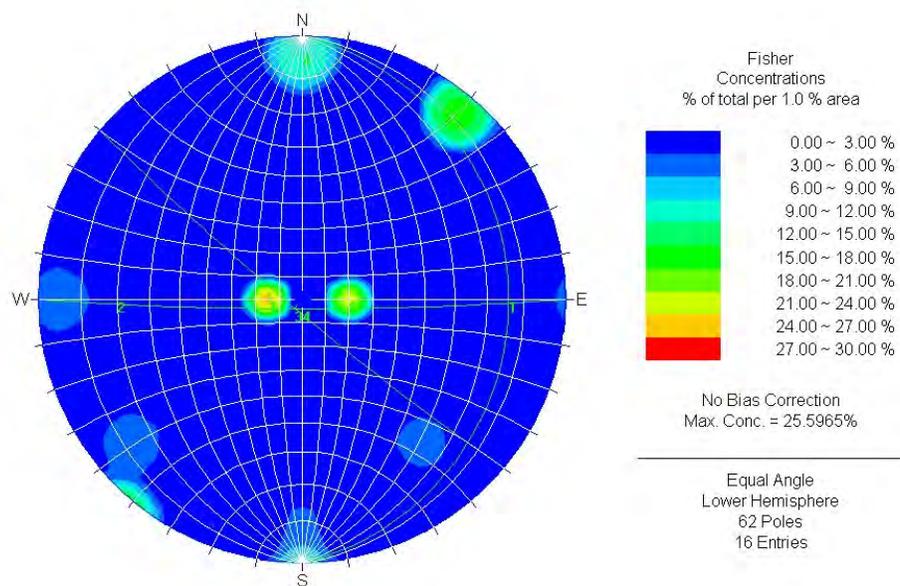


Figura 155: Estereograma de censo.

En el estereograma se aprecia que hay al menos cuatro zonas en las que la densidad del censo supera un porcentaje del 10 % del total de las fracturas, que serán las que se considerarán familias principales de fracturas del macizo rocoso de la mina.

Estas cuatro familias, denominadas J_1 , J_2 , J_3 y J_4 se representan a posteriormente en forma de ciclograma.

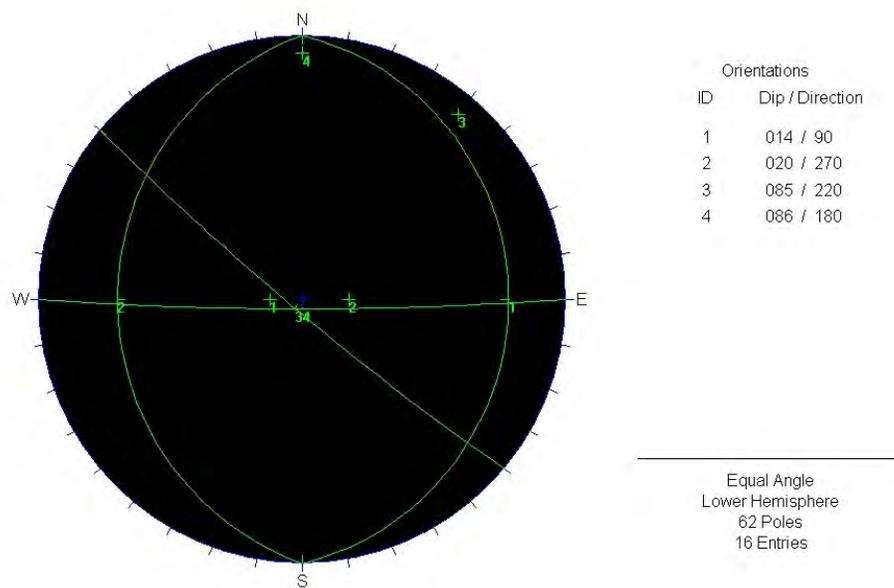


Figura 156: Orientacion de las principales familias obtenidas.

FAMILIA	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (DIP DIR)	BUZAMIENTO (DIP)
J ₁	90	14
J ₂	270	020
J ₃	220	85
J ₄	180	86

Tabla 55: orientaciones de las familias de juntas obtenidas en Cabeza Lijar, en formato dirección de buzamiento / buzamiento.

Estas orientaciones de las familias principales de fracturas se emplearán para la realización de cálculos de estabilidad de bloques y cuñas. A efectos de comparar estas juntas con las fracturaciones más importantes a nivel regional, se debe cambiar este criterio buzamiento – dirección de buzamiento por el de dirección y buzamiento.

FAMILIA	DIRECCIÓN	BUZAMIENTO (DIP)
J ₁	000 ó 180 (N-S)	14E
J ₂	000 ó 180 (N-S)	20W
J ₃	130	85SW
J ₄	90	86S

Tabla 56: Dirección y buzamiento de las juntas en el interior de Cabeza Lijar.

6.4.1.- RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

El R.Q.D es un parámetro que resume muy bien la fracturación general de la roca. De acuerdo a la definición original de su autor (DEERE, 1966), es el porcentaje de testigos de sondeo que superan los 10 cm de longitud, sin tener en cuenta las roturas frescas del testigo en el proceso de perforación. En función de este valor, se clasifica la calidad de la roca, de acuerdo a su nivel de fracturación:

RQD (%)	ROCA
100 – 90	Excelente
90 – 75	Buena
75 – 50	Media
50 – 25	Mala
< 25	Muy Mala

Tabla 57: Categorías de “roca” en función del RQD.

Cuando no se dispone de sondeos, como es el caso que nos ocupa, el RQD puede estimarse a partir de diversas correlaciones, como por ejemplo la de PRIEST Y HUDSON (1976):

$$RDQ = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1 \lambda + 1)$$

Donde: λ = Número de fracturas por metro lineal, a lo largo de una línea de registro (scan-line).

En la mina se ha obtenido el RQD de acuerdo a esta metodología, realizando dos líneas de registro de 12,50 m y 9,90 m respectivamente. El procedimiento consiste en extender una cinta métrica a lo largo de la galería y contar todas las fracturas existentes entre dos puntos. En las dos líneas de registro realizadas, se obtuvieron los siguientes valores:

$$\lambda_1 = (\text{Fracturas contabilizadas}) / (\text{Longitud Línea 1}) = 79 / 9,90 = 8 \text{ fracturas /metro}$$

$$\lambda_2 = (\text{Fracturas contabilizadas}) / (\text{Longitud Línea 2}) = 46 / 12,5 = 3,7 \text{ fracturas /metro}$$

De este modo, aplicando la formulación de PRIEST y HUDSON, se obtiene la siguiente valoración del RQD:

$$\text{RQD}_1 = 100 e^{-0,1 \cdot 8} (0,1 \cdot 8 + 1) = 81 \%$$

$$\text{RQD}_2 = 100 e^{-0,1 \cdot 3,7} (0,1 \cdot 3,7 + 1) = 95 \%$$

Por tanto, se puede considerar que el RQD de la roca de la mina, en la zona de las galerías, se situará dentro del intervalo 95 – 81 %, que corresponde a una roca de calidad buena a excelente.

6.4.2.- PERSISTENCIA Y ESPACIADO

En general, los espaciados observados son de 0,2 – 0,6 m.

6.4.3.- PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN

Para realizar cálculos de estabilidad en macizos rocosos fracturados, es necesario disponer de parámetros que permitan estimar la resistencia al corte de las fracturas. Asumiendo una relación lineal para la resistencia al corte, del tipo:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi$$

En esta ecuación, debida a MOHR-COULOMB, τ y σ son respectivamente la tensión cortante y la tensión normal, será necesario determinar las constantes resistivas c y ϕ , denominadas cohesión y fricción, características de cada terreno o junta.

El tipo de fractura observado es el denominado “Juntas rugosas sin relleno”. En este caso la cohesión y fricción pueden mostrar dos tipos de valores, denominados “*de pico*” y “*residuales*” siendo los primeros mayores que los segundos. Los de pico se movilizan con desplazamientos cortantes muy pequeños, y corresponden a la resistencia a la rotura de las rugosidades de la junta.

Los residuales se movilizan tras superarse esta rotura, con desplazamientos cortantes mayores (del orden del 1% de la longitud total de la discontinuidad). Para asignar valores de pico o residuales a la cohesión y fricción de una junta, habrá que observar en campo si las juntas del macizo muestran indicios de haber sufrido movimiento (p.ej. estrías), en cuyo caso los parámetros serán los residuales, y de lo contrario los de pico. En la zona de mina no se han observado desplazamientos cortantes en las fracturas, por lo que se considera que los parámetros que operan son los de pico.

La cohesión de pico se obtiene a partir de datos bibliográficos, si embargo para estar del lado de la seguridad se tomará un valor en este caso de $C_p = 0$. Consideramos que la cohesión de pico puede perderse con el tiempo, al estar la roca en contacto con el aire y el agua.

Para estimar la fricción de pico se aplicará la conocida ecuación de CHOUBEY y BARTON (1974), que estima este parámetro a partir de la rugosidad y resistencia estimadas para la junta en campo:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r$$

Donde:

- ϕ_p : fricción de pico.
- σ_n : tensión efectiva normal.
- JRC_n : coeficiente de rugosidad de la discontinuidad.
- JCS_n : resistencia a compresión simple de los labios de la junta.
- ϕ_r : ángulo residual de fricción.

La tensión efectiva normal puede estimarse como el peso de la columna litostática que descansa sobre la fractura en el interior de la mina. Si se asume un peso específico de $\gamma = 2650 \text{ kg/m}^3$, y una profundidad $Z = 40 \text{ m}$, se obtendrá una tensión:

$$\sigma_n = \gamma Z = 2650 \cdot 9,8 \cdot 40 = 1038800 \text{ N/m}^2 = 1,04 \text{ MPa.}$$

La fórmula requiere σ_n sobre el plano de la junta, tomamos una simplificación y consideramos para todas las juntas que aquella es la carga litostática σ_v .

El coeficiente de rugosidad JRC se estima a partir de unos perfiles normalizados, que se incluyen en la metodología. De acuerdo a este procedimiento, se ha obtenido para las juntas observadas, un valor estimado en $JRC = 3$. El valor obtenido corresponde a un perfil de 10 cm, y no es el JRC_n que se requiere en la formulación, pues la rugosidad se ve afectada por el conocido “efecto escala”. Para obtener JRC_n se aplicará la fórmula de BANDIS:

$$JRC_n = JRC (L_n / 0,1)^{-0,02 JRC}$$

Donde:

- JRC = rugosidad estimada en los perfiles normalizados.
- L_n = persistencia de las fracturas observadas (m).

Dada la dispersión de las persistencias observadas (entre 1 y 3 m), asumimos para las juntas una persistencia mínima igual al tamaño máximo de las excavaciones ($L_n \approx 3$ m), que es el caso geotécnicamente más desfavorable de todos los que se pueden producir, se obtendría $JRC_n = 3 (3 / 0,1)^{-0,02 \cdot 3} = 2,4$.

Para el caso de la resistencia a compresión simple de los labios de la junta JCS_n , se toma dentro del histograma de RCS una familia más conservadora (pues la RCS se determinó sobre juntas). $R(N) = 26$. Este valor corresponde a una resistencia $JCS = 40$ MPa.

Al igual que sucedía con la rugosidad, es necesario corregir este valor por efecto escala, aplicando la formulación de BANDIS:

$$JCS_n = JCS (L_n / 0,1)^{-0,03 JCS}$$

Se aplicará en los mismos supuestos de persistencia que en el caso de la rugosidad, esto es $L_n = 3$ m, con lo que se obtiene un valor $JCS_n = 33$ MPa.

El valor de la fricción residual ϕ_r puede obtenerse mediante la fórmula de BARTON y CHOUBEY (1974):

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 (r/R)$$

Siendo R , el rebote del martillo de Schmidt es superficies secas sin meteorizar, y r , el rebote del martillo en la superficie húmeda meteorizada. Nosotros tomaremos R el valor de rebote de una familia alta en el histograma y r el de una baja, quedando:

$$R = 43 \text{ y } r = 26$$

El ángulo de fricción básico figura en numerosas tablas, nosotros lo obtenemos de la tabla 2 página 180 del texto “Mecanica de Rocas aplicada a la minería metálica subterránea” (IGME, 1991) $\phi_b = 31 - 35^\circ$ tomamos el valor más bajo para estar del lado de la seguridad y teniendo en cuenta que 31 es el valor máximo que la tabla otorga al caso eventual de que este húmedo.

$$\phi_r = (31 - 20^\circ) + 20 (26/43) = 23^\circ$$

De este modo, finalmente, el valor estimado de la fricción de pico, para la junta de mayor persistencia será:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r = 2,4 \text{Log}_{10} (33 / 1,04) + 23 = 26,6^\circ$$

En resumen, para las juntas presentes en la mina, que son del tipo “rugosas sin relleno”, se consideran los siguientes valores de cohesión y fricción:

$$C_p = 0$$

$$\phi_p = 26,6^\circ$$

6.5.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO

6.5.1.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

También se puede obtener el valor del índice GSI (Geological Strength Index), que se deriva del RMR. Este nuevo índice resulta de calcular el RMR de la manera convencional, asignando al agua el valor numérico 10 y no incluyendo el valor de corrección por orientación de las discontinuidades con respecto al túnel. Según otros autores, puede considerarse que $RMR \approx GSI$.

A partir de los parámetros y características del terreno se han obtenido los siguientes valores del RMR_{b1989} :

GRANITO MINA PRIMERA (W) DE CABEZA LIJAR		
$RMR_{BÁSICO}$	VALORACIÓN	
	(1): Resist. Comp. Simple \Rightarrow 110 MPa	12
	(2): RQD \Rightarrow 75 - 90 %	17
	(3): Espaciado juntas \Rightarrow entre 0,2 - 0,6 m	10
	(4): Condición juntas \Rightarrow ligeramente meteorizadas, suaves, sin relleno, cerradas, persistencia o continuidad de 1 a 3 m.	22
	(5): <i>Agua</i> \Rightarrow ligeramente húmedas	10
	$RMR_{BÁSICO} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \Rightarrow 71$	

Tabla 58: Obtención de la puntuación según el criterio RMR

Para obtener el valor del RMR, es necesario realizar la corrección por orientación de las fracturas. En general, las fracturas forman cuñas y resulta difícil predecir un rumbo general que sea favorable o desfavorable a la excavación.

En la galería de arrastre podemos decir que son oblicuas a la excavación, con tendencia más bien a ser de rumbo paralelo que transversal. Para el caso de rumbo paralelo, la situación sería “Muy desfavorable”, ya que el buzamiento de las fracturas es muy verticalizado. En caso de las galerías transversales se trataría de una situación “Muy Favorable”, ya que el buzamiento es muy vertical y la excavación se desarrolla a favor de él, para el caso de las familias principales.

Estas dos situaciones conducen a una corrección de -12 (Muy desfavorable) y 0 (Muy Favorable). De este modo, el RMR alcanzará un rango **71 – 59**. De este modo, puede afirmarse que en la mina predominan los macizos de Clase II (Calidad Buena), con zonas locales de Clase III (Calidad Media).

PROYECTO: MINA DE WOLFRAM ABANDONADA	CABEZA LIJAR (GUADARRAMA)	
MATERIAL: LEUCOGRANITOS GRANO FINO		
OBSERVACIONES: MINA ABANDONADA AÑOS 1960		LUIS JORDA BORDEHORE- TESS DOCTORAL
R.M.R. – ROCK MASS RATING – (Bieniowski 1989)		

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN:				
R.S.I.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA-				
PUNTUACIÓN: <input type="text" value="12"/>				
Índice de resistencia por ensayo de carga puntual [MPa]	>10 10 - 4 4 - 2 2 - 1 (Para otros valores haga su propia tabla al inicio de campo de campo)			
Resistencia a la compresión simple [MPa]	>250 250 - 100 100 - 50 50 - 25 25 - 5 5 - 1 <1			
VALORACIÓN MARCA/PC	B C D E F G H			
	X			
ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES-				
PUNTUACIÓN: <input type="text" value="22"/>				
1º MÉTODO: PUNTUACIÓN: <input type="text" value="0"/>				
May rugosa. Sin continuidad. Sin separación. Labios sanos sin meteorizar.	Débilmente rugosa. Apertura < 1mm. Labios débilmente meteorizados.	Débilmente rugosa. Apertura < 1mm. Labios meteorizados.	Superficies con señales de deslizamientos o relleno > 5mm de espesor, o apertura > 5mm.	Relleno blando de > 5mm de espesor o apertura > 5mm. Continua.
30	25	20	10	0
2º MÉTODO: PUNTUACIÓN: <input type="text" value="22"/>				
Longitud de la discontinuidad (Presencia) [m]	<1 1 - 5 5 - 10 10 - 20 >20	PUNTUACIÓN PARCIAL:		
Apertura [mm]	<0,1 0,1 - 1,0 1 - 5 >5			
Rugosidad	Levemente rugosa Moderadamente rugosa Muy rugosa			
Refracción	Fractura con relleno > 5mm Relleno con espesor > 5mm Relleno con espesor > 5mm			
Estado de meteorización	No meteorizada Levemente meteorizada Moderadamente meteorizada Muy meteorizada Discontinuidad muerta			
VALORACIÓN MARCA/PC	A B C D E F G H			
	X			

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO:	
R.M.R. MACRO = 71 R.M.R. PP = 71 CLASE = II DESCRIPCIÓN: Bueno	

OBTENCIÓN DEL ÍNDICE G.S.I.:		OBTENCIÓN DEL ÍNDICE Q:	
GSI = 71			
		n Bieniowski, 1979: □ = 20,086 n Abad et al., 1985: □ = 16,154 n Moreno E., 1980: □ = 18,651 n Rutledge y Preston, 1980: □ = 115,096 n Cameron Clark y Budavari, 1991: □ = 7,691 n Kaiser y Gale, 1985: □ = 69,082	

R.O.D.-																
PUNTUACIÓN: <input type="text" value="17"/>																
R.O.D.	100 - 90 90 - 75 75 - 50 50 - 25 <25															
VALORACIÓN MARCA/PC	20 17 15 8 5															
	X															
SEPARACIÓN DISCONTINUIDADES-																
PUNTUACIÓN: <input type="text" value="10"/>																
Separación entre discontinuidades [m]	>2 2 - 0,6 0,6 - 0,2 0,2 - 0,06 <0,06															
VALORACIÓN MARCA/PC	20 15 10 8 5															
	X															
PRESENCIA DE AGUA-																
PUNTUACIÓN: <input type="text" value="10"/>																
Caudal en 10m de túnel [litros/minuto]	Nulo <10 10 - 25 25 - 125 >125															
Relación Presión del agua en la junta / Caudal (relación mínima (a - / a))	0 <0,1 0,1 - 0,2 0,2 - 0,5 >0,5															
Condiciones generales	Seco Levemente húmedo Húmedo Gotearlo Flujando / Chisporroteando															
VALORACIÓN MARCA/PC	20 15 10 8 5															
	X															
AJUSTE DE VALORES POR LAS ORIENTACIONES DE LAS DISCONTINUIDADES:																
CORRECCIÓN: <input type="text" value="0"/>																
VALORACIÓN CORREGIDA: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td>Perpendicular al eje del túnel</td> <td>Paralela al eje del túnel</td> <td>Cualquiera dirección</td> </tr> <tr> <td>VALORACIÓN CORREGIDA</td> <td>20 15 10 8 5</td> <td>15 10 5 3 2</td> <td>15 10 5 3 2</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align:center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Perpendicular al eje del túnel	Paralela al eje del túnel	Cualquiera dirección	VALORACIÓN CORREGIDA	20 15 10 8 5	15 10 5 3 2	15 10 5 3 2		X					
	Perpendicular al eje del túnel	Paralela al eje del túnel	Cualquiera dirección													
VALORACIÓN CORREGIDA	20 15 10 8 5	15 10 5 3 2	15 10 5 3 2													
	X															
DIRECCIÓN: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td>Excavación a favor de bujecimiento</td> <td>Excavación en contra de bujecimiento</td> <td>Paralela al eje del túnel</td> <td>Cualquiera dirección</td> </tr> <tr> <td>BUJECIMIENTO</td> <td>Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align:center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Excavación a favor de bujecimiento	Excavación en contra de bujecimiento	Paralela al eje del túnel	Cualquiera dirección	BUJECIMIENTO	Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente			X					
	Excavación a favor de bujecimiento	Excavación en contra de bujecimiento	Paralela al eje del túnel	Cualquiera dirección												
BUJECIMIENTO	Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente	Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente	Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente	Muy favorable Favorable Medio Pobre Muy deficiente												
		X														

Tabla 59: Hoja de cálculo de gabinete para obtención del RMR y Q, en Cabeza Lijar.

6.5.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (Q):

RQD

Ya lo hemos determinado con anterioridad $RQD = 81$. Tomando el peor del rango obtenido.

NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS J_n :

Hemos considerado 4 familias de juntas que conforman bloques que ya han caído en su mayor parte, lo podemos asociar a “tres familias y algunas juntas” pues la siguiente categoría es excesivamente “conservadora” y considera a la roca como muy fracturada. **$J_n = 12$** .

RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS: J_r

Según los perfiles JRC la junta corresponde al perfil 2-4, es básicamente una junta suave plana: **$J_r = 1$**

AGUA EN LAS JUNTAS J_w

Se han considerado como ligeramente húmedas, El agua afecta muy ligeramente y en zonas muy concretas de la excavación, estimamos por tanto **$J_w = 1$** .

METEORIZACIÓN DE LAS JUNTAS J_a

Las juntas están ligeramente oxidadas, $J_a = 1$.

TENSIONES EN LA EXCAVACIÓN SRF

Consideramos que la roca es competente, por lo tanto se determinará SRF a partir de: σ_1 (tensión principal máxima que actúa sobre la roca, consideramos la tensión gravitacional.), σ_c (resistencia a compresión de la roca) y σ_t (resistencia a tracción).

En nuestro caso, a una profundidad de 40 m: $\sigma_1 = \sigma_v = 1,01$ MPa

$$\sigma_c = 110 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = 3,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c / \sigma_1 = 109$$

$$\sigma_t / \sigma_1 = 3,4$$

Ambos cocientes se encuentran en el rango de tensiones medias, por tanto **SRF**
es = 1,0

Significado de los cocientes:

Tamaño de los bloques: $RQD/J_n = 81/12 = 6,75$

Resistencia al corte de los bloques: $J_r/J_a = 1/1 = 1$

Estado tensional del macizo rocoso $J_w/SRF = 1/1 = 1$

DETERMINACIÓN DE LA PUNTUACIÓN DE Q:

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF) = 6,75 * 1 * 1 = 6,75$$

Q = 6,75, Se trata de un índice de **calidad “media”**, situado en el intervalo 4-10.

Ratio de sostenimiento de la excavación: ESR. Consideramos el posible uso de la cavidad como turística, que se englobaría dentro de obras públicas subterráneas, por tanto **ESR = 0,8**.

6.5.3.- PRESIONES SOBRE SOSTENIMIENTOS Y RECOMENDACIONES A PARTIR DE Q

Las consideraciones sobre presiones sobre sostenimientos, así como parámetros deducidos de las clasificaciones geomecánicas, deben de considerarse con cuidado. Estrictamente son útiles en fase de anteproyecto y para verificación en obra. Estas consideraciones se contrastan y ajustan hoy en día con modelos numéricos, y programas de uso generalizado como FLAC, PLAXIS o PHASES.

Presión sobre coronación según la formulación de GRIMSTAD Y BARTON (1993). Estando las unidades en Kg/cm².

$$P = 2 * (J_n)^{1/2} * (Q)^{-1/3} / 3J_r$$

$$P = 2 (12)^{1/2} * (1/(6,75^{1/2})) * 1/(3*1) = 0,89 \text{ Kg/cm}^2 = 8,9 \text{ T/m}^2$$

Para estimar el tipo de sostenimiento, se recomienda a partir de la clasificación de BARTON (GRIMSTAD y BARTON 1993) entrar en una tabla tal y como la que se muestra en la metodología. En abscisas entramos con el valor de Q, en nuestro caso Q = 6,75. En ordenadas con el cociente tamaño de bóveda (luz o “span”o vano) y ESR: $\rightarrow 3\text{m} / 0,8 = 3,75$. Cabe destacar como la luz máxima varía para un mismo terreno en función del uso que le demos a la caverna. Para el caso de estudio, se obtiene además, que no es necesario sostenimiento.

6.5.4.- PRESIONES SOBRE SOSTENIMIENTOS A PARTIR DE RMR

La presión sobre el sostenimiento puede estimarse a partir del criterio RMR de BENIAWSKI, de tal forma que obtenemos por un lado una aproximación a la altura de roca que carga sobre el túnel. Conocida la densidad del material estaremos la presión.

$$H = B (100 - \text{RMR}) / 100 = 3 * (100 - 71) / 100 = 0,87 \text{ m.}$$

La presión sobre el sostenimiento será: $P = H * \gamma_{\text{granito}} = 0,87 \text{ (m)} * 2650$
(Kg/m³) = 230 Kg/m² = 2,305 T/m²

6.5.5.- PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO EMPÍRICO DE HOEK Y BROWN

Como se ha indicado en el apartado anterior, en la mina predominan los macizos rocosos de Clase II (Calidad Buena). Se tomará un valor medio de $RMR_b = 71$ y asumiremos un $GSI = 71$. El GSI se aplica en la actualidad para estimar el Módulo de Deformación del macizo rocoso, de acuerdo a la expresión (HOEK, 1995):

$$E_{GSI} (GPa) = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Donde:

- σ_c = Resistencia a compresión simple de la roca intacta.
- E_{GSI} = Módulo de deformación del macizo obtenido a partir de GSI.

Para el caso de excavaciones mineras sin voladuras de contorno, el módulo de deformación debe ser reducido en un porcentaje que se cuantifica premultiplicando por la expresión $(1-D/2)$, donde D es el denominado “Disturbance Factor”, que para el caso de las galerías mineras como las que nos ocupan, alcanza un valor $D = 0,8$.

Para el caso de la resistencia a compresión del macizo, se ha empleado la formulación debida a HOEK y MARINOS (2000):

$$\sigma_{cmass} = (0.0034m_i^{0.8})\sigma_c \left\{ 1.029 + 0.025e^{(-0.1m_i)} \right\}^{GSI}$$

Donde:

- σ_{cmass} = Resistencia a compresión del macizo rocoso.
- σ_c = Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.
- m_i = Constante del criterio de rotura de HOEK y BROWN.
- GSI = Geological Strength Index del macizo rocoso del túnel.

Asumiendo que $RMR \approx GSI$, la aplicación de estas correlaciones al macizo rocoso néisico, proporciona los siguientes resultados, aplicando para las fórmulas el programa Roclab de la casa Rocscience.

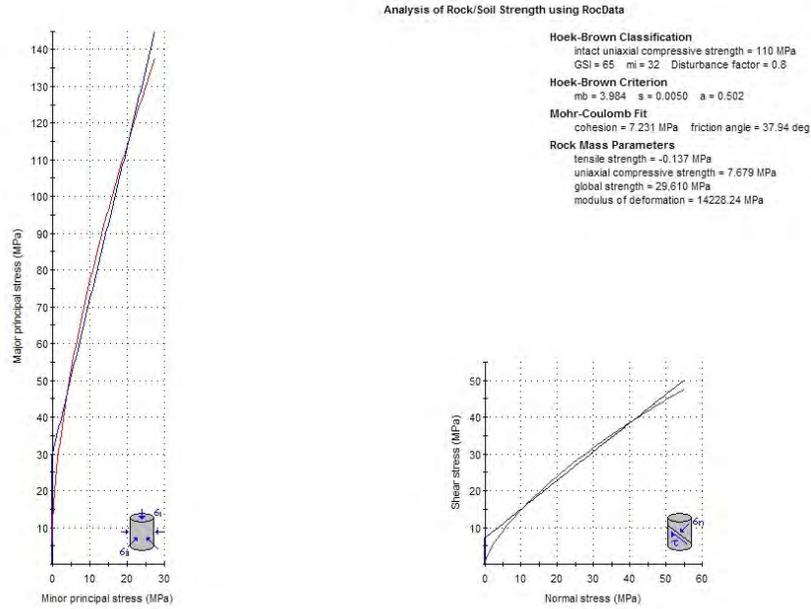


Figura 157: A la izquierda, envolvente de rotura en función de las tensiones principales mayor y menor. A la derecha: envolvente de rotura en función de las tensiones tangencial y normal.

litotipo	RCS o σ_c (MPa)	mi	GSI	D	E_{GSI} o E_{mass} (GPa)	$\sigma_{c\text{mass}}$ (MPa)	C	φ
Leucogranito mina Cabeza Lijar	110	32	71	0,8	14	29,6	7,2 MPa	40°

Tabla 60: Parámetros geotécnicos del macizo rocoso según criterio HOEK y BROWN y MOHR – COULOMB.

6.6.- RESUMEN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS GALERÍAS MINA

CABEZA LIJAR

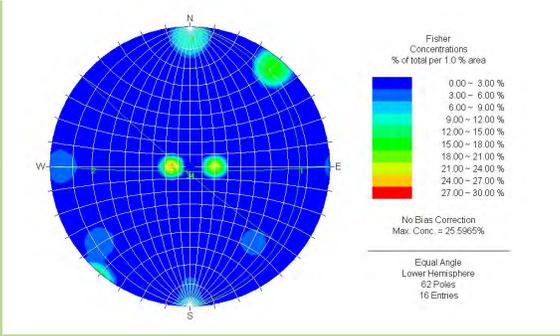
Profundidad galería (para los cálculos): 40 m.			
$\sigma_v = 1 \text{ MPa}$			
Matriz rocosa			
Densidad. 2,65 T/m ³		RCS. $\sigma_c = 110 \text{ MPa}$	
Resist. Tracción. $\sigma_t = 3,4 \text{ MPa}$		Módulo deformación $E = 46 \text{ GPa}$	
Coef Poisson. $\nu = 0,24$		$m_i = 32$	
Juntas			
Familias	J1	DIPdir 90	DIP 14
	J2	270	20
	J3	220	85
	J4	180	86
			
Persistencia: 1-3 m		Espaciado: 20 – 60 cm	
$C_p = 0$		$\varphi_p = 26,6^\circ$	
Macizo rocoso			
RMRb = 71		GSI ≈ 71	
RMRcorr = 59- 71		Clases BIENIWSKI. II – III	
Q- BARTON = 6,75		Clase: media	
Parámetros resistentes según criterio HOEK – BROWN		Parámetros equivalentes MOHR COULOMB	
D = 0,8		C = 7,2 MPa	
$E_{mass} = E_{GSI} = 14 \text{ GPa}$		$\varphi = 40^\circ$	
$\sigma_{mass} = 29,6 \text{ MPa}$			

Tabla 61: Resumen parámetros geotécnicos en Cabeza Lijar: matriz, juntas y macizo.

6.7.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LA MINA. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES

A continuación se van a realizar unas estimaciones sobre la estabilidad cinemática de bloques rocosos: cuñas sueltas de roca, que se movilizan por la acción gravitatoria (sin considerar efectos de la presión de confinamiento).

Con el objeto de comprobar la estabilidad de las cuñas que se pueden formar en la galería, se han realizado una serie de cálculos manuales, así como con el programa Unwedge de la casa Rocscience. Se han analizado todas las posibles combinaciones, en grupos de tres, de las familias de juntas presentes en la mina, calculándose el factor de seguridad para cada una de ellas.

En los gráficos adjuntos se pueden visualizar las posibles cuñas que pueden formarse: Se presentan dos estereogramas, uno obtenido mediante los programas Dips- Unwedge y otro dibujado de forma manual.

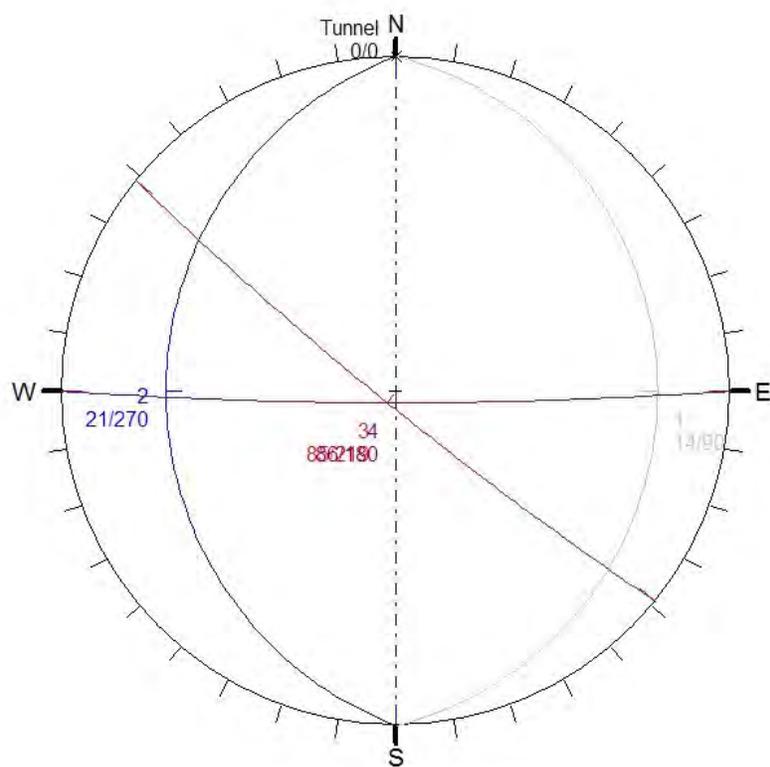
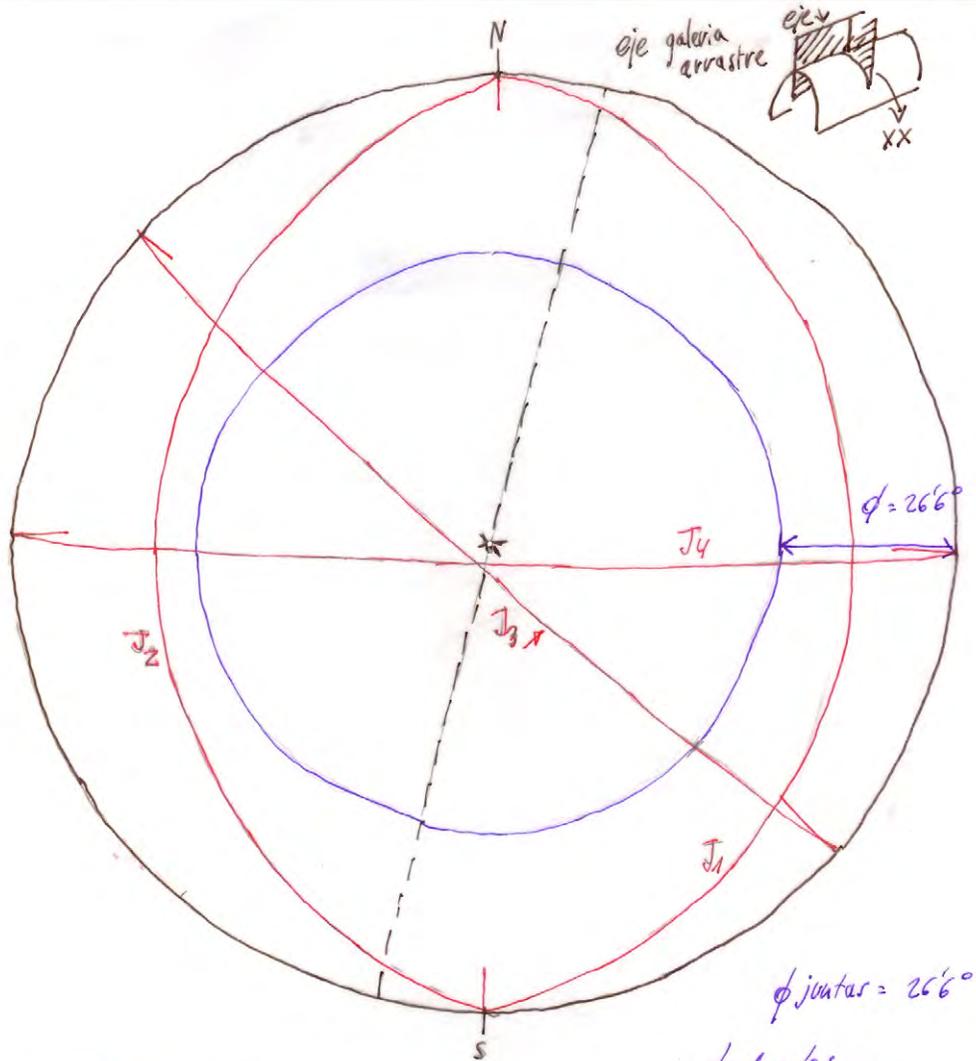


Figura 158: Representación estereográfica de las juntas principales de la mina de Cabeza Lijar, mediante los programas Dips- Unwedge.



MINA W
CABEZA LIDAR
(MADRID)
30/09/2007

$\phi_{juntas} = 26.6^\circ$
todas las
cuñas posibles
quedan dentro del
área formada por
el ángulo de fricción
por lo tanto son
potencialmente
inestables y
tenderán a deslizar
sobre un plano o comb.
de 2.

Figura 159: Estereograma manual.

Como puede apreciarse el vértice del estereograma no queda englobado por ninguna de las posibles combinaciones de juntas tomadas de tres en tres. Por lo tanto, no se forma ninguna cuña de techo que caiga exclusivamente por gravedad, sino que tanto las cuñas de paramentos como las que se formen en los techos caerán deslizando sobre uno o dos planos.

junta	Dirección buzamiento (dip dir)	Buzamiento (dip)
J1	90	14
J2	270	20
J3	220	85
J4	180	86

Tabla 62: Principales familias de juntas presentes en la mina de interior de Cabeza Lijar.

A continuación presentamos los cálculos de estabilidad de cuñas tomadas en combinaciones de tres con la dirección de la galería tanto de arrastre como en filón.

Para todos los datos de entrada de juntas se ha considerado que el tamaño máximo de las cuñas queda condicionado por la anchura máxima de la galería (2-3 m.).

6.7.1.- GALERÍA EN FILÓN.

En el primer cálculo consideramos una galería transversal excavada a favor de los filones mineralizados, de rumbo aproximado E-W (trend).

Se presentan tres posibilidades, combinación de las familias de juntas con la galería, tomadas de tres en tres para formar cuñas de tamaño no despreciable:

Combinación de juntas inestables: $J_2J_3J_4$, $J_1J_2J_4$ y $J_1J_3J_4$.

PRIMERA COMBINACIÓN: J₂J₃J₄

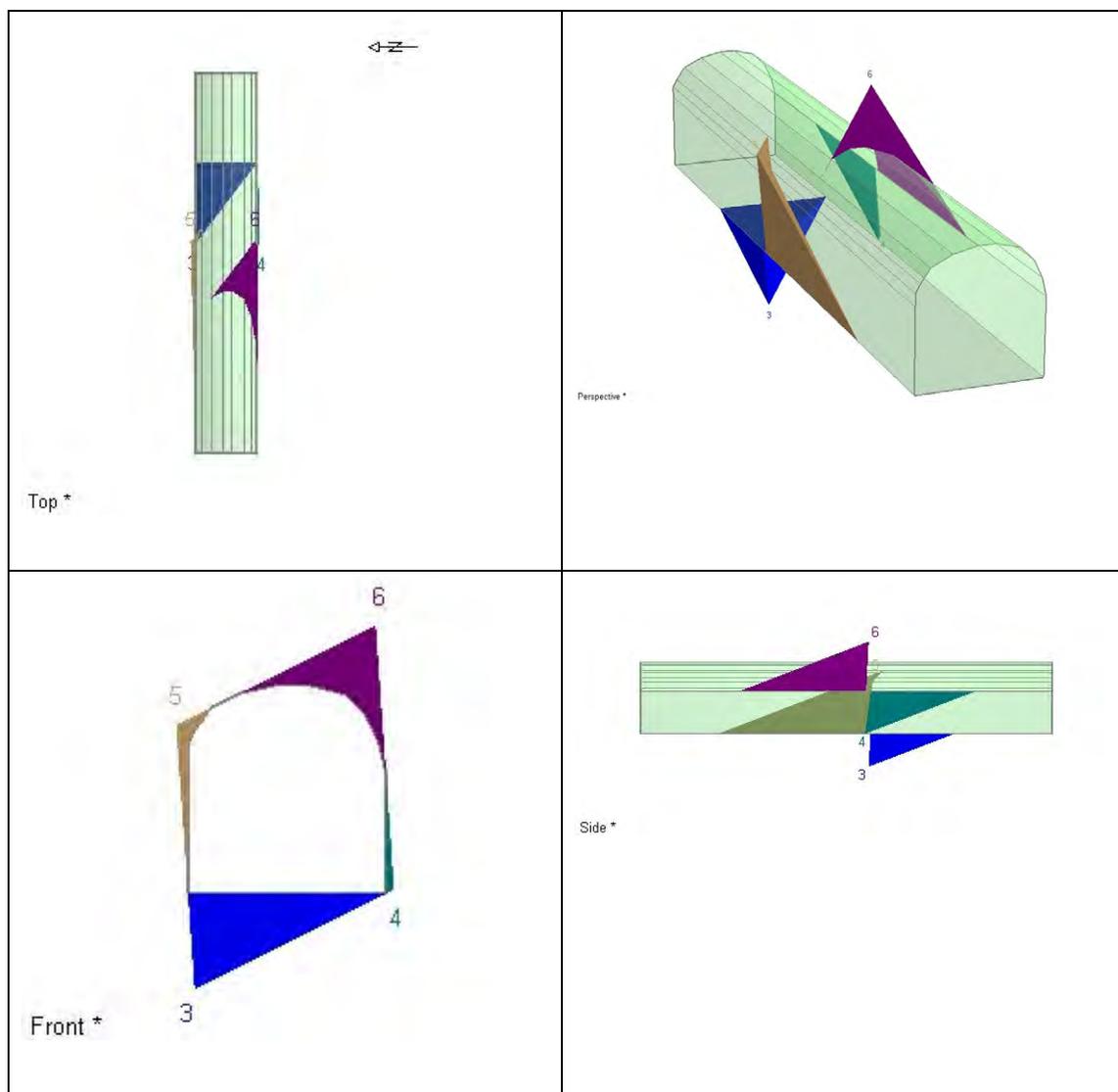


Figura 160: Combinación de las juntas 2,3,4 y la galería en filón.

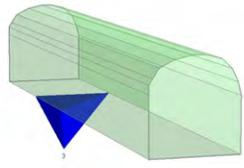
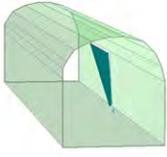
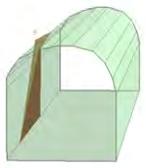
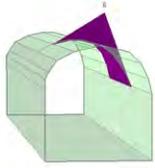
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (Toneladas)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
3	Cuña de solera	Estable	0,011 MN 1,1 T	0,78	<p>Flux wedge (3) FS: stable</p>  <p>Weight: 0.011 MN, Apex Height: 0.78 m</p>
4	Cuña de hastial	2,096	0,001 MN 0,1 T	0,07	<p>Lower Right wedge (4) FS: 2.096</p>  <p>Weight: 0.001 MN, Apex Height: 0.07 m</p>
5	Cuña de hastial	0,044	0,002 0,2 T	0,15	<p>Lower Left wedge (5) FS: 0.044</p>  <p>Weight: 0.002 MN, Apex Height: 0.15 m</p>
6	Cuña de bóveda	0,044	0,6 T 600 Kg	0,61	<p>Upper Right wedge (6) FS: 0.044</p>  <p>Weight: 0.006 MN, Apex Height: 0.61 m</p>

Tabla 63: Descripción de las cuñas formadas.

Potencialmente pueden formarse cuatro tipos de cuñas: una en bóveda (nº 8), una en solera (nº 3) y otras dos en hastiales (nº 4 y 5).

- La cuña de solera cinemáticamente no puede desplazarse, por lo que no se estudia.

Las cuñas con posibilidad de movimiento son las de hastiales y bóveda.

- Las cuñas de hastiales son de dimensiones muy reducidas. Sus espesores (ápices) no superan los 15 cm, y sus pesos apenas alcanzan los 200 kg.
- La cuña nº 4 puede considerarse que posee un FS adecuado, mientras que la nº 5 es completamente inestable y probablemente ya se cayó durante la excavación.
- La cuña de bóveda es inestable, pero el hecho de que su factor de seguridad sea nulo indica que, de formarse, debió caerse durante la excavación de la galería. No obstante, si en algún punto se observase la presencia de una cuña de características similares a esta, bastaría un bulón de un metro de longitud para conseguir su estabilización. La cuña pesa 600 Kg y tiene 0,61 m de ápice

SEGUNDA COMBINACIÓN: J1J2J4

Se formarían 3 cuñas, todas de hastial.

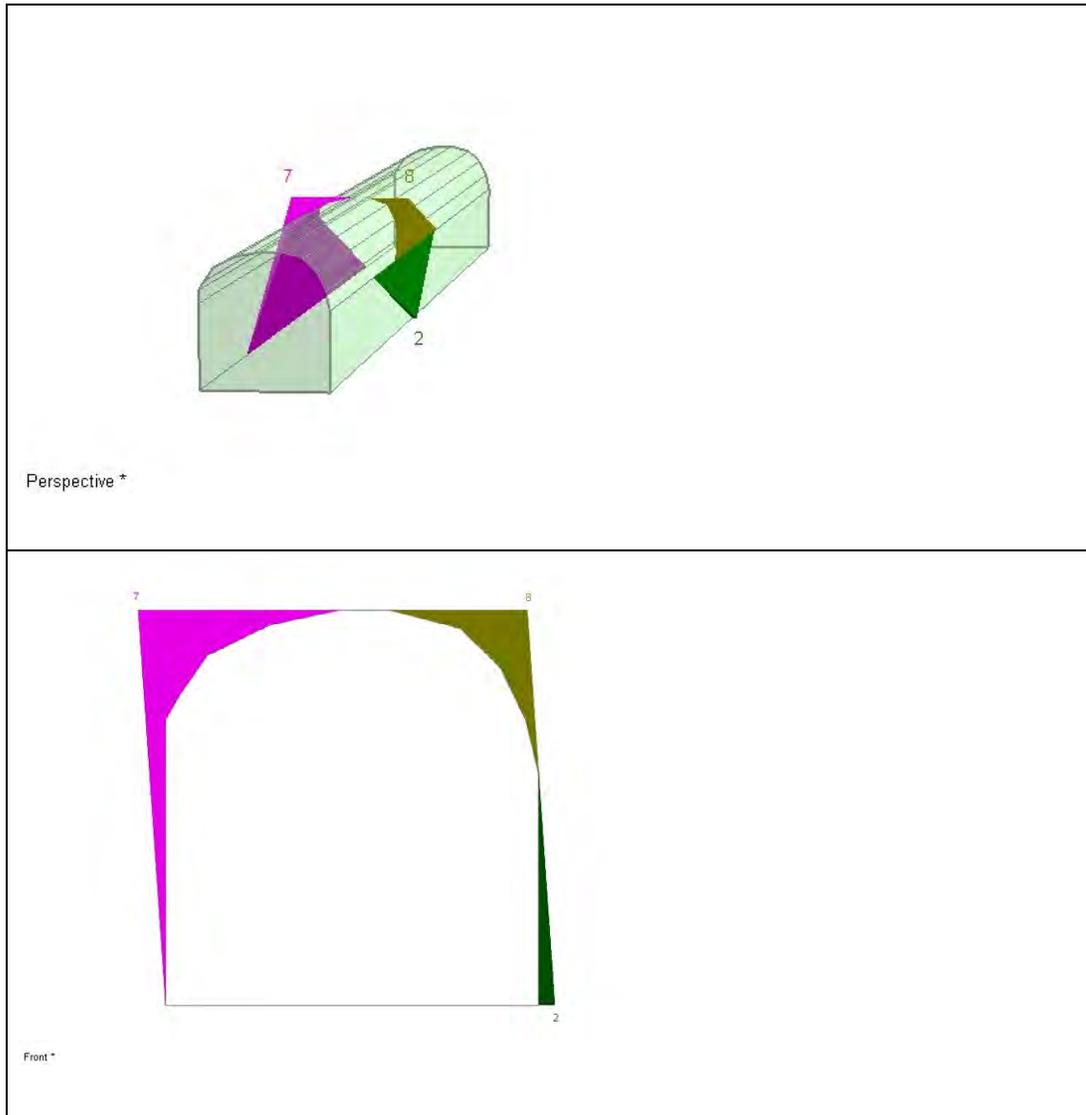


Figura 161: Combinación de juntas 1,2,4 y la galería en filón.

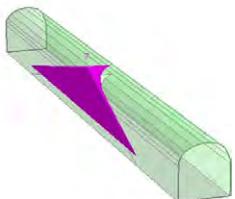
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (Toneladas)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
2	Cuña de hastial	estable	0,2 T	0,07 m	 <p>Upper Right wedge (2) FS: 0,000</p> <p>Volume: 0,07 m3, Weight: 0,002 MN, Apex Height: 0,07 m, Joint Area: 110,18 m2, J1: 0,10 m2, A: 0,30 m2</p>
7	Cuña de hastial	0,035	1,2 T	0,36 m	 <p>Upper Left wedge (7) FS: 0,035</p> <p>Volume: 0,469 m3, Weight: 0,012 MN, Apex Height: 0,36 m, Joint</p>
8	Cuña de hastial	0,0	0,3 T	0,26	 <p>Upper Right wedge (8) FS: 0,000</p> <p>Volume: 0,108 m3, Weight: 0,003 MN, Apex Height: 0,26 m, Joint A:</p>

Tabla 64: Descripción de las cuñas formadas.

Por los bajísimos factores de seguridad, cercanos a cero, las cuñas 7 y 8 debieron de caerse al excavar la galería, máxime cuando lleva abierta más de cuarenta años.

TERCERA COMBINACION: J1J3J4

Sólo se forma una cuña inestable, de hastial.

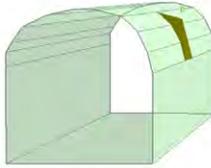
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (Toneladas)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
8 (bis)	Cuña de hastial	0,0	00,1 T	0,15 m	 <p>Upper Right wedge (8) FS: 0.000</p> <p>Volume: 0.027 m3, Weight: 0.001 MN, Apex Height: 0.15 m, Joint Areas: 1) 0.20 m2, 3) 0.08 m2, 4) 0.99 m2</p>

Tabla 65: Cuña inestable producida por la combinación de juntas 1,3 y 4 con la galería en filón.

Se trata de una cuña que con toda seguridad cayera en la ejecución de la galería, nada más terminar el avance.

6.7.2.- GALERÍA EN ESTÉRIL O GALERÍA DE ARRASTRE

Se ha estudiado también la galería de arrastre, excavada en estéril y de una longitud aproximada de 80m. La sección es variable: con anchuras entre 2 y 3,5 m y alturas entorno a los 1,80 – 2,20 m. La orientación de la misma es sensiblemente N-S aunque en la zona de estudio se ha considerado N-014E.

Existen dos combinaciones posibles de las cuatro familias de juntas, tomadas de tres en tres junto con la galería, y que pueden dar cuñas inestables, estas son: $J_2J_3J_4$ y $J_1J_3J_4$.

PRIMERA COMBINACIÓN: J₂J₃J₄

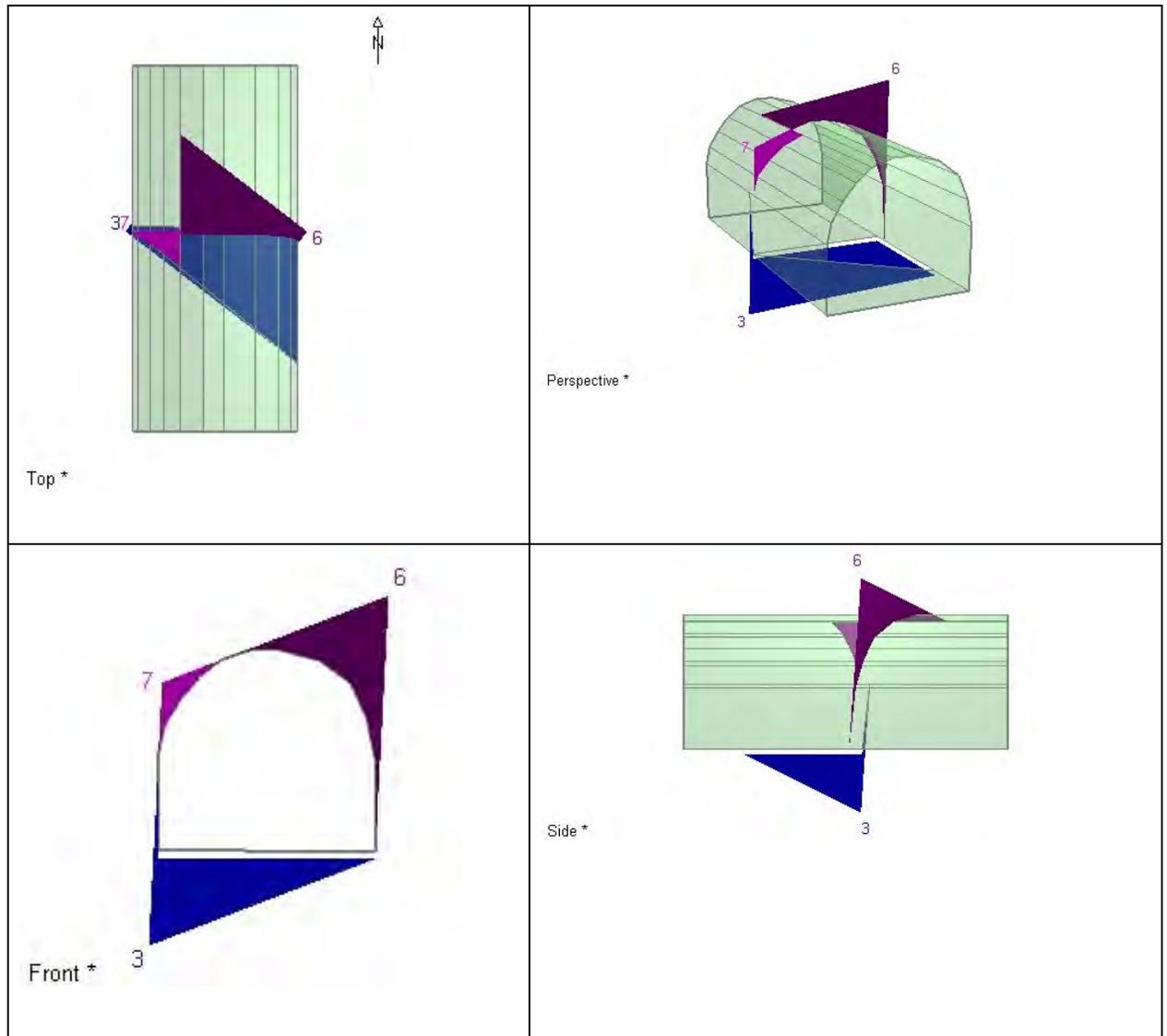


Figura 162: cuñas formadas con la combinación de juntas 2, 3 y 4.

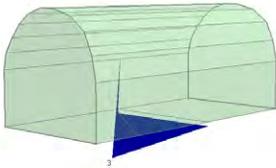
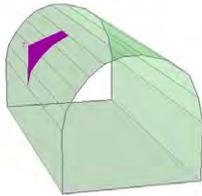
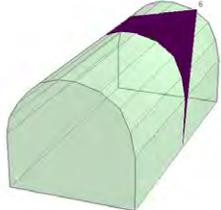
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (Toneladas)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
3	Cuña de solera	Estable	0,018 MN 1,8 t	0,93	<p>Floor wedge [1] FS: stable</p>  <p>Weight: 0.018 MN, Apex Height: 0.93 m</p>
7	Cuña de hastial	0,035	Despreciable (laja)	0,26	<p>Upper Left wedge [7] FS: 0.035</p>  <p>Weight: 0.000 MN, Apex Height: 0.26 m</p>
6	Cuña de bóveda	0,044	0,007 0,7 t	0,98	<p>Roof wedge [6] FS: 0.044</p>  <p>Weight: 0.007 MN, Apex Height: 0.98 m</p>

Tabla 66: Descripción de las principales cuñas inestables formadas por la galería de arrastre y las familias de juntas 2,3 y 4.

En la tabla anterior se han resumido las principales características de las cuñas de roca que se forma en la mina. La sección calculada de la galería, tiene unas dimensiones de 1,80 m de altura y 2,20 m de anchura. De este cálculo se deduce lo siguiente:

Potencialmente pueden formarse tres de cuñas: una en solera (nº3), 1 en hastial (nº7) y una en bóveda (nº6).

- La cuña de solera cinemáticamente no puede desplazarse, por lo que no se estudia.
- Las cuñas con posibilidad de movimiento son las de hastiales y bóveda. Ambas tienen FS cercanos a 0, por lo que ya se debieron caer. La cuña de hastial es de dimensiones despreciables. La de bóveda presenta un ápice de 1,0 m y un peso de 700 Kg.

SEGUNDA COMBINACIÓN: $J_1J_3J_4$

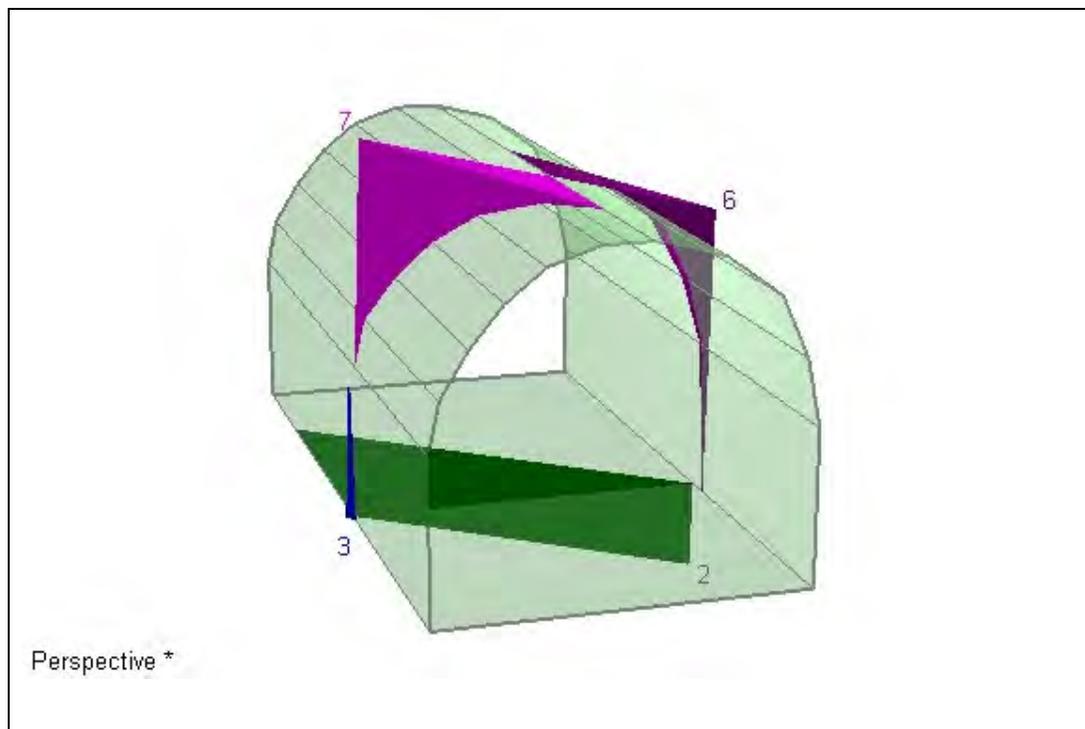


Figura 163: Vista en perspectiva de la combinación de las cuñas formadas por las juntas 1,3 y 4 con la galería de arrastre.

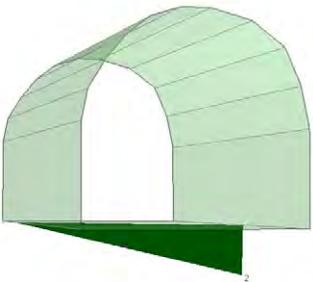
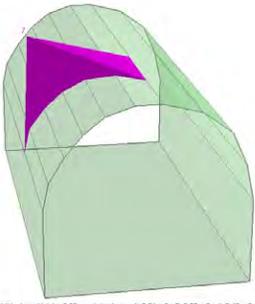
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (Toneladas)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
2	Cuña de solera	Estable	1,0 T	0,5 m	<p>Floor wedge [2] FS: stable</p>  <p>Volume: 0.367 m³, Weight: 0.010 MN, Apex Height: 0.55 m, Joint Areas: 1) 2.15 m², 3) 0.81 m², 4) 0.63 m²</p>
6	Cuña de hastial	0,044	0,1 T	0,35 m	<p>Upper Right wedge [6] FS: 0.044</p>  <p>Volume: 0.031 m³, Weight: 0.001 MN, Apex Height: 0.35 m, Joint Areas: 1) 0.52 m², 3) 0.30 m², 4) 0.24 m²</p>
7	Cuña de bóveda	0,035	0,3 T	0,68	<p>Roof wedge [7] FS: 0.036</p>  <p>Volume: 0.114 m³, Weight: 0.003 MN, Apex Height: 0.68 m, Joint Areas: 1) 0.61 m², 3) 0.68 m², 4) 0.46 m²</p>

Tabla 67: Descripción de las cuñas formadas en la galería de arrastre.

En la tabla anterior se han resumido las principales características de las cuñas de roca que se forma en la mina. De este cálculo se deduce lo siguiente:

Potencialmente pueden formarse tres de cuñas: una en solera (nº2), 1 en hastial (nº6) y una en bóveda (nº7).

- La cuña de solera cinemáticamente no puede desplazarse.
- Las cuñas con posibilidad de movimiento son las de hastiales y bóveda. Ambas tienen FS cercanos a 0, por lo que ya se debieron caer.

6.8.- CONCLUSIONES MINA DE CABEZA LIJAR

La mina es una estructura estable, a excepción de zonas muy puntuales de galerías muy próximas, degradación del material en zonas de falla y filones con presencia de agua. Estos fenómenos son más acusados en las galerías con realce. Aparecen también diversas cuñas cinemáticamente inestables.

En general se considera necesario:

- Bulonado de las bóvedas y hastiales de las cámaras explotadas.
- Excavación de una galería de seguridad desde una de las transversales últimas y de mayor longitud.
- Simulación de sostenimientos de madera y cuadros metálicos tipo TH a modo de “mina museo”. Se trata más bien de un entibado “simulado”.

Las acciones que se han considerado solamente tratan la estabilidad geotécnica del espacio subterráneo y no las medidas de puesta en uso, que requerirían un estudio de la iluminación, así como del flujo de aire en relación con los visitantes y el confort general.

6.9.- EXCAVACIÓN DE UNA GALERÍA SECUNDARIA. METODOS DE SOSTENIMIENTO

La galería a excavar tendría por objeto servir de segundo acceso al espacio subterráneo, como debe ser premisa en todo proyecto de este tipo, en caso de fallo en la entrada principal. Esta galería se excavaría con técnicas clásicas siguiendo el esquema y sostenimiento recomendado por las clasificaciones geomecánicas.

Como se ha visto, no es necesario el sostenimiento de las galerías, sin embargo se aprovecharía esta excavación moderna para situar en ella dos tipo de estructuras de entibación como sería madera y cuadros TH. La sección excavada sería adecuada para unos cuadros de tipo comercial en forma de herradura, en general con una sección algo superior a $2,6 \text{ m}^2$ que equivale a una anchura de galería de algo más de 1,6 m.

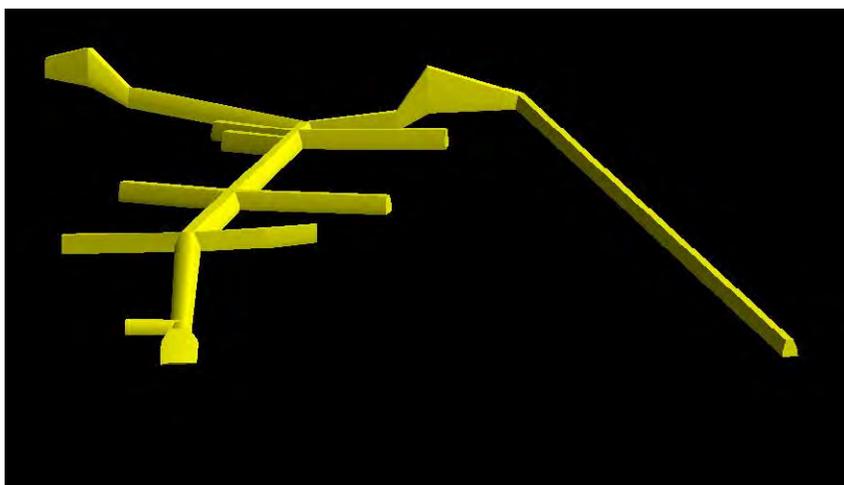


Figura 164: Croquis idealizado de la mina con la galería de emergencia.

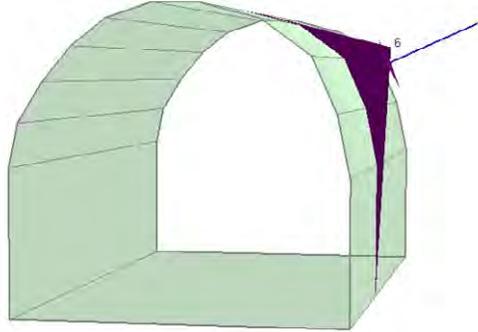
RECOMENDACIONES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE BENIAWSKI

Se trata de un macizo de clase II (pues el valor mínimo de 59 es casi el máximo de la clase III). Por tanto se avanzaría por perforación y voladura, a sección completa y avances de 1,5 m. Sería un método manual, con martillos de mano con empujador. Se podría bulonar localmente en clave en zonas donde no se hubiesen desprendido las cuñas. Se prestara también especial atención a las posibles cuñas del frente.

En general los dos criterios, RMR y Q apuntan a que no es necesario ningún sostenimiento. En el caso de las cuñas calculadas todas ellas presentan factores de seguridad próximos a 0 por lo que , dado el tiempo que lleva la excavación abierta (más de cuarenta años) se cree que todas han caído ya (de hecho debieron de caer durante la excavación de la propia galería). En cuanto a la clasificación de BARTON y BENIAWSKI ambas dan a entender que no es necesario sostenimiento.

Puede ser necesario reforzar la bóveda de los realces y de las galerías contiguas mediante bulonado.

Upper Right wedge [G]
FS: 40.722



Volume: 0.031 m³, Weight: 0.001 MN, Apex Height: 0.35 m, Joint 3: 85/219, Sliding Direction (trend, plunge): 219, 85, Joint Areas: 1) 0.52 m², 3) 0.30 m², 4) 0.24 m², Joint Persistence: 1) 1.47 m, 3) 2.5

Figura 165: Sujeción de una cuña de hastial mediante un bulón.

Para sujetar la cuña nº 6 (por ejemplo) de hastial, de la galería de arrastre (combinación J1,J3,J4), bastaría con un bulón único de 1 m perpendicular a la sección para subir el coeficiente de seguridad de 0,044 a 40,72. Esta cuña tenía un peso de 0,1 t y 0,35 m de altura apical. Deslizaba según el plano de junta 3 (85/219).

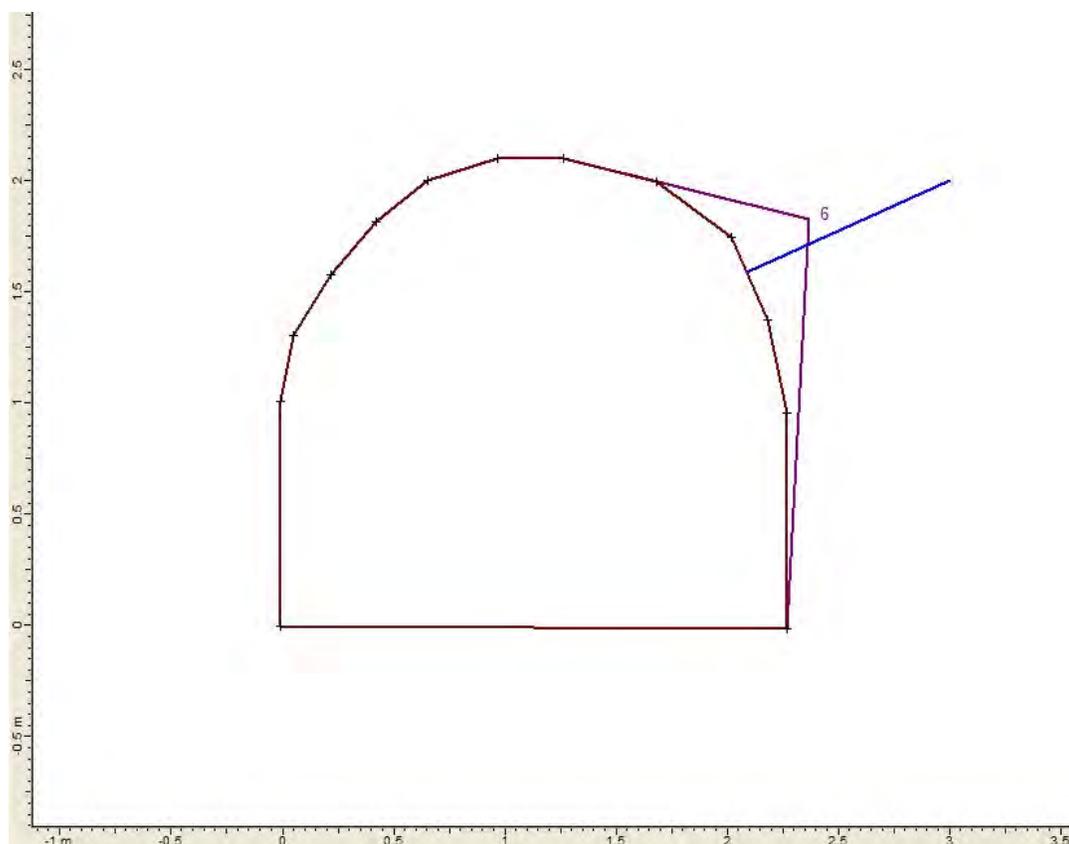


Figura 166: detalle en sección transversal de la cuña n.º 6 bulonada.

A partir de las clasificaciones geomecánicas hemos obtenido la presión sobre el sostenimiento: $2,3 \text{ t/m}^2$ según RMR y $8,9 \text{ t/m}^2$ para Q. Esta segunda medida, nos parece exagerada. No en vano, si seguimos este criterio y “entramos” dentro del ábaco de sostenimientos de TEDESA para cerchas TH con un radio de galería de 1,5 m necesitaríamos un espaciamiento de 0,7 m.

La mina lleva 40 años abandonada y se aprecian contadas inestabilidades (principalmente degradación de un pilar aislado y filtraciones en zonas concretas con cierta alteración del encajante). Por lo tanto este cálculo parece

poco realista. Con la carga obtenida mediante RMR ($2,3 \text{ T/m}^2$) estaríamos fuera de las líneas parametrizadas del ábaco, por tanto no harían falta cerchas.

En esta mina, incluso en las zonas más desfavorables del emboquille y cruce de galerías, es factible un entibado de madera, que además de efecto visual, podría tener cierta capacidad resistente.

6.10.- SELECCION DE IMÁGENES DE LA MINA DE CABEZA LIJAR



Figura 167: Bocamina de Cabeza Lijar, vista del interior (enero 2004).



Figura 168: Imagen de la fracturación subvertical en la cantera (2007). En la cantera se aprecian fracturas subverticales de tipo distensivo a favor de las cuales se emplaza la mineralización.



Figura 169: Detalle del emboquille de la mina visita de marzo de 2007. Nótese las juntas perimetrales.



Figura 170: Detalle de una cuña ya caída. Entorno de la estación geomecánica 1 (fotografía tomada en 2007).



Figura 14: Galería de arrastre en estéril.



Figura 172: Galería de arrastre (Cortesía Bocamina). Nótese las dos secciones “tipo”: una en forma de herradura en primer plano y otra con techos y hastiales rectos en segundo plano.

**CAPÍTULO 7.- ESTUDIO GEOTÉCNICO Y PUESTA EN
VALOR DE LA MINA DE PLATA DE BUSTARVIEJO**

7.1.- INTRODUCCION

Una vez realizado el inventario y valoración de los vestigios mineros, hemos estudiado en el capítulo precedente una pequeña explotación minera sin excesivos problemas como es la mina Primera de Cabeza Lijar (registro nº 40).

En pocas de las minas de la Sierra de Madrid existe un recorrido subterráneo de entidad que justifique un proyecto de puesta en valor. Como hemos visto existen varias galerías con más o menos desarrollo lateral que se encuentran en el rango de 30 – 80 metros de desarrollo. Distancias del todo insuficientes para justificar una visita que, habitualmente en este tipo de proyectos o en cavidades naturales debe de pasar ampliamente de la media hora.

Sólo dos minas presentan un recorrido aceptable: Mina Indiana de Bustarviejo (nº 19 de la presente tesis) y la mina Antigua Pilar (nº 42). Esta última es sólo accesible por pozos, por lo que queda descartada para una intervención ordinaria (además de que las características geomecánicas dejan mucho que desear). Es mucho mas frecuente rehabilitar minas con accesos horizontales (galerías a media ladera) como sucede en las minas de montaña.

En este estudio geotécnico preliminar se pretende:

- Definir las características geomecánicas del macizo rocoso.
- Identificar los principales mecanismos de rotura e inestabilidad presentes en la mina.
- Recomendar sistemas de estabilización y control de los mismos.

7.2.- LOCALIZACIÓN DE LA MINA

La mina⁶¹, que es un importante conjunto de pozos y escombreras, se encuentra en las inmediaciones de la localidad de Bustarviejo, al Norte de la carretera que comunica esta localidad con Miraflores de la Sierra, en el valle de Bustarviejo. Se ubica en la vertiente madrileña de la Sierra de Guadarrama.

De la fuente del Collado, a 1500 m del pueblo de Bustarviejo, parte una pista forestal que se adentra en la Garganta del Arroyo de la Mina. Este arroyo nace en el collado abierto de la Albardilla, separando el Cerro de la Braña del de la Porquizuela. La ladera Sur del Cerro Cabeza Braña es el paraje conocido desde antiguo como Cuesta de la Plata, y donde se ubican las minas de mineral de arsénico con alto contenido en plata (arsenopiritas con matildita).

⁶¹ La zona de la mina es suelo no urbanizable y una parte importante dentro de “Especial protección: Vías pecuarias” donde se encuentra la Torre, parte de la fundición y la bocamina. La Torre del Molino, edificio emblemático de la mina está declarado B.I.C. Bien de Interés Cultural de la Comunidad de Madrid desde 1983, no así el resto de elementos de singular interés de la mina.



Figura 173: Localización de la mina de plata de Bustarviejo (Google Earth).



Figura 174: Entorno de la mina. (Google Earth).

Sobre estas líneas acceso a la mina desde el Restaurante- Merendero la Fuente del Collado, en la carretera Bustarviejo- Miraflores de la Sierra.

Bajo estas líneas se muestra un croquis de las labores subterráneas para comprender mejor todas las observaciones que se van a realizar en el transcurso de la investigación subterránea.

En realidad son dos minas unidas por la llamada “gran galería”. La mina Indiana comunica con la superficie mediante un pozo y una galería. Posee además una galería superior aterrada. La labor de mayores dimensiones es la

llamada mina Grande o del Pozo Maestro: tiene un pozo de comunicación con el exterior, una galería presumiblemente aterrada y varios pozos interiores, uno de los cuales comunica con la gran galería y esta a su vez con la mina Indiana y con el exterior.

Hemos denominado a este nivel de la gran galería y de la bocamina practicable como nivel 1. Hacia arriba existen hasta 5 niveles comunicados por pozos y por dos espirales (encajadas en bolsadas de mineral “rapiñadas” en ambos pozos). Bajo la gran galería existen un número indeterminado de niveles inundados.

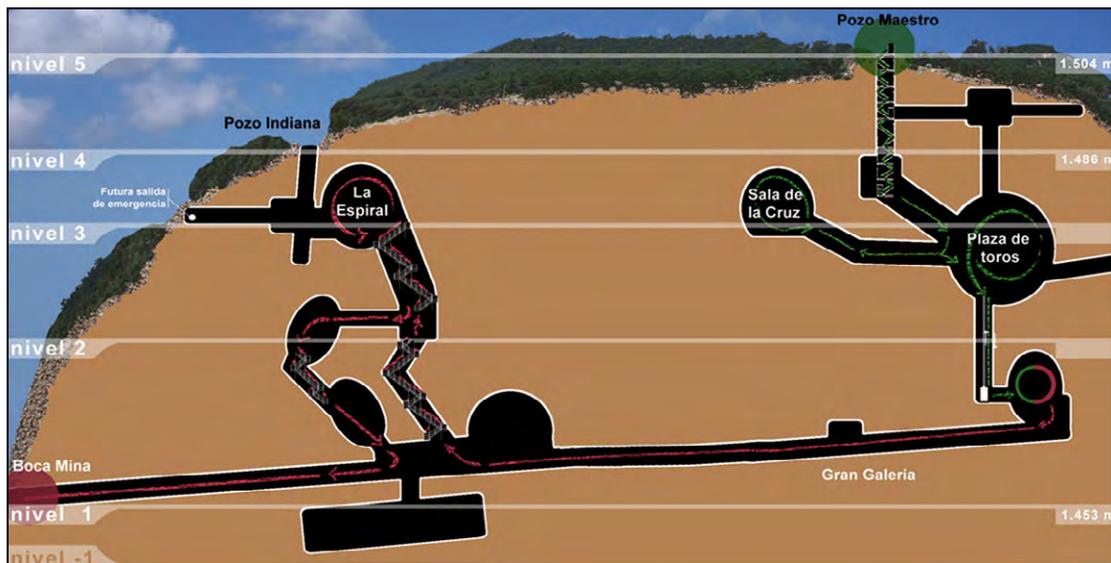


Figura 175: Croquis de la parte subterránea de la mina.

7.3.- DESCRIPCIÓN DE LA MINA DE INTERIOR

“Groso modo” la mina consta de una galería horizontal (en adelante la llamaremos galería de arrastre o socavón) que se adentra en la montaña y al cabo de unos 60 m se bifurca en dos ramales. Un ramal parte hacia el Oeste y da acceso a un sistema de espectaculares cámaras en tres niveles. Se accede de un nivel a otro por rampas hasta llegar al nivel más alto que comunica con el exterior por un pozo de 30 m que denominamos Pozo Intermedio.

La otra galería tiene un recorrido de algo más de 100 m y termina en una sala parcialmente inundada y un pozo de unos 80 m que comunica con una gran sala.

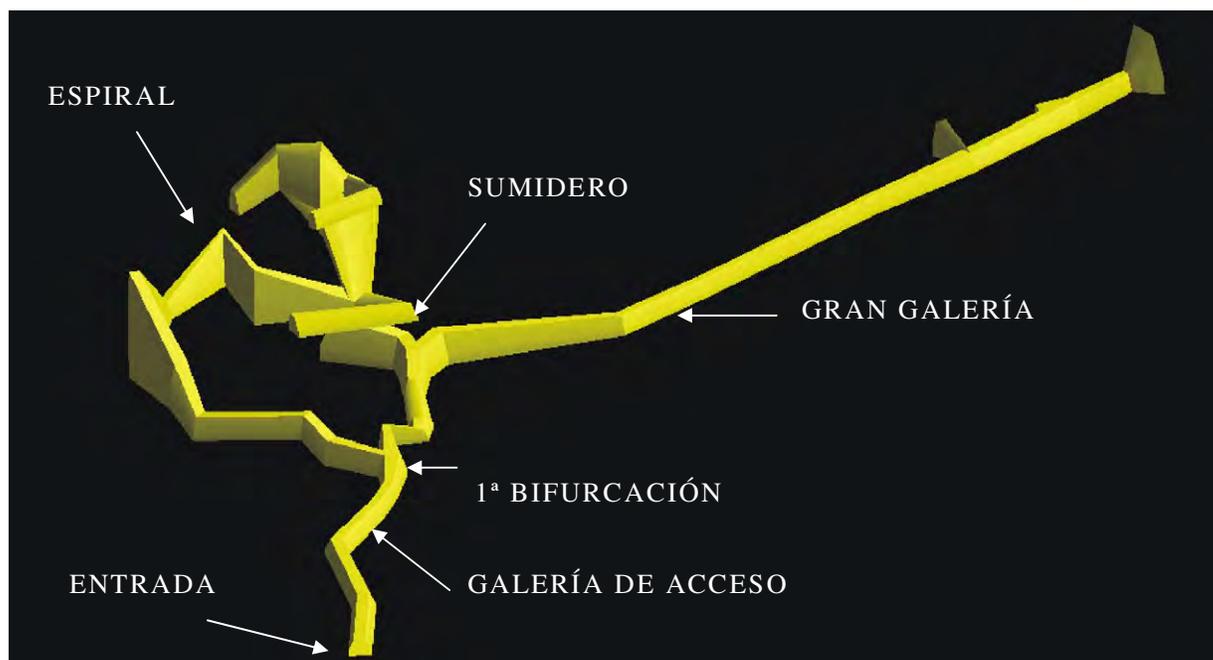


Figura 176: Esquema tridimensional de la parte estudiada geotécnicamente (en una primera etapa) de la mina de plata de Bustarviejo.

La explotación sigue un sistema que, en algunas zonas, recuerda al de los realces y testeros. En la zona que parte del ramal oeste, la explotación tiene un marcado carácter verticalizado, con una maraña de galerías que se estructuran a modo de espiral, siguiendo las bolsadas y filoncillos mineralizados.

Muchas de las galerías están conformadas por pisos de escombros sustentados por plataformas de troncos (camadas de estemples). El método de los realces ha sido tradicionalmente muy empleado en la minería metálica española, tal como lo ilustra el ejemplo adjunto, que corresponde a la Mina El Cobre

(Linares, Jaén). El sistema empleado en Bustarviejo no sigue el método de manera sistemática, pero si lo hace en zonas locales de la mina.

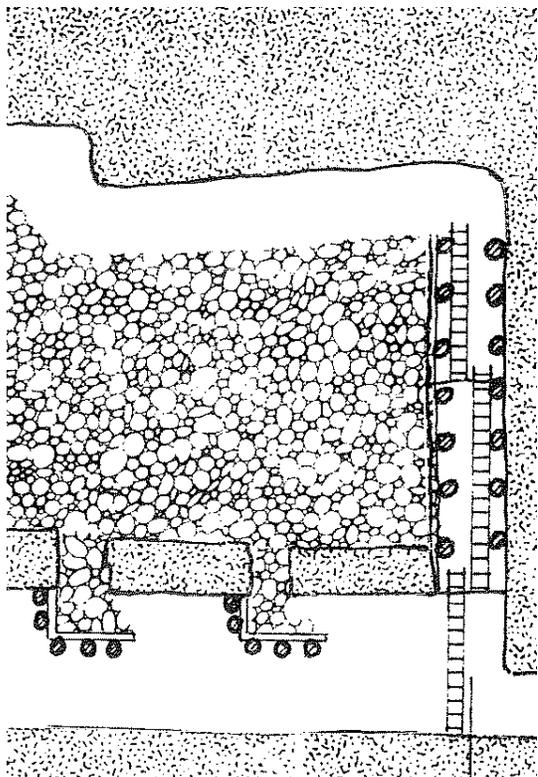


Figura 177: Realce de filones en la mina el cobre (Linares).

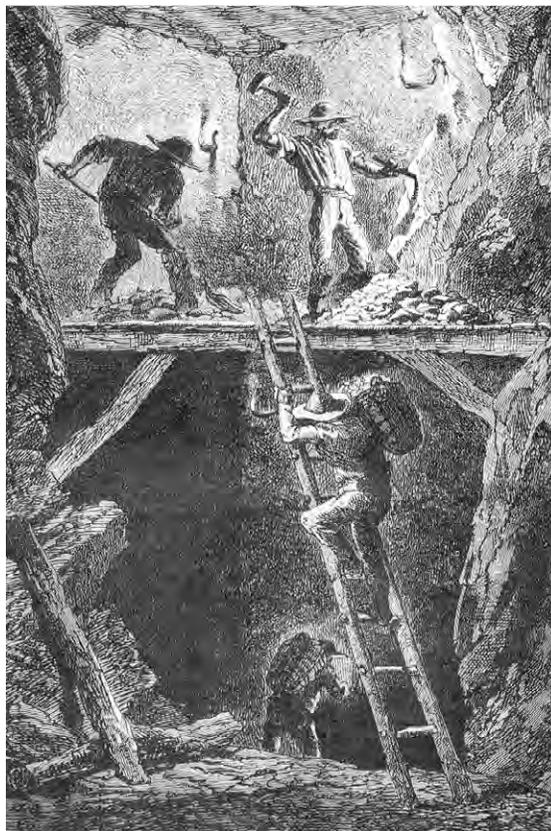


Figura 178: Realces y relleno de piso, siglo XIX. (“La Vie Souterraine”, SIMONIN, 1867).

De los tres niveles reconocidos en la mina, se pretendería hacer visitable el nivel intermedio, así como las galerías de arrastre o acceso.

7.4.- MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra situada en el sector oriental del Sistema Central, al que pertenece la sierra de Guadarrama, en cuya vertiente sur se ubica la mina de plata de Bustarviejo. Geológicamente la zona está constituida por dos conjuntos de materiales de diferentes edades, uno formado por rocas de origen ígneo y rocas metamórficas, que corresponden a macizos prehercínicos y hercínicos de edades precámbricas y paleozoicas, y el otro por depósitos posthercínicos de edades que van del Mesozoico (principalmente cretácicos) al Cuaternario.

Los materiales que conforman el entorno del área de trabajo son, rocas ígneas prehercínicas del tipo ortoneises bandeados y ortoneises glandulares, y rocas graníticas hercínicas (adamellitas y granitos biotíticos de grano medio y grueso, y leucogranitos de grano fino y medio). Por otro lado, existen también depósitos cuaternarios coluvio-aluviales, así como rellenos antrópicos fruto de la propia actividad minera.

7.4.1.- ROCAS ÍGNEAS PREHERCÍNICAS: ORTONEISES BANDEADOS Y ORTONEISES GLANDULARES

Los ortoneises bandeados suponen la roca de caja donde se encuentran las labores mineras. Estos materiales presentan una estructura plana regular marcada por unas bandas de tamaño centimétrico, de carácter biotítico-sillimanítico, que alternan con otros niveles cuarzo-feldespáticos. Las bandas

oscuras están formadas por biotita con haces de sillimanita, y las bandas claras o leucocráticas están formadas por oligoclasa, cuarzo y algo de feldespatos potásico en forma de perfitas.

En ocasiones en los neises bandeados se pueden apreciar paranfibolitas y silicatos cálcicos en forma de cuerpos lenticulares.

No lejos de los trabajos mineros aparecen también ortoneises ocelares graníticos, muy frecuentes en la zona, que presentan abundantes glándulas de feldespatos pero una menor proporción de biotita que los neises bandeados.

7.4.2.- ROCAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS: LEUCOGRANITOS

Las rocas ígneas de la zona forman parte del macizo plutónico de La Cabrera. Este es un cuerpo intrusivo tipo “stock”, aflorante de forma elíptica que presenta un eje aproximado de dirección N 70° E, y que intruye en ortoneises y metasedimentos sobre los que llega a ocasionar procesos de metamorfismo de contacto y de migmatización, siendo el contacto neto e intrusivo.

Los granitoides que se pueden apreciar en el entorno de la mina son adamellitas y granitos biotíticos de grano medio y grueso (equigranulares o con megacristales) y leucogranitos de grano fino y medio, apareciendo afloramientos de estos últimos en las estribaciones de la mina. Los leucogranitos son predominantemente biotíticos, conteniendo además de la

biotita y cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas, todos ellos como minerales principales. Texturalmente estos leucogranitos varían de, equigranulares hipidiomorfos de grano fino, a heterogranulares y equigranulares de grano de grano medio (GEOCONSULT, 2006).

7.4.3.- DEPÓSITOS CUATERNARIOS COLUVIALES Y RELLENOS ANTRÓPICOS

En las estribaciones de la mina son numerosos los depósitos cuaternarios que se observan, de tipo fundamentalmente coluvial o coluvioaluvial, así como los rellenos de origen antrópico que forman las escombreras.

Los coluviones presentan gran extensión en esta zona debido a la orografía montañosa del entorno, que origina canchales y pedrizas de bloques, cantos y arenas, prácticamente sin finos y bastante sueltos, formados principalmente por los derrubios de ladera procedentes de los neises y granitoides hercínicos.

Por otro lado, los rellenos de escombreras procedentes de la actividad minera de la mina presentan gran desarrollo junto a la misma, en especial junto a los pozos y en el acceso a la bocamina.

7.4.4.- TECTÓNICA

A nivel regional, en el área de estudio han actuado las orogenias hercínica y la alpina. La primera es la responsable de los procesos tanto metamórficos de la zona, como de los ígneos, además de las deformaciones principales sobre los terrenos precámbricos y paleozoicos.

La orogenia alpina actúa en varias etapas de deformación sobre todo el conjunto de materiales descritos en la región, fracturando el zócalo en bloques, y plegando y fallando también al resto de materiales posthercínicos de manera que se adaptan sobre los anteriores.

7.4.5.- FILONES

La mineralización está constituida por un sistema de filones, de orientación (141 / 61). Se ha explotado un filón principal (que es el que se puede apreciar en la zona de la mina) con disposición en espiral. En algunas zonas de la mina, donde se presentan grandes cámaras, se benefició una mineralización parecida a un “stockwork” tal y como se aprecia en el desmonte de la plaza del Pozo Maestro. La mineralización principal está constituida por arsenopirita, como mineral metálico principal, junto con matildita, oro nativo, pirita, marcasita, esfalerita, galena y calcopirita y con ganga de cuarzo.

7.5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA CALICATA Y EMBOQUILLE ACCESO

7.5.1.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA

La investigación realizada ha hecho hincapié en caracterizar geotécnicamente la roca gnéisica. En primer lugar, se realizó una recopilación de datos bibliográficos relativos a las propiedades geotécnicas del gneis. Estos valores sirven tan solo como orientación inicial. A partir de los datos esclerométricos y los recopilados en la bibliografía, se han establecido unos parámetros geotécnicos para la matriz rocosa de la mina en el emboquille.



Figura 179: Aspecto que ha presentado el emboquille de la mina de Bustarviejo hasta finales de 2007. Nótese la caída de bloques y la degradación del macizo rocoso por gelifracción. (fotografía tomada en 2006).

RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS

De la bibliografía se han obtenido los siguientes parámetros geotécnicos para la roca néisica:

<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Media</i>	<i>Fuente Bibliográfica</i>
Densidad	2590 – 3060 kg/m ³	2703 kg/m ³	LAMA, 1978
Resistencia a compresión	24 – 310 MPa	-	AASHTO, 1989
Módulo de deformación	82 – 28 MPa	61 GPa	AASHTO, 1989
Coefficiente de Poisson	0,4 – 0,09	0,22	AASHTO, 1989
m _i	33 – 23	28	MARINOS y HOEK, 2001

Tabla 68: Parámetros bibliográficos para la roca néisica.

VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS

Se han realizado registros esclerométricos con Martillo de Schmidt o Esclerómetro Tipo N.

Se han realizado un total de 7 estaciones en matriz rocosa a lo largo del emboquille, así como 5 en juntas, obteniéndose el siguiente histograma de valores:

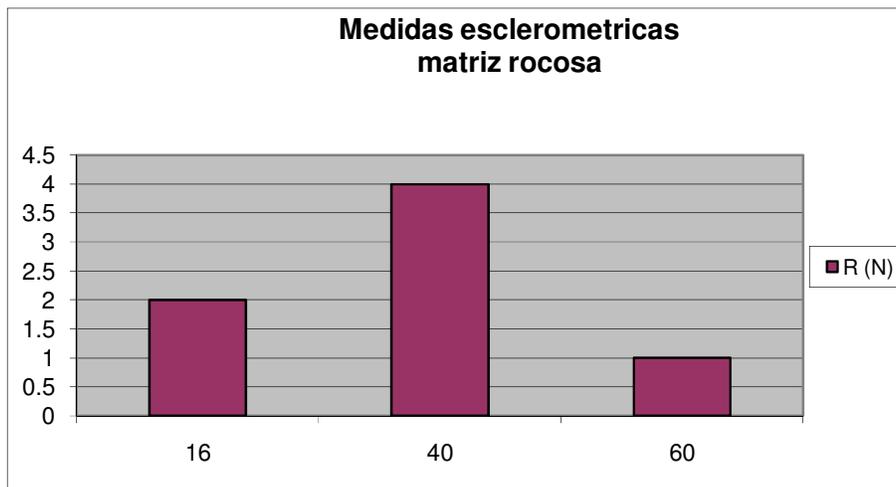


Figura 180: Medidas esclerométricas de la matriz rocosa del emboquille de la mina.

Se toma como valor medio $R(N) = 40$ golpes que equivale a una resistencia a compresión simple de la matriz rocosa de 42 MPa. Aplicando el criterio de rotura de HOEK y BROWN, puede obtenerse la resistencia a tracción de la roca, empleando para ello el valor de resistencia a compresión obtenido (42), y el parámetro m_i del neis (28):

$$\sigma_T = 0,5 \sigma_C [(m_i^2 + 4)^{0,5} - m_i] = 0,5 \cdot 42 [(28^2 + 4)^{0,5} - 28] = 1,5 \text{ MPa}$$

A partir de los valores del índice esclerométrico R(N), pueden obtenerse una serie de parámetros geotécnicos, a partir de diversas correlaciones:

PARÁMETRO	ECUACIÓN	AUTOR
Módulo Elástico E (GPa)	$E = 0,6005 \rho R(L) - 2,0276$	DEERE et alii. (1966)
Velocidad Ondas Sísmicas Primarias V_p (km/s)	$V_p = 0,11 R(N) - 4,41$	KAHRAMAN (2001)
Porosidad n (%)	$R(L) = 56,08 - 5 n$	ERDOGAN et alii. (2004)

Tabla 69: Parámetros obtenidos del esclerómetro.

El índice esclerométrico R (L) empleado en alguna de las ecuaciones anteriores, corresponde a un Martillo de Schmidt Tipo L. Para obtener este índice a partir de R(N), que es el que disponemos, se emplea la siguiente ecuación (AYDAY et alii, 1992):

$$R(N) = 7,124 + 1,249 R(L)$$

De este modo, para un $R(N) = 40$, se obtendría un $R(L) = 26$.

Los valores obtenidos mediante la aplicación de esta formulación, en la roca gnéissica, proporciona los siguientes valores:

Velocidad de las ondas p: No es aplicable con $R(N) = 40$ se obtiene un valor de 0.

Módulo de deformación: $E = 0,6005 \rho R(L) - 2,0276$.

Para la matriz de roca néissica, asumiendo una densidad de $2,70 \text{ g/cm}^3$, el módulo de deformación es de: 40 GPa

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA

Con los parámetros de la matriz rocosa ya tenemos uno de los “ingredientes” del cálculo para la estabilidad del macizo rocoso. Lo siguiente es estudiar las características resistentes de las juntas. La combinación de matriz y juntas da lugar al estado del “macizo rocoso”.

Parámetro	Valor Medio	Procedencia dato
Densidad	$\gamma = 2760 \text{ kg/m}^3$	Bibliografía
Resistencia a compresión simple	$\sigma_C = 42 \text{ MPa}$	Mediciones esclerométricas
Resistencia a tracción	$\sigma_T = 1,5 \text{ MPa}$	Correlaciones
Módulo de deformación	$E_{lab} = 40 \text{ GPa}$	Mediciones esclerométricas
Coefficiente de Poisson	$\nu = 0,25$	Bibliografía
Parámetro m_i	$m_i = 28$	Bibliografía

Tabla 70: Parámetros asignados a la matriz rocosa en Bustarviejo.

7.6.- FRACTURACIÓN

7.6.1.- FAMILIAS DE FRACTURAS

Se ha realizado un registro sistemático de fracturas aflorantes (también llamadas juntas) a lo largo de las galerías, contabilizándose un total de 128 fracturas reseñables. Se ha realizado un censo en proyección estereográfica de las mismas. En él se aprecia que hay al menos cinco zonas en las que la densidad del censo supera un porcentaje del 5 % del total de las fracturas, que serán las que se considerarán familias principales de fracturas del macizo rocoso de la mina. Estas cinco familias, denominadas 1, 2, 3, 4 y 5 se representan posteriormente en forma de ciclograma.

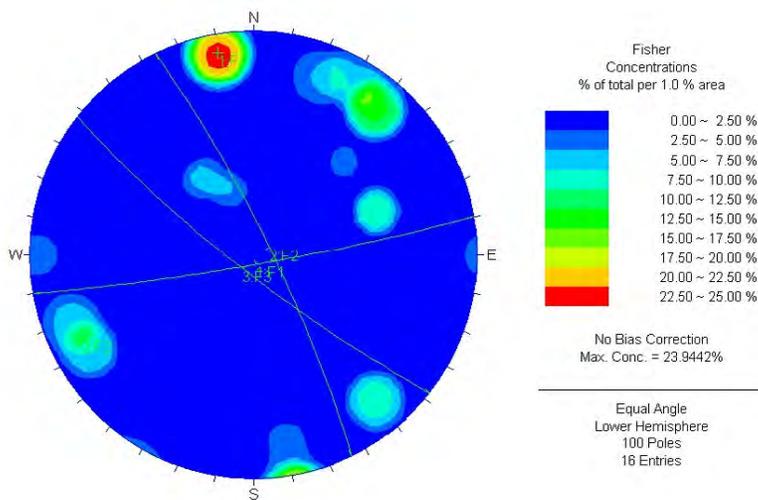


Figura 181: Diagrama de polos y familias de juntas del emboquille de la mina de Bustarviejo.

FAMILIA	BUZAMIENTO “DIP”	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (“DIP DIRECTION”)
J-1	85	171
J-2	81	218
J-3	80	64
J-4	60	250
J-5	80	318

Tabla 71: Orientaciones de familias de juntas en el emboquille de Bustarviejo

Estas orientaciones de las familias principales de fracturas se emplearán para la realización de cálculos de estabilidad de bloques y cuñas.

Además, tal y como se ha visto en el apartado de metodología, el hecho de que aparezcan cinco familias reseñables hace posible aplicar el criterio de rotura de HOEK – BROWN generalizado al estudio de este talud.

7.6.2.- RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Estimamos el RQD a partir de la correlación de PRIEST Y HUDSON (1976):

$$RDQ = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1 \lambda + 1).$$

Donde: λ = Número de fracturas por metro lineal, a lo largo de una línea de registro (“scan-line”).

En la mina se ha obtenido el RQD de acuerdo a esta metodología, realizando una línea de registro de 7,90 m. El procedimiento consiste en extender una cinta métrica a lo largo del emboquille de la galería y contar todas las fracturas existentes entre dos puntos. Se obtuvieron los siguientes valores:

$$\lambda = (\text{Fracturas contabilizadas}) / (\text{Longitud Línea 1}) = 128 / 7,90 = 16,20$$

fracturas /metro.

De este modo, aplicando la formulación de PRIEST y HUDSON, se obtiene la siguiente valoración del RQD:

$$\text{RQD} = 100 e^{-0,1 \cdot 16,20} (0,1 \cdot 16,20 + 1) = 51,85 \%$$

Por tanto, se puede considera que el RQD de la roca de la mina, en la zona del emboquille, se situará en el limite mala - media.

7.6.3.- PERSISTENCIA Y ESPACIADO

Se considera un espaciado medio de juntas de 4 cm y una continuidad (o persistencia) de 3 m.

7.6.4.- PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN

Asumiendo una relación lineal para la resistencia al corte, del tipo:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi$$

$$\phi_p = \operatorname{JRC}_n \operatorname{Log}_{10}(\operatorname{JCS}_n / \sigma_n) + \phi_r$$

Donde:

- ϕ_p : Fricción de pico.
- σ_n : Tensión efectiva normal.
- JRC_n : Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad.
- JCS_n : Resistencia a compresión simple de los labios de la junta.
- ϕ_r : Ángulo residual de fricción.

La tensión efectiva normal puede estimarse como el peso de la columna litostática que descansa sobre la fractura. Si se asume un peso específico de $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$, y una profundidad $Z = 4 \text{ m}$, se obtendrá una tensión:

$$\sigma_n = \gamma Z = 2700 \cdot 9,8 \cdot 4 = 105840 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa.}$$

El coeficiente de rugosidad JRC se estima a partir de unos perfiles normalizados. De acuerdo a este procedimiento, se ha obtenido para la juntas observadas, un valor estimado en $JRC = 6$. El valor obtenido corresponde a un perfil de 10 cm, y no es el JRC_n que se requiere en la formulación, pues la rugosidad se ve afectada por el conocido “efecto escala”. Para obtener JRC_n se aplicará la fórmula de Bandis:

$$JRC_n = JRC (L_n / 0,1)^{-0,02 JRC}$$

Donde:

- JRC = rugosidad estimada en los perfiles normalizados.
- L_n = persistencia de las fracturas observadas (m).

Asumiendo para las junta una persistencia mínima igual al tamaño máximo de las excavaciones ($L_n \approx 3 \text{ m}$), que es el caso geotécnicamente más desfavorable de todos los que se pueden producir, se obtendría $JRC_n = 6 (3 / 0,1)^{-0,02 \cdot 6} = 4$

Para el caso de la resistencia a compresión simple de los labios de la junta JCS_n , se realizaron medidas esclerométricas sobre ellas, obteniéndose el siguiente histograma:

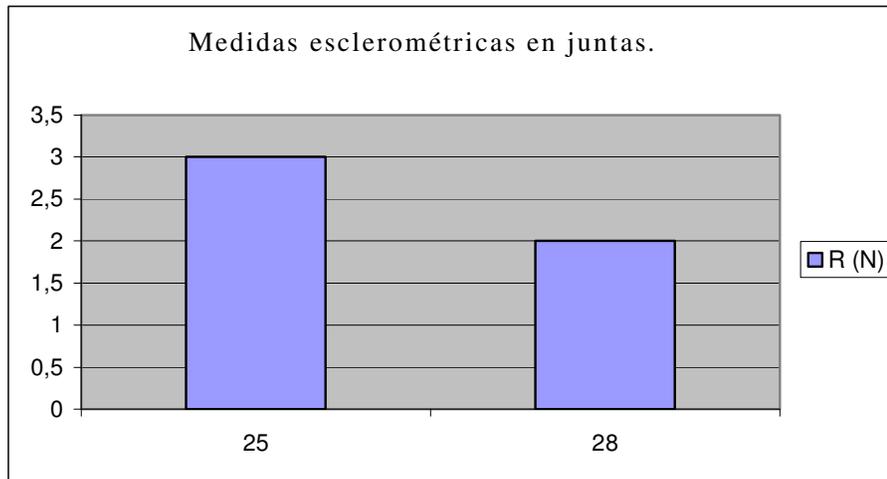


Figura 182: Estadística de medidas esclerométricas en el emboquille de la mina de plata de Bustarviejo.

Se asumirá, un valor de cálculo correspondiente a las juntas de $R(N) = 25$. Este valor corresponde a una resistencia $JCS = 14$ MPa. Al igual que sucedía con la rugosidad, es necesario corregir este valor por efecto escala, aplicando la formulación de BANDIS:

$$JCS_n = JCS (L_n / 0,1)^{-0,03 JCS}$$

$$JCS_n = 14 (3 / 0,1)^{-0,03 * 6}$$

Se aplicará en los mismos supuestos de persistencia que en el caso de la rugosidad, esto es $L_n = 3$ m, con lo que se obtiene un valor $JCS_n = 7,6$ MPa.

El valor de la fricción residual ϕ_r puede obtenerse de la bibliografía. De acuerdo a BARTON (1977), para un gneis se recomienda un rango $\phi_r = 23 - 29^\circ$, correspondiendo los valores más bajos para las juntas más húmedas y los más altos para las juntas más secas. Se adoptará un valor promedio igual a 26° .

De este modo, finalmente, el valor estimado de la fricción de pico, para la junta de mayor persistencia será:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r = 4 \text{Log}_{10}(7,6 / 0.1) + 26 = 33,5^\circ$$

En resumen, para las juntas presentes en la mina, que son del tipo “rugosas sin relleno”, se consideran los siguientes valores de cohesión y fricción:

- $C_p = 0,05 \text{ MPa}$
- $\phi_p = 33,5^\circ$.

Estos son los valores que introduciremos como característicos de la resistencia de las juntas en un cálculo cinemático de cuñas.

7.7- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO

7.7.1.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI)

A partir de los parámetros y características del terreno se han obtenido los siguientes valores del RMR:

GNEISES MINA DE PLATA BUSTARVIEJO EMBOQUILLE DE LA MINA		
RMR _{BÁSICO}	VALORACIÓN	
	(1): Resist. Comp. Simple \Rightarrow 42 MPa	4
	(2): RQD \Rightarrow 52 %	10
	(3): Espaciado juntas \Rightarrow 4 cm	5
	(4): Condición juntas \Rightarrow De meteorizadas a sanas y poco continuas.	23
	(5): Agua \Rightarrow De ligeramente húmedas a goteos.	10
	RMR_{BÁSICO} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \Rightarrow 52	

Tabla 72: Parámetros geotécnicos asignados al macizo rocoso en el emboquille de Bustarviejo.

Para obtener el valor del RMR, es necesario realizar la corrección por orientación de las fracturas. En general, tomaremos como criterio considerarlo muy favorable pues nos encontramos en una calicata muy encajonada y se pueden tomar criterios de túnel, excavación a favor de buzamiento con dirección de fracturación perpendicular al eje, con elevado buzamiento

De este modo, el RMR alcanzará un valor $52 - 0 = 52$. Se trata pues de un macizo de Clase III (Calidad Media).

7.7.2.- CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR (ROMANA)

En el caso que nos ocupa

RMR básico = 52

F1= 0.15

F2= 1

F3= -6

F4= 0

$SMR = 52 + (0,15*1*(-6)) + 0 = 51$.

Se trata de una clase SMR III, que implica rotura según cuñas, algunas juntas y por vuelco. Se recomienda un tratamiento sistemático del talud.

7.7.3.- PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL CRITERIO DE HOEK Y BROWN

Para obtener los parámetros del macizo se ha empleado un programa específico denominado Rocdata de la casa Rocscience.

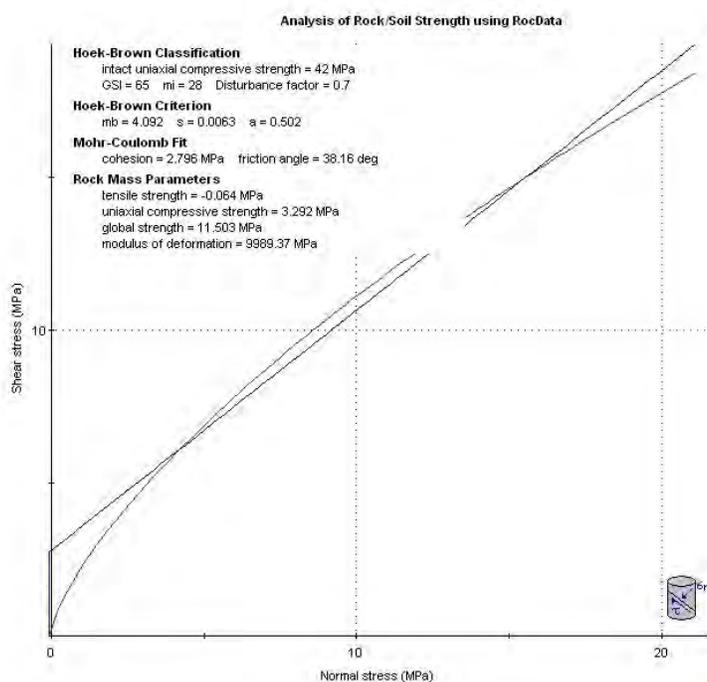


Figura 183: Envolvente de rotura de HOEK- BROWN y MOHR COULOMB ajustados a las tensiones actuantes.

Asumiendo que $RMR \approx GSI$, la aplicación de estas correlaciones al macizo rocoso néisico, proporciona los siguientes resultados:

Parámetros del macizo según el criterio de HOEK y BROWN						
Litotipo	σ_c MPa	m_i	GSI medio	D	E_{GSI} GPa	$\sigma_{c, mass}$ MPa
Gneis emboquille	42	28	65	0,7	10	3,29

Tabla 73: Parámetros del macizo rocoso en el emboquille de la mina de Bustarviejo según el criterio de rotura de HOEK y BROWN.

7.8-ESTABILIZACIÓN DEL EMBOQUILLE

Cuando el cálculo indique que se pueden producir inestabilidades en los desmontes, se aplicarán medidas de contención, consistentes básicamente en bulonajes, mallas, gunitas, escolleras, etc.

Se ha analizado la interacción del talud (70/80 ó 60/80 en Dip/dip dir) con todas y cada una de las familias de fracturas. El resultado es una posible rotura de caída de cuñas según la familia 2 con 3 la cual produce a su vez el descalce de otras contiguas y favorece la rotura por vuelco.

Los programas de cálculo empleados han sido DIPS y SWEDGE de la casa Rocscience. Los parámetros considerados han sido los tomados en campo, el censado mediante DIPS y los datos geomecánicos del epígrafe anterior.

Plano	Dip/dip dir	Cohesión pico	Ángulo de rozamiento interno
F- 2	81/218	0,05 MPa	28,7
F - 3	80/64	0,05 MPa	28,7
talud	Varios tanteos 70/80, 60/80, 80/80		

Tabla 74: Parámetros de las juntas en el emboquille de Bustarviejo.

Otros “input” introducidos:

- Juntas llenas de agua con espaciado de 4mm.
- La densidad de la roca es de 2,7 t/m³.
- Altura del talud 8 m.

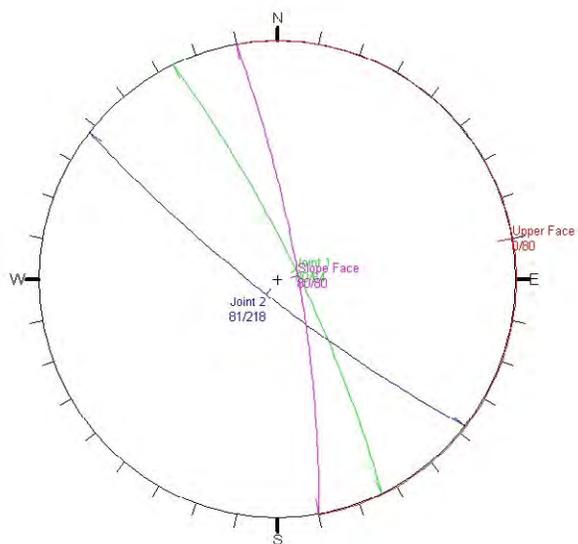


Figura 15: Representación estereográfica de las juntas.

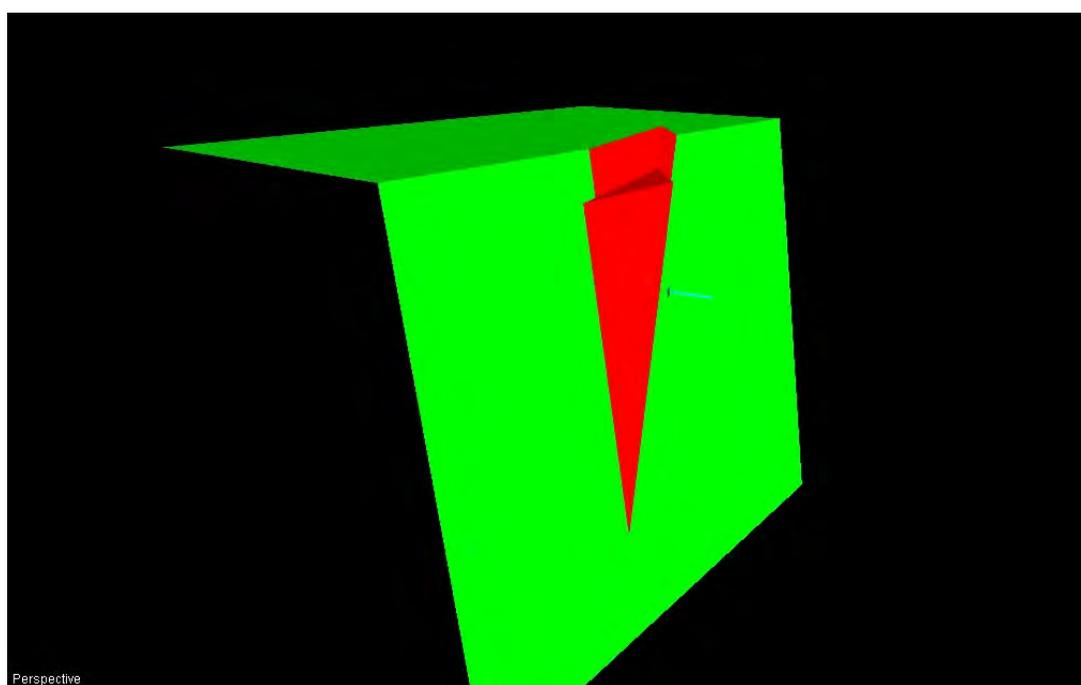


Figura 185: Perspectiva de la cuña más desfavorable que teóricamente puede desprenderse.

El factor de seguridad es de: 0,53 por lo tanto inestable. Como consecuencia del criterio adoptado, se ha adoptado un talud en roca de 60°, reperfilando y saneando el existente de 80°/70°.

Debido a la elevada fracturación, y al entorno susceptible a gelifracciones, recomendamos la colocación de una malla de triple torsión adosada al talud mediante piquetas. El emboquille se reconstruirá y estabilizará mediante un muro de contención de hormigón armado acabado en piedra vista. Todas las mediciones y pliego de condiciones de este muro figuran en planos adjuntos a la tesis.

El resto del talud reperfilado que no posee muro (entre este y la coronación) se estabilizará preferentemente mediante malla de triple torsión anclada al talud mediante bulones pasivos o pernos de 1 a 2 m. de profundidad. La superficie a tratar será de 23 m de longitud x 5 m de altura = 115 m². El número total de pernos o bulones será en todo caso no menor de 27 alternando 1 y 2 m de longitud según las características geomecánicas del desmonte, una vez reperfilado definitivamente. Se dispondrá dentro del paño de malla (de triple torsión) de anclajes en coronación, intermedios y de pie. Los anclajes podrán ser pasivos pero llevarán siempre placa de reparto. Para el cálculo del armado del muro de contención se ha utilizado el software comercial Cypecad.



Figura 186: reconstrucción idealizada del emboquille de la mina de Bustarviejo (mina Indiana).



Figura 187: Emboquille de la mina de plata de Bustarviejo. Estado de las obras a diciembre de 2007.

7.9.- DESMONTES EN SUELO: ESTABILIDAD DE LAS ESCOMBRERAS

Para el cálculo de la estabilidad de las escombreras se considera una posible rotura circular y se calcula mediante el método de BISHOP simplificado. Los parámetros a introducir en el programa (Slide) serán:

- Ángulo de la escombrera: 36° .
- Ángulo del terreno sobre el que descansa la escombrera: 20° .
- La altura máxima de la escombrera es de 12 m (superior), formada por bloques de 1 m a 1 cm.



Figura 188: Panorama escombreras mina Indiana.

Terreno	Cohesión	Ángulo rozamiento interno	Densidad
Escombrera	0	45°	2,7
Macizo rocoso (datos de RMR)	200 KPa o KN/m ²	25°	2,7

Tabla 75: Parámetros asignados a las escombreras

El resultado es un FS = 1,5. Por lo tanto las escombreras son estables mientras no se descalcen (Como cabria esperar de una escombrera de más de 100 años).

7.10.- ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LAS GALERÍAS

En 2006 la empresa GEOCONSULT recibe el encargo de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, de revisar los trabajos realizados en esta mina (principalmente los primeros cálculos topográficos y geotécnicos del doctorando hasta 2005) y los parámetros asociados para emitir un informe provisional. Los valores geomecánicos de partida son del doctorando y la metodología, de tipo moderno cortesía de GEOCONSULT.

A efectos de un estudio geotécnico general parece más operativo considerar una clasificación general de la mina, a la hora de asignar unos parámetros en fase de diseño – anteproyecto. Para trabajos más puntuales, sí que parece interesante una clasificación por tramos de la mina. En adelante se agrupan todos las estaciones geomecánicas para asignar unos valores globales.

La siguiente etapa de estudio geotécnico consiste en verificar en las zonas más problemáticas que efectivamente las cuñas calculadas están presentes. Se realizaría un nuevo calculo afinando las estaciones geomecánicas en cada tramo problemático y proponiendo soluciones constructivas a las inestabilidades que aparecieran. Esta etapa escapa al alcance de la presente Tesis Doctoral.

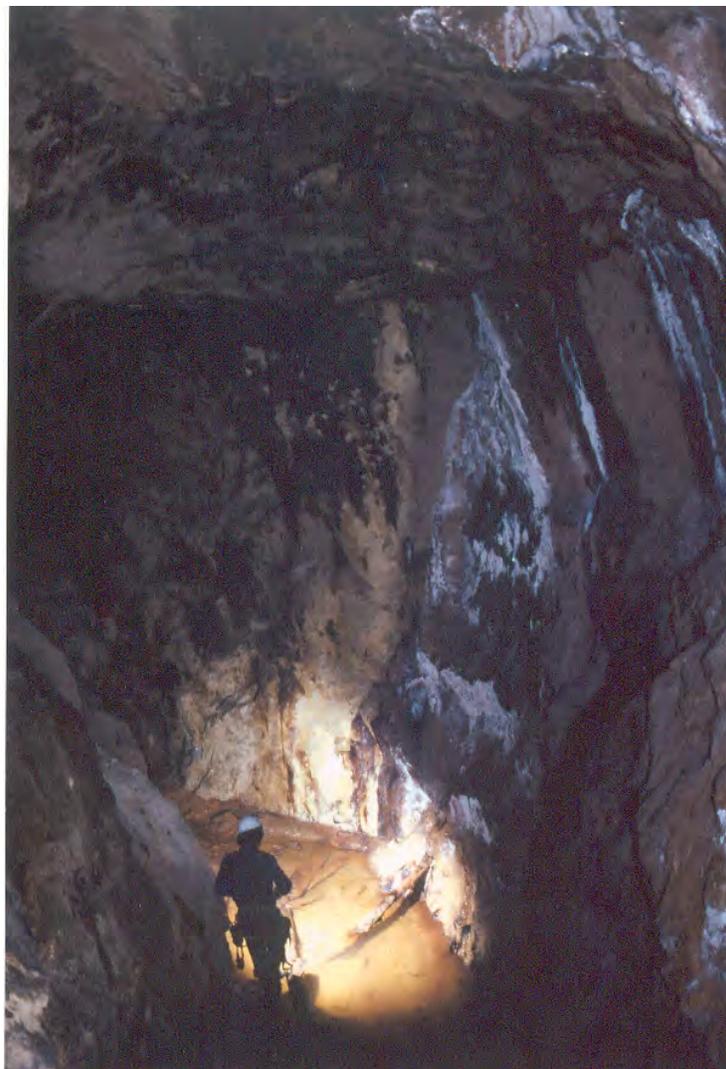


Figura 189: La espiral de la mina Indiana.

7.10.1.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA

RECOPIACIÓN DE DATOS BIBLIOGRÁFICOS

De la bibliografía se han obtenido los parámetros geotécnicos para la roca néisica (matriz), que ya se han mostrado en el apartado anterior del emboquille.

VALORES OBTENIDOS EN MEDICIONES ESCLEROMÉTRICAS



Figura 190: Medidas esclerométricas en el interior de la mina de Bustarviejo.

Se han realizado un total de quince estaciones de lectura a lo largo de la mina. El índice esclerométrico medio es $R(N) = 60$ para la roca néisica. Este valor corresponde a una resistencia a compresión simple de 65 MPa.

Aplicando el criterio de rotura de HOEK y BROWN, puede obtenerse la resistencia a tracción de la roca, empleando para ello el valor de resistencia a compresión obtenido (65), y el parámetro m_i del neis (28):

$$\sigma_T = 0,5 \sigma_C [(m_i^2 + 4)^{0,5} - m_i] = 0,5 \cdot 65 [(28^2 + 4)^{0,5} - 28] = 2,32 \text{ MPa}$$

A partir de los valores del índice esclerométrico $R(N)$, pueden obtenerse una serie de parámetros geotécnicos, a partir de diversas correlaciones. El índice esclerométrico $R(L)$ empleado en alguna de las ecuaciones anteriores, corresponde a un Martillo de Schmidt Tipo L. Para obtener este índice a partir de $R(N)$, se emplea la siguiente ecuación (AYDAY et alii, 1992):

$$R(N) = 7,124 + 1,249 R(L)$$

De este modo, para un $R(N) = 60$, se obtendría un $R(L) = 43$.

Los valores obtenidos mediante la aplicación de esta formulación, en la roca néisica, proporciona los siguientes valores:

- Porosidad: Para matriz de roca néisica la porosidad media es de: 2,75 %.
- Velocidad de las ondas p: Para la roca néisica la velocidad de las ondas p es de: 2,19 km/s.
- Módulo de deformación: Para la matriz de roca néisica, asumiendo una densidad de 2,70 g/cm³, el módulo de deformación es de: 67 GPa.

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ASIGNADOS A LA MATRIZ ROCOSA

A partir de los datos bibliográficos y de los deducidos a partir de las mediciones esclerométricas, se ha elaborado una tabla con los parámetros geotécnicos recomendados para la matriz rocosa néisica de la mina. Estos valores se resumen a continuación en forma de tabla.

Parámetro	Valor Medio	Procedencia dato
Densidad	$\gamma = 2760 \text{ kg/m}^3$	Bibliografía
Resistencia a compresión simple	$\sigma_C = 65 \text{ MPa}$	Mediciones esclerométricas
Resistencia a tracción	$\sigma_T = 2,32 \text{ MPa}$	Correlaciones
Módulo de deformación	$E_{\text{lab}} = 67 \text{ GPa}$	Mediciones esclerométricas
Coefficiente de Poisson	$\nu = 0,25$	Bibliografía
Parámetro m_i	$m_i = 28$	Bibliografía

Tabla 76: Parámetros geotécnicos asignados a la matriz rocosa en las galerías de la mina de Bustarviejo.

7.10.2.- FRACTURACIÓN

FAMILIAS DE FRACTURAS

Se ha realizado un registro sistemático de fracturas aflorantes (también llamadas juntas) a lo largo de las galerías, contabilizándose un total de 79 fracturas reseñables. Se pueden agrupar en tres familias, denominadas J_1 , J_2 y J_3 , se representan a posteriormente en forma de ciclograma.

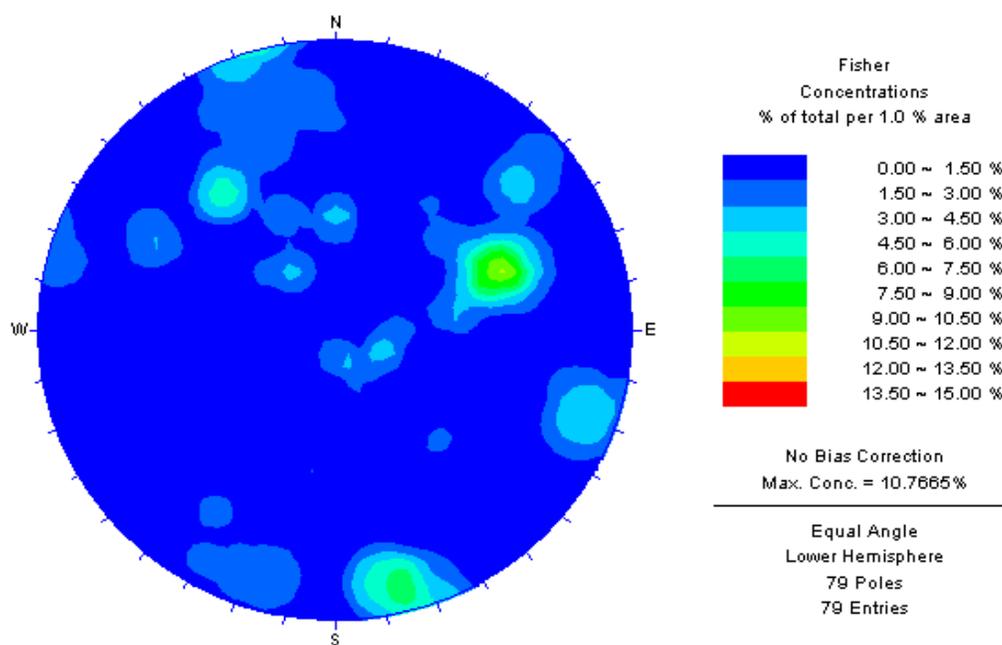


Figura 191: Concentración de polos. Interior de la mina de Bustarviejo.

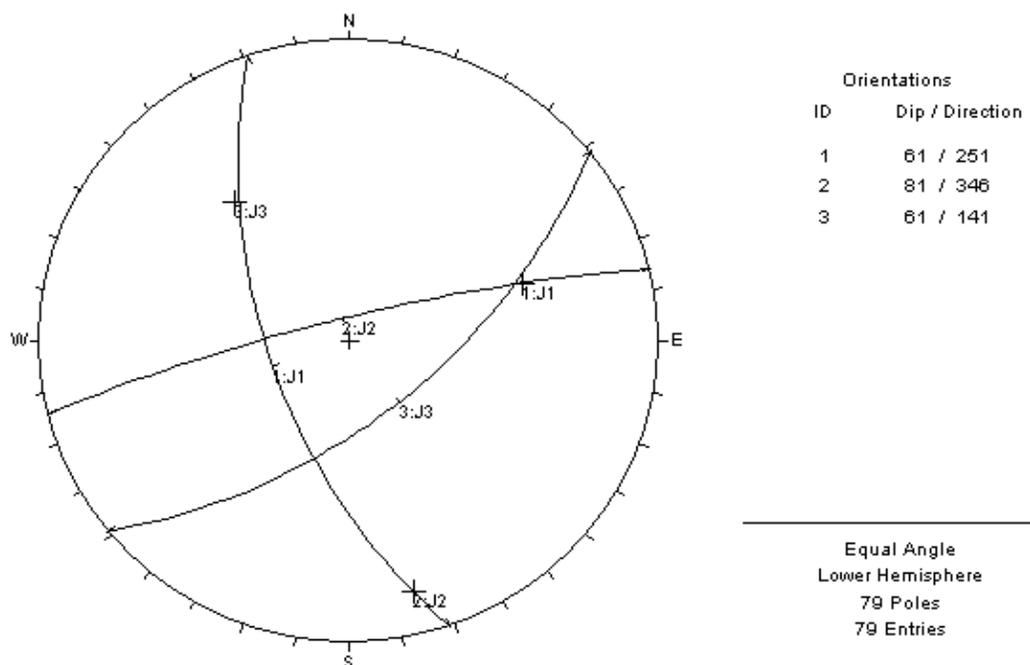


Figura 192: Principales familias de juntas en el interior de la mina de Bustarviejo, obtenido del estudio y agrupación de polos del diagrama anterior.

FAMILIA	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
J ₁	251	61
J ₂	346	81
J ₃	141	61

Tabla 77: Principales familias de juntas detectadas en las galerías de la mina de plata Indiana, de Bustarviejo.

Estas orientaciones de las familias principales de fracturas se emplearán para la realización de cálculos de estabilidad de bloques y cuñas.

RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Cuando no se dispone de sondeos, como es el caso que nos ocupa, el RQD puede estimarse a partir de diversas correlaciones, como por ejemplo la de PRIEST y HUDSON (1976):

$$RDQ = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1 \lambda + 1)$$

Donde: λ = Número de fracturas por metro lineal, a lo largo de una línea de registro (scan-line).

En la mina se ha obtenido el RQD de acuerdo a esta metodología, realizando dos líneas de registro de 8,80 m y 4,20 m respectivamente. El procedimiento consiste en extender una cinta métrica a lo largo de la galería y contar todas las fracturas existentes entre dos puntos. En las dos líneas de registro realizadas, se obtuvieron los siguientes valores:

$$\lambda_1 = (\text{Fracturas contabilizadas}) / (\text{Longitud Línea 1}) = 51 / 8,80 = 5,8 \text{ fracturas /metro.}$$

$$\lambda_2 = (\text{Fracturas contabilizadas}) / (\text{Longitud Línea 2}) = 27 / 4,20 = 6,4$$

fracturas /metro.

De este modo, aplicando la formulación de PRIEST y HUDSON, se obtiene la siguiente valoración del RQD:

$$\text{RQD}_1 = 100 e^{-0,1 \cdot 5,8} (0,1 \cdot 5,8 + 1) = 88 \%$$

$$\text{RQD}_2 = 100 e^{-0,1 \cdot 6,4} (0,1 \cdot 6,4 + 1) = 86 \%$$

Por tanto, se puede considerar que el RQD de la roca de la mina, en la zona de las galerías, se situará dentro del intervalo 90 – 75 %, que corresponde a una roca de calidad buena. Para las zonas de falla y los filones, el RQD disminuye, situándose en valores inferiores al 50 %.

PERSISTENCIA Y ESPACIADO

La persistencia o continuidad de la fractura es muy difícil de estimar, ya que las galerías son de dimensiones muy reducidas, de manera que la longitud de junta expuesta es generalmente la dimensión de la propia excavación. Se asumirá por tanto, que las fracturas tienen al menos la continuidad de las excavaciones. Para el caso de las galerías, la continuidad mínima será de 3 m, y para el caso de las cavidades mayores, de 15 m.

El espaciado es fácil de determinar, pues las excavaciones van cortando las sucesivas fracturas del terreno. En general, los reconocimientos de campo tienden a subvalorar el espaciado, ya que éste es más fácil de percibir cuando dos juntas de la misma familia están muy próximas, correspondiendo este caso, más bien, al espaciado mínimo. En general, los espaciados observados son mayores de 2 m. En zonas locales, este espaciado puede reducirse a valores en el entorno de 0,2 – 0,6 m.

PARÁMETROS RESISTENTES DE LA FRACTURACIÓN

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi$$

En esta ecuación, debida a MOHR-COULOMB, tomaremos al igual que en el emboquille valores de pico. La cohesión de pico se obtiene a partir de datos bibliográficos, recomendándose, de acuerdo a BARTON (1974) un valor en el rango $C_p = 0 - 0,1$ MPa, adoptándose el valor medio 0,05 MPa. Para estimar la fricción de pico se aplicará la conocida ecuación de CHOUBEY y BARTON (1974), que estima este parámetro a partir de la rugosidad y resistencia estimadas para la junta en campo:

$$\phi_p = JRC_n \operatorname{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r$$

Donde:

- ϕ_p : Fricción de pico.
- σ_n : Tensión efectiva normal.
- JRC_n : Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad.
- JCS_n : Resistencia a compresión simple de los labios de la junta.
- ϕ_r : Ángulo residual de fricción.

La tensión efectiva normal puede estimarse como el peso de la columna litostática que descansa sobre la fractura en el interior de la mina. Si se asume un peso específico de $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$, y una profundidad $Z = 60 \text{ m}$, se obtendrá una tensión:

$$\sigma_n = \gamma Z = 2700 \cdot 9,8 \cdot 60 = 1,6 \text{ MPa.}$$

De acuerdo al procedimiento estándar a partir del gráfico de rugosidades estándar, se ha obtenido para la juntas observadas, un valor estimado en $JRC = 5$. El valor obtenido corresponde a un perfil de 10 cm, y no es el JRC_n que se requiere en la formulación, pues la rugosidad se ve afectada por el conocido “efecto escala”. Para obtener JRC_n se aplicará la fórmula de BANDIS:

$$JRC_n = JRC (L_n / 0,1)^{-0,02 JRC}$$

Donde:

- JRC = Rugosidad estimada en los perfiles normalizados.
- L_n = Persistencia de las fracturas observadas (m).

Asumiendo para las junta una persistencia mínima igual al tamaño máximo de las excavaciones ($L_n \approx 15 \text{ m}$), que es el caso geotécnicamente más desfavorable de todos los que se pueden producir, se obtendría $JRC_n = 5 (15 /$

$0,1)^{-0,02 \cdot 5} = 3$. Para el caso de galerías, cuyas dimensiones no suelen superar los $L_n = 3$ m, se obtendría $JRC_n = 5 (3 / 0,1)^{-0,02 \cdot 5} = 3,5$.

Para el caso de la resistencia a compresión simple de los labios de la junta JCS_n , se realizaron medidas esclerométricas sobre ellas, obteniéndose el siguiente histograma:

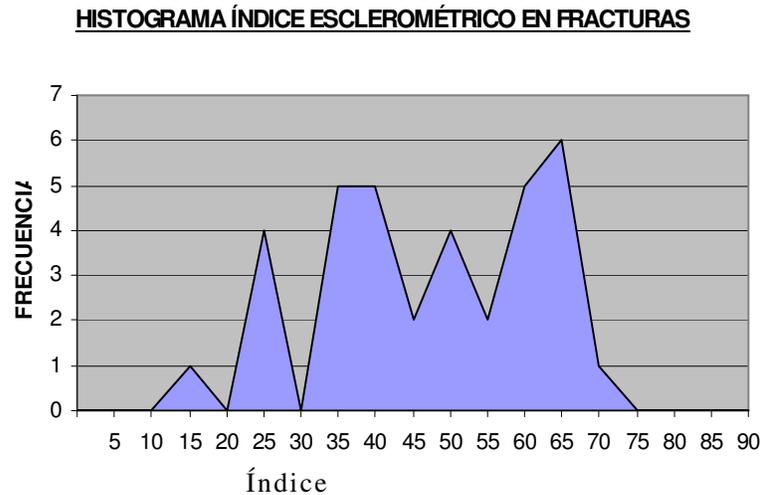


Figura 193: Histograma de medidas esclerométricas en las juntas.

El histograma muestra una distribución claramente bimodal, con dos picos máximos centrados en torno a los valores $R(N) = 35$ y $R(N) = 65$. El valor más alto correspondería a la roca sana, es decir, a juntas sin ningún tipo de alteración, ya que el valor del índice coincide con el obtenido para la roca sana.

El valor más bajo corresponde a juntas con cierto grado de alteración. Se asumirá, del lado de la seguridad, un valor de cálculo correspondiente a las juntas alteradas, es decir $R(N) = 35$. Este valor corresponde a una resistencia

JCS = 27,5 MPa. Al igual que sucedía con la rugosidad, es necesario corregir este valor por efecto escala, aplicando la formulación de BANDIS:

$$JCS_n = JCS (L_n / 0,1)^{-0,03 JCS}$$

Se aplicará en los mismos supuestos de persistencia que en el caso de la rugosidad, esto es $L_n = 15 - 3$ m, con lo que se obtiene un valor $JCS_n = 13 - 16,5$ MPa respectivamente.

El valor de la fricción residual ϕ_r puede obtenerse de la bibliografía. De acuerdo a BARTON (1977), para un neis se recomienda un rango $\phi_r = 23 - 29^\circ$, correspondiendo los valores más bajos para las juntas más húmedas y los más altos para las juntas más secas. Se adoptará un valor promedio igual a 26° .

De este modo, finalmente, el valor estimado de la fricción de pico, para la junta de mayor persistencia será:

$$\phi_p = JRC_n \text{Log}_{10}(JCS_n / \sigma_n) + \phi_r = 3 \text{Log}_{10}(13 / 1,6) + 26 = 28,7^\circ$$

En resumen, para las juntas presentes en la mina, que son del tipo “rugosas sin relleno”, se consideran los siguientes valores de cohesión y fricción:

$$C_p = 0,05 \text{ MPa}; \phi_p = 28,7^\circ.$$

7.10.3.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MACIZO ROCOSO EN GALERÍAS

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR EN LAS GALERIAS DE BUSTARVIEJO

A partir de los parámetros y características del terreno se han obtenido los siguientes valores del RMR:

NEISES MINA DE PLATA BUSTARVIEJO		
RMR _{BÁSICO}	VALORACIÓN	
	(1): Resist. Comp. Simple \Rightarrow 65 MPa	7
	(2): RQD \Rightarrow 75 - 90 %	17
	(3): Espaciado juntas \Rightarrow Espaciado generalmente > 2 m. Localmente entre 0,2 - 0,6 m	20 - 8
	(4): Condición juntas \Rightarrow De meteorizadas a sanas y poco continuas.	30 - 20
	(5): Agua \Rightarrow De ligeramente húmedas a goteos.	10 - 4
	RMR_{BÁSICO} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \Rightarrow Máximo: 84 ; Mínimo: 56 ; Media: 70	

Tabla 78: Valores de RMR asignados al macizo rocoso en el interior de la mina de Bustarviejo.

Para obtener el valor del RMR, es necesario realizar la corrección por orientación de las fracturas. En general, las fracturas son oblicuas a la excavación, con tendencia más bien a ser de rumbo paralelo que transversal.

Para el caso de rumbo paralelo, la situación sería “muy desfavorable”. En caso de rumbo transversal, se trataría de una situación “muy favorable”.

Estas dos situaciones conducen a una corrección de -12 (muy desfavorable) y 0 (muy favorable). Como las fracturas tienden más bien a rumbo paralelo, aunque no llega a serlo del todo, se adoptará un valor de -10 . De este modo, el RMR alcanzará un rango $74 - 46$, con un valor medio de 60 . Por ello puede afirmarse que en la mina predominan los macizos de Clase II (Calidad buena), con zonas locales de Clase III (Calidad media).

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q EN LAS GALERÍAS DE BUSTARVIEJO

Parámetro	Clase II (en general la mas habitual de la mina)	Clase III (zonas de falla y algún emboquille de galería o pozo)
RQD	90	75
Jn	(3 familias) 9	(4 familias) 12
Jr	(E) 1,5	1,5
Ja	(lig. Meteorizadas, C) 2,0	2,0
Jw	(B) 0,66	(C) 0,5
SRF	1,0	1,0
Q	4,95	2,34

Tabla 79: Clasificación geomecánica Q de las galerías de la mina de Bustarviejo.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

Como se ha indicado en el apartado anterior, en la mina predominan los macizos rocosos según BIENIAWSKI, de Clase II (Calidad buena) y localmente, en zonas de falla y algunos anchurones, se presentan los de Clase III (Calidad media, muy cercanos de la clase IV). Por ello, se van a obtener dos grupos de parámetros: Por un lado, los correspondientes a la Clase II, para lo cual se empleará el valor geomecánico más bajo que define el rango de esta clase, es decir $RMR = 60$. Asimismo, se obtendrán los parámetros de la Clase III, empleando igualmente el valor del RMR más bajo del rango, es decir $RMR = 40$. Asumiendo que $RMR \approx GSI$, la aplicación de estas correlaciones al macizo rocoso néisico, proporciona los siguientes resultados:

litotipo	σ_c MPa	m_i	GSI medio	D	E_{GSI} (GPa)	$\sigma_{c_{mass}}$
Clase II	65	28	60	0,8	8,602	19,30
Clase III	65	28	40	0,8	2,720	10,58

Tabla 80: Parámetros geotécnicos del macizo rocoso en el interior de la mina de Bustarviejo.

ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE SOSTENIMIENTO A PARTIR DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Consideramos la clase II como representativa de las galerías y grandes salas, siendo la clase III propia de zonas de falla, en general presentes en alguna galería. Consideramos para estas estimaciones, una dimensión de galerías de 2 m y para las grandes salas de 10 a 20 m.

Según las recomendaciones estrictas de la clasificación de BIENIWSKI y la tabla propia de sostenimientos a partir del índice RMR, estas consideraciones sólo serían aplicables a las grandes salas, pues son las únicas con vanos de, al menos 10 m.

- Para la clase II recomienda un sostenimiento mediante bulonado local en clave y 5 cm. de hormigón proyectado para impermeabilización.
- Para la clase III recomienda un bulonado sistemático de 3- 4 m en clave y hastiales y de 5 a 10 cm de hormigón proyectado en clave y 3 cm en hastiales.

Según la clasificación Q de BARTON, tomando un ESR de 0,8 y galerías de 2-3 m de sección, para la clase II ($Q = 4,95$, vano/ESR = $3/0,8 = 3,75$) Obtenemos que no es necesario sostenimiento.

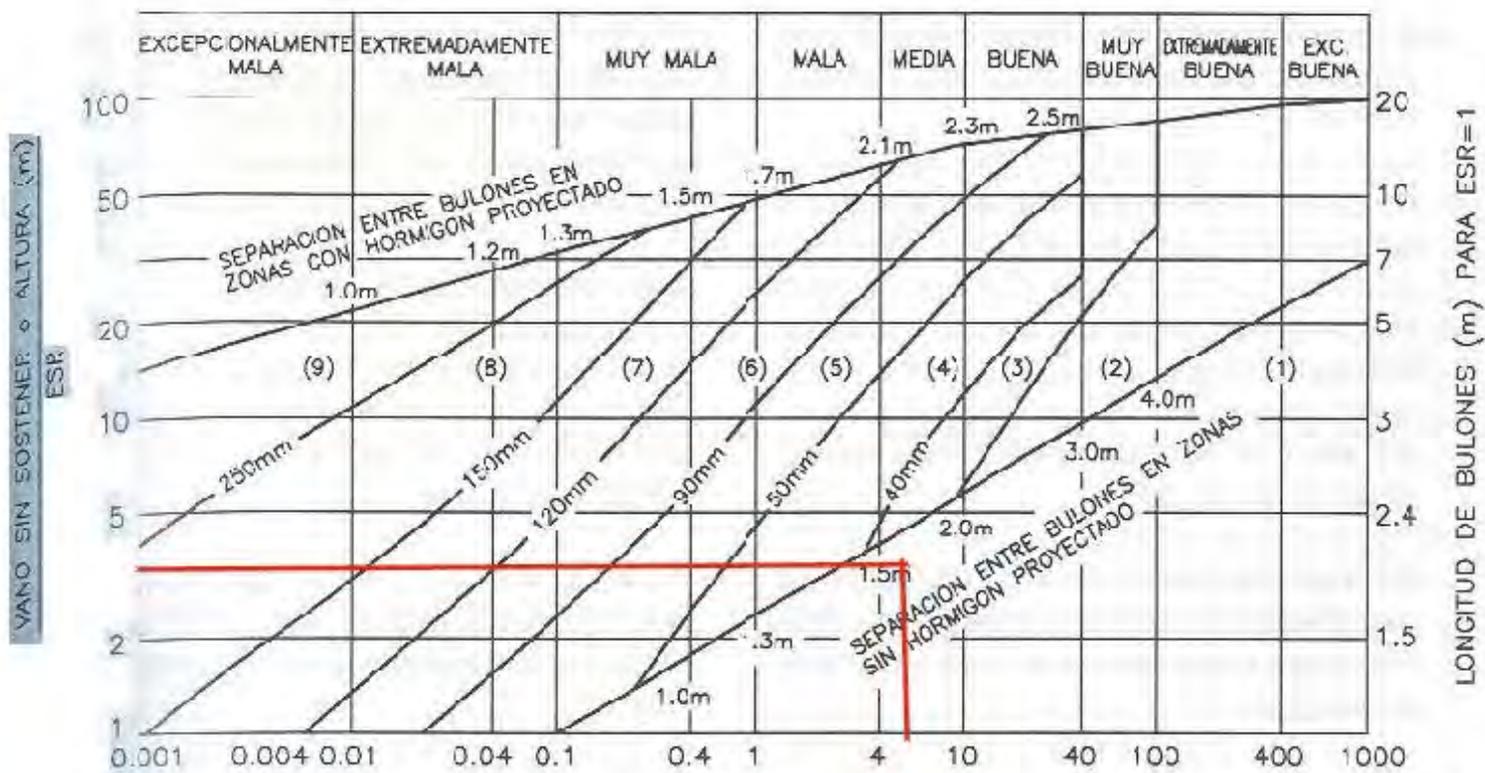


Figura 194: cálculo de sostenimientos y vanos a partir del índice Q.

En el caso de grandes vanos de 20 m. entonces $Vano/ESR = 20/0,8 = 25$.

Entrando con $Q = 4,95$ obtendremos las categorías de sostenimiento 4-5 que implican bulonado sistemático con hormigón proyectado con o sin fibras.

Parecen criterios muy conservadores dado la elevada estabilidad del conjunto, pero debemos subrayar que se trata de espacios de uso público y donde ya hemos definido un coeficiente ESR de 0,8. Lógicamente con parámetros de uso meramente mineros, los sostenimientos serán sensiblemente mas reducidos.

Por último, en el caso de la categoría III: $Vano /ESR = 3,75$ y $Q = 2,34$; estaríamos entonces en la categoría 4 o 3 de bulonado sistemático.

PRESIÓN SOBRE SOSTENIMIENTOS A PARTIR DE CLASIFICACIONES GEOMECANICAS EN BUSTARVIEJO

Solamente vamos a considerar el caso de la clase III donde en lugar de sostenimiento con bulones, se van a emplear cuadros metálicos tipo TH.

$Q = 2,34$ y vano = 3 m (ancho de la galería).

Tomamos exclusivamente la carga de roca en clave, para macizos de 3 o más familias de discontinuidades (hay diversas formulas de Q):

Según Q: $P_r = 2 / (J_r Q^{1/3}) = 1,0 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2$

Según RMR: $P = \gamma * B (100 - \text{RMR}) / 100 = 2700 * 3 * (100 - 40) / 100 = 4860$

$\text{Kg/m}^2 = 4,86 \text{ T/m}^2$

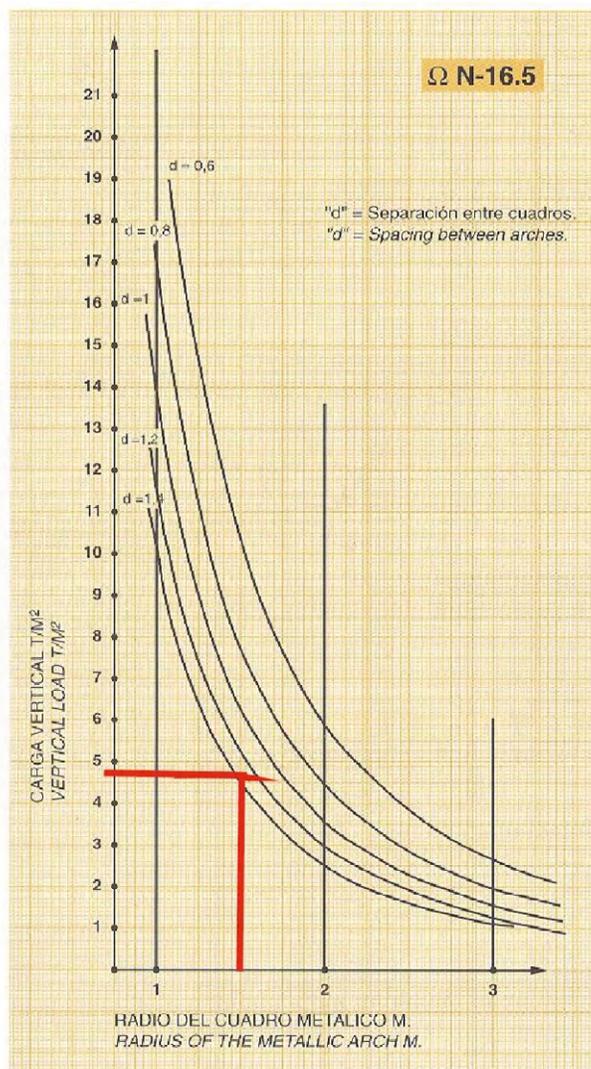


Figura 195: Cálculo de la cuantía de crechas (cuadros) según la carga en clave (cortesía TEDESA).

Sobre estas líneas elección del tipo de cerchas para perfiles normalizados TH de 16,5. Entrando con $P = 4,86$ (de RMR) y radio de 1,5 m el resultado es una separación de cuadros de 1,2 m.

Tomando la presión a partir de Q , sería $P = 10 \text{ T/m}^2$, y por tanto la separación entre cuadros sería de 0,6 m.

7.10.4.- CALCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES

A continuación se van a realizar unas estimaciones sobre la estabilidad de la mina: únicamente cálculos de bloques y cuñas sueltas de roca, que se movilizan por la acción gravitatoria. En trabajos más desarrollados se suelen complementar con cálculos tensodeformacionales, que evalúan si el estado tensional inducido en el terreno alrededor de la excavación llega a fracturar la roca, provocando su caída.

Con el objeto de comprobar la estabilidad de las cuñas que se pueden formar en la galería, se han realizado una serie de cálculos con el programa Unwedge. Se han analizado todas las posibles combinaciones de las familias de juntas presentes en la mina y las galerías, calculándose el factor de seguridad, considerando la acción de la gravedad.

CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE BLOQUES EN LAS GALERÍAS

Se ha considerado una galería tal y como la representada en la imagen inferior:



Figura 196: Galería de arrastre. Nótese las cuñas en el hastial derecho.

En los gráficos adjuntos se pueden visualizar las posibles cuñas que pueden formarse en las galerías:

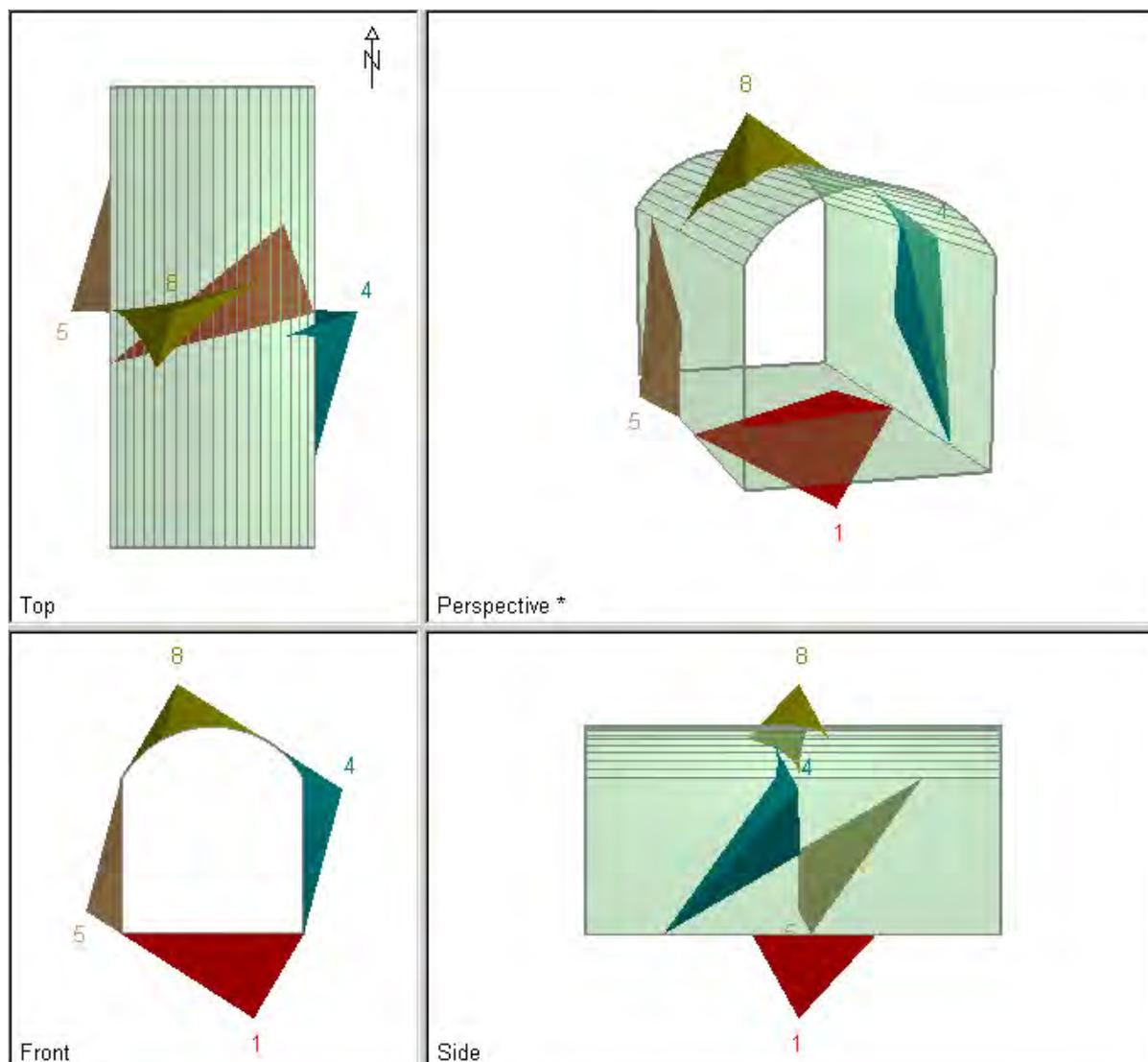


Figura 197: Vista de las principales cuñas que pueden formarse a nivel general en una galería tipo de la mina de Bustarviejo.

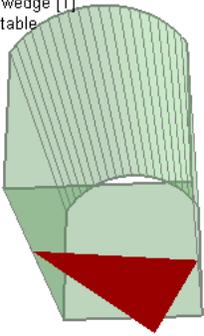
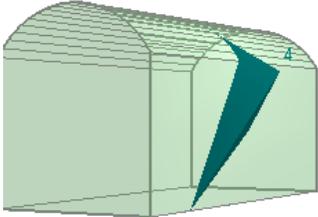
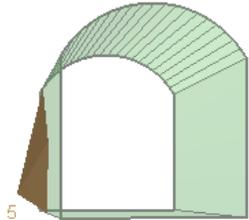
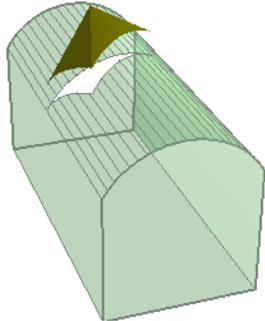
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (t)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
1	Cuña de solera	Estable	0,532	0,81	<p>Floor wedge [1] FS: stable</p> 
4	Cuña de hastial	27,92	0,207	0,37	<p>Upper Right wedge [4] FS: 27.925</p> 
5	Cuña de hastial	65,47	0,161	0,34	<p>Lower Left wedge [5] FS: 65.469</p> 
8	Cuña de bóveda	0,00	0,105	0,45	<p>Roof wedge [8] FS: 0.000</p> 

Tabla 81: Factores de seguridad en las cuñas formadas en el interior de la mina de Bustarviejo, de forma genérica.

En la tabla anterior se han resumido las principales características de las cuñas de roca que se forma en la mina. La sección calculada de la galería, tiene unas dimensiones de 1,80 m de anchura y 2,40 m de altura. De este cálculo se deduce lo siguiente: Potencialmente pueden formarse cuatro tipos de cuñas: una en bóveda (nº 8), otras dos en hastiales (nº 4 y 5) y otra en la solera (nº 1).

- La cuña de solera cinemáticamente no puede desplazarse, por lo que no se estudia.
- Las cuñas con posibilidad de movimiento son las de hastiales y bóveda. Son de dimensiones muy reducidas. Sus espesores (ápices) no superan el medio metro, y sus pesos apenas alcanzan los 200 kg. Las cuñas de hastiales son estables, con factores de seguridad muy elevados.
- La cuña de bóveda es inestable, pero el hecho de que su factor de seguridad sea nulo indica que, de formarse, debió caerse durante la excavación de la galería. No obstante, si en algún punto se observase la presencia de una cuña de características similares a este, bastaría un bulón de un metro de longitud para conseguir su estabilización.

GALERÍA DE ARRASTRE: GRANDES CÁMARAS O ANCHURONES VACIADOS
(CÁMARAS VACIAS), SECCIÓN J-J'.

A continuación se expone el cálculo de cuñas posibles en un “anchurón” o explotación de filones o bolsadas mineralizadas. Además de las galerías, es una de las tipologías de aperturas más habituales en esta mina. Encontramos múltiples espacios de este tipo en esta mina, así pues, hemos elegido la sección J-J' (lamina en anejos) como representativa de este tipo. Bajo estas líneas una imagen de uno de estos anchurones que hemos modelizado



Figura 198: Anchurón en la sección J-J'. Mina Indiana.

Las características de la sección que hemos modelizado en UNWEDGE son las siguientes:

- Dirección (trend): 270°
- Inclinación o inmersión, (plunge) 0°
- Dimensiones: Anchura 2,0 m, altura 10m.

En los gráficos adjuntos se pueden visualizar las posibles cuñas que pueden formarse⁶²:

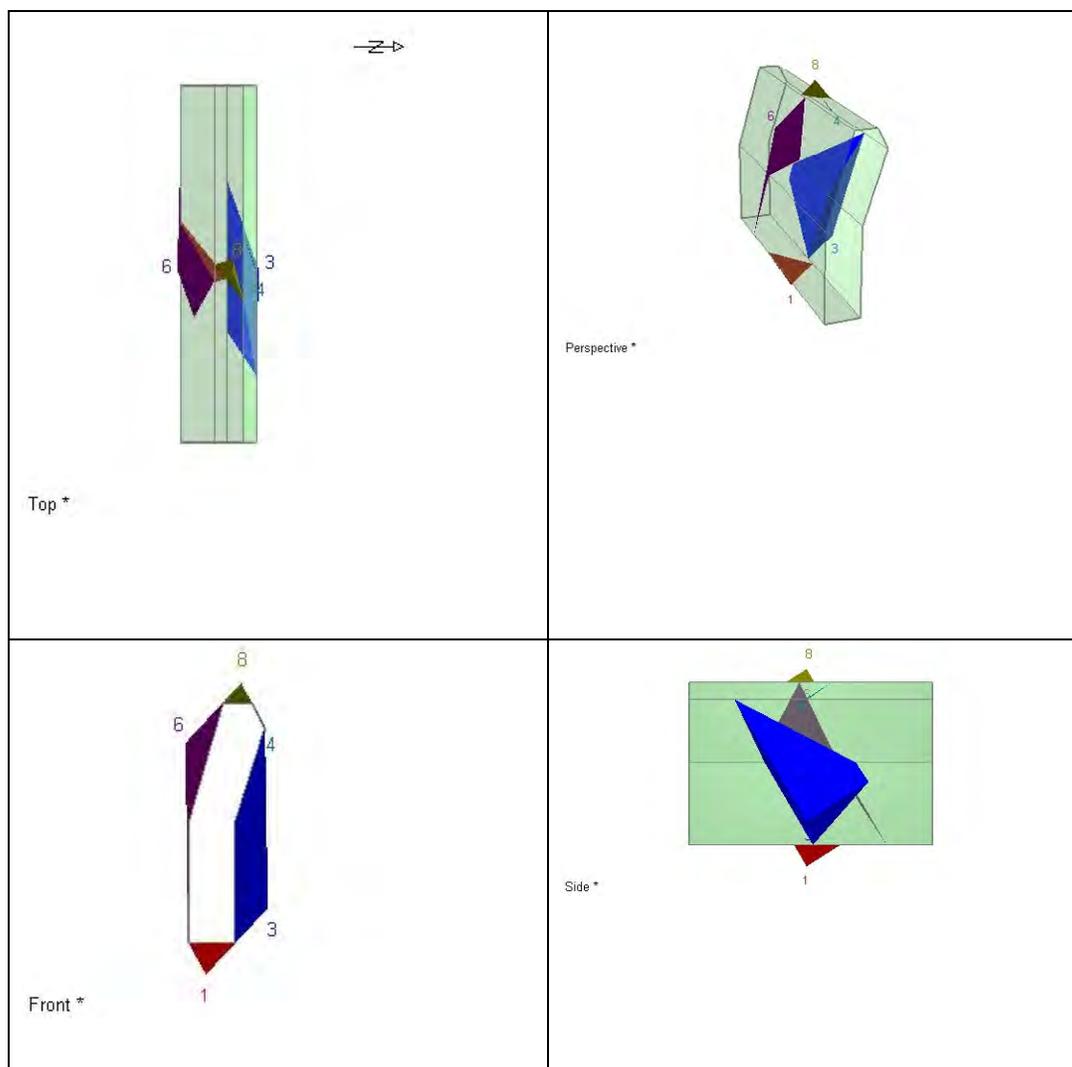


Figura 199: Esquema de las juntas obtenidas en un anchurón de la mina Indiana de Bustarviejo.

⁶² Las juntas que intervienen en el cálculo son las mismas que en el apartado anterior de estudio de las galerías, según dirección y dirección de buzamiento (dip/dipdir): $J_1(61/251)$, $J_2(81/346)$ y $J_3(61/141)$, siendo también los parámetros resistentes los mismos empleados para las juntas: $C=0,05\text{MPa}$, $\varphi=28,7$ y peso específico: $0,0276\text{ MN/m}^3$ ($2,76\text{ T/m}^3$)

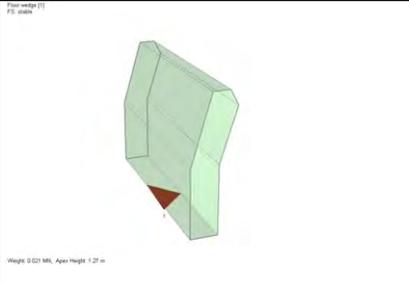
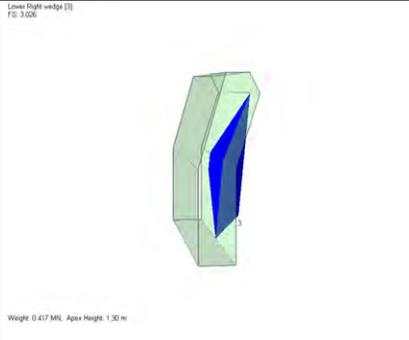
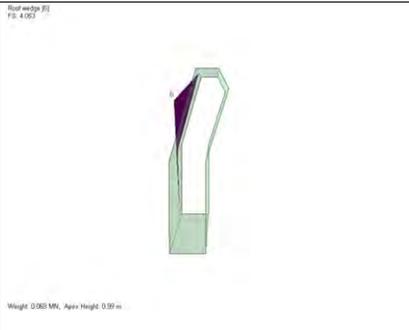
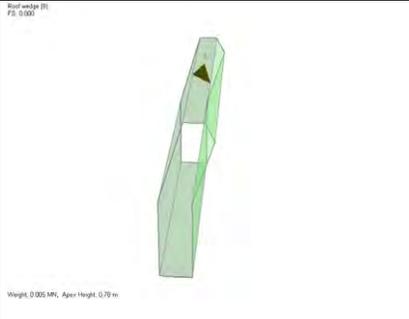
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (t)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
1	Cuña de solera	Estable	2,1 t	01,27 m	
3	Cuña de hastial (muro)	3,026	41,7 t	1,30 m	
6	Cuña de hastial-bóveda (techo)	4,053	6,97 t	0,99 m	
8	Cuña de bóveda	0,00	0,5 t	0,78 m	

Tabla 82: Factores de seguridad en las cuñas estudiadas en un anchurón (J-J') del interior de la mina de Bustarviejo.

Potencialmente pueden formarse cuatro cuñas, dos de hastial (cuñas 3 y 6), una de solera (1) y una de bóveda (8).

- La cuña de solera no pudo desplazarse en principio.
- Las dos cuñas de hastiales presentan un FS superior a 3, por lo tanto se pueden dar como bastante estables, si bien se han detectado en la mina algunas de estas que pudieran tener mayor inestabilidad por filtraciones de agua, y que pudieran requerir un estudio particular.
- La cuña de techo o bóveda presenta un factor de seguridad de 0,0 (sin contar el efecto de las tensiones, que pudiera ser considerable en una galería tan “estrecha”). Por lo general estas cuñas de bóveda debieron de caer durante la apertura de la cámara.

GRAN SALA (POZO MAESTRO)

Dada su importancia, como uno de los espacios subterráneos más grandes de la Sierra de Madrid. Esta gran cámara va a ser estudiada de forma progresiva:

En primer lugar se va a proceder a un cálculo de las posibles cuñas que se formarían tomando su dimensión máxima como la de la galería. Este cálculo se realizará mediante un programa UNWEDGE, así como manualmente.

Una vez definidas las cuñas inestables se procederá calcular su dimensión más probable. Para ello volveríamos a la sala (pues los datos son genéricos de la mina), y tomaríamos valores reales. Es decir vamos a “escalar” las posibles cuñas tomando los datos de las estaciones geomecánicas y de las clasificaciones. Un cálculo geotécnico más fino de estas cuñas sería establecer su estabilidad teniendo en cuenta las tensiones actuantes en los planos. Este proceso ya no vamos a realizarlo pues escapa del ámbito de la presente tesis.

Una vez escalada se procedería a recalcular el factor de seguridad introduciendo el efecto de las tensiones estimadas en el entorno de la excavación. Por último se calcula el tipo de sostenimiento recomendado.



Figura 200: Gran sala o "Plaza de Toros". Pozo Maestro de la mina de Plata de Bustarviejo. A cavidad no tiene sostenimiento artificial alguno.

Sobre estas líneas se muestra una imagen no muy afortunada de esta caverna. Muestra una altura máxima entrono a los 12-14 m en la parte derecha de la imagen, ascendiendo de forma gradual hacia el pozo maestro en la parte izquierda. La luz es de 20 m. En el techo hay dos pozos.



Figura 201: Fondo de la gran sala de la mina de Bustarviejo.

Sobre estas líneas fondo de la gran caverna. Con un gran cubo de transporte de material en el fondo de la misma, bajo uno de los pozos interiores. (Imagen tomada en 2004).

A continuación se estudian dos secciones de la gran sala o caverna o “Plaza de Toros” de la mina grande o pozo maestro. Se trata de una gran sala en forma abovedada con 20 m de ancho y 12,5 m. de altura.

Se consideran dos orientaciones: trend 0° y trend 90°.

En los gráficos adjuntos se pueden visualizar las posibles cuñas que pueden formarse con trend 0°:

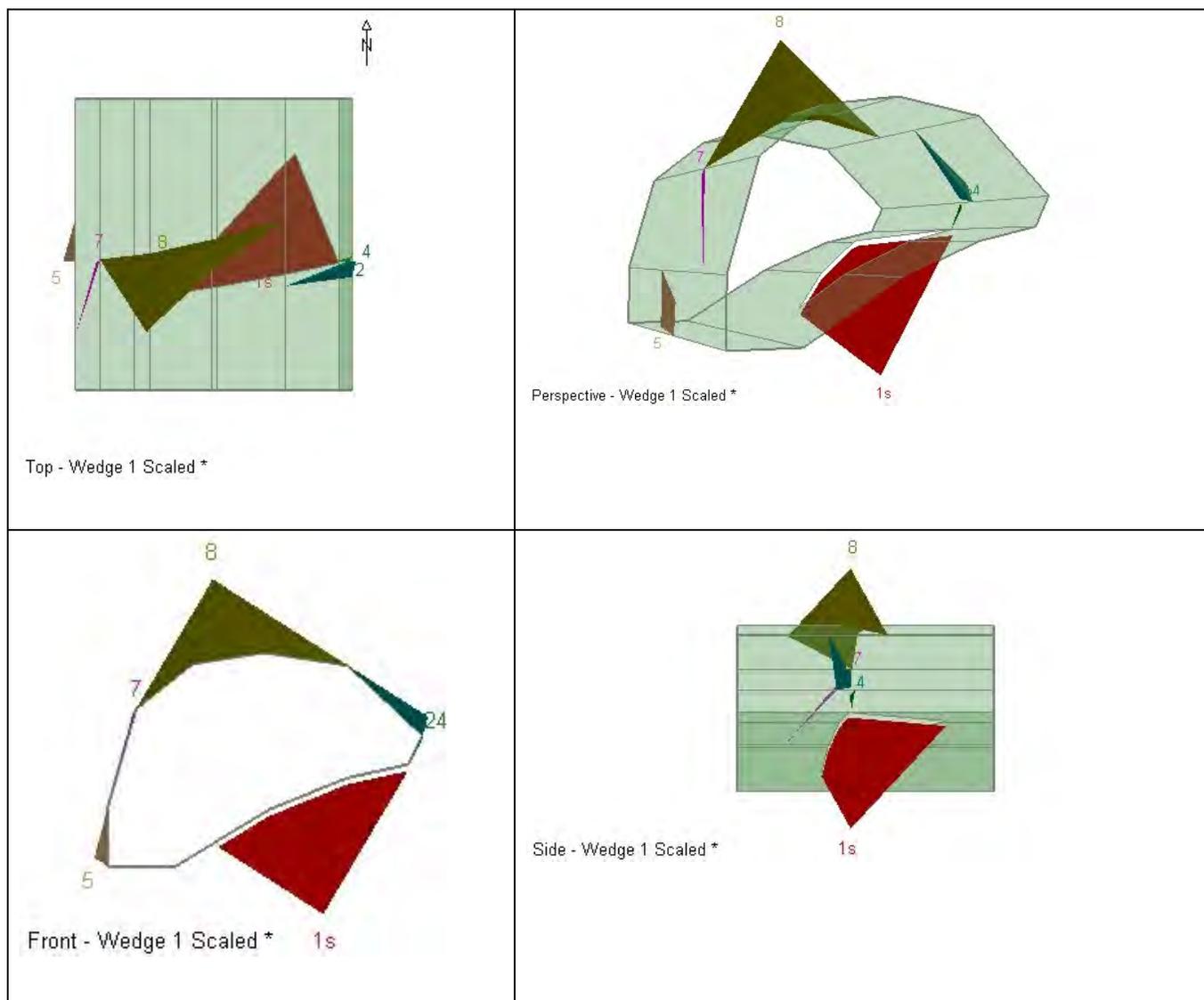


Figura 202: Esquema de las juntas y cuñas obtenidas en las galerías de la mina.

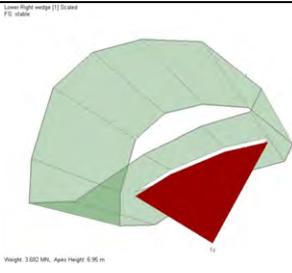
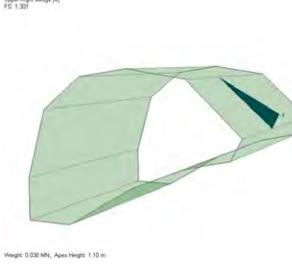
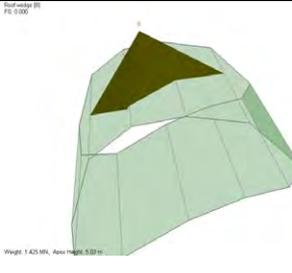
Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (t)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
1	Cuña de solera	Estable	369,2t	6,97 m	
4	Cuña de hastial	1,30	3,8 t	1,10 m	
5	Cuña de hastial	14,38	2,7 t	0,87 m	
8	Cuña de bóveda	0,00	142,5 t	5,03 m	

Tabla 83: Factores de seguridad en las cuñas estudiadas en el interior de la mina de Bustarviejo.

Se pueden producir 6 cuñas, de las cuales las nº 2 y 6 ambas de hastial son prácticamente despreciables en tamaño y con FS elevadísimos.

- La cuña nº 4 de hastial presenta un FS de 1,30 y un peso de 3,8 t por lo que requiere sujeción.
- La cuña de bóveda cae por gravedad sin rozamiento y es de unas dimensiones muy considerables.

En los gráficos adjuntos, bajo estas líneas, se pueden visualizar las posibles cuñas que pueden formarse en la misma cámara pero tomando un trend 90°:

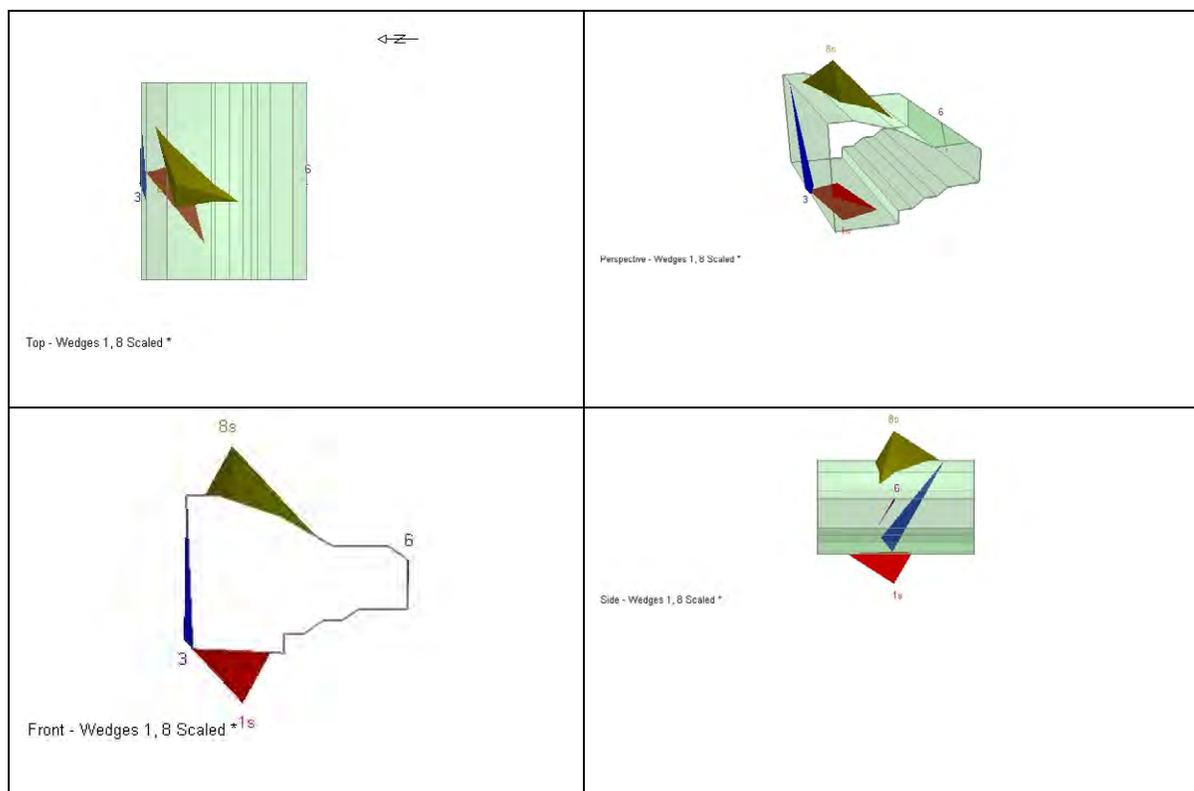


Figura 203: Esquema de las juntas obtenidas en las galerías de la mina.

Nº CUÑA	TIPO	FACTOR SEGURIDAD	PESO (t)	ALTURA ÁPICE (m)	ESQUEMA
1	Cuña de solera	Estable	109 t	4,72 m	
3	Cuña de hastial	4,512	14,7 t	0,76 m	
8	Cuña de bóveda	0,00	149 t	4,68 m	

Tabla 84: Factores de seguridad en las cuñas estudiadas en el interior de la mina de Bustarviejo.

De nuevo vuelve a aparecer una gran cuña de bóveda que va a requerir un estudio específico. La cuña de solera es estable y la única de hastial de tamaño apreciable presenta un FS de 4,5.

CÁLCULOS MANUALES DE CUÑAS DE BÓVEDA

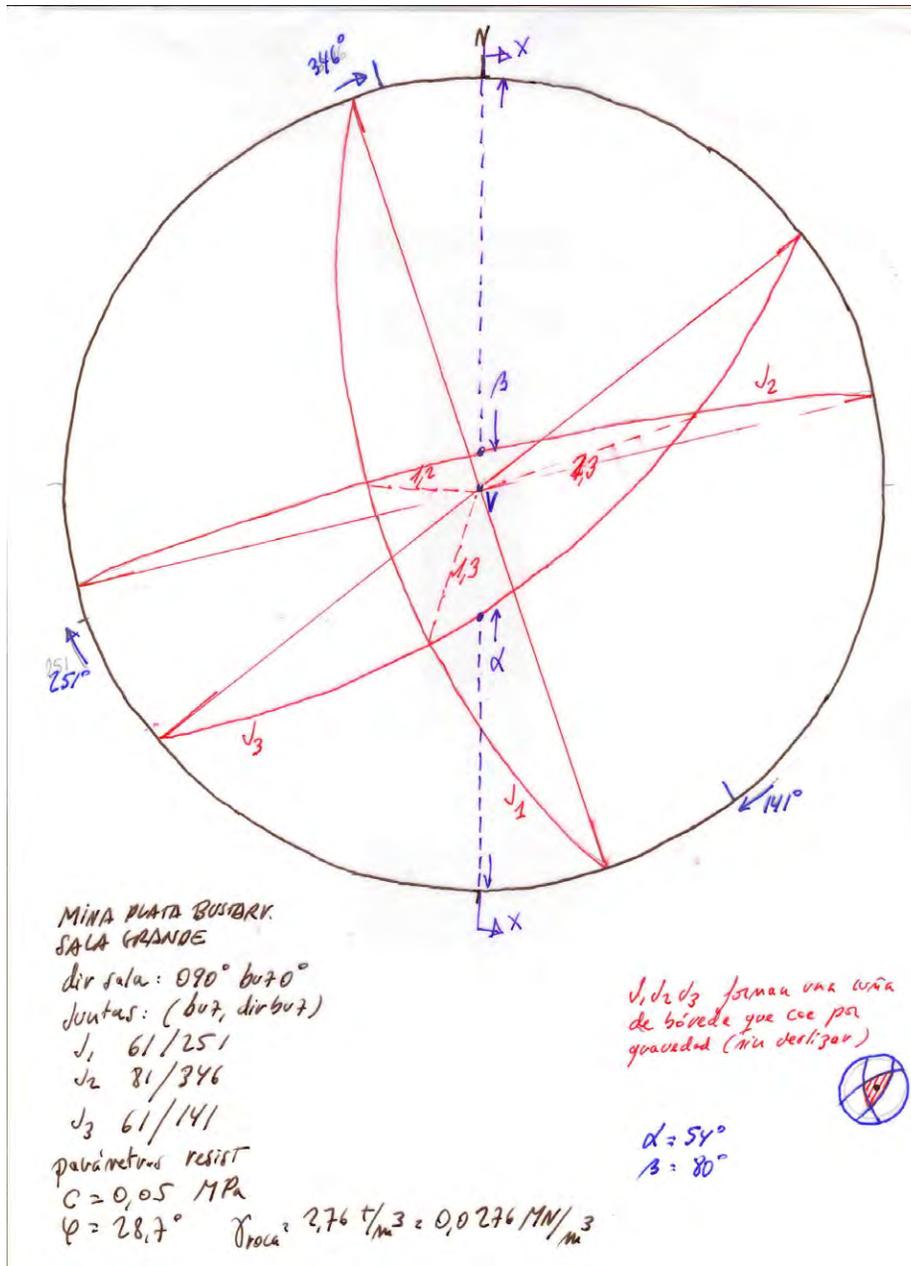


Figura 204: Estereograma manual de la mina de Bustarviejo.

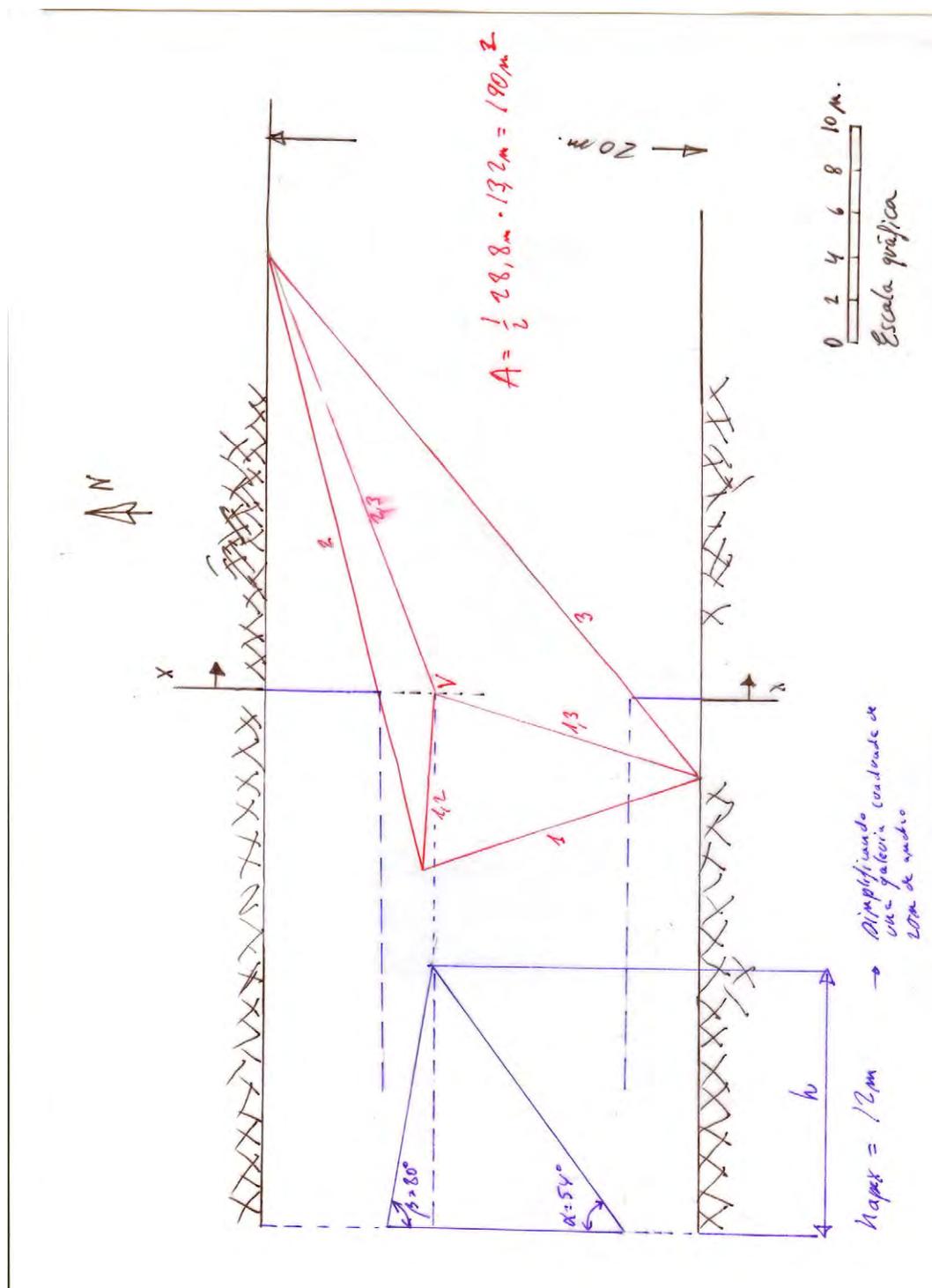


Figura 205: abatimiento de la cuña según una dirección X-X'.

En este cálculo manual hemos obtenido:

- Área del triángulo $A = \text{Base} \times \text{altura} / 2 = 190 \text{ m}^2$.
- Altura del ápice = 12 m,

Por lo tanto el volumen de la cuña será: $V = h \times A \times 1/3 = 12 \times 190 \times 1/3 = 760 \text{ m}^3$.

El peso de la cuña será: $W = 760 \text{ m}^3 \times 2,76 \text{ T/m}^3 = 2097,6 \text{ T}$

Resulta un peso enorme en comparación con el obtenido mediante el programa UNWEDGE, de 149 t.

Ello es debido a que el modelo geométrico empleado en el cálculo manual utiliza la simplificación de techo plano, por tanto el tamaño de la cuña es mucho mayor. En los programas que emplean una sección curva, la cuña no puede ser mayor de la tangente a dicha superficie y por tanto las cuñas son mucho menores que con un techo plano.

Esta cuña es evidentemente irreal, lo que llevaría a estudiar detalladamente la dimensión más probable de la misma.

7.11.- CONCLUSIONES DE LOS CALCULOS GEOTÉCNICOS EN LA MINA DE BUSTARVIEJO

La mina de plata de Bustarviejo muestra grandes logros técnicos para el siglo XIX, en la línea de minas metálicas del centro de España tales como Hiendelaencina o La Boderá. Sin embargo resulta mucho más sorprendente el hecho de que buena parte de las labores encontradas podrían ser de los siglos XVII y XVIII. En esa época no trabajó en ninguno de los dos parajes antes citados, pudiendo decir que la mina de Bustarviejo sería una de las minas más modernas y mejor planificada de la zona centro en aquella época.

Uno de los grandes logros técnicos de esta mina es el cable entre la mina Grande y mina Indiana mediante la gran galería, acometida con extraordinaria precisión en el siglo XIX.

Por otro lado también se ha de mencionar que abandonadas las labores en diferentes épocas de crisis, el laboreo era en muchos casos retomado por explotadores con escasos medios técnicos, humanos e ingenieriles, llevando a cabo una minería de rapiña que dejaba zonas peligrosas, inestables y muchos espacios de dudoso aprovechamiento posterior.

La mayor parte de la mina corresponde a un macizo rocoso de clase II. Los mecanismos de rotura son por caída de cuñas o bloques. Las tensiones

existentes, especialmente la componente horizontal hacen que el F.S. pueda aumentar ligeramente. Las cuñas inestables con FS cercanos a 0,00 han caído en su totalidad. Existen sin embargo algunas que pudieran no haber caído y se mantendrían debidos a tensiones existentes y cuyo FS estuviera disminuyendo por efecto de filtraciones y sobre las que se debería actuar. Las cuñas inestables de hastiales y techos más accesibles, pueden ser sujetadas mediante anclajes puntuales. Por el contrario las cuñas que se forman en grandes cámaras son difícilmente accesibles.

En general es un macizo rocoso de buena calidad, que sin embargo puede estar sufriendo importantes degradaciones en zonas puntuales: principalmente zonas de falla, pilares, así como viejas labores rapiñadas donde pueden concentrarse importantes tensiones próximas a la de rotura del material. Como conclusión fundamental hay que indicar que la excavación minera, a nivel global, es estable. Este resultado era el esperado, ya que en la inspección realizada a la mina, sólo se ha observado una zona puntual con desprendimientos. Dada la antigüedad de la explotación, el hecho de no observarse desprendimientos frecuentes, es indicativo de su estabilidad.

7.12.- RECORRIDO TURÍSTICO SUBTERRÁNEO EN BUSTARVIEJO

Bajo estas líneas se presenta una sección de la mina de plata de Bustarviejo, idealizada. En rojo se muestra el recorrido que se considera factible después de las investigaciones de la presente tesis doctoral, mientras que en verde se muestra un recorrido por una posible zona con un grado de investigación mucho menor (topografía pero no geotecnia).

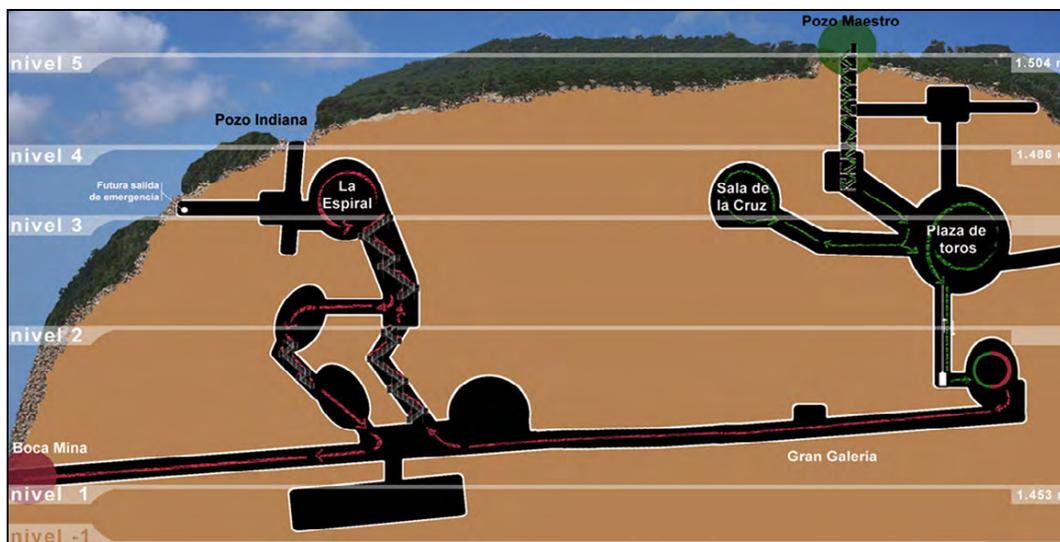


Figura 206: recorrido turístico mina Bustarviejo. Repetimos una imagen ya mostrada pues es imprescindible para un correcto entendimiento de la mina.

El visitante penetrará por la bocamina de 1701 (que dará acceso al llamado nivel 1). Tras recorrer una estrecha galería llega a una bifurcación. Primero, hacia la izquierda se contempla la zona denominada “Espiral del pozo Indiana” con espectaculares frentes de explotación de más de 10 m de altura. Después, se vuelve a la bifurcación para recorrer la “gran galería”.

En la bocamina se colocará una escultura de “Santa Bárbara”, patrona de los Mineros, posteriormente se accede por la galería observando los raíles y la propia galería. Probablemente con un entibado en madera simulado, en los primeros metros.



Figura 207: Grandes anchurones del pozo Indiana.

Posteriormente, se recorre una distancia en galería de 127 m. El tiempo estimado de la visita es de una hora para un grupo máximo de 12 personas. El tiempo de visita para personas de movilidad reducida sería aproximadamente de una hora y treinta minutos, considerando la visita para 4 personas. Para este tipo de personas, hay, sin embargo, zonas inaccesibles.

CAPITULO 8: CONCLUSIÓN

8.1.- RECAPITULACIÓN:

Después de una intensa labor archivística, se seleccionaron 57 minas, las cuales se han visitado en múltiples ocasiones. Las fichas y descripciones pormenorizadas de cada una de ellas se presentan en el anejo I.

Los vestigios encontrados en el exterior de las labores son muy escasos. Ello es debido a la antigüedad de las explotaciones y a su proximidad a centros poblados y vías de comunicación. Se han reutilizado escombreras y ruinas para su uso en firmes y otros trabajos.

Debido a esta escasez de vestigios exteriores, la investigación de campo se ha centrado frecuentemente en la parte subterránea de las minas, empleando técnicas espeleológicas poco habituales en este tipo de investigaciones.

El estudio histórico, topográfico y geotécnico de labores de interior abandonadas es una de las principales aportaciones de esta investigación y la más novedosa.

Además, de este trabajo se ha desprendido que la mayor parte de las minas han sido muy activas antes del siglo XIX, y muy especialmente en los XVI, XVII y XVIII. Se ha corroborado así, la información de los archivos históricos. Hasta

ahora, los estudios de minería histórica se habían fundado textualmente en autores como LARRUGA (1787) y otros, pero nosotros hemos accedido directamente a las fuentes que ellos habían consultado en su día en Simancas y hemos encontrado mucha información extra. Con todo ello hemos ido catalogando los vestigios más antiguos que hemos encontrado.

Una línea de investigación para el futuro, es la “espeleología minera”, dada la dificultad de encontrar material en las escombreras y exterior de las minas. Esta metodología debería de emplearse no sólo en la Sierra de Guadarrama, sino extenderse a todo el territorio. Mediante este tipo de actividad, ya muy desarrollada en otros países (Francia, Inglaterra, Noruega, etc.) es posible obtener datos geotécnicos para proyectos de ingeniería civil y minera, mejorar la información geológica y mineralógica, y sin duda alguna estudiar los vestigios mineros bajo tierra.

8.2.- PATRIMONIO MINERO MATERIAL

La investigación ha aportado gran cantidad de información sobre épocas poco conocidas en la minería de la Sierra de Guadarrama y Somosierra. También nos ha mostrado nuevas áreas en localidades que no parecían, a priori muy mineras, como La Acebeda, Colmenarejo, etc.

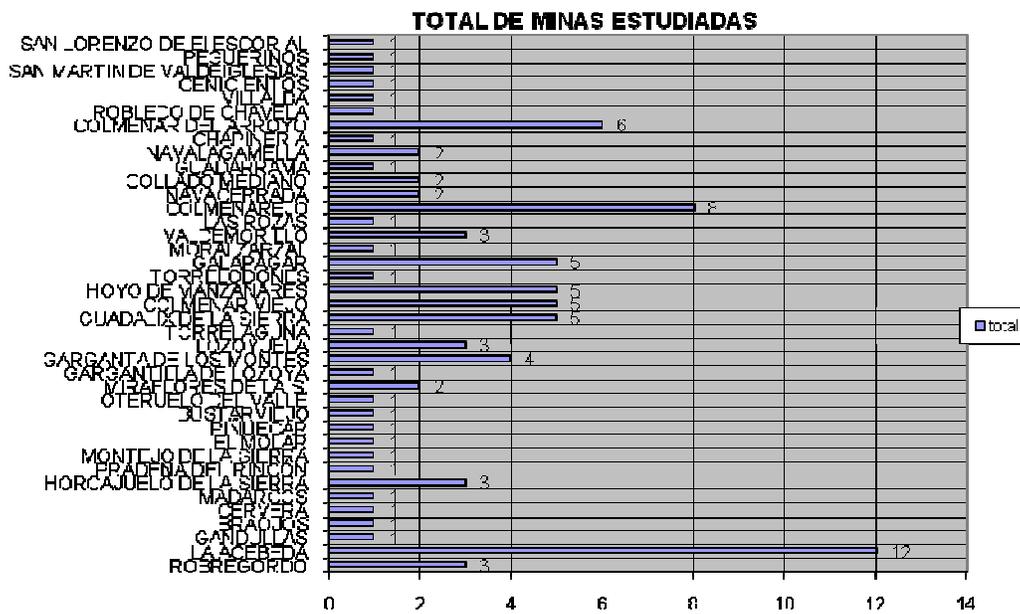


Figura 20816: Minas estudiadas y su distribución por localidades: total 57.

El cuadro anterior muestra la totalidad de las minas investigadas y el número de minas en cada localidad. Caben destacar varios municipios muy “mineros”: Colmenar del Arroyo (con 6 minas), Colmenarejo (8 minas) y La Acebeda (con 12 minas), así como otras 4 localidades con 5 minas y el resto con un número inferior.

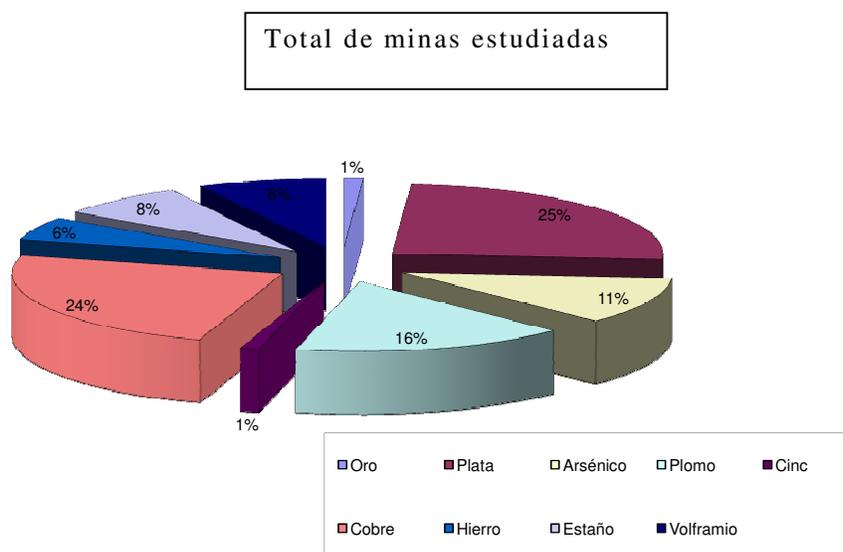


Figura 209: Gráfico del porcentaje de las minas estudiadas por sustancias.

La minería más abundante en número de explotaciones mineras es sorprendentemente la plata, con el 25%. Se ha corroborado este hecho tan notorio, y en buena parte de estas minas han aparecido minerales argentíferos: 100 años después de abandonadas, incluso en las escombreras (caso de la mina de San Francisco y La Cazadora en Horcajuelo de la Sierra).

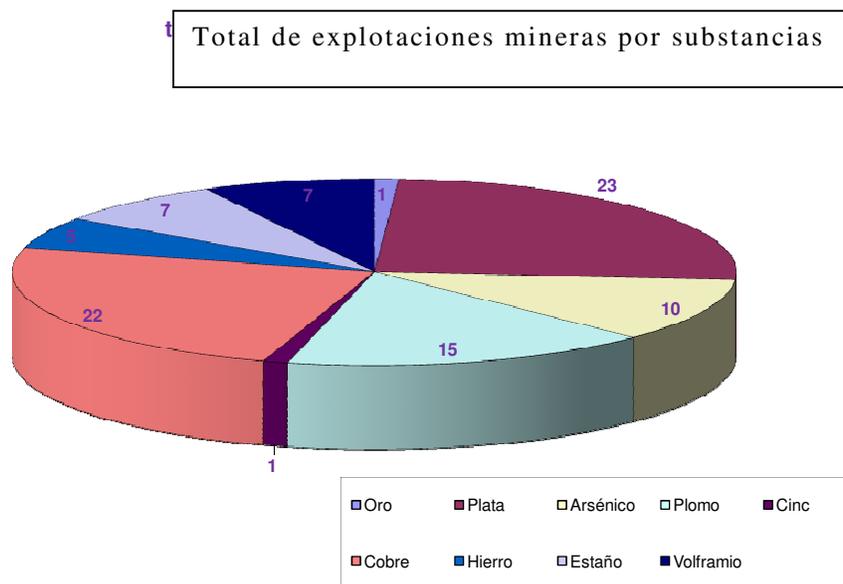


Figura 210: Número total de explotaciones estudiadas, por sustancias (Frente al gráfico anterior que muestra porcentajes).

La minería del cobre y la de la plata suponen prácticamente el mismo número, con 22 y 23 minas respectivamente. La minería de plomo explotó 15 labores. El resto de sustancias se beneficiaron en menor número de explotaciones.



Figura 211: Gráfico del número de minas en actividad en cada siglo.

La mayor aportación histórica de esta investigación es el hecho de demostrar que la época más importante desde el punto de vista minero es sin duda la comprendida entre el siglo XVI y XVII; puede que mayor inclusive que la segunda mitad del siglo XIX.

La valoración de una y otra época debería de ir acompañada de prospecciones de índole arqueológico. Los siglos XVI y XVII, presentan el mismo número de explotaciones casi que el siglo XIX, pero hay que considerar que la mayoría del XIX explotó yacimientos de los siglos anteriores. Buena parte de la prospección de la minería en Madrid corresponde a los siglos XVI – XVII. Estas minas quedan abandonadas en los siglos posteriores y se reanudan en la segunda mitad del XIX. En el XIX y XX no hay casi prospección de nuevos

yacimientos “sensu stricto” sino desagüe, saneamiento y laboreo de minados antiguos.

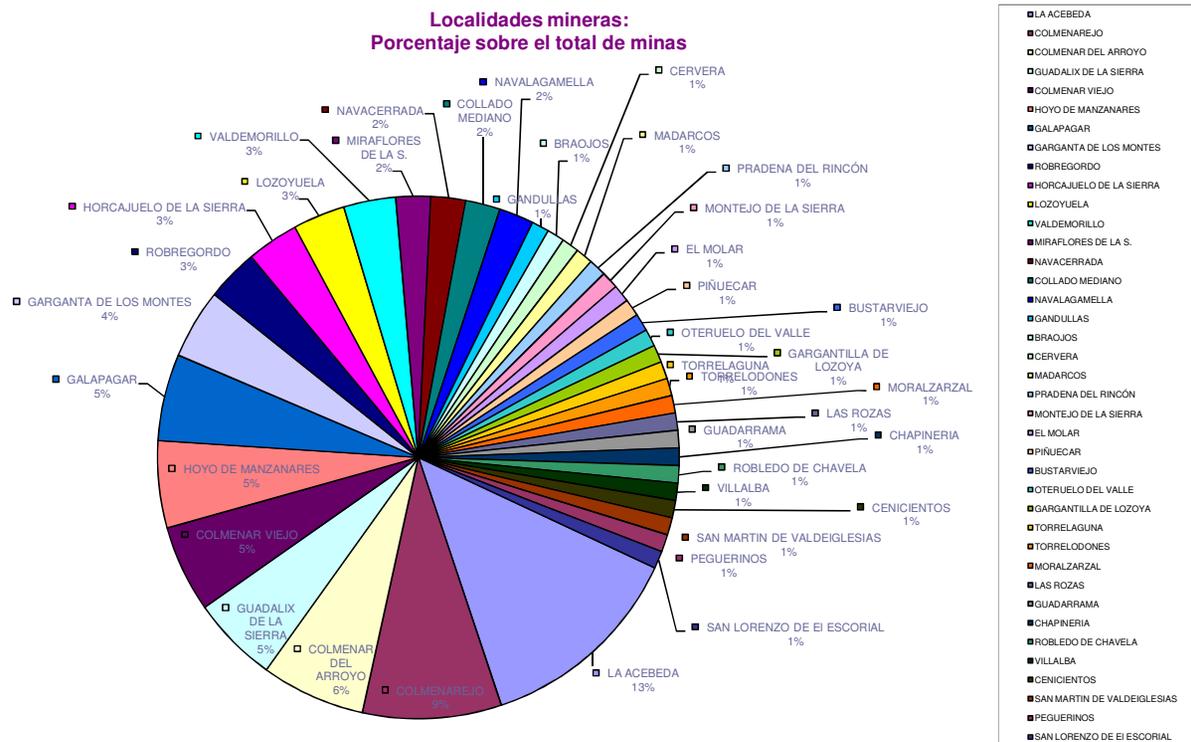


Figura 212: Gráfico del porcentaje de minas estudiadas por localidades

Con el 13 % de las minas de Madrid, La Acebeda es la localidad más minera de la provincia, seguida de Colmenarejo con el 9% y Colmenar del Arroyo con el 6%. Son las localidades en las que se debería centrar el turismo minero como itinerarios, mientras que para visitas a minas de interior el criterio es diferente.

ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS

A lo largo de la investigación hemos asistido a un considerable deterioro del patrimonio minero e industrial. Algunas labores han desaparecido por la “mano del hombre” mientras que otras se han derrumbado por el paso del tiempo. No en vano debemos tener en cuenta que las labores mineras no están, en general, pensadas para perdurar más allá de la vida de la explotación. Si consideramos como fecha de partida de la investigación el año 2001, vamos a tomar los hechos acontecidos antes de esa fecha como “antes de la tesis”. A continuación pasaremos revista con una tabla resumen a los elementos que se han perdido y a las inestabilidades geotécnicas.

Mina	Perdida o deterioro patrimonial	Inestabilidad geotécnica	Fecha
9. San Francisco		Hundimiento pozo maestro.	Antiguo. Muy anterior a la tesis.
10. Mina de Los Astilleros		Hundimiento parte de los pozos maestro y secundario.	Antiguo. Muy anterior a la tesis.
11. Mina La Perla	Destrucción total por vertedero.		Anterior a la tesis, probablemente hacia 1991.
14. Mina Chilena	Sellado del pozo maestro con losa.		2007.
17. Mina San Jose		Aparición de un socavón.	2005.
19. Mina Indiana	Destrucción del malacate del pozo maestro.		Anterior a la tesis, hacia 1998.
20. Mina Aníbal		Hundimiento junto al emboquille.	Muy antiguo.
29. Mina San Marcelino		Hundimiento completo del emboquille galería inferior.	2007.
50. Mina La Montañesa		Gran cráter progresivo y hundimiento superior.	Anterior a la tesis, aproximadamente desde 1991.
54. Mina San Eusebio	Sellado y relleno del gran cráter (2007)	Hundimiento somero muy grande	Desde 1992.
55. Minas Padre Jesús		Hundimiento del emboquille.	Muy antiguo, anterior a la tesis.

Tabla 85: Acontecimientos relacionados con la pérdida de patrimonio minero.

8.3.- PATRIMONIO MINERO INMATERIAL

El patrimonio minero inmaterial es el legado histórico hablado sobre la minería. Son datos que hemos obtenido conversando con mineros jubilados, gentes de los pueblos que han tenido relación con la minería y estudiosos del tema. Se trata de experiencias y sabiduría no escrita que hemos recopilado en esta tesis y presentamos en los apartados históricos, en las menciones a cada mina. Es un tema que no se había estudiado en la Sierra de Guadarrama hasta las investigaciones de PUCHE y MAZADIEGO (desde 1997)¹.

Hemos recopilado algunos testimonios en el capítulo III. Sólo existen dos localidades en las que hemos podido entrevistar personalmente a mineros: Colmenar del Arroyo y Navalagamella. Por el contrario son varios los pueblos en los que se ha convivido con la minería y varias personas nos han hablado de esa época; es el caso de: Lozoyuela, Garganta de los Montes, Torrelodones, Guadarrama, Hoyo de Manzanares, y Bustarviejo.

8.4.- SUPERFICIE AFECTADA POR LA MINERÍA ANTIGUA

Por “superficie afectada” nos referimos a todo el terreno exterior en el cual aparecen vestigios mineros de alguna clase, incluyendo instalaciones, escombreras y labores.

El total de la superficie afectada por explotaciones metálicas abandonadas en la provincia de Madrid asciende, en 2008, a 35,33 hectáreas de las cuales 5,94 son de escombreras. La mina Maribel, yacimiento aluvionar de estaño, que atraviesa una difícil situación, próxima al cierre de la explotación, está incluida en esta superficie y por sí sola cuenta con 15,4 hectáreas afectadas y 2,24 hectáreas de escombreras, estériles y áridos almacenados.

Evidentemente no toda esta superficie afectada debe de considerarse desde un punto de vista negativo, como escombreras o instalaciones que “afean” el paisaje. Muchos de estos elementos ya conforman un paisaje industrial de singular valor por sí mismos. Algunos de estos enclaves figuran en la toponimia y en el patrimonio de su localidad.

Inventario de labores mineras metálicas de la Comunidad de Madrid				
Mina nº	Nombre	Municipio	Superficie	Superficie de
			minera afectada en m2	escombreras en m2
1	Sinforosa	Robregordo	1418	0
2	Prados Umbria	La Acebeda	256	37
3	Platera	La Acebeda	469	75
4	Carcabon	La Acebeda	728	0
5	Pocillo Antonia	La Acebeda	0	0
6	Pozos La Felicidad	La Acebeda	379	0
7	Cabeza Rullueco	La Acebeda	0	0
8	La Cazadora	Horcajuelo	1054	496
9	San Francisco	Horcajuelo	15500	3164
10	Astilleros	Horcajuelo	1693	323
11	Cueva de Moros	Montejo	0	0
12	La Perla	Pradena	11600	1443
13	Caridad	Lozoyuela	4514	1633
14	Chilena	Garganta montes	15	15
15	Fernandito	Garganta montes	12600	1551
16	Celia	Garganta montes	0	0
17	San Jose	Gargantilla	6800	1437
18	Mirla	Gargantilla	0	0
19	Indiana	Bustarviejo	24500	5993
20	Anibal	Oteruelo	200	25
21	El Cubero	Miraflores	140	140
22	Carcamala	Miraflores	250	0
23	Aleman	Miraflores	100	0
24	Verdadera	Guadalix	0	0
25	Sardinera	Guadalix	0	0
26	San Isidro	Guadalix	0	0
27	Navalvillar	Colmenar viejo	3333	1191
28	Pocito Lobos	Colmenar viejo	0	0
29	San Marcelino	Colmenar viejo	70	70
30	Asturias	Colmenar viejo	13500	234
31	Casa Blanca	Colmenar viejo	50	50
32	El Canchal	Hoyo Manzanares	300	300
33	El Pendolero	Torrelodones	200	50
34	Fuente Testerillo	Torrelodones	2000	0
35	Arroyo Trofas	Torrelodones	1000	100
36	Cantos Negros	Torrelodones	2000	200
37	Fe	Moralzarzal	6697	656
38	Los Limos	Collado mediano	2000	20
39	Las Cortes	Navacerrada	200	100
40	Primera	Guadarrama	3000	100
41	La Osera	Colmenarejo	3237	617
42	Antigua Pilar	Colmenarejo	11400	4357
43	María	Colmenarejo	1467	299
44	Jaime	Colmenarejo	100	20
45	Pozo Picaza	Colmenarejo	24	24
46	Liebre	Colmenarejo	4000	50
47	Chaparrilla	Colmenarejo	20	20
48	Cabeza Aguda	Colmenarejo	100	0
49	Viñas	Navalagamella	7968	404
50	Montañesa	Navalagamella	7756	4503
51	Cruz Verde	Robledo Chavela	0	0
52	Fuente Canales	Colmenar Arroyo	7876	1904
53	La Carrala	Colmenar Arroyo	3301	944
54	San Eusebio	Colmenar Arroyo	10100	413
55	Padre Jesus	Colmenar Arroyo	16100	3503
56	Corvera	Colmenar Arroyo	2561	545
57	Asturias	Robledo Chavela	6021	0
58	Maribel	Galapagar	154700	22400
	TOTAL m2		353297	59406
			TOTAL SUPEF AFECTADA	TOTAL ESCOMBRERAS
		m2	353297	59406
		hc	35.3297	5.9406

Tabla 86: Inventario y superficie afectada por explotaciones mineras metálicas en Madrid.

A continuación vamos a realizar algunas matizaciones sobre la tabla anterior. En algunos lugares figuran 57 explotaciones mineras, mientras que en otros son 58. Ello es debido a la inclusión unas veces y otras no, de la mina Maribel de Galapagar, la explotación metálica más grande y la última en abandonarse en la Comunidad de Madrid.

El inventario sigue el orden y numeración de la tesis, empezando en la mina Sinforosa de Robregordo, la mina más septentrional, para descender aproximadamente siguiendo la línea de la Sierra de Guadarrama, en sentido Suroeste.

En aquellos puntos en los que se incluye un “cero” es debido a que se ha empleado una hoja de cálculo Excel y para el cálculo estadístico es necesario un “número”. Algunas de estas minas han recibido varios nombres como la concesión minera “Primera” o mina de “Cabeza Lijar”, debemos guiarnos para el estudio por su numeración.

Inventario de peligrosidad de labores mineras metálicas de la Comunidad de Madrid							
Mina nº	Nombre	Municipio	Número de pozos abiertos	Número pozos sellados/val	Número galerías	Calicatas de gran tamaño	Calificación peligrosidad
1	Sinforosa	Robregordo	0	0	0	0	1 medios
2	Prados Umbria	La Acebeda	0	0	0	0	0 bajo
3	Platera	La Acebeda	0	0	0	0	1 muy alto
4	Carcabon	La Acebeda	2	0	0	0	1 muy alto
5	Pocillo Antonia	La Acebeda	1	0	0	0	0 muy alto
6	Pozos La Felicidad	La Acebeda	0	1	0	0	0 muy alto
7	Cabeza Rullueco	La Acebeda	0	1	1	1	0 alto
8	La Cazadora	Horcajuelo	1	0	0	0	0 muy alto
9	San Francisco	Horcajuelo	1	0	1	1	0 muy alto
10	Astilleros	Horcajuelo	1	0	1	1	0 muy alto
11	Cueva de Moros	Montejo	0	0	1	1	0 muy alto
12	La Perla	Pradena	0	0	0	0	0 bajo
13	Caridad	Lozoyuela	1	0	0	0	0 alto
14	Chilena	Garganta montes	0	2	0	0	0 alto
15	Fernandito	Garganta montes	0	1	2	2	0 alto
16	Celia	Garganta montes	0	0	0	0	3 alto
17	San Jose	Gargantilla	3	1	1	1	1 muy alto
18	Mirla	Gargantilla	0	0	1	1	1 muy alto
19	Indiana	Bustarviejo	2	0	2	2	1 muy alto
20	Anibal	Oteruelo	0	1	1	1	0 alto
21	El Cubero	Miraflores	0	0	1	1	0 alto
22	Carcamala	Miraflores	0	0	1	1	0 alto
23	Aleman	Miraflores	0	0	1	1	0 muy alto
24	Verdadera	Guadalix	0	0	0	0	1 muy alto
25	Sardinera	Guadalix	0	0	0	0	1 muy alto
26	San Isidro	Guadalix	1	0	0	0	0 muy alto
27	Navalvillar	Colmenar viejo	1	0	1	1	1 muy alto
28	Pocito Lobos	Colmenar viejo	0	1	1	1	0 muy alto
29	San Marcelino	Colmenar viejo	0	0	2	2	0 alto
30	Asturias	Colmenar viejo	0	0	0	0	0 bajo
31	Casa Blanca	Colmenar viejo	0	0	1	1	0 bajo
32	El Canchal	Hoyo Manzanares	1	0	1	1	1 alto
33	El Pendolero	Torrelodones	0	0	1	1	0 alto
34	Fuente Testarillo	Torrelodones	0	0	0	0	6 alto
35	Arroyo Trofas	Torrelodones	0	0	0	0	0 medio
36	Cantos Negros	Torrelodones	1	0	0	0	0 muy alto
37	Fe	Moralzarzal	0	0	0	0	1 alto
38	Los Limos	Collado mediano	0	0	0	0	1 medio
39	Las Cortes	Navacerrada	0	0	1	1	0 alto
40	Primera	Guadarrama	0	0	1	1	1 alto
41	La Osera	Colmenarejo	1	0	1	1	0 alto
42	Antigua Pilar	Colmenarejo	0	5	0	0	0 muy alto
43	Maria	Colmenarejo	0	0	0	0	1 alto
44	Jaime	Colmenarejo	0	0	0	0	0 medio
45	Pozo Picaza	Colmenarejo	1	0	0	0	0 muy alto
46	Liebre	Colmenarejo	0	0	0	0	0 bajo
47	Chaparrilla	Colmenarejo	1	0	1	1	0 muy alto
48	Cabeza Aguda	Colmenarejo	0	0	1	1	0 alto
49	Viñas	Navalagamella	1	0	1	1	0 muy alto
50	Montañesa	Navalagamella	3	0	2	2	2 muy alto
51	Cruz Verde	Robledo Chavela	0	0	2	2	2 muy alto
52	Fuente Canales	Colmenar Arroyo	1	0	0	0	4 muy alto
53	La Carrala	Colmenar Arroyo	0	0	0	0	0 bajo
54	San Eusebio	Colmenar Arroyo	0	0	0	0	0 bajo
55	Padre Jesus	Colmenar Arroyo	1	2	0	0	0 muy alto
56	Corvera	Colmenar Arroyo	0	1	0	0	0 bajo
57	Asturias	Robledo Chavela	1	0	0	0	0 muy alto
58	Maribel	Galapagar					
	total		26	16	31	31	
			pozos sin vallar	pozos vallados	galerías	calicatas grandes	

Tabla 87: Indicación de los principales riesgos a terceros en las minas abandonadas: pozos, calicatas y galerías.

Desde el año 2006, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid se ha centrado en el estudio de la minería abandonada de la Sierra de Guadarrama. Esta Dirección General ha observado más riesgo en las labores de interior accesibles y calicatas, que en el propio hecho de la superficie afectada y por tanto ha tomado medidas urgentes al respecto.

Se ha centrado en la catalogación de pozos y espacios de gran peligro, siendo ésta una de las líneas de investigación más interesantes para los años venideros. No en vano, en la minería metálica antigua de Madrid encontramos: 26 pozos sin vallar, 16 pozos vallados (no todos siguiendo una metodología segura y apropiada), 31 galerías practicables sin ningún tipo de protección y 31 calicatas grandes con gran riesgo para la seguridad del viandante.

8.5.- PUESTA EN VALOR DE LAS MINAS ABANDONADAS

Las actuaciones a llevar a cabo a partir de este momento por los diversos actores sociales y económicos se deberán centrar en:

- Garantizar la seguridad en el entorno de las minas abandonadas, mediante adecuado marcaje así como protección de los accesos.
- Estudio de la posible degradación del entorno y las aguas por las escombreras y efluentes de las minas de interior.
- Minimizar el deterioro del Patrimonio Minero existente y proyectar su puesta en valor.
- Colaboración en la redacción de normativas adecuadas.

Una de las líneas de investigación más interesantes sería adaptar la metodología de investigación de esta tesis a todo el territorio Español y poder trabajar en otros lugares con similares problemáticas.

La restauración de minas abandonadas es una posible fuente de ingresos para muchas localidades así como un reto tecnológico e ingenieril. La rehabilitación de una mina abandonada para visita de turistas aúna la ingeniería de minas clásica con la normativa asociada a espacios de uso público. De las minas estudiadas en la presente tesis sólo cuatro de ellas

tienen entidad suficiente para compensar una restauración y ofrecer un recorrido de mediana entidad por el interior: Mina Primera (Cabeza Lijar-Guadarrama), Mina de Nuestro Padre Jesús (Colmenar del Arroyo), Mina Antigua Pilar (Colmenarejo) y mina de plata Indiana (Bustarviejo). Dos de ellas, Colmenarejo y Colmenar del Arroyo, siendo espectaculares, resultan inviables al no poseer galerías de acceso practicables y tener que salvar desniveles en pozo para acceder a los filones.

Mina Indiana y Mina Primera son dos labores muy prometedoras para su puesta en valor. Otras minas (las de Miraflores, Las Cortes, etc.) resultan muy interesantes para visitas cortas en el marco de una excursión de senderismo, debido a su buen estado de conservación y cortísimo recorrido (15- 30 m de galerías en muy buenas condiciones).

En España hay unas 100 minas museo, parques minero-metalúrgicos o museos de la minería, en funcionamiento o en proyecto. En cuanto a las minas de interior visitables, que es en lo que nos estamos centrando en esta tesis, hay sólo una docena en todo el país. Si bien van apareciendo otras, así como proyectos en diversos estados de gestación, los cuales son difíciles de seguir.

Comunidad Autónoma	Provincia	Nombre	Tipo de mina/proyecto
Cataluña	Gerona	Mina de Cardona- montaña de sal.	Mina rehabilitada.
		Mina de carbón de cercs	Mina rehabilitada.
		Mina de Petroli de Riutort	Mina rehabilitada.
		Mina de barita y galena d'En Torrent. P.alafrugell	Mina rehabilitada.
		Mina de carbón de Surroca. Ogassa.	Mina rehabilitada.
	Barcelona	Minas neolíticas de Gavá.	Mina rehabilitada.
	Lerida	Mina de cinc victoria. Valle de Aran.	Mina rehabilitada.
		Mina de cobalto, Solita. Peramea.	Mina rehabilitada.
	Tarragona	Mina de plomo Eugenia. Bellmunt del Priorato.	Mina rehabilitada.
Aragón	Teruel	Mina de carbón de Escucha.	Mina rehabilitada.
Cantabria		Mina de la Florida- Cueva de El Soplao.	Mina rehabilitada.
Asturias		Museo Minero – mina de El Entrego.	Mina Imagen.
		Minas de Buferrera- Lagos de Covadonga.	Mina rehabilitada.
Castilla - León	Palencia	Mina de carbón de Barruelo de Santullán.	Mina rehabilitada.
Madrid		Mina Marcelo – Jorissen. Escuela de Minas.	Mina imagen.
		Mina de plata de Bustarviejo.	En proyecto.
Castilla Mancha	Ciudad Real	Museo Minero del carbón de Puertollano.	Mina Imagen.
	Ciudad Real	Mina de mercurio de Almadén	Mina rehabilitada.
	Cuenca	Mina de lapis specularis de la Mora Encantada. Torrejoncillo.	En proyecto.
Extremadura	Badajoz	Mina Monchi. Burguillos del Cerro.	En proyecto.
		Mina de hierro de La Jayona. Fuente del Arco.	Mina rehabilitada.
	Cáceres	Minas de volframio de Navasfrías	Mina rehabilitada
Murcia	Murcia	Minas de La Unión	Mina rehabilitada
Andalucía	Huelva	Museo de las minas de Riotinto	Mina imagen.

Tabla 88: Minas subterráneas visitables en España.

8.6.- GEOTECNIA Y ESTABILIDAD DE MINADOS

Desde el punto de vista geotécnico, la característica común a todas estas minas de la tesis es que son filonianas y están encajadas en macizos rocosos muy competentes, a una profundidad somera: menos de 40 m.

Las inestabilidades en galerías y cámaras están controladas estructuralmente, delimitando cuñas que intersectan con techo y hastiales. Algún emboquille esta excavado en macizos diaclasados, otros también en suelos, requiriendo el tratamiento como tal.

A efectos de la restauración de cualquiera de ellas creemos que el referente a estudiar sería la mina Eugenia de Bellmunt del Priorato. El coste geotécnico de la restauración de cualquiera de estas minas es relativamente bajo desde el punto de vista de la estabilidad geotécnica y la adecuación, siendo la mayor complicación, la derivada de los parajes remotos en los que se encuentran.



Figura 213: Mina Eugenia de Bellmunt del Priorato. Visita del doctorando en marzo de 2008.

8.7.- NORMATIVA APLICABLE A LA RESTAURACION DE MINAS ABANDONADAS

Existe un vacío legal absolutamente inaceptable al respecto. En cuanto a la obra en sí de rehabilitación parece evidente seguir la normativa minera, especialmente en los trabajos subterráneos y en todos aquellos que afecten a instalaciones industriales de índole minero. En cuanto a la explotación, y de los trabajos destinados al uso público los criterios a adoptar son complicados y deberá tenerse en cuenta la tipología de la mina y los riesgos que puedan aparecer. En los trabajos arquitectónicos, parece más apropiada una normativa como la de edificación, teniendo en cuenta el uso que se le va a dar.

8.8.- METODOLOGÍA Y CUERPO DOCTRINAL EN MATERIA DE ESPELEOLOGÍA MINERA



Figura 214: El equipo de arqueólogos que dirige D. Juan Carlos Guisado di Monti, se prepara para topografiar una mina romana de Lapis Specularis en Cuenca. Febrero de 2008. A la derecha Rafael y Alberto Jordá, hermanos del doctorando.

Hasta hace bien poco encontrábamos una ausencia absoluta de interés por explorar minas abandonadas. Las referencias a galerías y pozos “inaccesibles” en los informes y artículos científicos era ingente. Pero, ¿Son de verdad

“inaccesibles”?. Es cierto que hay que explorar con criterio y seguridad, pero no es imposible.

El patrimonio subterráneo y la información que éste puede darnos es cuanto menos igual al exterior, y en las minas más antiguas, casi siempre muy superior. La exploración e investigación de labores subterráneas abandonadas requiere un equipo muy especializado, multidisciplinar y lo más numeroso posible. La combinación Universidades – Centros de Investigación y Agrupaciones Deportivas es lo más acertado, combinando la experiencia de todos ellos.



Figura 215: Detalle de lucernarios romanos en las minas de Oro de Llamas de Cabrera, en León. Visitamos las minas acompañados por Roberto Matías, con objeto de intercambiar experiencias.

CAPITULO 9: BIBLIOGRAFÍA

- AGRICOLAE, G. (1556) De Re Metálica, Edición facsímil. (1992) Casariego y Unión Española de Explosivos, Madrid, 601 pp.
- ALONSO, R. (1916) Visita policía Minera a Garganta de los Montes. Estadística Minera año 1916, 299-302.
- ANÓNIMO. (1902) Minas de Colmenarejo. Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería, año 1902, 501.
- ANTÓN VALLE, N. (1841) El minero Español.
- ARÉVALO SEGOVIA, J.L. (2006) Análisis de estabilidad de cuñas, Tercer túnel de Guadarrama. Ingeopres 154, 28-42.
- ARLANDI, M. (2005) Geofísica Aplicada a la obra civil. Método geoelectrico y sísmica de refracción. Casos prácticos. Apuntes del XII Curso de Geotecnia Aplicada. Universidad de Jaén 2005, 64 pp.
- ATIENZA CLEMENTE, I. (1999) Conservación de las antiguas canteras subterráneas de Colmenar de Oreja para mina – museo. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Departamento de Ingeniería Geológica, Madrid, 234 pp. + anejos.
- AYALA-CARCEDO, F.J. (2000) Patrimonio Natural y Cultural y Desarrollo Sostenible. El Patrimonio Geológico y Minero. En: Rábano I. Actas del

Congreso Internacional de Patrimonio Geológico y Minero y Desarrollo Sostenible, Linares, IGME, 17-39.

AYALA CARCEDO, F. J. (2001) Historia de la Tecnología en España. Valatenea, Barcelona, 2 vol., 884 pp.

AYALA-CARCEDO, F. J. (1993) Bicentenario de Joaquín Ezquerro del Bayo, eminente ingeniero de minas-geólogo. Boletín Geológico y Minero, 212(2), 99-107.

AYALA-CARCEDO, F.J. (1997) Casiano de Prado (1797-1864), un clásico del Naturalismo y de la Arqueología en España. Industria y Minería, 331, 42-49.

BARTON, N.R. (1976) The shear strength of rock and rock joints. International Journal Mech. Min. Sci and Geomech. 13 (10), 1-24.

BARTON, N.R., y BANDIS, S.C. (1982) Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock. En: 23rd U.S. Symposium on rock mechanics, Berkeley, 739-760.

BARTON, N.R., y CHOUBEY, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, 10 (1-2) 1-54.

BARTON, N.R., LIEN, R., y LUNDE, J. (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6 (4), 189-239.

BARTON, N.R., LOSET, F., LIEN, R., y LUNDE, J. (1980) Application of the Q-system in design decisions. En: Subsurface space 2, Bergman, New York, 553-561.

- BENSON, A.K. (1995) Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of groundwater contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*, 33, 177-193.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1973) Engineering classification of jointed rock masses. *Trans South African Institute of Civil Engineers* 15, 335-344.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989) Engineering rock mass classifications. Wiley, New York.
- BONA, (de) F.J., (1868) Anuario Administrativo y Estadístico de la Provincia de Madrid, para el año de 1868. Oficina Tipográfica del Hospicio, Madrid. Reedición facsímil, Consejería de Hacienda, Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, 1995, 726 y 460-463 “minería”.
- BRADY, B.H.G. y BROWN, E.T. (1985) *Rock Mechanics for underground mining*. Allen and Unwin, London.
- CABALLERO, J.M., et al. (1992a) La sierra de Guadarrama: un ejemplo de actividad hidrotermal recurrente en el tiempo y en el espacio. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 15-1, 249-252.
- CABALLERO, J.M., et al. (1992b) Dating of hidrotermal events in the Sierra de Guadarrama, Iberian Hercynian Belt, Spain. *Geogaceta* 11, 18-22.
- CALDERÓN, S. (1910) *Los Minerales de España*. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Madrid, 2 vol.
- CALVO REBOLLAR, M. (1999) Bibliografía fundamental de la antigua Mineralogía y Minería españolas. Libris, Madrid, En: *Historia de la Geología de España*, SGE, 14, 22-23.

- CALVO, M. (2003a) *Minerales y minas de España*. Museo de Ciencias Naturales de Álava. Vol. I Elementos.
- CALVO, M. (2003b) *Minerales y minas de España*. Museo de Ciencias Naturales de Álava. Vol. II Sulfuros y sulfosales.
- CANTÓ TELLEZ, A. (1958) *El Turismo en la provincia de Madrid*. Diputación Provincial de Madrid. Oficina de Prensa
- CARVAJAL, D.J. y GONZÁLEZ A. (2003A) El papel de los Parques y Museos Mineros en el Desarrollo Sostenible. *De Re Metallica*. 1, 36-42.
- CARVAJAL, D.J. y GONZÁLEZ A. (2003B) Los parques y museos mineros como alternativa en los proyectos de cierre de minas. *Ingeopres*, 116, 18-24.
- CARVAJAL GÓMEZ, D.J., y GONZÁLEZ MARTÍNEZ, A. (2006) Patrimonio minero, en el ámbito inter e intranacional. En: 1ª Jornada sobre el Patrimonio Minero de Burguillos del Cerro (Badajoz). 11 de Febrero de 2.006. Burguillos del Cerro.
- CIVANTO REDRUELLO, A. J. (2001) *La minería del distrito de Linares en los siglos XVI, XVII y XVIII. Antecedentes del desarrollo preindustrial de la zona*. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid.
- COLLIGA, L.A. (1994) Las anatasas, brookitas y rutilos sageníticos de Horcajuelo de la Sierra. *Azogue*, 15, 26-30.
- CURRAN, J.H., CORKUM, B., y HAMMAH, R.E. (2004) Three dimensional Analysis of Underground Wedges under the influence of Stresses. En:

- Proceedings of the Gulf Rocks '04 Conference, June 2004, 38 (2001)
449-466.
- DEERE, D.U., HENDRON, A.J., PATTON, F.D., y CORDING, E.J., (1967)
Design of surface and near surface construction in rock. In: Failure and
breakage of rock, proc. 8th US Symp. In Rock Mechanics /Ed. C.
Fairhurst), 237-302.
- DOETSCH, J. (1962) Informe preliminar geofísico de la mina Fernandito.
Garganta de los Montes (Madrid). Archivo documentación hoja
metalogenética Madrid. IGME, 25 pp.
- ESCARIO, J.L. ESCARIO, V., y BALAGUER, E. (1967) Caminos, Estudio del
trazado y construcción de la explanación. Publicaciones de la Escuela
Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Tomo I,
Quinta Edición, 586 pp.
- FALCÓ, (1890) Datos de itinerarios. Documento adjunto a la Estadística
Minera de 1889, 444-445.
- FERNÁNDEZ AGUILAR, R. (1924) Sobre una zona argentífera en la
Somosierra (Madrid). Boletín Geológico y Minero, 45, 25-33.
- GALÁN, E., y MIRETE, S. (1979) Introducción a los minerales de España.
IGME.
- GARCÍA GARCIA, G. (1994) La mina de Cabeza Lijar. Puerto de los Leones
(Madrid). Azogue, 16, 21-22.
- GARCÍA GARZÓN, J., (1995a) Los métodos de concentración basados en la
flotación. Apuntes 5º Curso. Escuela Técnica Superior Ingenieros de
Minas, Madrid.

- GARCÍA GARZÓN, J., (1995b) Los métodos de concentración basados en: la gravedad, el magnetismo y la electrostática. 5º Curso. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Minas, Madrid.
- GEOCONSULT (2006) Estudio Geotécnico para la restauración y recuperación de la mina de plata de Bustarviejo. No publicado. Dirección General de Industria Energía y Minas, Comunidad de Madrid. 57 pp.
- GIL MAESTRE, A. (1874) Datos Geológico- Mineros sobre algunos grupos de minas del Distrito de Madrid. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico 1, 283-287.
- GONZÁLEZ, T. (1832) Registro y relación general de minas de la Corona de Castilla. Madrid, 2 vol.
- GONZÁLEZ GUADALIX, J. (1994) Miraflores en la Sierra. Colección Estudios mirafloreños. Centreur, Madrid.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, et al. (2002) Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación Madrid, 715 pp.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, J., y GONZÁLEZ DEL TÁNAGO J. (2002) Minerales y minas de Madrid. Mundi-Prensa, Madrid, 271 pp.
- GRAÑEDA, P., et. al. (1994) La minería medieval al Sur del Sistema Central: Madrid y su entorno. En: I Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular”. León.
- GRIMSTAD, E., y BARTON, N. (1993) Updating the Q-system for NMT. En: Proc. Int. Symp. On sprayed concrete – modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes (eds Kompen, Opsahl and Berg). Oslo: Norwegian Concrete Assn.

- HOBSON, D.M. (1992) Site investigation – making the most of your money.
In: Forde, M.C. (ed.) En: Proceedings 2nd International Conference on
Construction on Polluted and Marginal Land, Edinburgh, 151- 158.
- HOEK, E., (2007): Practical Rock Engineering. Apuntes de acceso libre en
internet 27/02/2008, Hoeks Corner. 16 capítulos. 313 pp. ,
www.roscience.com
- HOEK, E. (2002) A brief history of the development of the Hoek – Brown
failure criterion, 14/10/2007, www.roscience.com
- HOEK, E., y BROWN, E.T. (1980) Underground Excavations in Rock. Ed.
Institution of Mining and Metallurgy, edición revisada 2005, Taylor and
Francis, New York, 527 pp.
- HOEK, E., CARRANZA TORRES, C., CORKUM, (2002) The Hoek – Brown
Failure Criterion- 2002 Edition. En: 5th North American Rock Mechanics
Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference:
NARMS – TAC, 2002, 267-271.
- HOEK, E., CARRANZA TORRES, C., CORKUM, B., (2007) El criterio de
rotura de Hoek – Brown, edición 2002. Ingeopres, nº 156 pp. 18-22.
- HOEK, E-. KAISER, P.K., y BAWDEN, W.F. (1995) Support of underground
excavations in Hard Rock. Balkema. Rotterdam, 215 pp.
- I.G.M.E. (1979) Síntesis de las investigaciones geológico – mineras de estaño
y wolframio realizadas por el IGME. Dirección de planificación y
Gestión. Servicio de Informática, documentación y difusión.

- I.S.R.M. (1978) Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics, Sci and Geomech. Abstr* Vol. 15, 319-368.
- JIMÉNEZ, R. (1994) Nuevas Excursiones por Madrid. *Azogue*, 15 (V), 13-16.
- JIMÉNEZ, R., JORDÁ, L., JORDÁ, R., y PRADO, P. (2004) Madrid. La minería metálica desde 1417 hasta nuestros días. *Bocamina*, 14, 50 – 89.
- JORDÁ BORDEHORE, L. (1992) Excursiones Mineralógicas por la provincia de Madrid. *Azogue*, 7(III) 8-15.
- JORDÁ, L. (2002) Minas Históricas y mineralizaciones metálicas de la zona Oeste de la provincia de Madrid. En: XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia, Zaragoza 4-7 Junio 2002.
- JORDÁ BORDEHORE, L. (2003a) Breve historia de la minería de los metales en la Comunidad de Madrid. *Tierra y Tecnología*, 25, 63-68.
- JORDÁ BORDEHORE, L. (2003b) Homenaje a Vicente Sos Baynat. Una excursión geológica inédita a una mina de cobre en Siete Picos (sierra de Guadarrama, Madrid). *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, 48, 151-153.
- JORDÁ BORDEHORE, L. (2003c) La minería de los metales en el cerro de San Pedro entre los siglos XVI y XIX. *Cuadernos de Estudios* 17, 307-324.
- JORDÁ BORDEHORE, L. (2003d) Patrimonio minero de Madrid. La minería de plomo en Colmenar del Arroyo. *Industria y Minería*, 353, 45-47.
- JORDÁ BORDEHORE, L., (2003e) Descubriendo las entrañas del Guadarrama. Minas perdidas de la Sierra (I), *Revista Peñalara*, 505 (III), 167-170.

JORDÁ, L. (2004a) Acciones en minas-museo de Europa: la restauración de la mina Saint Nicolás de Steinbach, Alsacia (Francia). *De Re Metallica* 2, 51-54.

JORDÁ BORDEHORE, L. (2004b) Contribución al estudio histórico de las minas de plata de Horcajuelo de la Sierra (Madrid): patrimonio geológico, histórico y cultural. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 24, 193-206.

JORDÁ BORDEHORE, L., (2004c) Apuntes para el estudio de la minería y metalurgia de la plata en Bustarviejo, Madrid. Madrid: revista de arte, geografía e historia, 6, 89-105.

JORDÁ, L. (2005a) Geofísica somera aplicada a informes geotécnicos de pequeña escala: detección de cavidades por tomografía eléctrica”. *Ingeopres* 139, 20- 24.

JORDÁ, L. (2005b) Técnicas geofísicas de reconocimiento del subsuelo: Georradar y tomografía eléctrica. Casos Prácticos. *Subsuelo y Obra Urbana*. Agosto 2005, 34-43.

JORDÁ BORDEHORE, L. (2006a) Georradar aplicado a la ingeniería del terreno. Compendio de aplicaciones y casos prácticos: auscultación geotécnica, detección de servicios y cavidades de origen kársticos y antrópicos. En: López Jimeno, *INGEOTER* 8, Cap. 3, 439 pp.

JORDÁ BORDEHORE, L. (2006b) Aplicación de las técnicas espeleológicas a la exploración de minas abandonadas. En: Rábano, I. y Mata Perelló, J.M. *Patrimonio geológico y minero: su caracterización y puesta en valor*. Public. I.G.M.E, Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 6, 369-376.

- JORDÁ, L. (2007) Detección de cavidades mediante georradar. En: Durán J.J. y otros, Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible. Public. I.G.M.E, Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas, 24, 253-263.
- JORDÁ BORDEHORE, L., Y JORDÁ BORDEHORE, R. (1991) Las Minas de cobre de Colmenarejo (Madrid). Azogue, 5(II), 11-12.
- JORDÁ BORDEHORE L. y JORDÁ BORDEHORE, R. (2005) La mina de plata de Bustarviejo. Nuevos modelos de intervención y gestión del patrimonio geológico y minero. Industria y Minería, 361, 38-40.
- JORDÁ BORDEHORE, L., MAZADIEGO, L.F. y PUCHE, O. (2003) Minas históricas y mineralizaciones metálicas en Colmenarejo (Madrid). Re Metallica, 1,19-25.
- JORDÁ, L., PUCHE RIART, O., y MAZADIEGO MARTÍNEZ, L.F. (2004a) Las minas de cobre de Colmenarejo. Hispania Nostra, 83, 21- 23.
- JORDÁ, L., PUCHE, O., y MAZADIEGO, L.F. (2004b) Notas sobre la mina de plata de Bustarviejo (Madrid). Catalogación errónea como atalaya en el registro de Bienes de Interés Cultural. De Re Metallica, 2, 61-62.
- JORDÁ BORDEHORE, L., PUCHE, O., y MAZADIEGO, L.F. (2006) La minería de los metales y la metalurgia en la Comunidad de Madrid (1417-1983). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 192 pp.
- JORDÁ BORDEHORE, L., PUCHE, O., y MAZADIEGO, L., F. (2006) Detección de bocaminas abandonadas mediante tomografía eléctrica en la Sierra de Guadarrama, Madrid. Tierra y Tecnología, 30, 96- 104.
- LAFUENTE, M. (1846) Teatro social del siglo XIX, por Fray Gerundio. Historia de Don Frutos de las Minas. Madrid, Tomos I y II.

- LANDECHO, J. (1947) El Distrito minero de Madrid, Colección Distritos Núm. 10. Publicaciones varias de la Dirección General de Minas y Combustibles, 58 pp.
- LARRUGA, E. (1787) Memorias Políticas y Económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España“. Imprenta de Benito Cano. Madrid, Tomos 1, 11, 12, 13, 14.
- LAUFFER, H., (1958) Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. Geol. Bauwesen 24 (1), 46-51.
- LOCUTURA, J. y TORNOS, F. (1987) Aspectos genéticos de las mineralizaciones de F (Ba-Pb) del área de Colmenar del Arroyo. Sistema Central Español. Boletín Geológico y Minero, 98, 680- 694.
- LOKE, M.H. (1999) User Manual RES2DMOD ver. 2.2. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite- difference and finite – element methods. 22 pp.
- LÓPEZ DE AZCONA, J. M. (1962) Bibliografía de minería, metalurgia, geología y ciencias afines, 1778-1961. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- LÓPEZ DE AZCONA, J. M. & MESEGUER PARDO, J. (1964) Contribución a la historia de la geología y minería españolas. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- LÓPEZ DE CANCELADA, (1831) Minas de oro y Plata de España. Ramón Vergés. Madrid.
- LÓPEZ JIMENO, C. (2003) Manual de túneles y obras subterráneas. Ud. Proyectos ETS. Ingenieros de Minas U.P.M. 1082 pp.

- LÓPEZ MARINAS, J.M. (2002) Geología aplicada a la ingeniería civil, segunda dicción, Dossat 2000. 564 pp.
- MAFFEI, E. y RÚA FIGUEROA, R. (1871) Apuntes para una biblioteca española de libros, folletos y artículos impresos y manuscritos, relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales y a las ciencias auxiliares. 2 volúmenes, M. Lapuente. Madrid.
- MANERA BASSA, C. (2006) Facilitando las cosas 2. Cálculo de la resistencia uniaxial de las rocas con el martillo Schmidt. Tierra y Tecnología 30, 88-91.
- MARI, J.L., ARENS, G., CHAPPELLIER, y GAUDIANI, P., (1998) Geophysique de Gisement et de Génie Civil. Technip, París.
- MARESCOT, L., LOKE, M.H., (2003) Application de l'indice DOI à l'imagerie électrique 2D pour les sous-sols à forts contrastes de resistivite. Proceedings of the 4th Geofcan meeting, Paris, France, 23-24.
- MARESCOT, L., LOKE, M.H., CHAPPELLIER, D., DELALOYE, R., LAMBIEL, C., y REYNARD, E., (2003) Assessing reliability of 2D resistivity imaging in mountain permafrost studies using the Depth Of Investigation index method. Near Surface Geophysics, 1, 57-67.
- MARESCOT, L., LOKE, M.H., (2004) Using the Depth Of Investigation method in 2D resistivity imaging for civil Engineering surveys. Proceedings of the SAGEEP meeting, Colorado Springs, USA, 22-26.
- MARESCOT, L., y MARTÍNEZ PAGÁN, P. (2004) Ejemplos de aplicación del índice DOI (Depth Of Investigation) en tomografía eléctrica. Ingeopres, 132, 40-45.

- MARCOS BERMEJO, F., Y BUENO YANES, A. (1992) Sobre una mina de W-Mo de Hoyo de Manzanares (Madrid). *Azogue*, 7(III), 18-24.
- MARCOS BERMEJO, F. (1994) La mina de plata de Robregordo (Madrid). *Azogue* 15(V), 12.
- MARTÍN, C.D., KAISER, D.R., Mc CREATH, D.R. (1999) Hoek – Brown parameters for predicting the Depth of Brittle Failure Around Tunnels, *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 136-151.
- MAZADIEGO MARTÍNEZ, L. F., y PUCHE RIART, O. (1999) Minas de cobre de Colmenarejo. En: IV Sesión Científica de la SEDPGYM: Patrimonio Geológico y Minero, 28.
- MAZADIEGO, L.F., PUCHE, O. Y GARCÍA CORTÉS, A. (1998) Propuesta de catalogación del Patrimonio Minero – Metalúrgico madrileño. X Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Junio 1998, Valencia.
- MAZADIEGO, L.F.; PUCHE, O.; JORDÁ, L. y HERVÁS, A.M. (2004). Procesos comerciales e industriales. Hornos de cal de Quijorna. *De Re Metallica*, 2, 63-69.
- MAYOR, N., VINDEL, E., y LUNAR, R. (1986) Metalogenia de las mineralizaciones argentíferas del Sistema Central: Zona de La Acebeda-Robregordo. *Boletín Geológico y Minero*, 97, 91-103.
- MENENDEZ ORMAZA, J. (1928) Estudio de criaderos metalíferos en las cercanías de Bustarviejo (Madrid). *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 139. 917- 928.

- OLDENBURG, D., y LI, Y., (1999) Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys, *Geophysics*, 64, 403-416.
- ORCHE, E. (2004) Problemática de la Seguridad en los Parques Mineros Españoles. *De Re Metallica*. 3, 55-65.
- ORCHE, E., (sin fecha), Puesta en valor del Patrimonio Geológico- Minero: El proceso de adaptación de explotaciones mineras a Parques Temáticos. 12/04/2008, www.sedp gym.org.
- ORCHE, E., y PUCHE RIART, O. (2003) Tratamiento de la seguridad en los Parques Mineros. En: *Seguridad en Minería: Avances en docencia, tecnología y legislación*. Vigo 28-29 de noviembre 2002. Laboratorio Oficial José M^a de Madariaga- UPM, 299-307.
- ORCHE, E., y PUCHE RIART, O. (2003) La Seguridad en los Parques Mineros. *Patrimonio Geológico Minero y Desarrollo Regional*. Publicaciones del IGME. Serie Cuadernos del Museo Geominero. Vol 2, 521-529.
- ORLANDO, L. (2002) Ground penetrating radar in massive rock: A case history. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 3(7), 265-279.
- ORTEGA, L. VINDEL, E. Y LUNAR R. (1988) Estudio de los filones de baritina intragraníticos del sector Cenicientos – Cadalso de los Vidrios (Sistema Central) *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 11(1), 89-99.
- PEDRAZUELA GONZÁLEZ, F. (2007) Análisis técnico – legal de la explotación económica y turística del espacio natural subterráneo. En:

- Durán J.J. y otros, Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible. I.G.M.E, Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas, 24, 277- 280.
- PÉREZ REGODÓN, J. (1970) Guía geológica hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid. IGME.
- PESCADOR SESMERO, S., RODRÍGUEZ SOTO, A. (2004) Reconocimiento del terreno mediante tomografía eléctrica por delante de la excavación de túneles. Ingeopres, 126, 86-95.
- PRADO, C., De (1864) Descripción física y geológica de la provincia de Madrid.
- PUCHE, O. Y MAZADIEGO, L.F. (1997) Conservación del patrimonio minero metalúrgico español: actuaciones recientes y propuestas. Tecnoambiente, 69, 39-43.
- PUCHE, O., GARCÍA CORTÉS, A., y MATA, J.M., (1994) La conservación del Patrimonio Minero- Metalúrgico Español. En: Actas IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, León.
- PUCHE, O.; GARCÍA, I. y MAZADIEGO, L.F. (2000) El Patrimonio Minero de la mina del Cerro de la Plata de Bustarviejo (Madrid). En: III Reunión Científica de la SEDPGYM. Patrimonio Minero- Metalúrgico, 13 - 15 Noviembre 1998. La Rábida.
- PUCHE. O., y MAZADIEGO, L.F., (in. lit.) Patrimonio Minero- Metalúrgico Madrileño. En: I Simposio Europeo sobre Minería y Metalurgia antigua en el Mediterráneo Occidental, 26 pp. 5-7 Mayo 2000, Serós, Lérida
- PUCHE, O.; MAZADIEGO, L.F. y JORDÁ, L. (2003) Hornos para refractarios de D. José Orodea en las proximidades de las casas del Vétago,

- Valdemorillo (Madrid). En: Actas del IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero. Ayto. Utrillas-SEDPGYM. Teruel, 237-244.
- PUCHE RIART, O. y MATA PERELLÓ, J. M. (1992) Enseñanza de la Mineralogía y de la Petrología, con especial atención a las Escuelas de Minas. *Industria Minera*, 315, 21-38.
- PUCHE RIART, O. (2003) Histoire des Mines dans la Péninsule Ibérique. En: M. Serrano Pinto, editor. *Proceedings of the 26th Inhigeo Symposium 2001*, Universidade de Aveiro, 39-49.
- PUCHE RIART, O. (2001) Contribución de los ingenieros a la ciencia en España: la Geología. En: Ayala-Carcedo, F. J. (edit), *Historia de la Tecnología en España*, Valatenea, Barcelona, II, 659-670.
- PUCHE RIART, O., MAZADIEGO, L. F., JORDÁ BORDEHORE, L. (in lit.) *Historia de la Geología en la Comunidad de Madrid*. En: I Simposio sobre Minería y Metalurgia en el Mediterráneo Occidental, Bellmunt, 6-8 noviembre 2002.
- RAMÍREZ OYANGUREN, et. al. (1991) *Mecánica de Rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. IGME, 334 pp.
- RELANZÓN LOPEZ, M.S. (1987) *La Minería Española en la Edad Moderna*. Pub. Esp. Bol. Geol. Min.
- REYNOLDS, J.M. (1997) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Ed. Wiley and Sons.
- ROCSCIENCE, (2002) *DIPS. User Guide*. 84 pp.
- ROCSCIENCE (sin fecha) *EXAMINE 2D.V7.0.- Quick Start Tutorial*. 22 pp.

- ROCSCIENCE (2004) Roclab. Guía de Usuario. Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el criterio de rotura de Hoek-Brown. 27 pp.
- RODRIGUEZ SOTO, A., BLANCO LABRADO, M.E. (2004) Detección de servicios mediante georradar. *Subsuelo y Obra urbana*, Junio 2004, 40 – 44.
- ROMANA, M. (1985) New adjustment ratings for application of Bieniawski classification for slopes. *Int. Symp. On the role of rock mechanics. ISRM. Zacatecas*, 49 – 53.
- ROMANA, M. (1993) A geomechanics classification for slopes: Rock Mass Rating. In *Comprehensive Rock Engineering*. J. Hudson. Pergamon, 575 – 600.
- ROMANA, M. (1995) The geomechanics classification SMR for slope correction. *Proc. 8th Int. ISRM Congress (Fujii ed.)*.
- ROMANA, M. (inédito) Parametros Ingenieriles en mecánica de rocas. III Mater en Túneles y Obras Subterráneas, AETOS 2008. Area A. Mecánica de rocas.
- ROY, A., APPARAO, A., (1971) Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics*, 36, 943-959.
- SAMPER, J. (1977) Estudio metalogénico y evolución de la minería en la mina Mónica de Bustarviejo, *Tecniterrae*, 19, 14-22.
- SÁNCHEZ, A. (1995) Libro Blanco de la Minería de la Comunidad de Madrid. I.G.M.E. Madrid, 183 pp.
- SÁNCHEZ GARCÍA, I. (1992) Mineralogía de la Mina Aurora de cobre de Colmenarejo (Madrid) *Azogue*, 7 (III), 16 y 17.

- SÁNCHEZ GARCÍA, I. (1993) Mina Carrala (Madrid). *Azogue*, 11(IV), 21-24.
- SÁNCHEZ GÓMEZ, J. (1989) De Minería, Metalurgia y Comercio de metales, 1450-1610. 2 volúmenes. Ed. Instituto Tecnológico Geominero de España. Colección Memorias. Salamanca.
- SÁNCHEZ LOZANO (1896) Nota sobre algunos criaderos argentíferos de los términos de la Acebeda y Robregordo en la provincia de Madrid. *Boletín del Instituto Geológico y Minero*, 23, 157-166.
- SANTOS, V. (1913) Memoria sobre las minas de cobre de Colmenarejo. Informe Industrial Inédito. Archivo originales indicios Mapa Metalogenético 45 Madrid. IGME.
- SCHNEBELEN, G. (2000) L'argent du Silberthal mythe ou réalité?. En: VVAA: Mines, mineurs et mineralogy au Silberthal, Ed. Association mineralogique Potasse, Steinbach, 85-89.
- SERÓN, J.B. (2008) Discontinuidades. Proyección Estereográfica. Apuntes del III Master Aetos de Túneles y Obras Subterráneas.
- SHARMA, V.S. (1997) Environmental and engineering geophysics. Cambridge university Press, 475 pp.
- SIMONIN, L.L. (1867) La vie souterraine ou les mines et les mineurs. L. Hachette. 604 pp.
- TEDESA, (2006) Catalogo Cuadros Metálicos de Entibación. 31 pp.
- TERZAGHI, K, (1946) Rock defects and load son tunnel supports. In: Rock tunneling with steel supports. Youngstown, OH: Commercial Shearing and Stamping Company, 17-99.

- TORRUBIA, J. (1754) Aparato para la Historia Natural Española. Madrid.
(Facsímil, 1995, Sociedad Española de Paleontología).
- VARONA ARCINEAGA, J.M. (1964) Metalogenia del criadero de Bustarviejo.
Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de
Minas de Madrid.
- VINDEL, E. (1980) Estudio mineralógico y Metalogenético de las
mineralizaciones de la Sierra de Guadarrama”. Tesis Doctoral. Univ.
Complutense, Madrid 249 pp.
- VINDEL, E. (1982a) Estudio mineralógico y Metalogenético de las
mineralizaciones de la S^a de Guadarrama (Sistema Central Español).
Boletín Geológico y Minero, 93-1 (Parte I), 33-58.
- VINDEL, E. (1982b) Estudio mineralógico y Metalogenético de las
mineralizaciones de la S^a de Guadarrama (Sistema Central Español).
Boletín Geológico y Minero, 93-2 (Parte II), 22-47.
- VINDEL E., y GUMIEL, P. (1981) Estudio Metalogenético de la
mineralización de Ag de Prádena del Rincón. Sistema Central Español.
Cuadernos de Geología Ibérica, 7, 405-419.
- VINDEL, E., LOPEZ, J.A., MARTIN, T., y GARCIA, E. (2000) Fluid
evolution and hidrothermal process of the Spanish Central System. Journal
of Geochemical Exploration, 69-70, 359-362.
- VIÑALS J., y CALVO, M. (2001) Plumbogummita en la mina “La Montañesa”,
Navalagamella (Madrid). Revista de Minerales. 2(II), 26-27.
- VV. AA. (1854-1865) Planos de Minas del Distrito de Madrid, “Planos de las
demarcaciones de minas, que se han practicado en el Distrito de Madrid“.

Tomo I y Tomo II. Dirección General de Industria, Energía y Minas.
(Antigua Jefatura de Minas de Madrid), ejemplar único consulta interna.

VVAA Estadística Minera de España, años: 1867 hasta 1983.

VV.AA. (2004) Detection de cavités souterraines par méthodes géophysiques.
Guide technique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussés. Paris. 170
pp.

VV.AA. (2007) El recorrido de los minerales en la Comunidad de Madrid.
Dirección General de Industria, Energía y Minas de Comunidad de
Madrid. 264 pp.

WICKAM, G.E., TIEDEMANN, H.R., y SKINNER, E.H., (1972) Support
determination base don geologic predictions. In: Proc. North American
rapid excavation tunneling conference, Chicago, 43-64.

WOODS, R.D. (1994) Geophysical Characterization of sites. ISSMFE
Technical Committee, India, 10, 141 pp.

ZHOU, W., BECK, B.F., ADAMS, A.L. (2002) Effective electrode array in
mapping karst hazards in electrical resistivity tomography.
Environmental Geology, 42, 922-928.

EPILOGO

Puedo atreverme a decir que esta tesis marca el final de una etapa y el comienzo de otra en mi vida, tanto a nivel personal como profesional. Llevo ya 18 años recorriendo minas abandonadas con gran pasión. Empecé buscando minerales con mi hermano por toda la geografía española: de la mano de unos jóvenes ingenieros y geólogos de Grupo Mineralogista de Madrid, Gonzalo García, Luis Cólliga, Felix Marcos, Carolina Daneyko, y otros. Ahora sigo con la afición y con estas mismas amistades, hoy convertidos, gracias a su sabiduría y tesón en los más grandes especialistas en su materia.

Esta primera etapa comenzó con unos años muy activos en el Grupo Mineralogista de Madrid y en las asociaciones deportivas de la Escuela de Minas de Madrid. En 1998 proseguí mis estudios en Bélgica y Francia. A lo largo de mi carrera compaginé mis estudios con una frenética actividad deportiva: escalada, alpinismo y espeleología y numerosos viajes. Creo que estas experiencias me han dado una base física muy buena para acometer las investigaciones de mi etapa de tesis.

Regresé a España en el año 2001 y tras un breve paso por la empresa privada empiezo de forma exclusiva mi dedicación a la tesis doctoral en 2002, en la Escuela de Minas de Madrid, con una beca de Formación de Personal Investigador.

Esta etapa de mi vida se ha caracterizado por el aprendizaje continuo y por una gran ilusión, tal vez mucho corazón (a veces más que cabeza) en todo lo que he hecho. Se han ido cumpliendo sueños de la infancia y juventud, y sin dejar nunca mi pasión por la Ingeniería Geológica, he vivido grandes aventuras. Puedo decir que, contrariando al ilustre paleontólogo Mallorquín Juan Cuerda, uno de mis mentores, he hecho de mi afición, mi profesión.



Figura 216: Filón de calcita con plata nativa en el interior de la mina de plata de Kongens Gruve en Kongsberg, Noruega, en 2003.

Una vez concluida la tesis doctoral, seguiré investigando este fascinante mundo del Patrimonio Minero y las Obras Subterráneas. Y, si es posible iniciarme en la docencia: transmitir esta apasionante profesión a los demás.

Como dijo Haroun Tazieff, vulcanólogo y uno de los mayores aventureros de todos los tiempos:

“Cumplir de mayor los sueños de la infancia, quiere decir, simplemente, no haberse equivocado en la vida”



Figura 217: Preparándome con mi hermano Rafael para descender un pozo antiguo en las minas de El Horcajo, Ciudad Real. 2007



Figura 218: Primeras campañas de investigación de la mina abandonada de Aliva, de cara a la investigación doctoral de mi hermano Rafael.