GRUPOMEXICO

MINORBIS



1. Plan de Investigación

Concurso público para la adjudicación de las actividades extractivas de explotación de los recursos existentes en la reserva minera de Aznalcóllar (Sevilla)

TOMO 1: PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA RESERVA MINERA DE AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Código proyecto:	PE_LFR	**Fecha:**	Diciembre 2014
Ingeniería	**Autor**		**Titular**
MAGTEL – GRUPO MÉXICO	CRS INGENIERÍA		MINORBIS S. L. U. – GRUPO MÉXICO

TOMO 1: PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

CONTROL DE LA DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE CALIDAD

TITULO DEL DOCUMENTO: PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN.

CODIGO PROYECTO: PE_LFR

CODIGO DOCUMENTO: PE_LFR_1_Rev00

Fichero: PE_LFR_1.Re00.docx

	Fecha	Nombre
Realizado	18/11/2014	CRS INGENIERÍA
Revisado	28/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Aprobado	01/12/2014	MINORBIS - GRUPO MÉXICO

TABLA DE CONTENIDOS

TOMO 1: PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN 0
FIGURAS 7
TABLAS 10
FOTOGRAFÍAS 11
GLOSARIO 12
1. OBJETIVOS Y PROGRAMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 13
1.1. OBJETO DEL CONCURSO 13
1.2. ASPECTOS TÉCNICOS 13
1.3. INTRODUCCIÓN GENERAL 13
1.4. OBJETIVOS 15
1.5. PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN 15
2. DATOS DEL CONCESIONARIO Y SUPERFICIE MINERA DISPONIBLE 17
3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN 20
4. GEOLOGÍA REGIONAL 31
4.1. ZONA SUDPORTUGUESA 31
4.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA 33
4.3. TECTÓNICA DE LA FAJA PIRÍTICA 39
4.4. METALOGENIA 43
5. GEOLOGÍA DE DETALLE 49
5.1. ESTRATIGRAFÍA 52
5.2. TECTÓNICA 54
5.3. MIOCENO 60
5.4. CUATERNARIO 62
6. MINERALIZACIONES A ESTUDIAR 64
6.1. PARAGÉNESIS 68
6.2. ALTERACIONES HIDROTERMALES 69
6.3. MODELO GEOLÓGICO DE LOS FRAILES 70
6.3.1. Estratigrafía 70
6.3.2. Estructura 71
6.3.3. Mineralización 75
7. LABORES DE INVESTIGACIÓN PREVISTAS 76

7.1. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 76
7.2. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA 76
7.3. ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL 77
7.4. PROSPECCIÓN GEOLÓGICA 77
7.4.1. Prospección directa 78
7.4.1.1. Cartografía de detalle 78
7.4.2. Prospección indirecta 78
7.5. TELEDETECCIÓN 78
7.6. PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA 79
7.6.1. Técnica del Ion Metálico Móvil (MMI) 79
7.6.1.1. Técnica MMI en el yacimiento de Las Cruces 81
7.6.1.2. Metodología en la Reserva de Aznalcóllar 85
7.7. CAMPAÑA DE SONDEOS MECÁNICOS CON RECUPERACIÓN DE TESTIGO 86
7.7.1. Sondeos a testigo continuo 86
7.7.2. Plan de trabajo y equipos 99
7.7.3. Protocolos de aseguramiento de la calidad y control (QA/QC) 99
7.7.4. Estudios petrográficos 105
7.7.5. Análisis químicos para Cu, Zn, Pb, Au, Ag, S, As de los tramos mineralizados 105
7.7.6. Determinación de la densidad aparente, según UNE 103301 105
7.7.7. Análisis multielemental del 10% de las muestras para identificación de otros posibles metales de interés 105
7.7.8. Ensayos geotécnicos 105
7.7.9. Ensayos hidrogeológicos 107
7.7.10. Ensayos mineralúrgicos 110
7.7.10.1. Caracterización del Mineral 110
7.7.10.2. Molienda 113
7.7.10.3. Simulación de proceso 114
7.7.10.4. Caracterización de los productos 116
7.8. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA 118
7.8.1. Programa de trabajo a realizar. 122
7.8.1.1. Registros TEM en sondeos 122
7.8.1.1. Estudios mediante el método Puesta a Masa 128

7.8.1.2. Estudio gravimétrico en la zona sur....131
7.8.1.3. Estudio mediante SEDT en la Zona Sur....135
7.8.1.4. Sísmica de reflexión 2D en la zona sur....147
7.9. INSTRUMENTACIÓN DE TALUDES EN LA CORTA LOS FRAILES Y AZNALCÓLLAR....154
7.10. ASPECTOS DE ESTA PROPUESTA RELATIVOS A LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA....157
7.10.1. Innovación en prospección geoquímica Ion metálico móvil (Mobile Metal Ions MMI)....158
7.10.2. Innovación en sondeos....158
7.10.2.1. Ensayos de hidrofracturación....158
7.10.2.2. Registro Televiewer acústico....158
7.10.3. Innovación en prospección geofísica....159
7.10.3.1. Gravimetría....160
7.10.3.2. EM de Dominio de Tiempos....160
7.10.3.3. Sísmica de reflexión 2D....162
7.10.3.4. Comentarios respecto a otros métodos geofísicos aparentemente innovadores....165
7.10.4. Innovación en instrumentación de taludes....166
7.11. ASPECTOS DE ESTA PROPUESTA EN RELACIÓN AL ANTEPROYECTO DE EXLOTACIÓN....166
7.11.1. Restitución fotogramétrica:....169
7.11.2. Prospección geológica:....169
7.11.3. Teledetección....169
7.11.4. Prospección geoquímica, sondeos mecánicos y prospección geofísica:....169
7.11.4.1. Estudio MMI....172
7.11.4.2. Campaña de sondeos....172
7.11.4.3. Prospección geofísica....172
7.11.4.4. Registros TEM en sondeo....172
7.11.4.5. Puesta a masa....173
7.11.4.6. Método SEDT....173
7.11.4.7. Estudio gravimétrico....173
7.11.4.8. Estudio de sísmica 3D....173
7.11.5. Integración de información y modelización digital 3D del yacimiento....174

8. MODELIZACIÓN DIGITAL 3D DEL YACIMIENTO 175
8.1. INTEGRACIÓN DE DATOS 175
8.2. DEFINICIÓN DE LAS MINERALIZACIONES: Los Frailes y otras 175
8.3. MODELIZACIÓN DE LAS MINERALIZACIONES POR SEPARADO 175
8.3.1. Modelización geológica 3D: estructural y litológica 176
8.3.2. Modelización geoquímica 3D 176
8.3.3. Modelo de bloques para cada elemento 176
8.3.3.1. Cálculo de recursos 177
8.3.3.2. Validación de los resultados 177
8.3.3.3. Niveles de confianza, estabilizador estadístico para 177
8.3.3.4. Clasificación de recursos en base a estándares internacionales 178
8.4. MODELO HIDROGEOLÓGICO 179
8.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ACUERDO CON LA NORMA NI 43-101 182
9. EQUIPO TÉCNICO DISPONIBLE 184
9.1. MINORBIS-GRUPO MÉXICO 184
9.1.1. Equipo técnico 184
9.1.1.1. GRUPO MÉXICO 184
9.1.1.2. MAGTEL 187
9.2. INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN RECURSOS DEL SUBSUELO, S.L. (CRS INGENIERÍA) 188
9.2.1. Equipo técnico 189
9.2.2. Experiencia 191
9.3. SEMA 197
9.3.1. Experiencia 198
9.4. INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.L. (IGT) 208
9.4.1. Equipo técnico 209
9.4.2. Medios materiales 211
9.4.2.1. Gravimetría 211
9.4.2.2. EM de Dominio de Tiempos 212
9.4.2.3. Puesta a Masa 212
9.4.3. Experiencia 212
9.5. INSERSA 217
9.5.1. Experiencia 219

9.6. ALS 220
10. CRONOGRAMA, PERSONAL Y MEJORAS SOCIALES 221
10.1. CRONOGRAMA 221
10.2. PERSONAL 223
10.3. MEJORAS SOCIALES 223
11. PRESUPUESTO 224
12. PLANIFICACIÓN 230
13. BIBLIOGRAFÍA 231
ANEXO 1.1. PROGRAMA DE PRUEBAS PLANTA DE BENEFICIO Y TRATAMIENTO DE MINERAL
ANEXO 1.2. ENSAYOS REOLÓGICOS DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE MINERAL
ANEXO 1.3. PLAN DE RESTAURACIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN
ANEXO 1.4. DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD

FIGURAS

Figura 3-1 – Mapa de resultados de puesta a masa. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia) 21
Figura 3-2 – Mapa de resultados de calicatas eléctricas. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia) 23
Figura 3-3 – Mapa de anomalía residual. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia) 25
Figura 3-4 – Puntos de medición gravimétrica e interpretación de Anomalía de Bouguer en la hoja MAGNA número 961 de nombre Aznalcóllar. (Fuente: IGME). 26
Figura 3-5 – Puntos de medición gravimétrica e interpretación de Anomalía de Bouguer en la hoja MAGNA número 983 de nombre Sanlúcar La Mayor. (Fuente: IGME). 27
Figura 3-6 – Información de sondeos analizados y representación de porcentajes de Zinc. (Fuente: Mintec.) 29
Figura 3-7 – Modelo 3D de estimación de reservas en la corta Los Frailes. (Fuente: Mintec.) 29
Figura 4-1 – Situación de la Faja Pirítica Ibérica dentro de la subdivisión del Macizo Hercínico Ibérico. (Fuente: Julivert et Al, 1972) 31
Figura 4-2 – Esquema geológico de la zona Sudportuguesa. (Basado en Oliveira, 1990) 32
Figura 4-3 – Esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. . (Palero Fernández, F.J.- Geología y Metalogenia) 33
Figura 4-4 – Columnas estratigráficas en algunas áreas con mineralizaciones de sulfuros masivos (Fuente: IGME, 1982b) 39
Figura 4-5 – Esquema evolutivo durante la deformación progresiva de la 1ª fase Hercínica en la parte norte de la Faja Pirítica Ibérica. (Silva et al. 1990) 40
Figura 4-6 – Estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Quesada, 1996).....43
Figura 4-7 – Situación tipológica de las mineralizaciones en la FPI en función de sus contenidos en Cu, Pb y Zn. (Fuente: Sáez et al, 1999, modificado por CRS Ingeniería.) 47
Figura 4-8 – Variaciones relativas de contenidos medios en CU, Pb, Ag y Au de yacimientos significativos de la FPI. (Fuente: Revista Metalogenia; mineralizaciones de la zona Sudportuguesa).....48
Figura 5-1 – Mapa geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961) Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía.). 50
Figura 5-2 – Perfil geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961). (Fuente: Junta de Andalucía) 51
Figura 5-3 – Columna estratigráfica tipo del primer episodio de vulcanismo ácido, levantada a lo largo del río Crispinejo. (Modificada de Coullaut, J.L. et al., 1975).....54
Figura 5-4 – Mapa sintético de las Unidades Tectonoestratigráficas en la Hoja 961 de la Junta de Andalucía. Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía). 55
Figura 5-5 – Estereograma 1. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000) 56
Figura 5-6 – Estereograma 2. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000) 58
Figura 5-7 – Mapa geológico de los yacimientos Aznalcóllar y Los Frailes. (Fuente: Elaboración propia) 59
Figura 5-8 – Mapa de isopacas del Mioceno realizado en Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973. 60

Figura 6-1 – Localización del yacimiento en el esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. (Fuente: Revista Sociedad Española de Mineralogía, Macla nº10 – Tornos Arroyo, F. 2008) 64
Figura 6-2 – Localización de las masas minerales y las antiguas labores (Pinedo, 1963) 65
Figura 6-3 – Perfil geológico (4750) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990) 72
Figura 6-4 – Perfil estructural (4760) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990) 74
Figura 7-1 – Esquema de funcionamiento de ion metálico móvil. (Fuente: ActLabs) 80
Figura 7-2 – Contenidos en Cu analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME) 82
Figura 7-3 – Contenidos en Au analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME). 82
Figura 7-4 – Contenidos en Pb analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME). 83
Figura 7-5 – Mapa de contornos de Cu analizado por lixiviación enzimática. (Fuente :IGME). 83
Figura 7-6 – Mapa de contornos de Au analizado por lixiviación enzimática. (Fuente: IGME). 84
Figura 7-7 – Mapa de contornos de Pb analizado por lixiviación enzimática. (Fuente. IGME.) 84
Figura 7-8 – Toma de muestra de suelo para análisis MMI. (Fuente. SGS). 85
Figura 7-9 – Maquinaria de perforación. (Fuente. INSERSA). 87
Figura 7-10 – Mapa del número de sondeos propuestos por cuadrícula minera. (Fuente: Elaboración propia). 89
Figura 7-11 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 105m. (Fuente: Elaboración propia). 93
Figura 7-12 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 165m. (Fuente: Elaboración propia) 94
Figura 7-13 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 225m. (Fuente: Elaboración propia). 95
Figura 7-14 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 285m. (Fuente: Elaboración propia). 96
Figura 7-15 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 345m. (Fuente: Elaboración propia). 97
Figura 7-16 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 400m. (Fuente: Elaboración propia). 98
Figura 7-17 – Corte del testigo para toma de muestras de análisis químicos y ensayos mineralúrgicos (Fuente: Elaboración propia). 101
Figura 7-18 – Sondeos con instalación de puntos de control hidrogeológico. (Fuente: elaboración propia) 109
Figura 7-19 – Esquema general para el empleo de métodos geofísicos en la prospección de depósitos de sulfuros metálicos en la Faja Pirítica. (Fuente: IGT). 120
Figura 7-20 – Variación del acoplamiento EM entre el campo primario y un conductor del subsuelo en función de la posición de éste con respecto al bucle transmisor. (Fuente: IGT). 124
Figura 7-21 – Presentación de los resultados de la modelización de los registros TEM un sondeo que no cortó sulfuros metálicos. (Fuente: IGT). 125
Figura 7-22 – Explicación del método de Puesta a masa. Fuente: IGT. 129

Figura 7-23 – Ejemplo de presentación de resultados de un estudio mediante el método de Puesta a Masa. Fuente: IGT.....130
Figura 7-24 – Zona cubierta por el estudio gravimétrico (zona sombreada en gris). Fuente: Elaboración propia. 134
Figura 7-25 – Ejemplo de sección de resistividad obtenida mediante SEDT en una zona de la Faja Pirítica con recubrimiento Terciario. Fuente: IGT. 139
Figura 7-26 – Acoplamiento EM entre un conductor del subsuelo y el campo EM primario para las medidas con dispositivo Slingram. (Fuente: IGT). 142
Figura 7-27 – Ejemplo de anomalía producida por un conductor metálico en un estudio TEM con dispositivo Slingram y su interpretación. (Fuente: IGT) 143
Figura 7-28 – Programa de trabajo para las medidas mediante SEDT destinadas a determinar el espesor del recubrimiento Terciario. (Fuente: elaboración propia) 145
Figura 7-29 –Perfil sísmico interpretado (arriba) y corte geológico (abajo) en Neves Corvo, Portugal. (Fuente: CGG Veritas Somincor).....147
Figura 7-30 – Traza de perfiles sísmicos 2D propuestos. (Fuente: Elaboración propia) 149
Figura 7-31 – Estimación del SSE (Energía emitida en cada punto de vibración). (Fuente: CGG Veritas).....151
Figura 7-32 – Estación total para medición de prismas. (Fuente: al-top topografía). 155
Figura 7-33 – Prisma de control. (Fuente al-top topografía). 156
Figura 7-34 – Estación total Trimble S8. (Fuente al-top topografía). 156
Figura 7-35 – Estación total para medición de prismas. (Fuente al-top topografía). 157
Figura 7-36 – Registro de Televiewer acústico. (Fuente: IGT). 159
Figura 7-37 – Perfil sísmico de alta resolución en Neves Corvo, Portugal. (Fuente: CGG Veritas). 163
Figura 7-38 – Zonas de investigación propuestas en el Anteproyecto de Explotación del yacimiento de Aznalcóllar para su exploración geofísica. (Fuente: Minorbis-Grupo México) 170
Figura 7-39 – Resumen de la investigación propuesta en el presente documento. (Fuente: Elaboración propia). 171
Figura 8-1 – Modelización geológica 3D de Los Frailes. (Fuente: elaboración propia) 175
Figura 8-2 – Modelización geológica 3D. (Fuente: Maptek).....176
Figura 8-3 – Modelo de bloques. (Fuente: Maptek) 177
Figura 8-4 – Clasificación de los recursos minerales. (Fuente: The JORC Code, edición 2012)).....178
Figura 8-5 – Ejemplo de modelo conceptual-matemático de un sistema hidrogeológico. (Fuente: LNAPL Conceptual Site Model Three-Dimensional Visualizations).....181
Figura 9-1 - Presencia de la división minera de Grupo México en México. (Fuente: Elaboración propia) 186
Figura 9-2 - Presencia de la división minera de Grupo México en Estados Unidos (izquierda) y Perú (derecha). (Fuente: Elaboración propia). 187

TABLAS

Tabla 2.1 – Coordenadas geográficas de los vértices de la Reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía) 17

Tabla 2.2 – Coordenadas UTM de los vértices de la Reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía) 17

Tabla 2.3 – Datos de las fincas registrales disponibles. (Fuente: Junta de Andalucía) 17

Tabla 2.4 – Datos de parcelas alquiladas. (Fuente: Junta de Andalucía) 18

Tabla 2.5 – Datos de fincas registrales agrícolas. (Fuente: Junta de Andalucía) 18

Tabla 2.6 – Datos del promotor de la reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía) 19

Tabla 6.1 – Producción en toneladas de los filones entre los años 1904-1917 (Pinedo, 1963) 65

Tabla 7.1 – Información de la campaña de sondeos previstos. (Fuente: Elaboración propia). 91

Tabla 7.2 – Información de sondeos existentes en el yacimiento Los Frailes en los diferentes niveles. (Fuente: Elaboración propia). 92

Tabla 7.3 – Información Equipos de perforación y personal previsto. (Fuente: Elaboración propia). 99

Tabla 7.4 – Ensayos previstos y parámetros obtenidos de cada uno de ellos. (Fuente: Elaboración propia). 106

Tabla 7.5 – Información de los ensayos y análisis a realizar en la campaña de sondeos previstos. (Fuente: Elaboración propia). 118

Tabla 7.6 – Recomendaciones respecto al programa general de reconocimiento mediante métodos geofísicos para proyectos de exploración minera en la Faja Pirítica. (Fuente: IGT). 121

Tabla 7.7 – Distribución de las ventanas de tiempo del sistema PROTEM para las diversas frecuencias. (Fuente: IGT). 127

Tabla 7.8 – Resumen de trabajos del programa de investigación. (Fuente: Elaboración propia). 168

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 7.1 – Gravímetro. (Fuente: IGT) 131
Fotografía 7.2 – Estudio microgravimétrico. (Fuente: IGT) 133
Fotografía 7.3 – Testificación EM Peña del Hierro. (Fuente: IGT) 136
Fotografía 7.4 – Testificación EM Peña del Hierro. (Fuente: IGT) 137
Fotografía 7.5 – Testificación EM. (Fuente: IGT) 138
Fotografía 7.6 – EM en Grandola. (Fuente: IGT) 146
Fotografía 7.7 – Camión vibrador tipo M22. (Fuente: CGG Veritas) 150
Fotografía 7.8 – Dispositivo UNITE y tendido de registro inalámbrico tipo Unite de Sercel. (Fuente: CGG Veritas).....152
Fotografía 7.9 – Microgravímetro Autograv CG5. (Fuente: IGT). 160
Fotografía 7.10 – Transmisor. (Fuente: IGT). 161
Fotografía 7.11 – Dispositivo UNITE y tendido de geófonos. (Fuente: CGG Veritas). 164
Fotografía 7.12 – Geófonos. (Fuente: CGG Veritas). 164
Fotografía 7.13 – Recogida de datos de los UNITE. (Fuente: CGG Veritas). 165
Fotografía 7.14 – Camión laboratorio e instrumentación. (Fuente: CGG Veritas). 165
Fotografía 7.15 – Control de datos en el camión laboratorio. (Fuente: CGG Veritas). 165
Fotografía 9.1 – Gravímetro Sodin 200T. (Fuente: CGG Veritas) 211

GLOSARIO

AZN: Aznalcóllar

EM: Electro-magnético

FPI: Faja Pirítica Ibérica

LFR: Los Frailes

MMI: Ion metálico móvil

SEDT: Sondeo eléctrico en dominio de tiempos

SSE: Fuerza de señal estimada

TEM: Electro-magnético en dominio de tiempos

ECA: Colaboradora de la Administración

UP: Unidades de Paisaje

1. OBJETIVOS Y PROGRAMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Este programa responde al "Concurso público para la adjudicación de las actividades extractivas de explotación de los recursos existentes en la Reserva Minera de Aznalcóllar en la provincia de Sevilla" al que se presenta Minorbis-Grupo México.

1.1. OBJETO DEL CONCURSO

El concurso público tiene por objeto adjudicar la preferencia en las actividades extractivas de explotación en las cuadrículas mineras comprendidas en la Reserva de Aznalcóllar.

El adjudicatario tendrá derecho a realizar labores de investigación y, simultáneamente, se concederá el derecho de explotación de los recursos reservados puestos de manifiesto, previo cumplimiento de los trámites correspondientes.

1.2. ASPECTOS TÉCNICOS

El Proyecto de Investigación que se presenta se ajusta a lo establecido en el artículo 66 del RGRM:

- Proyecto de Investigación, firmado por un Ingeniero Superior o Técnico de Minas, o en su caso, por otros titulados universitarios competentes a que se refiere el artículo 117 de la Ley.
- El proyecto consta de la presente memoria explicativa del plan general de investigación que se prevé realizar, indicando los minerales a que se refiere; y el procedimiento y medios a emplear; especifica el equipo técnico de que dispone el solicitante, Minorbis-Grupo México, el programa de la investigación, el plazo de ejecución, y el presupuesto de las inversiones a efectuar. Acompañan a esta Memoria planos de situación de la Reserva, planos y perfiles geológicos, y planos de las labores que se proyectan.

El programa de investigación sigue el índice indicado para la primera fase del Concurso en el capítulo 2. Anteproyecto de Explotación.

1.3. INTRODUCCIÓN GENERAL

La Reserva Minera de Aznalcóllar se encuentra en la zona más meridional de la Faja Pirítica Ibérica, en su límite con materiales terciarios.

Desde el punto de vista geológico, en la superficie de la Reserva pueden distinguirse dos dominios bien diferenciados: la mitad norte, en la que afloran materiales paleozoicos y en la que se sitúan las masas minerales conocidas y explotadas parcialmente; y la zona sur, donde afloran materiales terciarios y cuaternarios que recubren los materiales paleozoicos, sin que se conozca la existencia de ninguna mineralización.

En la mitad norte de la Reserva, y encajando en materiales del Complejo Vulcano-Sedimentario, se localizan los yacimientos ya explotados de Aznalcóllar y Los Frailes, y otros yacimientos menores, explotados durante el S.XIX y principios del S.XX, denominados Caridad y Cuchichón. En el límite septentrional de la Reserva y más al norte tienen un amplio desarrollo los materiales paleozoicos del PQ (Devónico superior), que quedan separados del Complejo Vulcano-Sedimentario, escenario de la mineralización, por un importante cabalgamiento de escala regional.

Inmediatamente al Sur, y recubriendo a materiales paleozoicos del PQ y el CVS, se desarrolla el Mioceno discordante, resultado de un proceso de transgresión marina.

En la mitad norte de la Reserva, la masa de sulfuros complejos de Aznalcóllar fue explotada desde 1876 a 1996 a cielo abierto, mediante una corta de 1500 m de longitud, 500 m de anchura máxima y 275 m de profundidad. En el año 1973 se estimó para la masa de Aznalcóllar un total de 70 Mt de sulfuros con leyes: 0,51% de Cu, 0,85% de Pb, 1,8% de Zn, 37 g/t de Ag y 0,48 g/t de Au. La masa quedó abierta en profundidad y también lateralmente.

La masa de sulfuros complejos de Los Frailes, descubierta en 1973 e investigada mediante diversas campañas de sondeos entre los años 1987 y 1998, fue explotada a cielo abierto desde 1996 a 2001. Los recursos totales obtenidos en esa campaña de investigación ascienden a 71 Mt con una ley media de 3,86% de Zn, 2,18% de Pb, 0,34% de Cu, y 60 ppm de Ag. La masa quedó abierta en profundidad y lateralmente. A partir de esa cifra de recursos se establecieron unas reservas de 47,37 Mt explotables a cielo abierto, con una ley media de 3,82% de Zn, 2,17% Pb, 0,35% Cu, 3,82 y 60 g/t Ag.

A partir de los datos de la campaña de sondeos de 1989, en esta fase del concurso y para la realización del proyecto de explotación la empresa Mintec ha realizado en septiembre de 2014 la modelización geológica y el modelo de bloques de la masa de sulfuros complejos de Los Frailes, mediante métodos geoestadísticos, obteniéndose unos recursos totales de 308 Mt con una ley media de 2,11% Zn, 1,14% Pb, 0,353% Cu y 34g/t Ag. De esta cifra, 94 Mt corresponden a recursos medidos, 102 Mt a recursos indicados y 112 Mt a recursos inferidos. Esta modelización se ha reevaluado por CRS obteniéndose unos recursos de 127 Mt con una ley media de 2,85% Zn, 1,74% Pb, 0,36% Cu y 49,42 g/t Ag hasta la cota -400 m s.n.m.

El proyecto de explotación que se presenta junto a esta Memoria prevé la explotación de la masa de Los Frailes por minería subterránea por encima de la cota -345 m s.n.m.

Respecto a las masas de Cuchichón y Caridad, sólo se tienen datos de su explotación en la primera mitad del siglo XX y la información proporcionada por algunos sondeos de la campaña de 1989 que las cortaron.

Respecto a la mitad sur de la Reserva, algunos afloramientos aislados prueban la existencia de materiales del Complejo Vulcano-Sedimentario bajo los sedimentos miocenos, que van ganando espesor hacia el sur, hasta alcanzar los 80 m. La proximidad de la mineralización de Las cruces, en el mismo entorno geológico, permite abrigar la esperanza de la existencia de masas de sulfuros desconocidas en este sector.

Estos planteamientos condicionan los objetivos del programa de investigación que se exponen a continuación.

1.4. OBJETIVOS

Las sustancias minerales objeto de la investigación son:

- Minerales de Cu, Pb y Zn, definidos como recursos minerales de alta potencialidad de acuerdo con la Acción 1.1.1 del Eje 1 Fomento de la Minería, Innovación y Desarrollo Empresarial del Plan de Ordenación de los Recursos Minerales de Andalucía PORMIAN 2010-2013
- Minerales de Au y Ag, definidos como recursos minerales con un grado de aprovechamiento inferior a su potencialidad de acuerdo con la Acción 1.1.2 del Eje 1 Fomento de la Minería, Innovación y Desarrollo Empresarial del Plan de Ordenación de los Recursos Minerales de Andalucía PORMIAN 2010-2013

La existencia de yacimientos conocidos en la zona norte de la Reserva de Aznalcóllar proporciona un volumen de información previa considerablemente mayor que el volumen de información existente en la zona sur. Por este motivo, y como ya se ha indicado, los objetivos fundamentales del proyecto de investigación se dividen en dos ámbitos según la información existente en cada una de las zonas. Estos objetivos son los siguientes:

- Zona Norte
  - Aumento del conocimiento del yacimiento de sulfuros masivos de Los Frailes mediante el diseño de una campaña de investigación intensiva mediante sondeos, para pasar los recursos inferidos a recursos medidos e indicados por encima de la cota -345 m s.n.m. y establecer la cifra de recursos indicados e inferidos por debajo de esa cota.
  - Delimitar y evaluar los yacimientos de Caridad y Cuchichón lateralmente y en profundidad, así como la prolongación en profundidad del yacimiento de Aznalcóllar, para definir la cifra de recursos inferidos y evaluar la viabilidad de explotación de estos yacimientos.
- Zona Sur
  - Localización, definición y modelización de posibles nuevas masas de sulfuros de interés bajo el Mioceno.

1.5. PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

Para conseguir los objetivos indicados, se realizará un programa de investigación que se llevará a cabo en el plazo máximo de ocho meses. En líneas generales el programa de investigación constará de las siguientes fases, divididas en las dos zonas diferenciadas de actuación:

- Investigación zona Norte:
  - Campaña de 10 sondeos gemelos para validar la campaña de sondeos existentes y los recursos ya evaluados.

- Campaña de 40 nuevos sondeos para pasar los recursos inferidos existentes en el yacimiento de Los Frailes por encima de la cota -350 m a recursos medidos e indicados y establecer la cifra de recursos existentes por debajo de esa cota como recursos indicados e inferidos.
- Obtener datos de geotecnia, hidrogeología, mineralogía y metalurgia que permitan pasar los recursos evaluados a reservas en el yacimiento Los Frailes.
- Delimitar las mineralizaciones existentes de Aznalcóllar, Cuchichón y Caridad y obtener recursos inferidos mediante modelización de las mismas.
- Localizar nuevas masas de sulfuros, existentes lateralmente o en profundidad, mediante técnicas geofísicas downhole (geofísica en sondeo).
- 1 sondeo de condenación para verificar la ausencia de mineralizaciones bajo la zona donde irá situada la planta.

- Investigación de la zona sur de la Reserva:
  - Exploración y modelización de posibles nuevas masas de sulfuros mediante métodos geofísicos y confirmación mediantes sondeos exploratorios.

Dentro del programa de investigación descrito en esta memoria no se va a realizar ninguna actividad de investigación dentro de los límites del Corredor Ecológico del Guadiamar, designado como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) que discurre al Norte y Este de la Reserva de Aznalcóllar.

Toda la información obtenida y generada durante los diferentes estudios del programa de investigación será integrada en el Sistema de Información Geográfica ArcGis y en una base de datos globales.

2. DATOS DEL CONCESIONARIO Y SUPERFICIE MINERA DISPONIBLE

Los terrenos objeto del programa de investigación son los comprendidos en la reserva de Aznalcóllar y corresponden con 72 cuadrículas mineras. En la Tabla 2.1 se definen los vértices de la superficie minera disponible en coordenadas geográficas referidas al meridiano de Greenwich como origen de longitudes.

	Latitud	Longitud
Punto 1	37º 32´00”	6º 15´40”
Punto 2	37º 32´00”	6º 13´00”
Punto 3	37º 29´00”	6º 13´00”
Punto 4	37º 29´00”	6º 15´40”

Tabla 2.1 – Coordenadas geográficas de los vértices de la Reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía)

Las coordenadas UTM en ETRS89 huso 30 de la reserva se indican en la Tabla 2.2

Punto	Coordenada UTM (ETRS89 huso 30)
1	211.714, 4.158.903
2	215.642, 4.158.767
3	215.452, 4.153.217
4	211.521, 4.153.353
P.F.	211.714, 4.158.903

Tabla 2.2 – Coordenadas UTM de los vértices de la Reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía)

Dentro de la misma, se encuentran seis fincas registrales disponibles, pertenecientes a la Junta de Andalucía, con una superficie total de 6.593.218,68 m^2 6.593.218,68 m^2 6.593.218,68 m^2 6.593.218,68 m^2, cuyos datos de superficie y números registrales, así como de afecciones públicas y particulares, se relacionan a continuación:

FINCAS REGISTRALES DISPONIBLES DE TITULARIDAD DE LA JUNTA DE ANDALUCIA

Los datos de sus superficies y números registrales se adjuntan en la Tabla 2.3:

Orden Finca	Área (m^2)	Número de Finca Registral
Finca 1	6.087.399,75	Finca nº 5213/13016
Finca 2	352.893,00	Finca nº 6376
Finca 3	44.939,13	Finca nº 6382
Finca 4	45.785,23	Finca nº 6383
Finca 5	33.785,23	Finca nº 6384
Finca 6	28.811,31	Finca nº 6385
TOTAL	**6.593.218,68**	

Tabla 2.3 – Datos de las fincas registrales disponibles. (Fuente: Junta de Andalucía)

FINCA REGISTRAL Nº 5213/13016

La finca registral 5213/13016 ocupa una superficie de 6.087.399,75 m^2.

Condicionantes por alquileres realizados en la Finca Registral 5213/13016

Esta finca registral tiene como servidumbre dentro de su perímetro una serie de parcelas alquiladas (681.937,00 m^2 en total) por determinadas sociedades y por periodos de tiempo variables (Tabla 2.4):

Área (m^2)	Acumulado (m^2)
85.000,00	85.000,00
50.000,00	135.000,00
50.000,00	185.000,00
50.000,00	235.000,00
50.000,00	285.000,00
50.000,00	335.000,00
50.000,00	385.000,00
60.823,00	445.823,00
82.000,00	527.823,00
130.000,00	657.823,00
4.724,00	662.547,00
11.324,00	673.871,00
5.084,00	678.955,00
2.982,00	681.937,00
TOTAL	**681.937,00**

Tabla 2.4 – Datos de parcelas alquiladas. (Fuente: Junta de Andalucía)

Condicionantes por afecciones de vías pecuarias en la Finca Registral 5213/13016

Según el Catálogo de Vías Pecuarias de Andalucía, estos terrenos se encuentran afectados por dos vías pecuarias:

El Cordel de Escacena a Niebla (37,61 m de anchura) atraviesa de Este a Oeste los terrenos mineros de forma paralela a la carretera A-477, a unos 300 metros al Sur de ésta, con unos 3.000 m de trazado en el interior de esta finca.

La Colada del Gamonitar (20,89 m de anchura), parte de la anterior vía pecuaria y traza hacia el Suroeste, con un trazado en estos terrenos de unos 800 m.

FINCA REGISTRAL Nº 63766

Esta finca está situada al Noroeste del área y tiene 352.893,00 m^2 de superficie.

FINCAS REGISTRALES AGRÍCOLAS Nº 6382-6383-6384-6385 (Tabla 2.5):

Esta zona está conformada por terrenos de carácter agrícola.

Número de Finca Registral	Área (m^2)
Nº 6382	44.939,13
Nº 6383	45.390,26
Nº 6384	33.785,23
Nº 6385	28.811,30
TOTAL	**152.925,92**

Tabla 2.5 – Datos de fincas registrales agrícolas. (Fuente: Junta de Andalucía)

La Tabla 2.6 muestra los datos relativos al promotor.

DATOS DEL PROMOTOR	
Nombre	Minorbis S.L. – Grupo México
Razón Social	Juan Olivert nº 9 – Parque Aeronáutico (La Rinconada, Sevilla)

Tabla 2.6 – Datos del promotor de la reserva de Aznalcóllar. (Fuente: Junta de Andalucía)

3. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Los yacimientos de la Reserva de Aznalcóllar fueron ya explotadas por los romanos, recuperando su actividad en el siglo XIX. Entre los años 1876-1942 la Compañía Seville Sulphur and Copper comienza la explotación de lentejones de pirita de 850 m de largo, 60 m de potencia acumulada y hasta 300 m de profundidad. En ese tiempo se conocían los yacimientos denominados Cuchichón, Pañoleta, Santiago, Higuereta, Silillos, Filón Medio y Filón Sur. Estos siete filones suelen agruparse como si se tratase sólo de tres yacimientos: El Cuchichón, que comprende los tres primeros, Silillos e Higuereta.

De 1942 a 1952 se hizo cargo la empresa Peñarroya España S.A., que en 1956 localizó una importante masa de sulfuros masivos con pirita, zinc, plomo y cobre a la cual denominó “Yacimiento Aznalcóllar”.

De 1969 hasta 1972 Andaluza de Piritas, S.A. llevó a cabo un programa de perforaciones con el objetivo de investigar en profundidad el yacimiento de Aznalcóllar y comprobar su posible extensión, tanto hacia el este como hacia el oeste. Los datos obtenidos probaron la existencia de una gran masa de pirita compleja, de 1.400 metros de longitud y conteniendo importantes cantidades de zinc, plomo, cobre y plata, al techo de la cual se comprobó la existencia de otra masa de piroclasto cuprífero con una ley de 0,6% en cobre. Se realizó un Estudio de Viabilidad Técnica y Económica para, en primer lugar, evaluar las reservas de mineral y sus leyes y, en segundo lugar, estudiar la posibilidad de concentrar por flotación selectiva el cobre, plomo y zinc de la pirita compleja y el cobre y el zinc del piroclasto. La investigación exhaustiva del yacimiento duró desde julio de 1969 a febrero de 1972 y se realizó mediante la ejecución de 105 sondeos mecánicos con recuperación de testigo, perforando un total de 21.500 m.

En 1973 se realizaron estudios con métodos geofísicos para investigar la posible existencia de mineralizaciones de sulfuros bajo el Mioceno en las proximidades de la masa de Aznalcóllar, con el objetivo de seleccionar los emplazamientos más adecuados para las escombreras de la corta. Los métodos empleados fueron los siguientes:

- Puesta a masa en algunos sondeos.

Las medidas de conductividad realizadas en el agua de un pozo de extracción inundado de una antigua mina, dieron valores que demostraron la posibilidad de emplear esta agua como conductor para realizar un contacto eléctrico entre la superficie y la masa de mineral.

En estas condiciones se realizó una “puesta a masa” a través de dicho pozo con la que se midió el área próxima a él. En el extremo noreste apareció una anomalía que se muestra en la Figura 3-1, sin conexión a la masa existente en el pozo a través del cual se efectuaba la medida

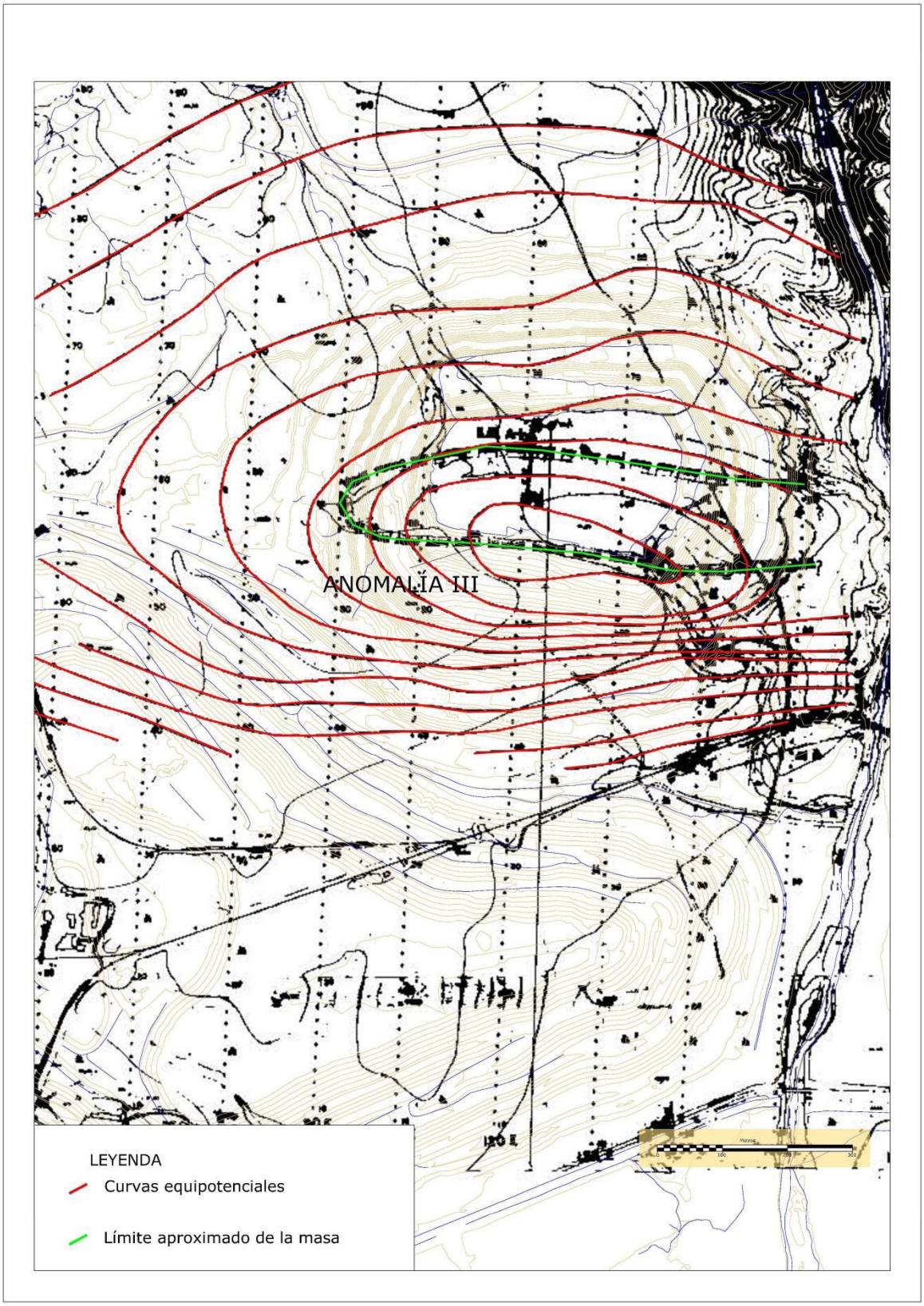


Figura 3-1 – Mapa de resultados de puesta a masa. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia)

- Calicatas eléctricas.

Simultáneamente a las medidas de “puesta a masa” se realizaron unos perfiles de calicatas eléctricas.

Los dispositivos empleados fueron A 200 M 20 N y A 100 M 20 N, y en los perfiles que cruzaban la anomalía se realizaron otros dos dispositivos A 60 M 20 N y A 20 M 20 N. Es decir, que siempre se mantuvo la distancia entre lecturas a 20 metros, estudiándose profundidades teóricas de 210, 110, 70 y 30 metros.

Se localizaron con este método varias anomalías en principio sin interés, salvo una bien definida que se muestra en la Figura 3-2 y que coincidía con el punto ya detectado por la puesta a masa, y que se definió como anomalía III. En esta anomalía eléctrica el valor de la resistividad es inferior a 50 y 75 Ω/m para los dispositivos A 100 M 20 N y A 200 M 20 N, respectivamente.

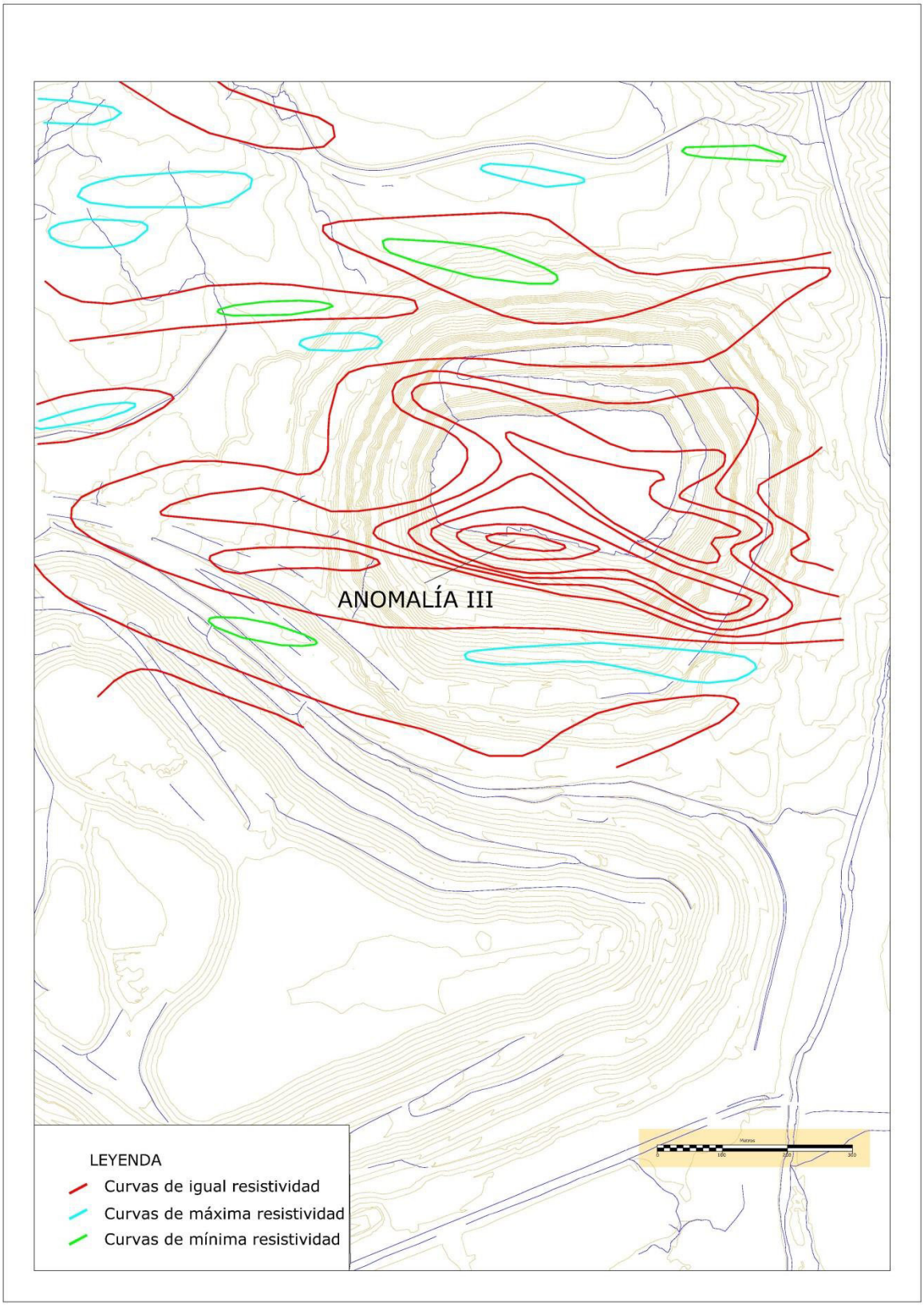


Figura 3-2 – Mapa de resultados de calicatas eléctricas. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia)

- Sondeos eléctricos verticales (SEV).

  Se realizaron 14 sondeos eléctricos verticales. La separación interelectródica (AB/2) empleada fue 190 metros.

  Estos sondeos permitieron representar las isopacas del recubrimiento terciario y la topografía absoluta del techo del Paleozoico. La potencia de Terciario oscila entre 5 y 40 metros, hundiéndose uniformemente hacia el Sureste, sin que existan paleocerros o paleovalles que puedan influir sobre los datos gravimétricos.

- Gravimetría.

  Se realizó una cuadrícula gravimétrica de malla 150 por 40 metros. Previamente se efectuó una restitución fotogramétrica, a partir de un vuelo especial, para efectuar con suficientes garantías la corrección topográfica.

  Los mapas de isovalores se representaron para la anomalía de Bouguer y residual, ambas de densidad 2,6 y con equidistancia entre curvas de 0,2 miligales.

  En el mapa residual existen máximos importantes. Uno de ellos coincide con las explotaciones de la masa Cuchichón y el otro con la anomalía III en el centro de la Figura 3-3 (Los Frailes), definida ya por la puesta a masa y calicatas.

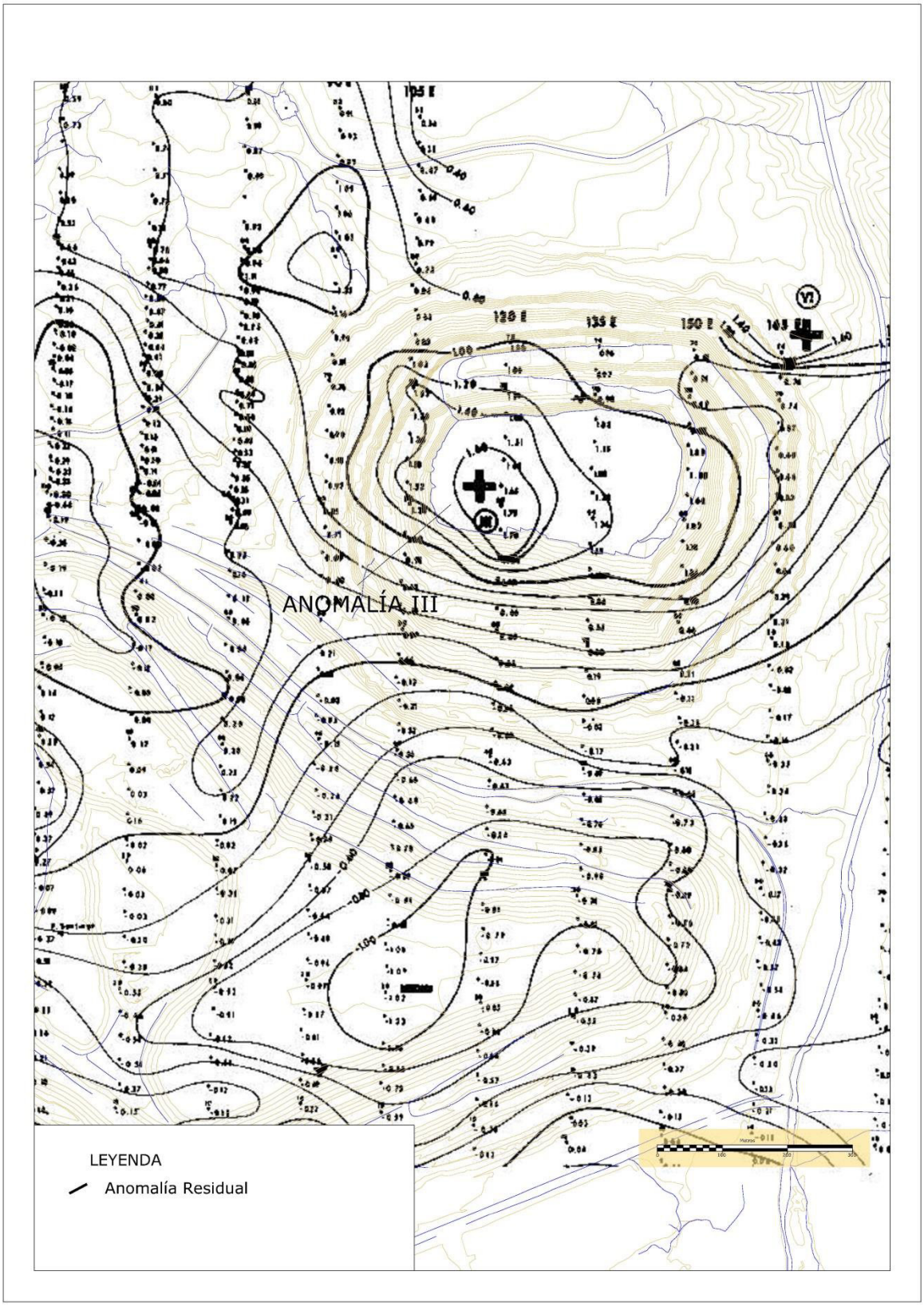


Figura 3-3 – Mapa de anomalía residual. Fuente Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar 1973, modificado por CRS. (Fuente: Elaboración propia)

Al no existir altos en el zócalo que pudieran ocasionar esta anomalía, se admitió que su origen era debido a un cuerpo denso y conductor, es decir, se definió como “anomalía metálica”, reconociéndose e identificándose como complejo de Los Frailes.

Otras empresas mineras investigaron los permisos de investigación situados al sur de las concesiones de Andaluza de Piritas, S.A. y con mayor recubrimiento mioceno, sin resultados positivos.

Por otra parte, el IGME dispone de información de múltiples reconocimientos gravimétricos en la zona de la reserva de Aznalcóllar. Los datos corresponden a mediciones efectuadas con distintos objetivos. La información se compone de 128 puntos correspondientes a mediciones realizadas con distintos mallados. La Figura 3-4 y Figura 3-5 muestran los puntos de medición gravimétrica y la modelización 3D de la Anomalía de Bouguer en las hojas Magna número 961 y 983 respectivamente en las cuales se localiza la zona de estudio.

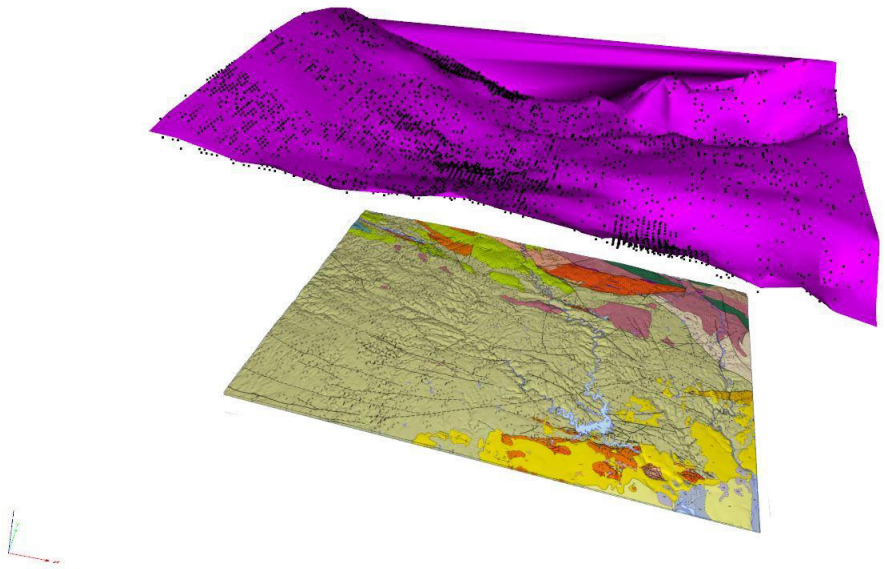


Figura 3-4 – Puntos de medición gravimétrica e interpretación de Anomalía de Bouguer en la hoja MAGNA número 961 de nombre Aznalcóllar. (Fuente: IGME).

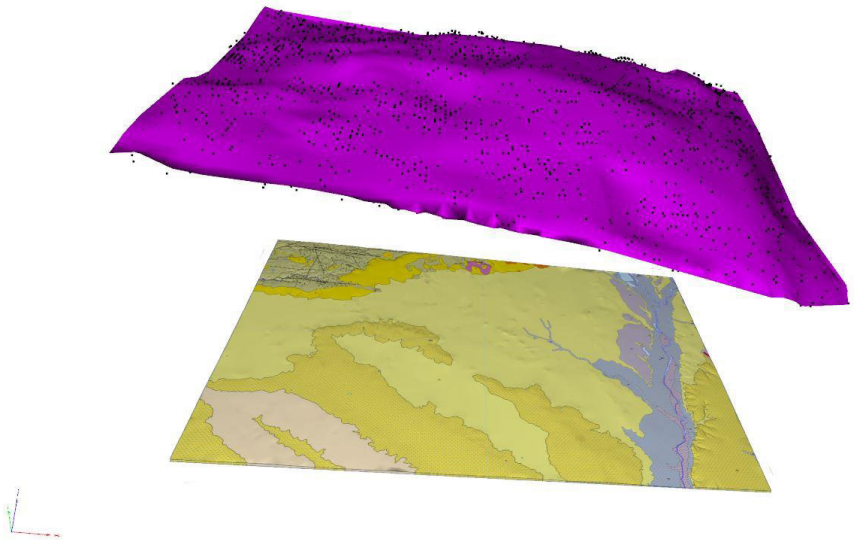


Figura 3-5 – Puntos de medición gravimétrica e interpretación de Anomalía de Bouguer en la hoja MAGNA número 983 de nombre Sanlúcar La Mayor. (Fuente: IGME).

En cuanto a información geoquímica, desde la década de los 80 el IGME ha desarrollado de forma relativamente continua actividades de exploración geoquímica regional, enmarcadas en el Programa de Exploración Sistemática del Territorio Nacional (PES), pero ninguna incluye el entorno de Los Frailes. Únicamente, el Atlas Geoquímico de España, publicado en 2012, recoge los resultados de la geoquímica de suelos y redes de drenaje realizados en esta zona, con una densidad de 25 muestras por hoja 1:50.000 y el análisis y tratamiento estadístico de 63 elementos.

La última empresa que explotó las minas de Aznalcóllar fue Boliden Apirsa, S.L., entre los años 1988 y 2001. Entre los años 1988 y 1998 se realizan diferentes campañas de investigación perforando un total de 230 sondeos en la anomalía III (Los Frailes).

La empresa canadiense Micon International Limited realizó en enero de 1999 una revisión de los datos de las diversas campañas de sondeos realizadas hasta 1998 que se enumeran a continuación:

- FRF 1 a FRF 10 sondeos anteriores a 1987.
- FRF 11 a FRF 123 sondeos perforados durante 1988 y 1990, durante el desarrollo de la primera fase del proyecto.
- FRF 124 a FRF 169 perforados entre 1991 y 1997, como continuación del proyecto de exploración.
- FRF 170 a FRF 182 perforados entre Marzo y Abril de 1998.
- FRF 183 a FRF 200 perforados en la corta Los Frailes durante julio y agosto de 1998 para definir la parte superior del cuerpo mineralizado.
- FRF 201 a FRF 215 fueron perforados para instalar piezómetros.
- FRF 216 a FRF 234 fueron perforados en la corta Los Frailes durante julio y agosto de 1998 para definir la parte superior del cuerpo mineralizado.

A partir del modelo geológico realizado, basado en la revisión de estos datos, Micon Interational Limited aseguró tener información suficiente para elaborar un modelo de bloques; sin embargo, ponía en evidencia la existencia de secciones con más de 100 m de separación entre sondeos y recomendaba completar la información existente mediante la realización de más sondeos.

La corta Los Frailes se abrió en 1996 hasta 2001, habiéndose dado por finalizada en 1996 la explotación en la denominada Corta Aznalcóllar, que comenzó a rellenarse con los estériles del desmonte de la corta Los Frailes.

La operación minera en la corta de Los Frailes cesó en abril de 1998, debido a la rotura de la presa de estériles (25 de abril de 1998). Tras un periodo dedicado a la limpieza de terrenos afectados por el vertido ocasionado por esta rotura, se reanudó la actividad extractiva en diciembre de 1998. En 2001 cesaría definitivamente la operación de las minas, sin haberse completado la extracción del mineral del yacimiento.

Tras el cese de la operación minera, los terrenos propiedad de la antigua explotadora., pasaron a titularidad pública, de forma que en un intento por reactivar la economía de la zona se fomentó la implantación de algunas empresas y la creación de un polígono industrial. Otros terrenos, situados al noroeste de la explotación, habiendo estado consorciados con el Excelentísimo Ayuntamiento de Aznalcóllar tras la expropiación, se reincorporaron al municipio.

También se acometieron trabajos de restauración en las zonas alteradas por la explotación minera que han dado como resultado, entre otros, la regeneración de muchos suelos, la clausura de la presa de residuos de estériles, la restauración de una de las escombreras y la retirada de diferentes escombreras y acopios de mineral de baja ley.

En septiembre de 2014, la empresa Mintec realizó un modelo geológico de los cuerpos mineralizados. A partir del análisis estadístico y geoestadístico de la información de 234 sondeos, elaboraron un modelo de bloques y estimación de recursos y reservas del yacimiento Los Frailes (Figura 3-6).

Mintec es una empresa especializada en el desarrollo de software minero con más de 40 años de experiencia. Desarrolla programas para evaluación y planificación de minas subterráneas en tres áreas de evaluación: estudios conceptuales, necesidades de planificación a largo plazo para estudios de factibilidad y necesidades de planificación a corto plazo para las minas operativas.

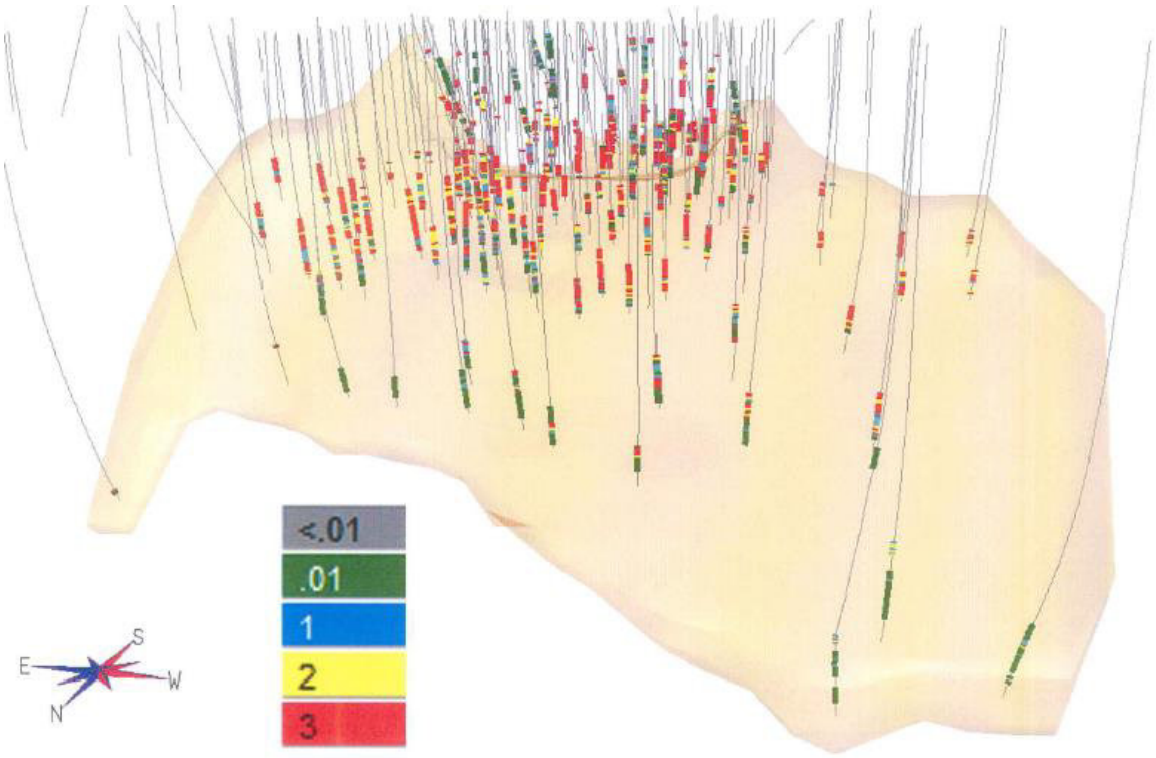


Figura 3-6 – Información de sondeos analizados y representación de porcentajes de Zinc. (Fuente: Mintec.)

La Figura 3-7 muestra la modelización 3D realizada por Mintec para la estimación de reservas en la corta Los Frailes.

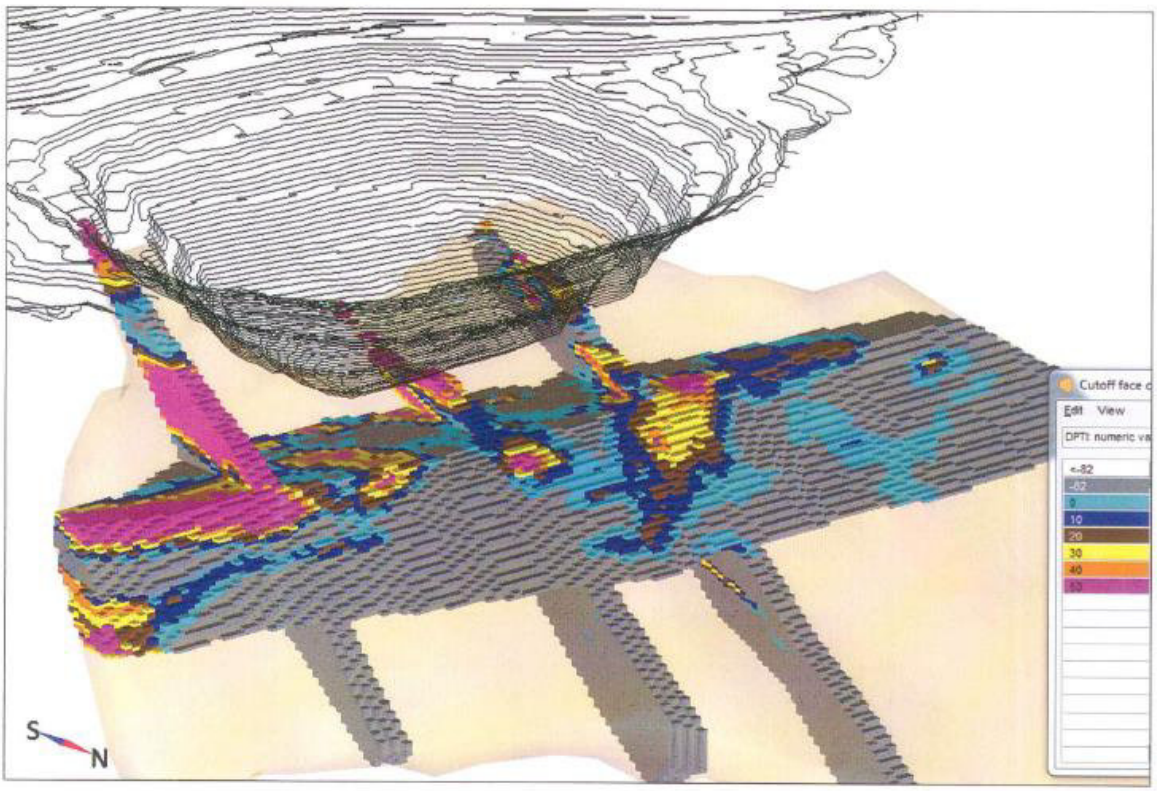


Figura 3-7 – Modelo 3D de estimación de reservas en la corta Los Frailes. (Fuente: Mintec.)

En septiembre de 2014 la empresa CRS Ingeniería hizo una reevaluación de la modelización a partir del análisis estadístico y geoestadístico de la información de 248 sondeos, de los cuales no todos tenían información analítica.

Para la elaboración del modelo de mineralización se utilizaron planos geológicos, elaborados por el Instituto Geológico y Minero de España así como los perfiles de Boliden utilizados en la explotación de la corta Los Frailes con un alto detalle de la masa mineralizada.

4. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de interés se sitúa en el extremo oriental de la Faja Pirítica Ibérica, situada en el SO de la Península y dentro de la denominada "Zona Sudportuguesa", división establecida por Lotze en 1945 para el Macizo Hercínico Ibérico. La Faja Pirítica Ibérica queda limitada al Norte por el Dominio Pulo do Lobo y al Sur por el Dominio SO Portugués. Ocupa una franja de aproximadamente 230 km de largo por 40-60 km de ancho, prolongándose desde la provincia de Sevilla hasta la costa oeste de Portugal y constituyendo una de las más importantes provincias metalogénicas mundiales. (Figura 4-1)

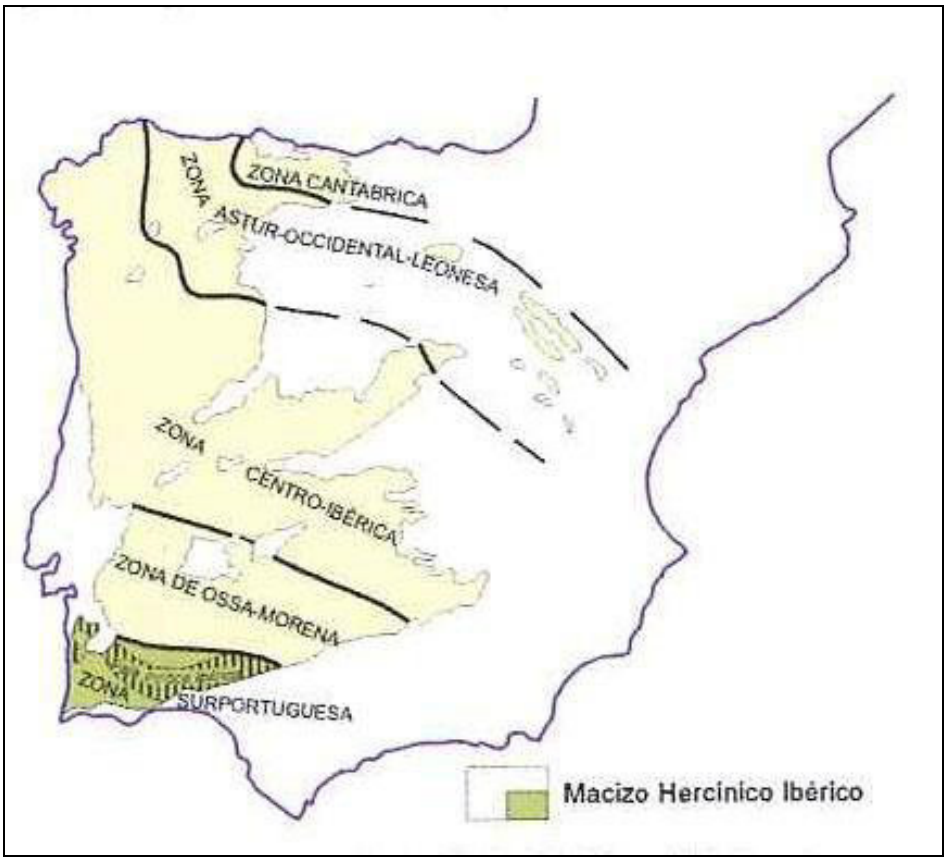


Figura 4-1 – Situación de la Faja Pirítica Ibérica dentro de la subdivisión del Macizo Hercínico Ibérico. (Fuente: Julivert et Al, 1972)

Geográficamente situada entre las estribaciones meridionales de Sierra Morena y la depresión terciaria del Guadalquivir, constituye una unidad geomorfológica bien diferenciada pues, a excepción de algunas sierras en la parte norte, puede considerarse en general como una penillanura inclinada hacia el Sur y en actual proceso de rejuvenecimiento.

4.1. ZONA SUDPORTUGUESA

La Zona Sudportuguesa se subdivide en cinco dominios que, siguiendo la descripción de Oliveira (1990), serían de Norte a Sur los detallados a continuación (Figura 4-2):

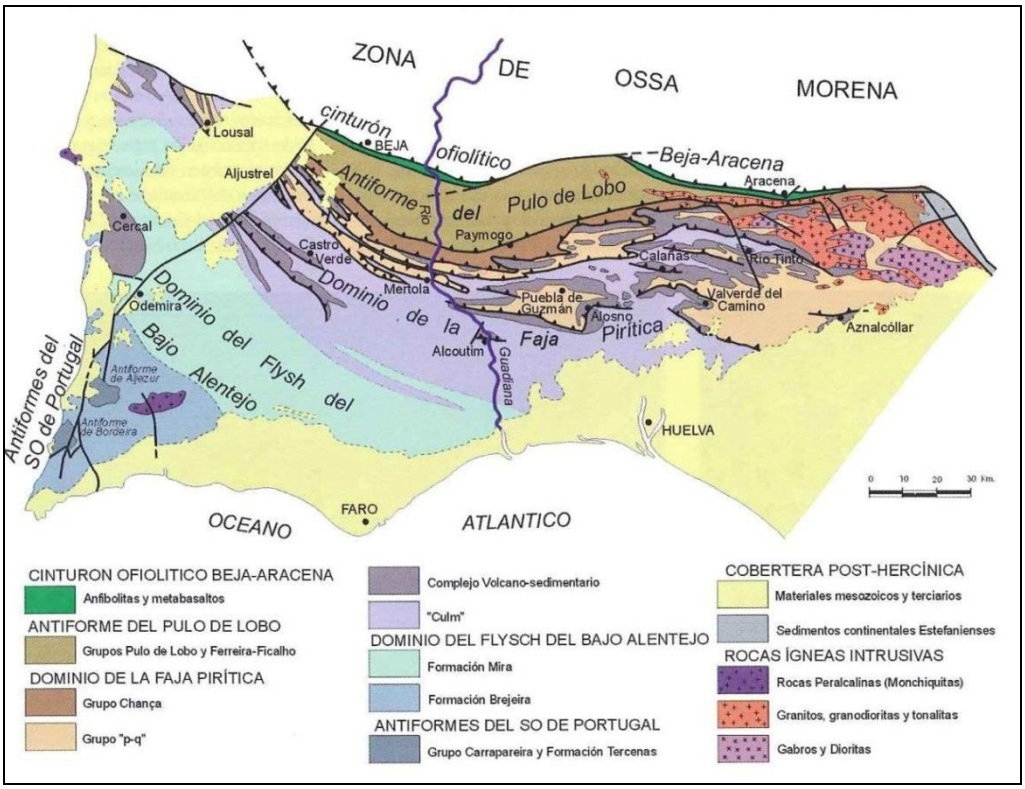


Figura 4-2 – Esquema geológico de la zona Sudportuguesa. (Basado en Oliveira, 1990)

Cinturón ofiolítico Beja-Acebuche: Sirve como límite Norte con la Zona de Ossa Morena. Está constituido principalmente por anfibolitas, metagabros, anfibolitas y serpentinitas; rocas atravesadas por una red de diques de metabasaltos.

Los datos geoquímicos han determinado su interpretación ofiolítica, como materiales obducidos respecto a la corteza continental de la Zona de Ossa-Morena. Esto concuerda con su disposición estructural general, si bien hacia el Este tiene lugar una inversión de la serie, con materiales de la Zona Ossa-Morena sobre las ofiolitas, causada por una deformación posterior. Su edad es un tanto discutida pero se puede situar entre el Silúrico y Devónico medio. Con certeza es más antigua que el Fameniense.

Antiforme del Pulo do Lobo: Limitado al Norte por una gran falla y al Sur por un importante cabalgamiento, está integrado por un monótono conjunto de pizarras negras, filitas, grauvacas y cuarcitas, con algunos matabasaltos en su parte basal. Estas rocas presentan una intensa deformación tectónica y han sido interpretadas como un prisma de acreción de una zona de subducción, con edad Devónico inferior-medio.

Faja Pirítica Ibérica: Limitada al Norte por el cabalgamiento del Pulo do Lobo, por el Sur acaba mediante un contacto normal con las rocas del dominio siguiente. El dominio, con edad Devónico medio-Carbonífero superior, comprende materiales que abarcan desde la situación preorogénica hasta la etapa sinorogénica de la evolución varisca. Constituido por una superposición de unidades cabalgantes alóctonas, integradas por tres conjuntos litoestratigráficos bien diferenciados, que de abajo a arriba son; Dominio PQ, Complejo Vulcano-Sedimentario y Culm.

Flysch del Bajo Alentejo: constituye el autóctono relativo de las unidades alóctonas de la Faja Pirítica Ibérica. Está integrado por dos conjuntos litoestratigráficos, uno basal pizarroso denominado "Formación Minera" que se apoya concordante sobre el "Culm" y que tiene una edad Viseiense teminal-Namuriense, y otro a techo, más arenoso, conocido como "Formación Brejeira", con una edad Namuriense medio-Westfaliense inferior.

4.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

La columna estratigráfica tipo abarca materiales Paleozoicos (Devónico superior-Carbonífero), que reflejan los episodios de la cuenca sudportuguesa durante los estadios preorogénico y sinorogénico de la evolución varisca. Los tres conjuntos litoestratigráficos fueron definidos por Strauss (1970) en Lousal (Portugal) y se han mantenido sin modificaciones fundamentales hasta nuestros días. (Figura 4-3):

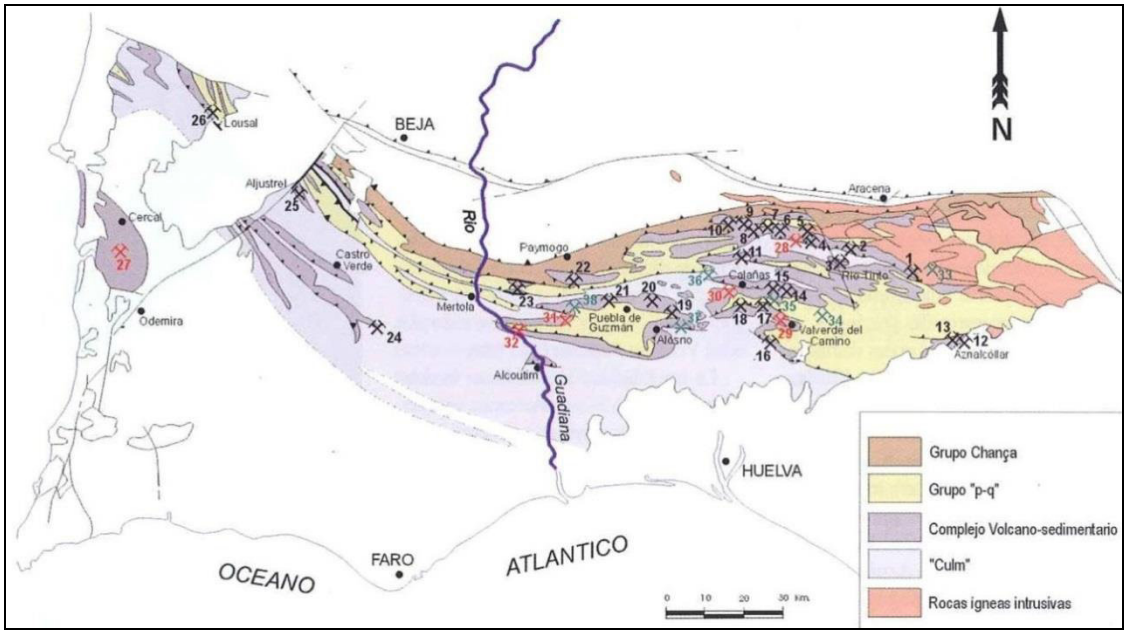


Figura 4-3 – Esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. . (Palero Fernández, F.J.-Geología y Metalogenia)

A continuación se definen de muro a techo las unidades principales:

Grupo PQ

Siglas procedentes del término en inglés "phyllites and quarzites", haciendo referencia a su litología. De muro desconocido, está constituido por una monótona alternancia de pizarras negras con intercalaciones de areniscas cuarzosas, presentando en ocasiones tramos lutítico-arenosos intercalados, propias de un medio sedimentario de plataforma marina somera de baja energía. Hacia techo aumenta el porcentaje de las intercalaciones de areniscas cuarzosas, interpretadas como depósitos de barras litorales resultado del oleaje, y aparecen lentejones calizos arrecifales, que indican la somerización de la cuenca. Lateralmente a estos depósitos aparecen facies de avenidas, asociadas a los episodios de fragmentación y compartimentación de la cuenca. Es de edad Fameniense medio-superior y corresponde a una sedimentación predominantemente marino-somera en un estadio preorogénico.

Complejo Vulcano-Sedimentario (CVS)

Supone una importante acumulación de rocas volcánicas debidas a una intensa actividad eruptiva correspondiente a la fase sinorogénica temprana, con frecuentes episodios catastróficos, durante el Struniense-Viseiense (Devónico superior-Carbonífero inferior). Este conjunto tiene una especial relevancia en la Faja Pirítica Ibérica por ser en él donde se hallan los clásicos y famosos yacimientos de sulfuros masivos y de manganeso. Este vulcanismo responde a características de la asociación espilita-queratófido, típicamente submarino, con amplio predominio de los términos ácidos (riolitas y dacitas) sobre los básicos (basaltos). De forma generalizada las rocas volcánicas tienen una intensa alteración espilítica e hidrotermal que enmascara su petrología original. Las variaciones de potencia y de facies son constantes en el conjunto, lo que plantea grandes problemas cartográficos. Se puede estimar que la potencia varía entre 100 m y 1.000 m, pero pese a esta gran variabilidad hay que indicar que está extendido por toda la Faja Pirítica Ibérica.

La acumulación de materiales volcánicos se produjo en varios ciclos efusivos, pero se discute sobre su número y equivalencia entre diversas zonas. A pesar de su gran heterogeneidad, en sentido vertical, y de sus grandes variaciones en el lateral, se ha establecido una columna sintética a escala regional. Este modelo litoestratigráfico, establecido en los años 1980-1990, esencialmente a partir de las observaciones realizadas en la región de Pomarao (Portugal) y en el anticlinorio de Puebla de Guzmán (Strauss y Madel, 1984), se fundamenta en la diferenciación, en el CVS, de tres ciclos volcánicos ácidos:

- Primer vulcanismo ácido inicial o V1, al cual se asocia la mayoría de las mineralizaciones de sulfuros masivos. Contiene tramos de rocas volcánicas ácidas (riolitas a dacitas, localmente rocas andesíticas), rocas sedimentarias y epiclásticas y, ocasionalmente, de rocas básicas.
- Segundo vulcanismo ácido V2 (intermedio, también denominado Fm Manganesífera), al cual se asocian las mineralizaciones vulcanogénicas de manganeso. En conjunto, es de carácter más piroclástico que el anterior e incluye una mayor presencia de materiales sedimentarios que aquél. Puede incluir también rocas volcánicas básicas e importantes pasadas de rocas sedimentarias y epiclásticas. Contiene, en sus tramos superiores, niveles de cherts y de jaspes. A techo, aparece un estrecho nivel de pizarras o cineritas moradas que constituye el único nivel guía válido en la mayor parte de la FPI.
- Tercer vulcanismo ácido o vulcanismo final, formado mayoritariamente por rocas piroclásticas, sedimentarias y epiclásticas. A techo pasa a pizarras negras que constituyen la serie basal del flysch de las facies Culm.

Grupo Culm

Importante alternancia de pizarras y grauvacas, de edad Viseiense inferior a superior (Devónico-Carbonífero). Corresponde a una serie turbidítica tipo flysch asociada a la fase sinorogénica posterior comprendiendo materiales sedimentarios postvolcánicos e incluyendo tres unidades que se describen a continuación:

- Serie Pizarrosa Basal; secuencia volcanodetrítica y pizarrosa que incluye las epiclastitas de techo del tercer episodio volcánico ácido y las pizarras del muro de la formación turbidítica. Tiene una potencia media de 50 m y una edad Viseiense superior.

- Formación turbidítica de facies Culm s.s.; es una secuencia turbidítica de pizarras, litarenitas y escasos conglomerados. Litológicamente resulta un conjunto muy homogéneo, sin apenas cambios, y las únicas variaciones de facies reconocibles son el predominio arenoso sobre el pizarroso o viceversa. Como siempre, hay excepciones: en una banda central, que se extiende entre la Rivera del Chanza y la población de El Cerro de Andévalo, en la que aparece un “Culm” un tanto peculiar, constituido esencialmente por pizarras que tiene intercalados bloques de cuarcitas aislados. Esas cuarcitas se asemejan mucho a algunas que hay en el “PQ” y casi se puede asegurar que son las mismas. Por esa razón se interpreta que son bloques olistostrómicos, los cuales serían el reflejo de un frente de cabalgamiento activo durante la sedimentación del Culm.

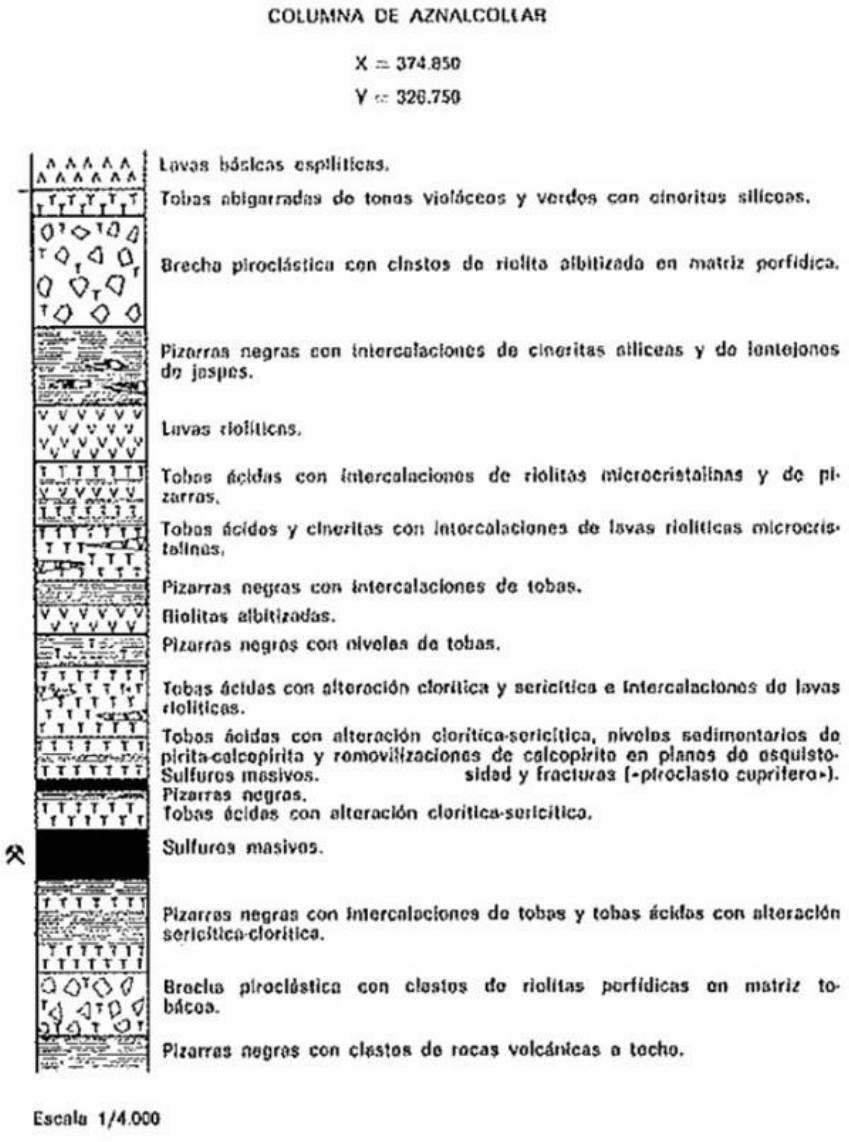
  El espesor del conjunto litoestratigráfico es grande, alcanzando seguramente más de 1.000 m. El medio de sedimentación se corresponde con una plataforma marina profunda con fuerte subsidencia, con aportes turbidíticos y violenta avenidas. Hay evidencias de movimientos tectónicos sincrónicos con la sedimentación que causan inestabilidades del fondo de la cuenca. Está datado como Viseiense superior.

- Unidad arenosa de plataforma somera, formada por pizarras y areniscas cuarzosas procedentes de la erosión del CVS en medios marinos de plataforma somera y litoral.

En la ZSP se encuentran también manifestaciones de magmatismo plutónico/subvolcánico que aparecen en forma intrusiva en las zonas nororiental y suroriental. Constituyen el batolito de la Sierra Norte de Sevilla. Éste se dispone en la alineación Castilblanco-Almonaster la Real, en la cual se diferencian una banda norte, de carácter predominantemente ácido (granodioritas, granitos, tonalitas y granitoides trondhjemíticos), y una banda sur, mayoritariamente básica (gabros, dioritas e incluso rocas ultrabásicas). Por su edad (en torno a los 350 Ma para las rocas ácidas y a los 340 Ma para las básicas) y quimismo, representan probablemente la manifestación subvolcánica/plutónica del magmatismo efusivo de la ZSP. Existen también algunos otros pequeños stocks intrusivos en la alineación de Gerena-Guillena, en el SE, y algunos stocks tonalíticos aislados.

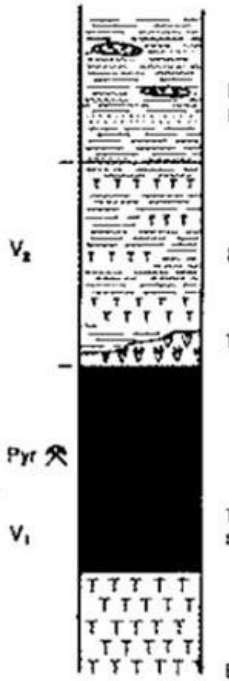
Sobre los materiales devónicos y carboníferos de la Faja Pirítica Ibérica aparece una cobertera del Mesozoico y Terciario. Los materiales mesozoicos quedan restringidos a la parte más meridional, especialmente a la zona de Ayamonte-Faro, pertenecen al Triásico y son margas, areniscas, conglomerados, dolomías y basaltos.

Los materiales terciarios cubren amplias extensiones y su presencia causa la desaparición de los afloramientos paleozoicos al sur y al este, bajo la cuenca del Guadalquivir, así como al norte bajo la cuenca del Alentejo. Se trata de areniscas, conglomerados, lutitas y margas de edad miocena. Por debajo de los materiales terciarios continúan las rocas de la Faja Pirítica Ibérica. (Figura 4-4)



COLUMNA DE SAN TELMO

X = 311.300 Y = 361.150



Pizarras arcillosas y tufitas grises con intercalaciones de grauvacas grano grueso.

Pizarras y tufitas grises con tobas de grano fino interestratificadas.

Tobas abigarradas con pirita diseminada.

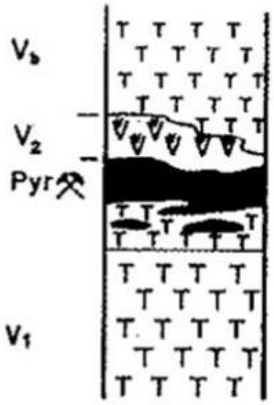
Tobas de grano medio a grueso, blanquecinas, muy silíceas, a techo sitúa la masa pirítica.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE LOMERO-POYATOS

X = 314.800

Y = 361.800



Tobas básicas grises.

Tobas abigarradas cloritizadas.

Toba fina y masa pirítica.

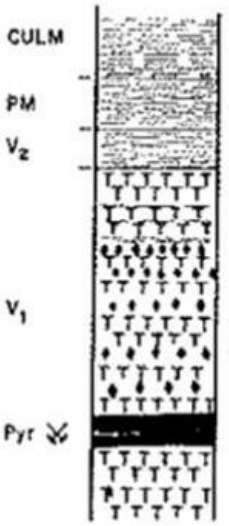
Tobas ácidas-intermedias, verdes.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE CUEVA DE LA MORA

X = 324.100

Y = 358.950



Pizarras negros.

Pizarras moradas.

Pizarras verdes y grises, con pátinas de óxidos de manganeso.

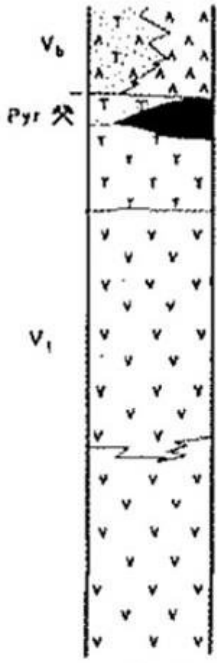
Toba de grano medio a grueso, blanquecina, ácida, porfídica, muy alterada (caolinizada) y con diseminaciones de pirita. Masa de sulfuros complejos.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE LA JOYA

X = 306.350

Y = 357.425



Lavas y tobas básico-intermedias abigarradas.

Lavas básicas (basaltos y espilitas).

Tobas ácidas abigarradas.
Pirita masiva.

Toba ácida cristalina (fenocristales de cuarzo).

Lava dacítica fina.

Lavas intermedias (dacita anfibólica), cristalinas de grano grueso

Escala 1/2.000

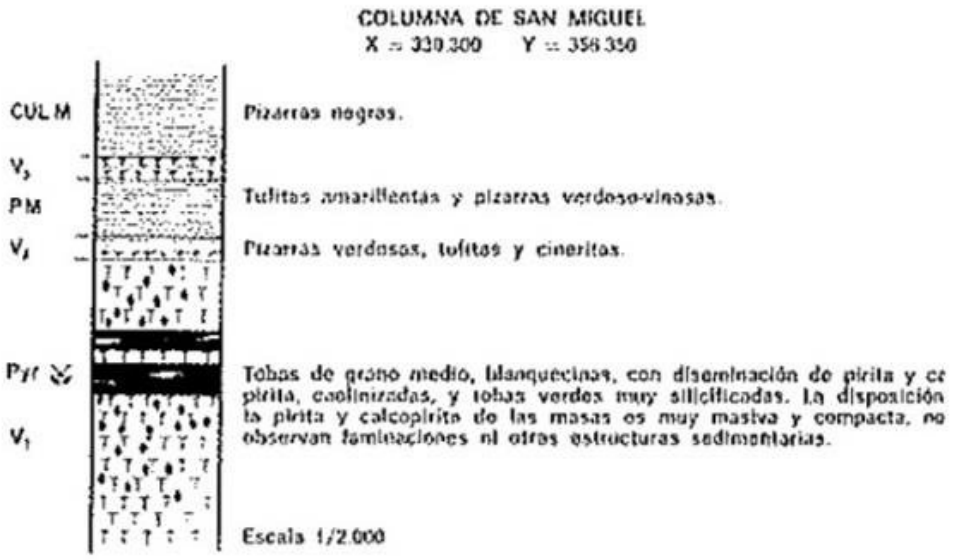


Figura 4-4 – Columnas estratigráficas en algunas áreas con mineralizaciones de sulfuros masivos (Fuente: IGME, 1982b)

4.3. TECTÓNICA DE LA FAJA PIRÍTICA

La compleja configuración geológica actual de la Faja Pirítica ha sido generada por un intenso plegamiento durante la Orogenia Hercínica (Carbonífero) a la que hay que añadir una posterior tectónica de bloques alpina que ha sido la causante de las cuencas del Mesozoico-Terciario.

La estructura general Hercínica tiene forma arqueada y es el resultado de una deformación progresiva que ha avanzado de Norte a Sur en el lado español, y de Noreste a Suroeste en lado portugués. Tomando como referencia los planos de esquistosidad (S1) se diferencian cuatro estadios con tres fases de deformación; (Figura 4-5):

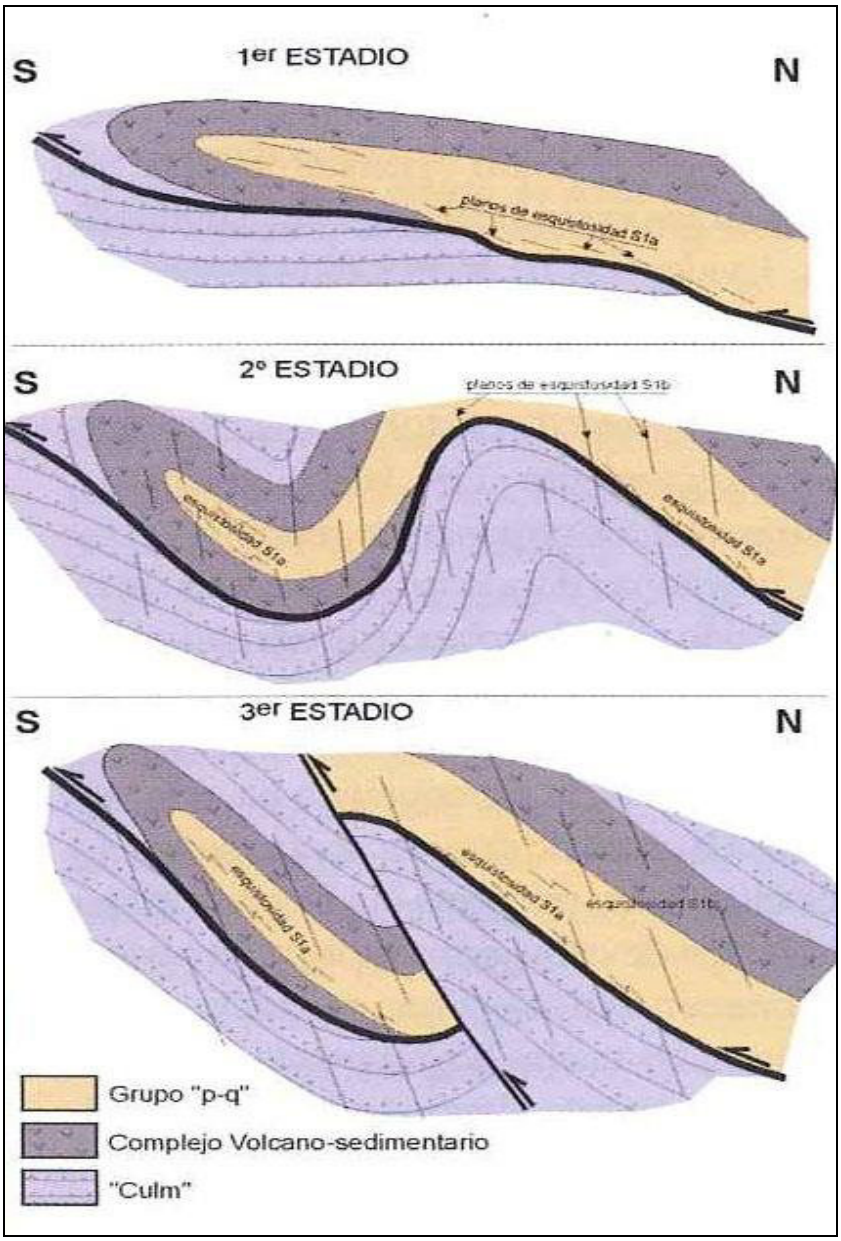


Figura 4-5 – Esquema evolutivo durante la deformación progresiva de la 1ª fase Hercínica en la parte norte de la Faja Pirítica Ibérica. (Silva et al. 1990)

Los movimientos pre-S1 incluyen inestabilidades claramente sinsedimentarias, basculamientos y deslizamientos de parte de los sedimentos ya consolidados, y la aparición de los primeros cabalgamientos.

La 1ª fase de deformación (F-1) es la que genera las primeras estructuras a escala regional, así como el primer plano de foliación tectónica: la esquistosidad (S1). Es la principal etapa deformativa en la región y se la reconoce de forma generalizada afectando a toda la secuencia litoestratigráfica paleozoica. Se produce como consecuencia de un acortamiento que varía de casi N-S en España, a NE-SO en Portugal. Las principales macroestructuras que genera son cabalgamientos y, a escala de afloramiento, la esquistosidad (S1). La superposición de cabalgamientos da lugar a una estructura acusadamente vergente al Sur, con polaridad tectónica predominante y casi continua de flanco normal y sinclinal al Norte.

A media y pequeña escala, aparte de la esquistosidad, la F-1 genera escamación generalizada y pliegues vergentes al Sur, con flanco meridional corto y verticalizado y flanco septentrional largo y con buzamiento suave. La esquistosidad (S1) es un clivaje pizarroso y, aunque a grandes rasgos se puede considerar como de plano axial, no es verdaderamente tal, sino que es transecta a ambos flancos de los pliegues, hecho sobre todo evidente en pliegues menores. Esto refleja que hay una variación rotacional del campo de esfuerzos durante el acortamiento de esta fase deformativa.

La 2ª fase de deformación (F-2) se produce como consecuencia de un nuevo acortamiento N-S. Tiene mucha menor intensidad que el que ha generado F-1, dando lugar a un aplastamiento tenue de irregular representación en el campo. Las estructuras más comunes de esta fase son pliegues suaves y abiertos de plano axial subvertical. Como estructura menor más significativa se forma una nueva esquistosidad (S2). Se trata de una esquistosidad de crenulación, poco penetrativa y de irregular distribución.

La 3ª fase de deformación (F-3) es consecuencia de un acortamiento E-O. Tiene una escasa importancia y da lugar a estructuras poco relevantes. Se trata de arqueamientos de rumbo N-S que originan cambios en el cabeceo de las estructuras lineales de fases anteriores. Localmente también se forma una esquistosidad de fractura (S3).

La primera fase o fase principal da lugar a estructuras anticlinales y sinclinales generalmente muy apretadas, de vergencia al Sur y dirección ONO-ESE en España y NO-SE en Portugal, desarrollando una esquistosidad de plano axial asociada muy penetrativa. En esta fase los materiales quedan afectados por un metamorfismo regional de bajo grado.

La segunda y tercera fase, subparalela y ortogonal, respectivamente, a la primera, son menos importantes y desarrollan estructuras en general laxas y poco penetrativas.

En esta orogenia, pues, queda la cadena montañosa prácticamente configurada, actuando como bloque rígido durante el resto de la historia geológica. En la Orogenia Alpina tuvieron lugar roturas y basculamientos que favorecieron las transgresiones mesozoicas y miocenas del Sur de la zona.

Al margen de su carácter autóctono o alóctono, se relacionan a continuación las principales estructuras que aparecen en la FPI (IGME, 1982b):

- Anticlinorio de Puebla de Guzmán:
    - Anticlinal de Herrerías
    - Anticlinal de Tharsis
    - Anticlinal de Alosno
- Anticlinorio de San Telmo-Campofrío (desde la mina de El Carpio a Campofrío).
- Anticlinorio de Valverde del Camino:
    - Anticlinal de Calañas
    - Anticlinal de Sotiel
    - Anticlinal de Campanario
- Sinclinorio Montes de San Benito-Sur de La Zarza

- Anticlinorio de Zalamea La Real

- Sinclinorio de Riotinto

Es interesante señalar que se ha postulado el probable control de la localización de los centros volcánicos por discontinuidades corticales de dirección WNW-ESE, acordes con la tendencia de distribución de las rocas volcánicas del CVS. Se han reconocido, en una primera aproximación, tres grandes alineaciones volcánicas y de yacimientos de sulfuros masivos, Norte, Centro y Sur, observándose en ellas sensibles diferencias en los rasgos de los yacimientos asociados. Más recientemente (Quesada, 1996) se ha propuesto una nueva estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Figura 4-6), reflejo de la fuerte compartimentación de la cuenca, con predominio de las direcciones N100-110E (fallas y cabalgamientos) y N40-55E (fallas formadas sincrónicamente con las de la primera, rampas de cabalgamientos). Estas estructuras, profundas y antiguas se reactivaron progresivamente desde el W hacia el E en la fase de colisión oblicua (Castroviejo, 2010). En este análisis de la ZSP, ésta se subdivide en tres grandes bloques en los cuales se diferencian los mantos y las escamas que los integran, mostrando el carácter alóctono de gran parte de los materiales de la ZSP.

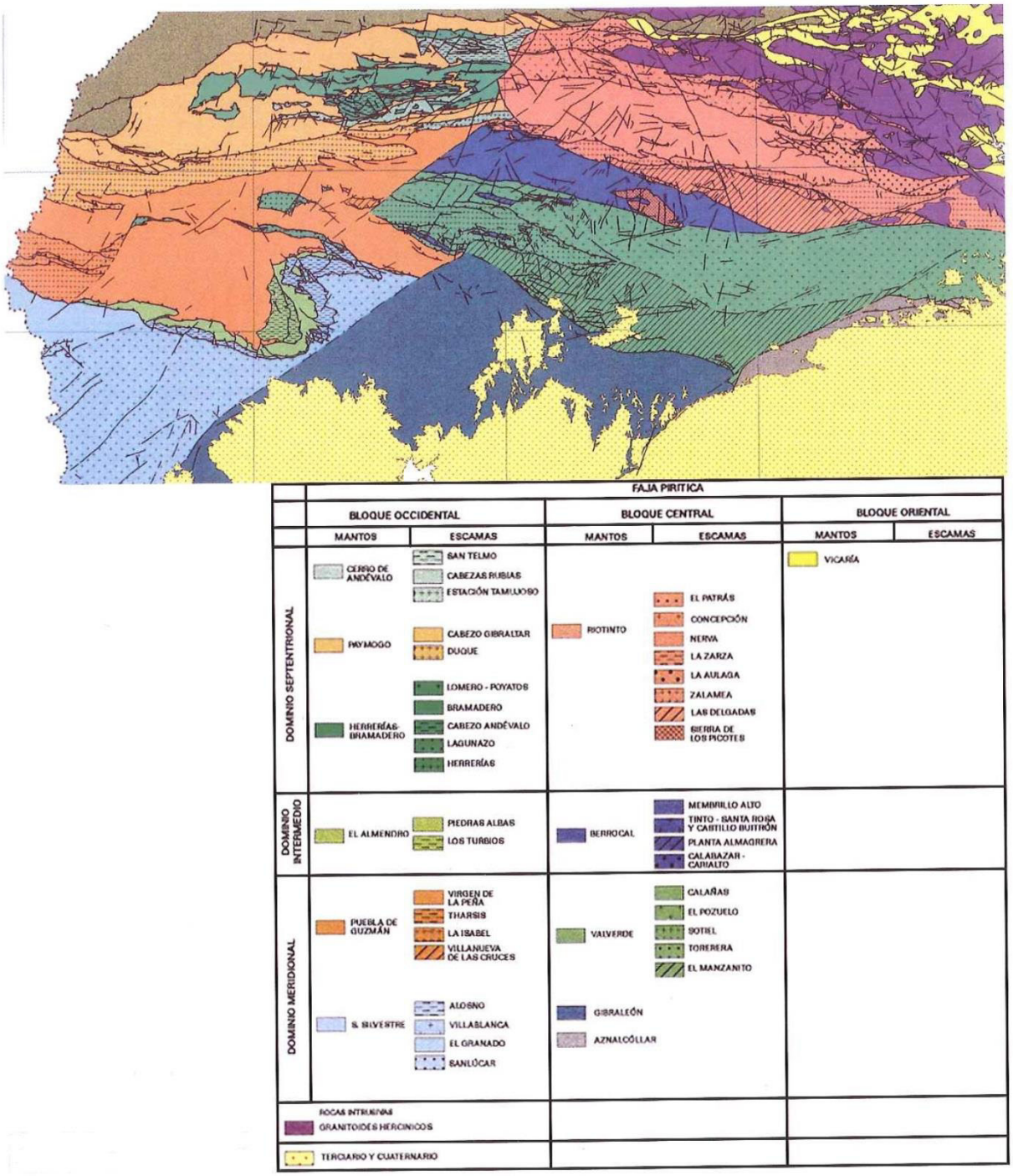


Figura 4-6 – Estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Quesada, 1996)

4.4. METALOGENIA

Los yacimientos de sulfuros masivos de la Faja Pirítica son singenéticos, hecho manifestado por la relación que existe entre las mineralizaciones y la roca de caja, y se han formado por procesos exhalativos-sedimentarios, debido a la estrecha asociación de las masas minerales con las rocas efusivas de la región.

Los yacimientos parecen distribuirse en dos bandas (Routhier et al., 1980; Sáez et al., 1999): una Norte con predominio de las facies volcánicas, con depósitos de tamaño pequeño–medio, y una banda Sur con facies predominantemente sedimentarias y menor número de depósitos, pero de mayores dimensiones. Esta distribución parece estar asociada con la geología estructural de la cuenca, en concreto con las fracturas E-O y NE-SO.

Los yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos pueden contener, estructurados en el conjunto de un sistema, varios tipos de mineralización, con peculiaridades morfológicas, mineralógicas y geoquímicas, con diferentes relaciones con las rocas encajantes, y con una más o menos neta zonación espacial. Pueden encontrarse, asociados, los siguientes tipos o facies de mineralización:

- Mineralizaciones de sulfuros masivos, con morfología estratiforme a lentejonar. Dentro del conjunto de la pila de sulfuros masivos sedimentarios se pueden diferenciar, según los casos, zonaciones mineralógicas y geoquímicas o texturales: minerales bandeados o no, mineralizaciones ricas en Zn-Pb, con baritina, etc., en las zonas externas de dicha acumulación de sulfuros; y de pirita-calcopirita, y sulfuros y óxidos de Fe (magnetita, pirrotina), en las zonas centrales y basales.

- Mineralizaciones en stockworks, que se sitúan a muro de los sulfuros masivos y que suelen estar enriquecidas en Cu y Au (eventualmente Co, Bi u otros metales) y encajan en rocas con intensa alteración hidrotermal. Consisten en una estructuración de venas de cuarzo (mayoritariamente pirita y calcopirita, en proporciones variables) entrecruzadas, encajando en las rocas volcánicas y piroclásticas o, en algunos casos, sedimentarias, con intensa alteración hidrotermal (silicificación, sericitización, cloritización)

- Azufrones, en zonas alejadas del foco exhalativo, en las terminaciones de la masa de sulfuros y en continuidad de ellas o algo alejados, con tasas de precipitación de sulfuros menos importantes con respecto a las de sedimentos o materiales piroclásticos finos (diseminación de sulfuros de Fe y/o Cu en una matriz abundante de carácter pelítico-arenosa o tobácea, a veces con alteración hidrotermal como silicificación y/o cloritización)

- Gossans o monteras ferruginosas, formando depósitos lenticulares o estratoides de óxidos e hidróxidos de Fe (con posibles enriquecimientos en Au y Ag) a techo de las masas de sulfuros y/o stockworks, originados por la oxidación y alteración supergénica de éstos.

- Pizarras cobrizas. En sistemas encajados por pizarras negras, pueden aparecer concentraciones de minerales de Cu ya sea en forma de sulfuros de Cu diseminados y asociados a la matriz pelítica y clorítica (con una posible relación con canales de alimentación hidrotermal, es decir transicionales a los stockworks), ya sea en forma de carbonatos, óxidos de Cu y calcosina-covellina, dispersos en las pizarras, por fijación del Cu lixiviado de las masas de sulfuros por las aguas (cementación). De éstas hay buenos ejemplos en Santa Bárbara (Herrerías), Angelita o Esperanza (Tharsis).

En relación con los centros volcánicos, las mineralizaciones pueden aparecer en varias situaciones: proximales (enraizados a través de los stockworks o canales de alimentación en el domo volcánico), transicionales (en pequeñas cuencas anóxicas en zonas laterales de los domos) o en cuencas más alejadas o distales, por acumulaciones mecánicas de sulfuros resedimentados, retrabajados y/o sedimentados a partir de fluidos de la parte externa de la pluma hidrotermal. Es importante señalar que los centros de emisión de fluidos hidrotermales no siempre están ligados a centros volcánicos y que el proceso hidrotermal puede ser precoz con respecto a la emisión de rocas volcánicas. Varios yacimientos de la FPI se originan a partir de hidrotermalismo inicial que altera y atraviesa (stockworks) a sedimentos más antiguos en cuencas anóxicas (pizarras negras). Tal es el caso de mineralizaciones como las de Tharsis o Aznalcóllar.

Las mineralizaciones de sulfuros masivos (como las de Mn) muestran, en general, rasgos de una muy intensa deformación. Están situadas sobre las fracturas profundas (o en su proximidad) que han constituido vías de ascenso de fluidos hidrotermales y, en muchas ocasiones, de las rocas volcánicas asociadas, y que se han reactivado en mayor o menor medida en la fase tectónica compresiva. Por sus características físicas, las masas de sulfuros tienden a canalizar la deformación, asociándose a planos de cabalgamiento y mostrando rasgos de deformaciones frágiles y/o dúctiles. Muchas de las mineralizaciones aparecen plegadas, fracturadas o afectadas por cabalgamientos.

Esta especial relación con las estructuras deformativas da lugar a que las facies de mineralización que se han mencionado como constitutivas del modelo no aparezcan frecuentemente con sus relaciones originales, al haber sido truncadas y/o desplazadas por fracturas o cabalgamientos. En ocasiones los stockworks son desmembrados de los sulfuros o bien éstos aparecen con espesores superiores a los de la mineralización original, por apilamiento de escamas imbricadas de estructuras de cabalgamiento.

Desde el punto de vista minero los recursos o menas de las mineralizaciones de sulfuros masivos de la FPI se clasifican tradicionalmente como (DGM, 1990):

- Piríticas (producción de pirita cruda, con contenidos elevados en As y Fe y subeconómicos en otros metales), utilizadas tradicionalmente para la fabricación de ácido sulfúrico y de cuyas cenizas pueden recuperarse los metales base contenidos.
- Cupríferas o cobrizas, son menas de cobre (con contenidos apreciables y económicos en Cu), con leyes mínimas en Cu de 0,6-0,75% y que pueden llegar al 2%, siendo excepcionalmente bastante superiores.
- Sulfuros polimetálicos, sulfuros complejos o pirita compleja, que generalmente se encuentran a techo de las masas de pirita o asociadas a zonas de fuerte deformación en el seno de éstas. Suelen clasificarse así los minerales con contenidos de Cu+Pb+Zn superiores al 5%. Su aprovechamiento ha constituido uno de los problemas de la minería de la FPI por su frecuentemente difícil recuperación, debida a su pequeño tamaño de grano y las dificultades y altos costes de molienda que implica su separación. Diversas empresas los han beneficiado por procesos mineralúrgicos de flotación y flotación diferencial (minas de Sotiel, Aznalcóllar y Los Frailes, por ejemplo).

- Minerales con diseminaciones de pirita y cobre en roca de caja de las mineralizaciones (azufrones, s.l., stockworks), o en partes internas de éstas, que se han aprovechado cuando poseen leyes altas en Cu (ejemplos, las cloritas de Alfredo, en Riotinto, o el mineral silicatado en La Zarza). Coinciden en alguna medida con los a veces denominados minerales cupríferos, formados por menas con baja ley en Cu, como son las que forman algunos stockworks, como es el caso del pórfido de Cerro Colorado en Riotinto o el "piroclasto" de Aznalcóllar. Los sulfuros de hierro, cobre y, a veces, de Zn, aparecen diseminados en pizarras y rocas volcánicas alteradas, con contenidos en la banda de 0,4-0,7 % de Cu y de un 10% de S.

- Minerales estanníferos y auríferos. Los extraordinarios tonelajes y leyes de estaño existentes en el yacimiento portugués de Neves Corvo (la casiterita y la estannita, minerales esenciales en el mineral rubanné y minerales importantes explotados juntos con los sulfuros de cobre en el sulfuro masivo) han despertado un interés por las posibilidades en otros depósitos similares de la FPI. Aunque en los depósitos de la FPI se conoce hace tiempo la presencia, como minerales accesorios, de casiterita y estannina en sus menas, no se tiene noticia de leyes que los hagan económicos. Únicamente se citan (DGM, 1990) contenidos, en puntos aislados de la Masa Valverde, de 1,1 kg/t.

  Bien diferente es el caso de los minerales auríferos en las mineralizaciones de la FP Española. Aun cuando los contenidos medios de oro en las masas de sulfuros españolas se sitúan en torno a 0,5-1 g/t, existen algunas mineralizaciones con contenidos más elevados e interesantes que motivan investigaciones al respecto (actualmente, por ejemplo, Lomero Poyatos). Al margen del potencial aurífero de los yacimientos en su conjunto, el Au tiende a concentrarse en algunas partes del yacimiento o en tipos de mineral específicos dentro de ellos. En general, las producciones de Au (y Ag) que se obtienen de los sulfuros masivos provienen de gossans o monteras ferruginosas asociadas a ellos y corresponden a concentraciones supergénicas, siendo el ejemplo más importante Cerro Colorado (Riotinto) responsable en los años 1980-1990 de gran parte de la producción española de oro (casi 5 t/año de Au). Otro tipo de menas en el que se concentra el oro es en algunos stockworks (Tharsis, Filón Norte) o en los minerales bandeados polimetálicos. Asimismo, se encuentran concentraciones de mucho interés en las partes intensamente deformadas dentro de los cuerpos de sulfuros, como en la mina de La Zarza o en Lomero Poyatos (Strauss y Beck, 1990).

  Dada la zonalidad, ya mencionada, existente en los yacimientos en cuanto a tipo de menas, pueden encontrarse en ellos recursos de los diferentes tipos: piríticos, cobrizos y/o complejos, si bien es cierto que, según los yacimientos, varían mucho sus proporciones relativas. Además de los elementos químicos de interés económico (S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag), los yacimientos vulcanogénicos presentan concentraciones de otros elementos como son Ni, Co, As, Hg, Cd, Bi, Ba, In, Ge, Ga, Te, Se, Tl.

En la Figura 4-7 se representan, en un diagrama ternario, las leyes en Cu, Pb, Zn de una serie de yacimientos, pudiéndose observar su posición con respecto a los campos que caracterizan a diferentes holotipos de yacimientos de tipo VMS en el mundo. La mayoría se localiza en el campo de la asociación Cu-Pb-Zn, aunque algunos (La Zarza La Joya, Herrerías y Aguas Teñidas) lo hacen en el de Cu-Pb y otros (Confesionario) en la de Cu o en la de Cu-Zn (San Platón, San Telmo). Estas separaciones deben ser consideradas con precaución, pues los datos de que se dispone son de diversas procedencias y consideran a veces tipos específicos de menas y no medias del yacimiento. En cualquier caso, la mayoría de ellos tienen una signatura Cu-Pb-Zn que coincide con la establecida para el modelo Ibérico de VMS (Sáez et al., 1999) o al modelo de yacimientos VMS bimodales-félsicos de Galley (2007).

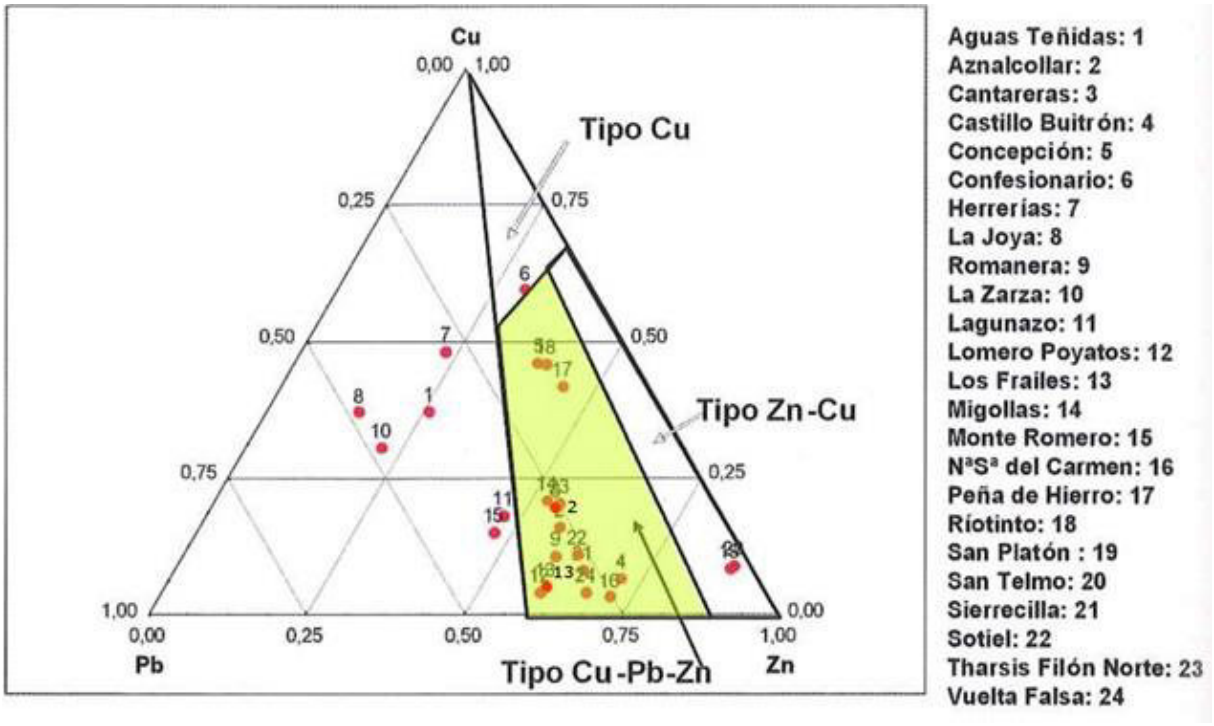


Figura 4-7 – Situación tipológica de las mineralizaciones en la FPI en función de sus contenidos en Cu, Pb y Zn. (Fuente: Sáez et al, 1999, modificado por CRS Ingeniería.)

En la Figura 4-8, y con los mismos datos de partida de la Figura 4-7, se puede hacer una comparación de los contenidos medios relativos en Cu, Pb, Zn, Au y Ag en la mayor parte de los yacimientos más significativos de la FP. Obsérvese la correlación que parece existir entre los contenidos en Zn y Ag y la mayor concentración de Zn con respecto a los otros metales base, siendo las relaciones entre Cu y Pb mucho más variables.

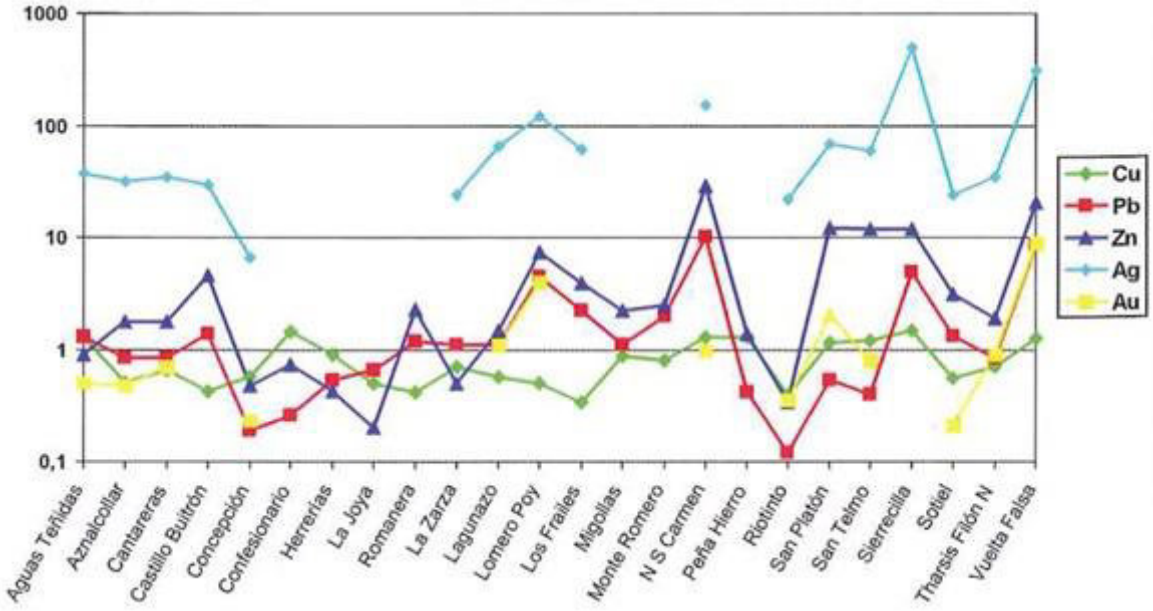


Figura 4-8 – Variaciones relativas de contenidos medios en CU, Pb, Ag y Au de yacimientos significativos de la FPI. (Fuente: Revista Metalogenia; mineralizaciones de la zona Sudportuguesa)

Se han realizado varios estudios generales sobre la mineralogía de las mineralizaciones desde un punto de vista general (García de Miguel, 1990; Routhier et al., 1980). Las asociaciones minerales más comunes están formadas por pirita, calcopirita, esfalerita y galena como minerales principales en proporciones variables, y por arsenopirita, tetraedrita, enargita, barita, magnetita, pirrotina, hematites, casiterita, estannita, bournonita, jamesonita, oro, bismuto, como accesorios más comunes. Covellina, calcosina, goethita, lepidocrocita, jarosita, escorodita, bornita, son minerales de origen supergénico que aparecen en la parte más superficial de los yacimientos o en sus monteras ferruginosas. Más excepcionalmente se encuentran minerales de Bismuto (witichenita, bismutina, aikinita y kobellita), o de Antimonio (gudmuntita, boulangerita, memeghinita) y sulfoarseniuros (cobaltina).

5. GEOLOGÍA DE DETALLE

El distrito minero de Aznalcóllar-Los Frailes se encuentra en la zona más meridional de la Faja Pirítica Ibérica, en su límite con los materiales terciarios. Esta zona es de gran importancia, no sólo por sus dimensiones sino por las características específicas de sus masas minerales conocidas. (Figura 5-1):

Geográficamente se encuentra situado en el término municipal de Aznalcóllar, perteneciente a la provincia de Sevilla, en el límite con Huelva. Queda a 1,5 kilómetros del pueblo con el mismo nombre y a unos 19 km de Sanlúcar la Mayor y 12 km de Gerena. El puerto de Huelva dista unos 90 km.

Dentro del distrito minero de Aznalcóllar se han explotado dos yacimientos considerados como gigantes y otras mineralizaciones de menor entidad, pero también significativas. En este distrito se reconocen los siguientes yacimientos de sulfuros masivos: La Zarcita, Caridad, Cuchichón, Aznalcóllar y Los Frailes.

Al norte del distrito minero tienen un amplio desarrollo los materiales devónico pizarrosos del Grupo PQ, quedando separados del Complejo Vulcano-Sedimentario, escenario de la mineralización, por un importante cabalgamiento a escala regional. Como se observa en el corte geológico de la Figura 5-2 los materiales paleozoicos se encuentran afectados por pliegues y cabalgamientos de vergencia Sur y dirección E-O. Inmediatamente al Sur, y aun recubriendo en algunas zonas el Complejo Vulcano-sedimentario, se desarrolla un Mioceno discordante resultado de un proceso de transgresión marina

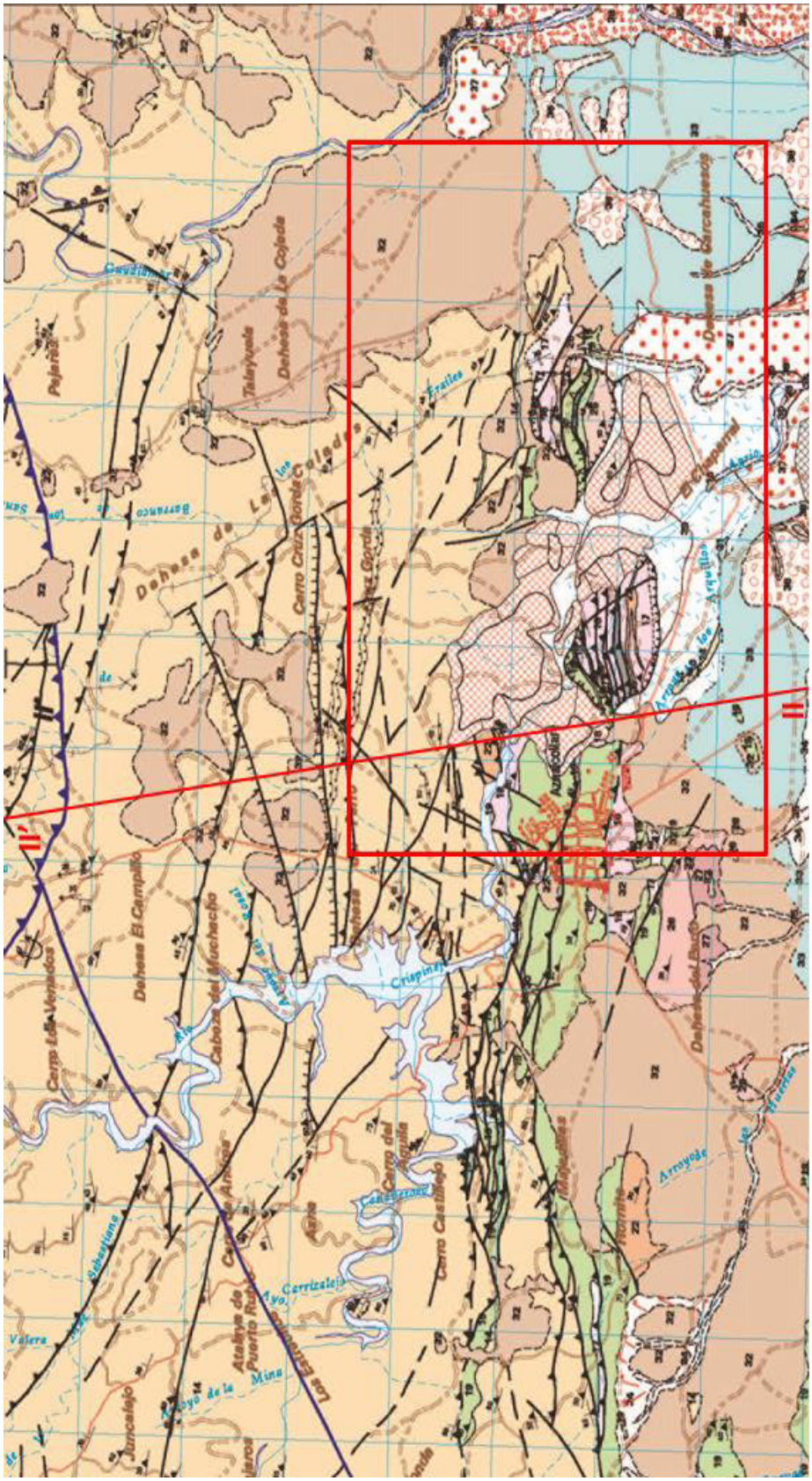


Figura 5-1 – Mapa geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961) Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía.).

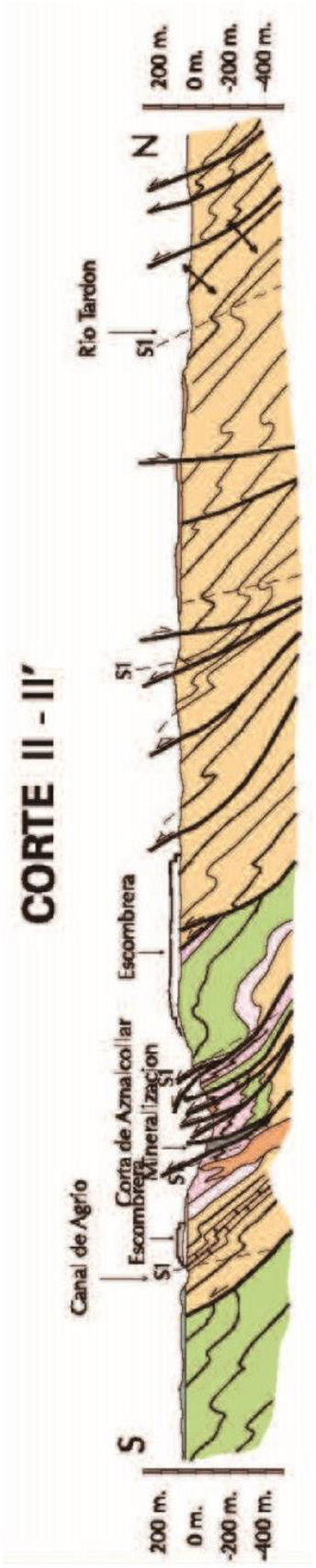


Figura 5-2 – Perfil geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961). (Fuente: Junta de Andalucía)

5.1. ESTRATIGRAFÍA

En las inmediaciones del distrito minero de Aznalcóllar-Los Frailes afloran materiales con edad Paleozoico y Mioceno.

Grupo PQ: esta unidad, de edad Devónico superior, aflora extensamente al norte de los afloramientos del CVS en los que encajan las masas de sulfuros de Los Frailes y Aznalcóllar e inmediatamente al Sur del CVS, en una zona donde el Paleozoico está cubierto en su mayor parte por sedimentos miocenos y cuaternarios.

Componen el Grupo PQ una potente serie de pizarras, areniscas y grauvacas, con algunos lentejones de calizas y conglomerados.

Las pizarras son las rocas más abundantes de este conjunto. Generalmente son pizarras arcillosas de colores grises en roca fresca y rojizos, cuando están alteradas. Son rocas de grano muy fino, que presentan una superficie de esquistosidad marcada. Están formadas por una matriz sericítica, en la que se aprecian a veces algunas fajitas milimétricas más silíceas, que son expresión de la primitiva estratificación.

Son también muy frecuentes niveles de pizarras arcillosas de color verde, de grano algo más grueso que las anteriores y con una esquistosidad menos penetrativa, por lo que presentan una disyunción en paquetes gruesos. Como en el caso anterior, delgadas bandas de material silíceo permiten apreciar las relaciones entre estratificación y esquistosidad.

Entre las pizarras arcillosas existen niveles de pizarras silíceas de color gris oscuro. Estas rocas están formadas por una matriz cuarzo-sericítica o silícea en la que se aprecian algunos granos de cuarzo. A veces presentan cubos o fajitas de pirita.

Las areniscas aparecen intercaladas entre pizarras en forma de lentejones y bancos con poca continuidad lateral. Son rocas de colores claros, grises o beiges, que presentan estructuras primarias tales como estratificación cruzada, “ripple marks” y sedimentación gradada, fundamentales para determinar la polaridad de la serie. Generalmente presentan una potencia de 5 a 20 cm, aunque excepcionalmente, como sucede en el río Crispinejo, 2 Km al norte de Aznalcóllar, pueden llegar a los 10 m con bancos de más de un metro de espesor.

Las grauvacas son rocas de color gris verdoso, que se presentan en bancos de algunos decímetros de potencia. Están formadas por granos de cuarzo y feldespato incluidos en una matriz arcillosa. A veces presentan cubos o fajas delgadas de pirita.

En el río Agrio o Crispinejo, afloran dos lentejones de calizas de pequeñas dimensiones. Son calizas grises, fétidas, con abundantes Crinoideos. Petrográficamente, son calcarenitas bioclásticas con granos subangulosos de cuarzo y matriz micrítica o microesparítica. Entre los bioclastos se reconocen fragmentos de Crinoides, restos de Algas referibles a Dvinella, Foraminíferos, próximos a Endothyra, y Fenestéllidos.

Por encima de las calizas, en este punto, aparecen 30 m de pizarras arcillosas grises, a las que sigue un banco de 10 m de potencia de lavas ácidas que se considera iniciación de Complejo Vulcano-sedimentario.

Este nivel de calizas, pese a no mostrar contenido fósil, se considera equivalente a los niveles carbonatados bioclásticos datados por conodontos como de edad Fameniense medio-superior (Pruvost, 1912; Boogard, 1963; Schermerhorn, 1971; Boogard y Schermerhorn, 1980,1981).

Complejo Vulcano-Sedimentario: de edad Devónico-Carbonífero (Struniense-Viseiense superior).

En la banda entre Aznalcóllar y Los Frailes, se han definido tres episodios eruptivos; dos ácidos y uno básico, que se describen a continuación:

- Vulcanismo ácido: adquiere una gran relevancia en la zona de Aznalcóllar, pudiendo diferenciarse dos etapas de vulcanismo ácido; una predominantemente riolítica y la segunda riodacítica. A lo largo del río Crispinejo, de sur a norte (X= 374.850; Y=4.326.750) se levantó la columna estratigráfica tipo (Figura 5-3) de esta fase eruptiva, la cual se detalla a continuación de muro a techo.

  - **V1-V2**: banco riolítico de 10-12 m de espesor, seguido por pizarras grises y negras de 400 m de potencia. A techo aparece un banco de 20 m de potencia de riolitas masivas que se acuña lateralmente.
  - **V3-V4**: es un tramo principalmente pizarroso, con pizarras grafitosas de color negro que, al alterarse, adquieren coloraciones blancas. Su potencia es de 15 m. Hacia arriba y en tránsito gradual aparece un conjunto mineralizado fundamentalmente pizarroso en la base y piroclástico (con tobas y brechas) a techo. Su espesor total es de 110 m. La masa de pirita parece estar íntimamente ligada a las pizarras grafitosas y en la parte superior, piroclástica, hay mineralizaciones de cobre como relleno en los planos de S1.
  - **V5:** Tramo piroclástico (brechas y aglomerados) con unos 80 m de potencia y algunos lentejones de pirita e intercalaciones de pizarras negras.
  - **V6-V8**: riolitas y riodacitas porfiroides esquistosadas que adquieren un gran desarrollo hacia el Oeste, sustituyendo a los niveles piroclásticos de brechas y aglomerados que aparecen a techo, con mayor desarrollo al Este. Encima aparece un horizonte pizarroso de gran continuidad en el afloramiento.
  - **V9:** brechas y aglomerados de cantos y matriz dacítica.
  - **V10**: delgado nivel de cinerítas silíceas de tonos violáceos y verdosos que marcan el paso al volcanismo básico.

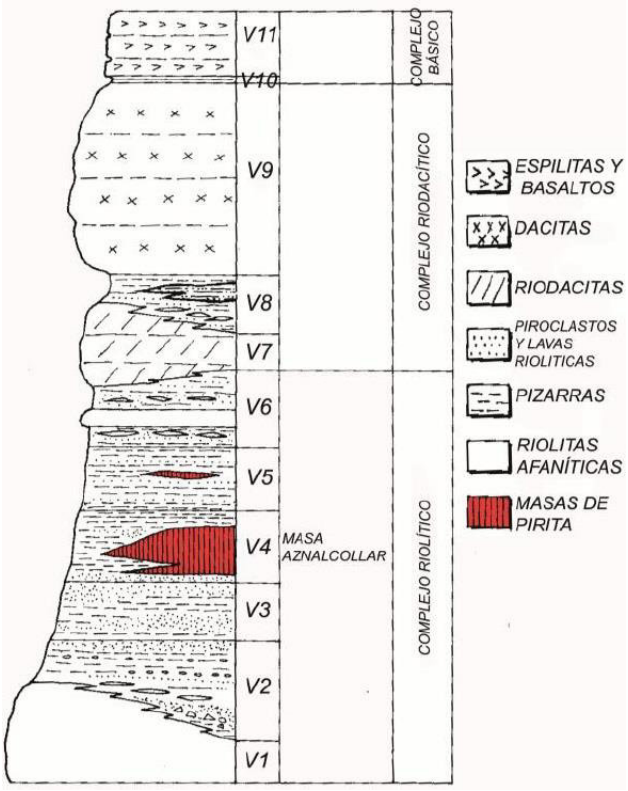


Figura 5-3 – Columna estratigráfica tipo del primer episodio de vulcanismo ácido, levantada a lo largo del río Crispinejo. (Modificada de Coullaut, J.L. et al., 1975)

- Vulcanismo básico: formado por basaltos y espilitas, aparece poco representado en las inmediaciones del yacimiento de Aznalcóllar, relegándose su aparición al núcleo de la estructura sinclinal de Aznalcóllar, constituyendo el techo de la serie estratigráfica local (V11 de la Figura 5-3).

Rocas Intrusivas: asociados a la orogenia Hercínica afloran batolitos de extensión variable (granodioritas y tonalitas) y numerosos diques de cuarzo, porfídicos intermedios y básicos.

5.2. TECTÓNICA

La Faja Pirítica ha sido dividida en una serie de Unidades tectonoestratigráficas, con características estratigráficas y estructurales propias, basadas en las variaciones de los materiales del CVS en relación con los rasgos estructurales. El distrito minero de Aznalcóllar se encuentra dentro de la Unidad de Aznalcóllar, con límites tectónicos con la Unidad de Zalamea-Berrocal y la Unidad Calañas-Valverde del Camino al Norte y Oeste; mientras que al Este y Sur, la Unidad Aznalcóllar desaparece bajo los materiales cenozoicos de la Cuenca del Guadalquivir. La Unidad Aznalcóllar queda dividida en tres subunidades de carácter sinclinal, más o menos falladas, separadas por cabalgamientos: Subunidad Caridad, Subunidad Aznalcóllar, Subunidad Hornitos (Figura 5-4).

Los contactos entre estas subunidades son accidentes cabalgantes de Fase F1, que han sido reactivados en la Fase F2.

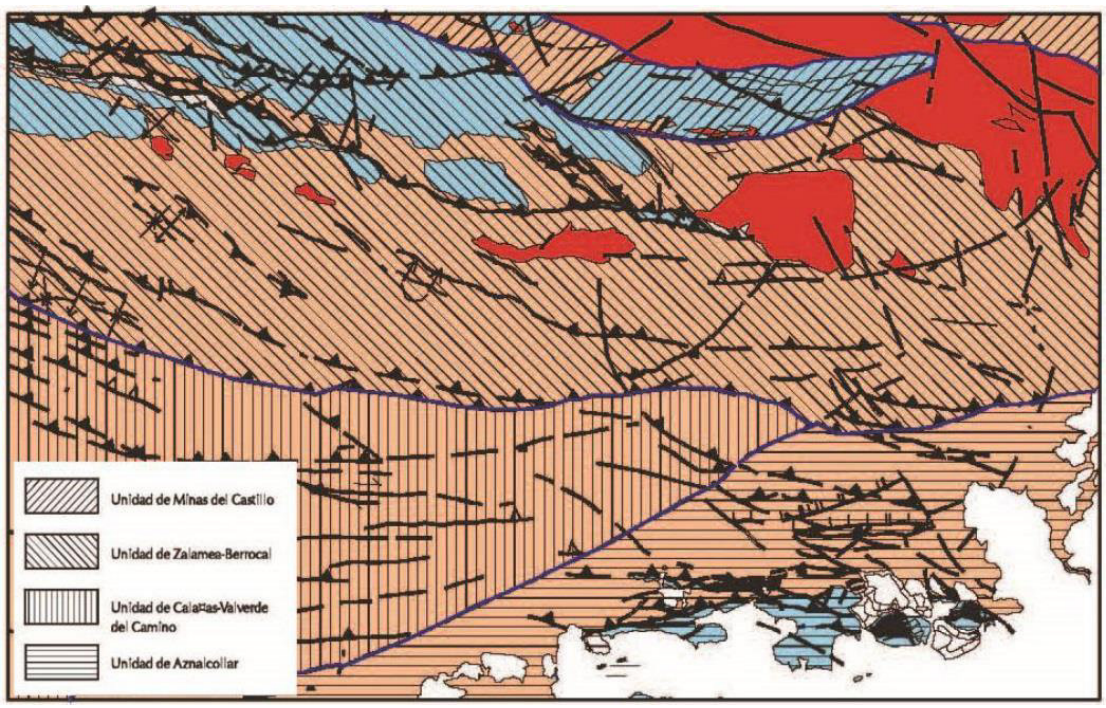


Figura 5-4 – Mapa sintético de las Unidades Tectonoestratigráficas en la Hoja 961 de la Junta de Andalucía. Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía).

Desde el punto de vista estructural la Unidad Tectónica de Aznalcóllar, se caracteriza por una serie de pliegues asimétricos, cerrados, con dirección axial E-O y vergencia Sur, formados por deformación muy intensa en condiciones frágil-dúctil. Estas estructuras, acompañadas de esquistosidad de plano axial, coincidente con la esquistosidad regional, desarrollan fallas inversas y cabalgamientos en el flanco sur de los pliegues, resultado de la deformación multifásica hercínica que se describe a continuación.

En toda Faja Pirítica Ibérica, la primera fase de la deformación (F-1) de edad Wesfaliense medio, es la fase de deformación mayor para la región y la que le da su estructura casi definitiva. Durante esta fase se desarrollan pliegues de dirección general E-O, de vergencia Sur, acompañados de una esquistosidad S1 de plano axial, a menudo muy intensa, que buza al N (estereograma 1). Los anticlinales mayores son frecuentemente cabalgantes hacia el Sur.

La superficie de estratificación S0 forma pliegues que varían de la escala, milimétrica a kilométrica. Los pliegues menores son siempre isoclinales, pero a escalas mayores se observan algunos que no lo son. Se trata de pliegues bien desarrollados, con flancos normal e inverso generalmente conservados y de clara vergencia Sur.

Los ejes de estos pliegues no son rectilíneos, presentando frecuentes cambios de dirección y buzamiento; de todas maneras, están siempre comprendidos dentro del plano axial del pliegue, sin que éste presente deformación alguna. Con este tipo de geometría pueden obtenerse pliegues de direcciones perpendiculares entre sí, sin que ello implique la existencia de varias fases tectónicas. Este hecho se pone muy claramente de manifiesto en el estereograma número 1 (al N de la Zarcita), en el que se han representado 101 ejes y lineaciones L1, intersecciones de S0 y S1. Se observa claramente que la dispersión de éstos se realiza sobre la traza de los planos de esquistosidad (Figura 5-5)

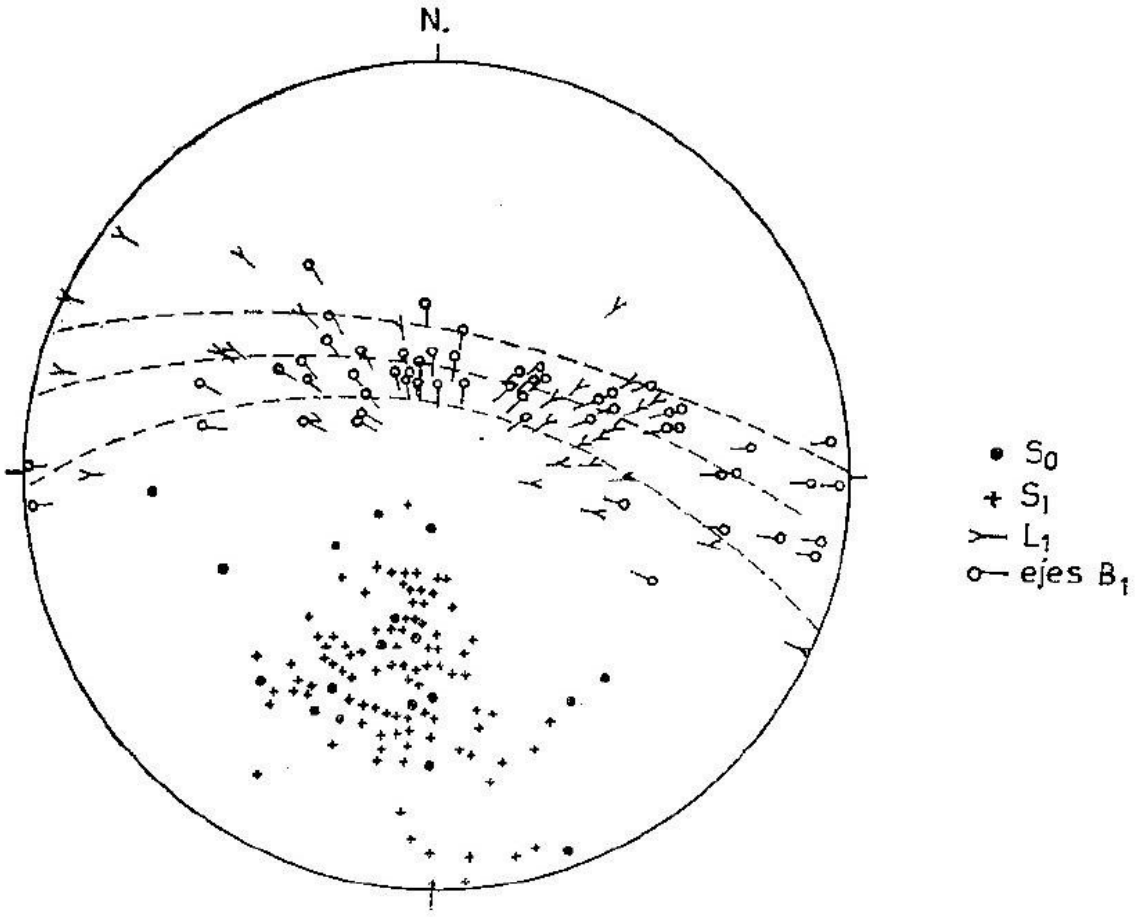


Figura 5-5 – Estereograma 1. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000)

SI en vez de considerar las superficies S_0, se considera el conjunto de capas plegadas, existen diferentes tipos de pliegues en Aznalcóllar. Cuando los pliegues afectan a materiales competentes en bancos potentes (cuarcitas, sobre todo) pueden originarse pliegues de tipo concéntrico. Cuando el espesor de la capa disminuye o el material es más incompetente, se pasa a pliegues en los que no se conserva el espesor de las capas, fenómeno que ocurre en la inmensa mayoría de los pliegues visibles en la zona. El caso extremo se encuentra en las pizarras con lechos delgados de elementos volcánicos, en las que se desarrollan pliegues en los que las capas han aumentado notablemente de espesor en la charnela, presentando flancos a menudo laminados o inexistentes.

Frecuentemente los flancos sur de los anticlinales, o los contactos litológicos mayores han actuado como niveles de despegue con magnitudes de desplazamiento de mayor o menor importancia. El fenómeno puede variar desde el grado de simple despegue (contacto sur de la serie volcánica ácida con las pizarras en el río Crispinejo) hasta accidentes de envergadura.

Los pliegues van acompañados de una esquistosidad de plano axial muy desarrollada, de orientación general E-O y buzamiento N, que afecta a todos los materiales presentes en la zona, excepto a las rocas volcánicas muy compactas. La pirita masiva parece estar poco afectada, pero en ciertas zonas lo está la mena fajeada. Los granitos no están afectados por su carácter tardi-tectónico.

Esta esquistosidad es plana, paralela y penetrativa en las pizarras, y anastomosada en las rocas lávicas y grauvacas. En alguna de estas rocas particularmente duras, puede tomar el aspecto de una fracturación orientada. En general es muy intensa, enmascarando fuertemente a la estratificación, en particular en las rocas del complejo volcánico-sedimentario del sector de Aznalcóllar, donde ésta es francamente difícil de observar.

A escala de los elementos componentes de la roca, la deformación se manifiesta de varias maneras. En general éstos se encuentran estirados en la dirección de la máxima pendiente del plano de esquistosidad y acortados perpendicularmente a ella. Esto se manifiesta incluso a nivel de los granos de pirita, que en algunos casos aparecen rotos y disgregados incluidos en un recrecimiento de cuarzo orientado del tipo shadow pressure. Todos estos fenómenos que acaban de ser descritos permiten interpretar la esquistosidad S1 como un verdadero slaty cleavage, desarrollado perpendicularmente a la dirección de compresión mayor.

El comportamiento del conjunto del material depende de la competencia o incompetencia de la roca. En las pizarras negras y en ciertas rocas volcánicas el material ha fluido plásticamente, y existen todos los pasos intermedios hasta el comportamiento semirrígido (cuarcitas y ciertas rocas volcánicas). Evidentemente, el tipo de pliegues existentes en cada una de las rocas está en relación con su distinto comportamiento ante los esfuerzos tectónicos. Así el tipo de pliegues con charnelas engrosadas se da en los materiales que ha sufrido fluencia plástica y pueden ser considerados como flow folds desde el punto de vista genético. En los casos en que el estiramiento no ha sido uniforme se obtienen pliegues de eje no rectilíneo pero situado siempre dentro del plano axial. En el caso de materiales muy competentes con escasa deformación íntima se obtienen únicamente pliegues concéntricos.

A escala de yacimiento, la deformación F-1 supone la repetición y apilamiento de unidades estratigráficas, perdiendo su disposición primaria y apareciendo en algunos casos unidades de stockwork por encima de las unidades de sulfuros masivos. Este apilamiento tectónico de escamas de stockwork sobre la unidad de sulfuros masivos puede llegar a repetirse hasta cinco veces, lo que indica la gran complejidad tectónica de la zona.

Durante la segunda fase de la deformación (F-2), de edad Estefaniense, se desarrollan estructuras de escala hectométrica. A las estructuras anteriores, que se reactivan, se les asocian pliegues menores con planos axiales subverticales y vergencia sur. Se desarrolla una segunda esquistosidad S2 con planos subverticales, manifestándose en algunos casos como un strain slip cleavage.

La tercera fase de deformación es debida a unos esfuerzos principales orientados diferentemente a los de la fase anterior. Debe, por tanto, haber existido una cierta interrupción tectónica entre las dos.

Se manifiesta por pliegues desarrollados sobre la esquistosidad S1, de dirección N-S, y escala centimétrica a decamétrica, que a veces van acompañados de una fracturación del plano axial subvertical, que muy localmente pasa a ser un verdadero strain slip cleavage (estereograma 2, Figura 5-6). Quizá pueden atribuirse a esta fase las ondulaciones visibles en la esquistosidad S1 a escala hectométrica y también de dirección N-S.

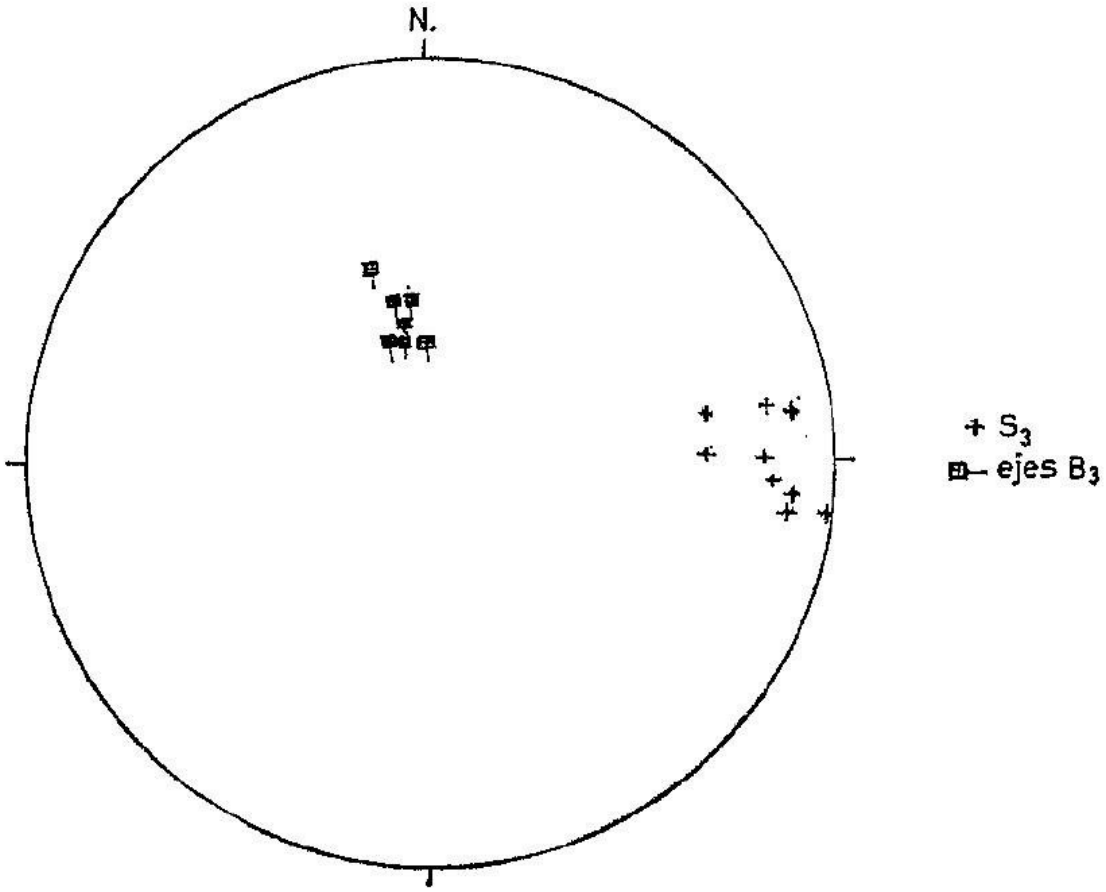


Figura 5-6 – Estereograma 2. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000)

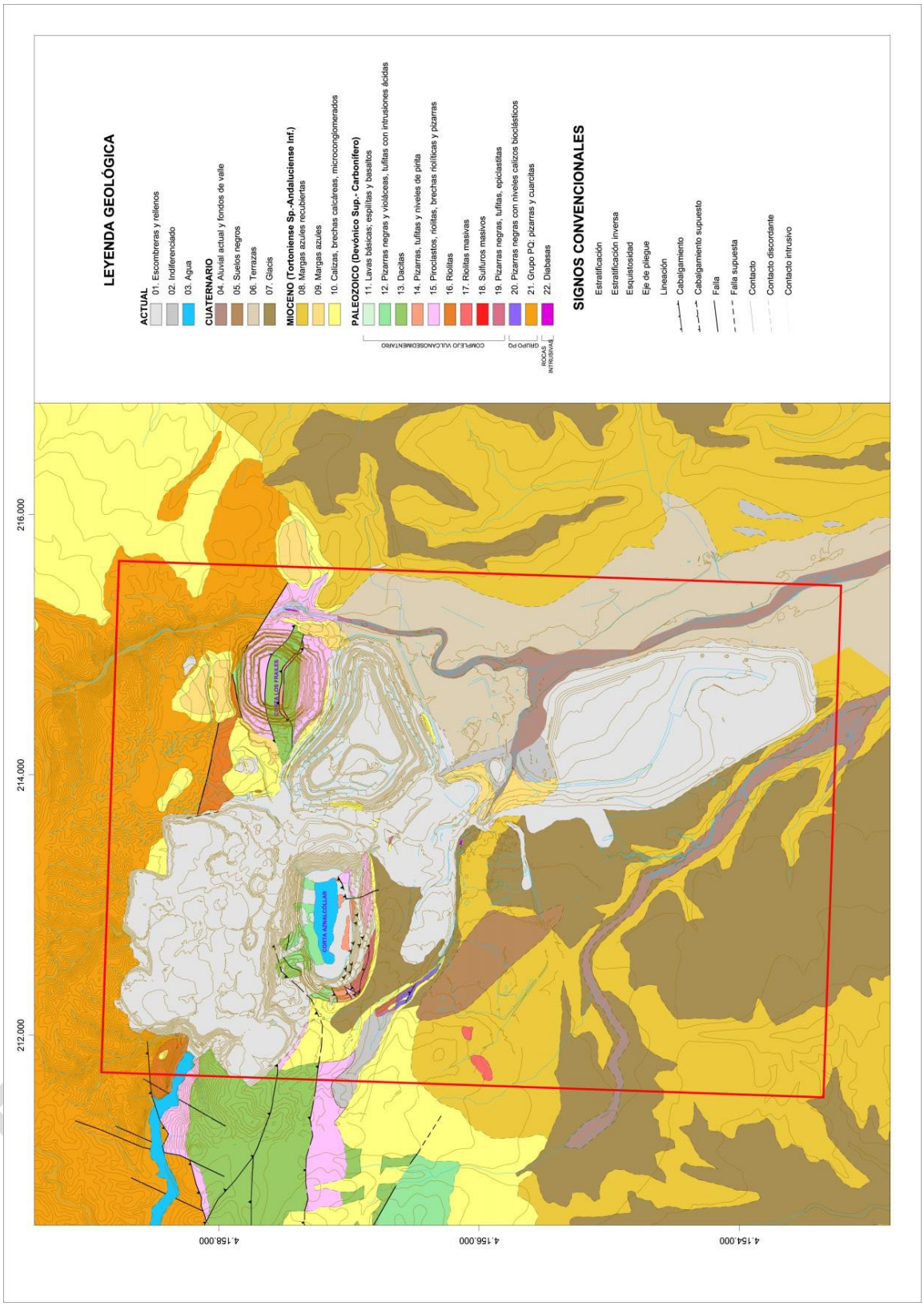


Figura 5-7 – Mapa geológico de los yacimientos Aznalcóllar y Los Frailes. (Fuente: Elaboración propia)

5.3. MIOCENO

Los materiales vulcano-sedimentarios del distrito minero de Aznalcóllar se encuentran parcialmente recubiertos por materiales miocenos, aumentando progresivamente su espesor hacia el Sur, donde se inicia la Depresión del Guadalquivir. Estos materiales aparecen prácticamente subhorizontales, recubriendo de manera transgresiva y discordante los materiales paleozoicos, principalmente al Complejo Vulcano-Sedimentario (Figura 5-8).

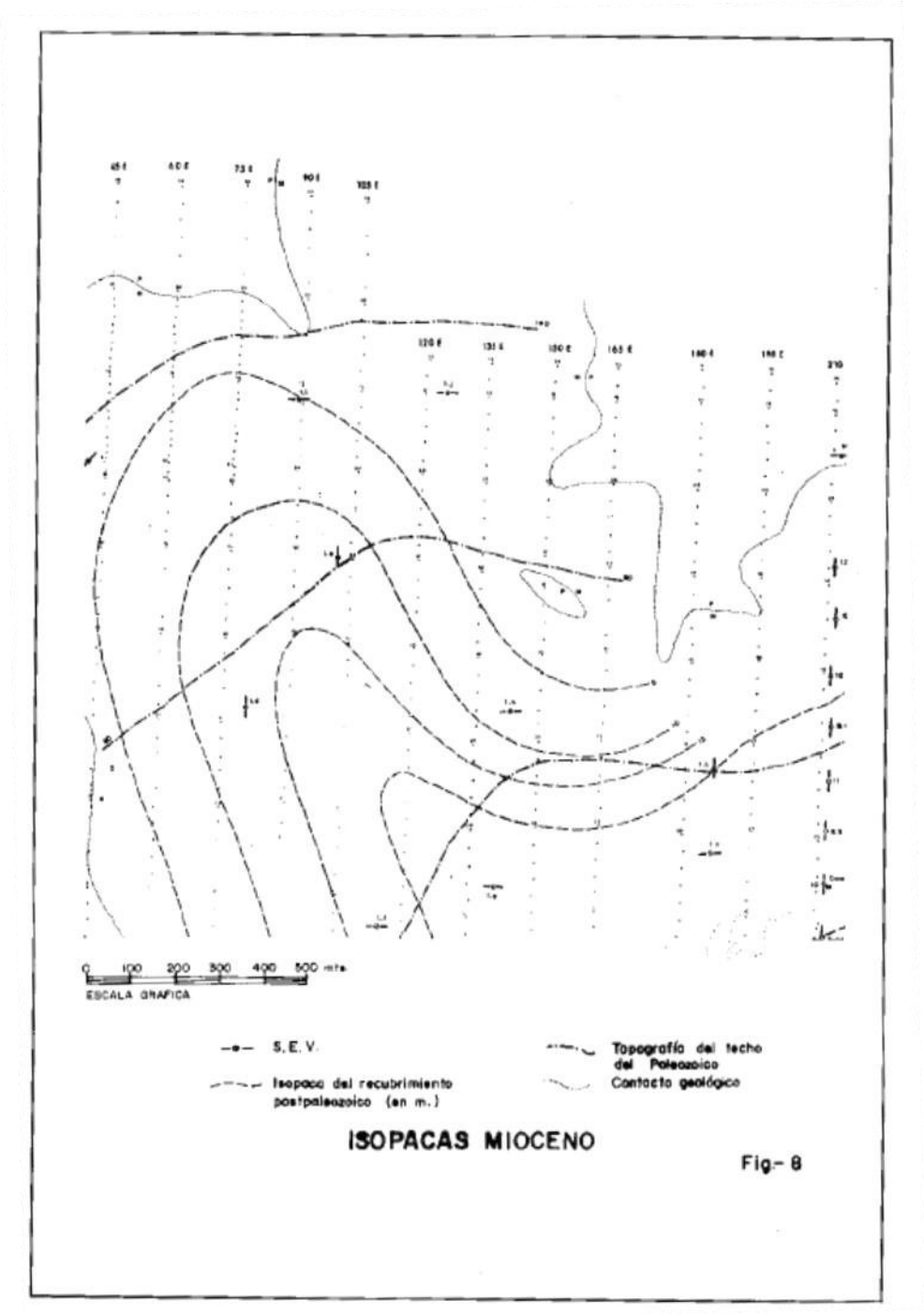


Figura 5-8 – Mapa de isopacas del Mioceno realizado en Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973.

Los materiales miocenos pueden dividirse en una unidad inferior de arenas, calizas conglomeráticas o brechoideas a conglomerados calcáreos considerada facies de borde, y una superior compuesta de margas gris-azuladas.

- Unidad Inferior o Fm. Niebla-Posadas: de edad Tortoniense superior, se compone por un conjunto de brechas calcáreas a conglomerados calizos, con cantos de pizarras, rocas volcánicas y cuarzo. Son frecuentes las intercalaciones de areniscas calcáreas microconglomeráticas y arenas, con presencia de microfósiles y macrofauna. Esta unidad corresponde al acuífero Niebla-Posadas, que descansa sobre un paleorelieve paleozoico, presentando una potencia variable, mayor en la zona central, donde puede llegar a 80 m, en contraposición de las potencias que alcanza hacia los extremos, oscilando entre 30-40 m, hasta acuñarse y desaparecer. En la zona del entorno de las mineralizaciones tiene una potencia máxima comprendida entre 10-20 m. El acuífero de Niebla-Posadas puede asimilarse como un cuerpo tabular con un buzamiento aproximado de 2º SE.

  Litológicamente se compone de dos conjuntos distintos, el inferior de carácter continental y el superior marino.

  Tramo inferior continental: comienza el tramo con conglomerados poligénicos con cantos heterométricos de pizarras, rocas volcánicas diversas, cuarzo, etc… con representación de todos los materiales paleozoicos. El cemento es arenoso, con escaso contenido en arcillas. Intercalados con los conglomerados aparecen niveles de microconglomerados, arenas y limos. El techo del tramo suele estar constituido por niveles de arenas conglomeráticas que muestran estratificaciones cruzadas, en ocasiones con carácter bimodal. Las estructuras sedimentarias indican su depósito en un medio acuoso. No se conoce su datación exacta, pero dada su relación con los sedimentos suprayacentes se considera que pertenecen al piso Tortoniense, dentro del Mioceno superior. Por su disposición topográfica se encuentra rellenando un paleorrelieve acusado, de tal forma que antes de la erosión postmiocena estos depósitos pudieron alcanzar un espesor superior a los 100 m en los lugares más favorables (por ejemplo: NO Aznalcóllar y Cauce del río Agrio)

  Tramo superior marino: sobre el conjunto anterior se produjo una transgresión marina que dio lugar al depósito de niveles de caliza, conglomeráticas y arenosas, a veces lumaquélicas, parcialmente recristalizadas, que contienen abundantes fósiles de algas, equinodermos, moluscos, foraminíferos, etc. El contacto con el tramo infrayacente es normal.

  En la columna de Arroyo de los Frailes tiene una potencia de unos 22 m, estando representado por un conjunto de brechas calcáreas a conglomerados calizos que engloban cantos de pizarras, rocas volcánicas y cuarzo. Existen todos los pasos a calizas brechoideas, arenosas (biomicritas) ricas en *Lithothamnium*, *Heterostegina* cf. *complanata spiralis* PAPP u KUPPER, *Heterostegina gomez-angulensis* PERCONIG, *Amphistegina*, *Spiroplectammina* aff. *wrighti* (SILVESTRI), *Ammonia*, *Elphidium,* Otstreidos, Brionoarios y restos de Equinodermos.

Son muy frecuentes las intercalaciones de arenas y areniscas calcáreas microconglomeráticas, de tonos blanquecinos con pasadas más margosas. En estos niveles, y en la columna de Arroyo de las Huertas, no se han reconocido los siguientes microfósiles: *Ammonia becarii beccarii* (LINNEO), *A. beccarii inflata* (SEG.), *A. punctato granosa* (SEG.), *Nonion bouenaum* (D´ORB.), *Elphideum crispum* (LINNEO), *E*. cf. *exoletum* (COSTA), *E*. cf. *complanatum* (D´ORB.), *E.* cf. *fichtellianum* (D´ORB.), *Cancris auriculus* (FICHT y MOLL), *Cibicides lobatulus* (WALKER y JACOB), *C*. cf. *bellincionii* GIANINI y TAVANI, *Bolivina* cf. *robusta* BRADY, *Guttulina communis* D´ORB., *Asterigina planorbis* D´ORB. y numerosas especies de Ostrácodos no determinadas específicamente.

La macrofauna de estos tramos detríticos y brechoides es también muy abundante, siendo particularmente notables la presencia de grandes *Ostrea crassissima* LAMARCK, así como *Clypeaster altus* LAM., *Pectem maximus* (LINNEO), *Natica, Phola*, etc.

El tramo cartográfico se asigna al Tortoniense superior, por contener *Heterostegina*. Desgraciadamente no se han observado Foraminíferos planctónicos, debido, sin duda, al carácter litoral del depósito.

- Unidad Superior: de edad Tortoniense superior- Andaluciense inferior es una serie monótona de margas azuladas y gris-azuladas compactas, ricas y microfósiles, principalmente foraminíferos. Hacia la base presentan niveles arenosos y limosos. Su potencia aumenta hacia el Sur, de modo que se conocen espesores del orden de los 300 m al norte de Sanlúcar la Mayor y superiores a los 1.000 m al Sur de Sevilla.

- En la zona del proyecto ocupa las cotas topográficas más elevadas, por encima de la serie descrita más arriba.

5.4. CUATERNARIO

- **Margas y Limos. Coluvial**: de poca entidad, constituidos por margas y limos con cantos polimícticos dispersos, más o menos abundantes, de rocas volcánicas miocenas de Facies de borde principalmente.

- **Gravas, arenas y limos**. **Coluvial-aluvial**: al igual que la unidad anterior, son depósitos de poca entidad producto del retrabajado de materiales coluvionares, dando acumulaciones de materiales groseros heterométricos, granosoportados con incrementos locales de la matriz areno-limosa.

- **Gravas, arenas y limos. Aluvial** (Terrazas): corresponde a las terrazas fluviales correspondientes al río Guadiamar, reconociéndose hasta tres niveles. La terraza superior de 25 m de espesor corresponde a arcillas rojas y marrones, con arenas con acumulaciones de gravas y cantos cuarcíticos. Las dos terrazas inferiores de 10 m y 3-5 m respectivamente están constituidas por arenas de fracción limo-arcilla con lentejones gravas de menor proporción que la terraza superior.

- **Cuaternario antrópico**: corresponde a las escombreras de la corta de Aznalcóllar y los Frailes, así como las balsas de lodos de las minas. Por otra parte cabría señalar las grandes extensiones con recubrimiento producido por los trabajos forestales de repoblación en áreas de materiales PQ.

6. MINERALIZACIONES A ESTUDIAR

El distrito minero de Aznalcóllar-Los Frailes se considera un yacimiento de sulfuros masivos, al tener una mineralización formada por más de un 60% de sulfuros. Se encuentra compuesto por pirita masiva y cantidades variables de esfalerita, galena y calcopirita. (Figura 6-1):

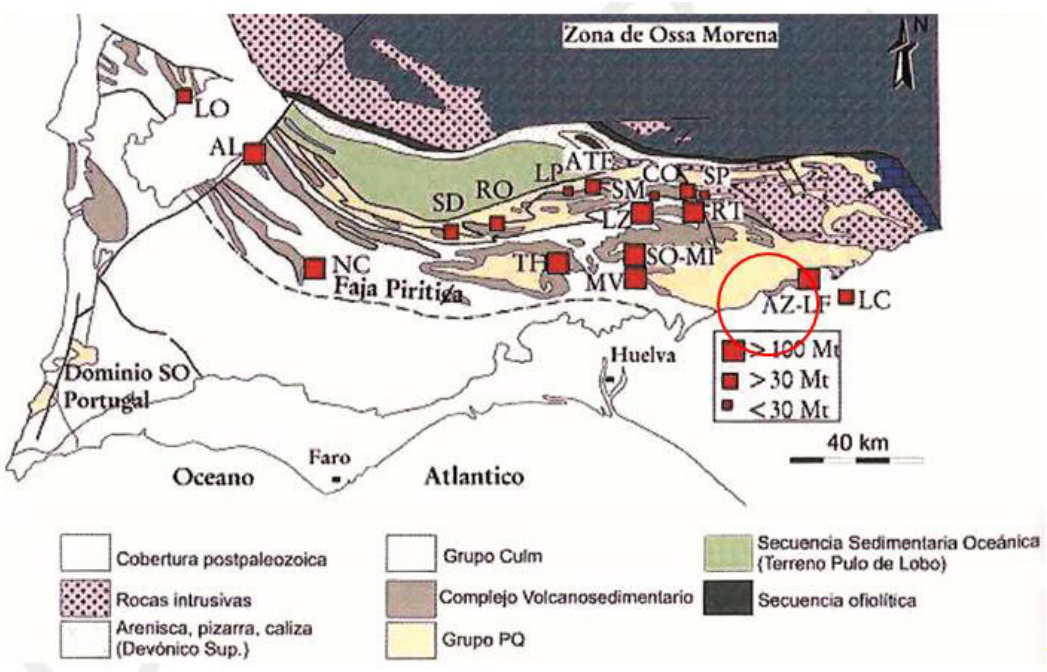


Figura 6-1 – Localización del yacimiento en el esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. (Fuente: Revista Sociedad Española de Mineralogía, Macla nº10 – Tornos Arroyo, F. 2008)

Las mineralizaciones de esta zona fueron ya explotadas por los romanos, recuperando su actividad en el siglo XIX. Entre los años 1876-1942 la Compañía Seville Sulphur and Copper comienza la explotación de una amplia corrida de lentejones de pirita, de 850 m de largo, 60 m de potencia acumulada y hasta 300 m de profundidad. Al principio sólo se explotaron los recursos superficialmente, hasta unos 100 m, para posteriormente explotar a cielo abierto y mediante minería de interior las masas Cuchichón, Pañoleta, Santiago, Higuereta, Silillos, Filón Medio y Filón Sur. Estos siete filones suelen agruparse como si se tratase sólo de tres criaderos; El Cuchichón que comprende los tres primeros, Silillos e Higuereta (Tabla 6.1)

Durante los años de la Guerra Civil y la Guerra Mundial, las labores se vieron prácticamente suspendidas con unos menguados ingresos de la venta de la cáscara de cobre, que se obtenía beneficiando por cementación las aguas de la mina y regando el mineral de la plaza, para su descobrización, por el clásico procedimiento del canaleo.

AÑO	CUCHICHÓN		SILILLOS		HIGUERETA		TOTAL GENERAL
	Mineral Cobre	Total	Mineral Cobre	Total	Mineral Cobre	Total	
1904	24.864	42.513	4.986	16.449	758	4.739	63.701
1905	27.581	35.925	10.426	22.493	3.606	3.982	62.400
1906	26.400	36.061	16.335	27.901	8.216	8.796	72.758
1907	29.349	37.448	12.768	23.683	8.075	12.390	73.521
1908	23.097	38.044	18.701	31.391	6.109	9.712	79.147
1909	24.772	39.098	11.442	27.610	8.240	15.252	81.960
1910	25.618	41.276	13.906	25.189	15.109	18.934	85.399
1911	28.200	42.283	4.701	7.651	8.540	18.719	68.653
1912	35.562	55.076	6.311	14.864	3.243	20.547	90.487
1913	38.979	66.001	5.801	19.622	3.285	18.585	104.208
1914	19.906	29.843	2.636	15.021	-	6.208	51.072
1915	13.233	36.779	-	11.344	-	29.263	77.386
1916	15.864	48.083	1.695	11.404	2.077	33.657	93.144
1917	6.259	19.242	557	889	2.743	17.989	38.120
SUMAS	339.684	567.672	110.265	255.511	70.001	218.773	1.041.956

Tabla 6.1 – Producción en toneladas de los filones entre los años 1904-1917 (Pinedo, 1963)

En 1954 Peñarroya, S.A. se hizo con la dirección de la explotación, interesados por las altas leyes de azufre, plomo y zinc existentes. En 1960, la compañía Andaluza de Piritas, S.A. (APIRSA) toma el mando de la actividad, con la explotación de la masa Cuchichón hasta 1970, cuando comenzó la explotación integral de todas las masas a cielo abierto con la conocida como Corta Aznalcóllar. Durante esta etapa se llevaron a cabo numerosos estudios de investigación minera con el descubrimiento de la masa de Los Frailes, a escasa distancia de la de Aznalcóllar, hacia el Este. (Figura 6-2):

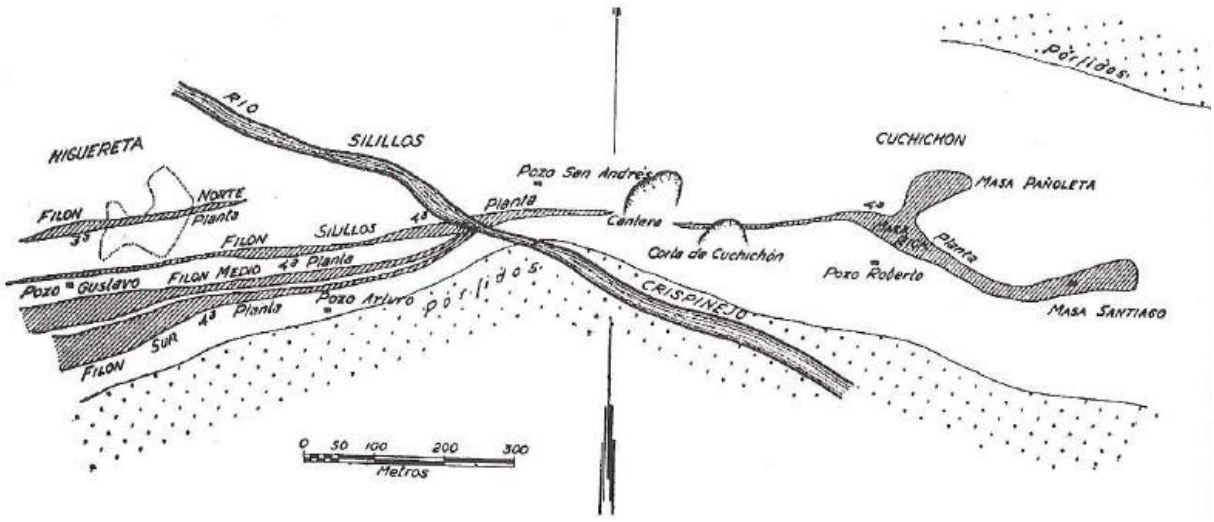


Figura 6-2 – Localización de las masas minerales y las antiguas labores (Pinedo, 1963)

Depósito de Aznalcóllar:

El depósito de Aznalcóllar se encuentra asociado a una estructura sinclinal de dirección E-O, con abundantes escamas de cabalgamiento de vergencia Sur, formado bajo condiciones hidrotermales posiblemente sincinemáticas. La roca encajante es predominantemente epiclástica o vulcanosedimentaria.

La corta de Aznalcóllar fue abierta sobre las mineralizaciones de Cuchichón, Silillos e Higuereta, presentando una zona mineralizada de longitud próxima a los 1.500 m, con espesores de 30-70 m, estrechándose hacia los bordes y buzando 45º al Norte. Estos depósitos de forma lenticular, presentaban en el caso de Cuchichón y Silillos monteras ferruginosas, muy silíceas y de espesor variable, tras las que aparecían los minerales cobrizos llegando a profundidades de 111 m en Cuchichón, 96 m en Pañoleta, 56 m en Silillos y 30 m en Higuereta, desde la base de la cobertera ferruginosa. Una vez explotados los criaderos secundarios cobrizos se explotaron los criaderos de pirita, con leyes de 46-49% S y del 0,4-0,5% Cu.

El tonelaje estimado (Pons et al., 1993) para la masa de Aznalcóllar es de un total de 90 Mt de sulfuros con leyes: 0,51% de Cu, 0,85% de Pb, 1,8% de Zn, 37 g/t de Ag y 0,48 g/t de Au.

A continuación se detallan las características de las masas explotadas, descritas por Pinedo Vara, 1935:

- Masa Cuchichón: es la más importante y se consideraba dividida en tres zonas Pañoleta, Cuchichón y Santiago. Las dos últimas se encuentran siguiendo una clásica alineación herciniana, en cuya parte Oeste queda la de Cuchichón y la otra en el extremo Este. La zona Pañoleta era un saliente hacia el Norte en los niveles superiores. La masa Santiago se explotó a través de un pozo del mismo nombre de 205 m de profundidad.

  El yacimiento de Cuchichón ha sido investigado por 3 sondeos de profundidades comprendidas entre los 200 y 500 m, de los cuales 1 no cortó mineral. El total de metros mineralizados atravesados por estos sondeos fue de 34,05 m., con leyes medias de 0,73% Cu, 0,59% Pb, 1,04% Zn y 25,83 g/t de Ag.

- Departamento de Silillos: en Silillos se engloban las mineralizaciones de Silillos y Filón Sur, que quedan entre los pozos San Guillermo y San Andrés. La extracción se hacía por los pozos San Andrés (73 m) y Arturo.

- Departamento de Higuereta: En el sector de Higuereta está la otra parte de la masa de Silillos y del filón Sur, el filón Norte y el filón Intermedio. La extracción se hacía a través del pozo Gustavo (101 m).

Inicialmente las masas minerales se explotaron a través de pozos; pozo Santiago en el caso de parte de Cuchichón, pozo San Guillermo y pozo San Andrés en el caso de Silillos y pozo Gustavo en Higuereta. La explotación a cielo abierto de la masa de sulfuros complejos de Aznalcóllar, que engloba las tres anteriores, se prolongó entre los años 1975-1996.

Depósito Los Frailes:

El depósito de Los Frailes, situado a 1 km al NE de la masa de Aznalcóllar, se encuentra en la misma posición estratigráfica, asociado a una estructura anticlinal cerrada de dirección E-O, atravesada por una falla inversa que afecta a materiales de composición riodacítica-dacítica. Presenta dirección E-O con buzamientos variables de 30-50º al Norte en el flanco normal. Tanto al Norte como Sur de estos materiales aparecen depósitos de hialoclástitas ácidas.

El depósito de Los Frailes, descubierto por APIRSA en 1973, estuvo en explotación a cielo abierto entre los años 1996-2001, sin finalizar la explotación de sus recursos.

El tonelaje estimado (1995) para Los Frailes es de 70 Mt de sulfuros con 0,34% de Cu, 2,25% de Pb, 3,92% de Zn y 62 g/t de Ag. La masa mineralizada tiene unos espesores de unos 60 m y se localiza a profundidades de 250-300 m. El depósito queda abierto en profundidad y lateralmente.

Boliden Apirsa, S.L. en su estudio Modelo de zonación de Cu, Pb, Zn y Ag en el yacimiento de sulfuros masivos polimetálicos “Los Frailes”. Su aplicación en la realización de un modelo bloques zonado. (Pons, J.M., Agmalm, G., Maestre, A.J.), destaca las siguientes conclusiones relacionadas con la mineralización del yacimiento de Los Frailes:

- Esfalerita y galena aparecen en bandas con continuidad lateral de varios metros, siendo un rasgo importante en el control de calidad de distribución de leyes en el yacimiento.
- El Cu se presenta de manera homogénea en el yacimiento, con la tetraedrita y la calcopirita como minerales más característicos.
- La relación Pb/Zn se mantiene con valores medios 0,6-0,7, y su índice de correlación estadística está en torno a 0,9.
- La relación Cu/Pb+Zn es inversa en todo el yacimiento, aumentando los valores de Cu cuando disminuyen los de Pb+Zn.
- Se han encontrado correlaciones estadísticas entre los elementos mayoritarios Zn y Pb y los elementos minoritarios Ag, Hg, Bi, Sb, Ti y As.

Depósito Caridad:

La mina Caridad se localiza a 1 km al N de Aznalcóllar, justo al norte del cabalgamiento que afecta al flanco norte del sinclinal de Aznalcóllar. Estratigráficamente se encuentra en la misma disposición que el yacimiento de Aznalcóllar, encajada entre pizarras negras y tufitas finas, situadas a techo de tobas del vulcanismo inicial ácido. La mineralización es estratiforme, con orientación N110º y buzamiento 35º N, con una longitud de 680 m y potencia de 8-12 m. La masa se encuentra cortada por fallas de dirección N145º-N130º.

Este yacimiento se explotó con minería de interior, desde mediados del siglo XIX hasta el año 1926, cuando SMMP puso fin a su actividad.

En total se estima que se extrajeron alrededor de 1 Mt, indicando unos recursos de 4 Mt. (Rubio, 1926), con unos contenidos de entre 2-2,5% Cu; 1,1% Pb, 1,45% Zn en el pozo Calderón y 7,08% Zn, 6,2% Pb en el pozo Dolores (Pinedo, 1963).

El yacimiento de Caridad ha sido investigado por 17 sondeos de profundidades comprendidas entre 90 y 500 m, de los cuales 2 no cortaron mineral. El total de metros mineralizados atravesados por estos sondeos fue de 396,2 m. con leyes medias: 0,27% Cu, 1% Pb, 1,73%Zn y 24,54 g/t Ag.

De los datos revisados se desprende que Caridad y Cuchichón son yacimientos de interés minero. Sin embargo, el volumen de información es escaso para realizar una evaluación de recursos de estos yacimientos, por lo cual no se estima oportuno incluirlo en las reservas valorables en la situación actual, hasta que no se disponga de la información consistente para tal fin.

Se considera conveniente la obtención de información complementaria a la ya existente para poder realizar una modelización 3D que permita evaluar los recursos de estos yacimientos. El programa de investigación prevé una campaña de 5 sondeos de exploración en los yacimientos de Aznalcollar, Caridad y Cuchichón para evaluar los recursos inferidos mediante su modelización 3D y según los resultados que se obtengan, se programaran nuevos sondeos que valoren de forma más consistente las reservas posibles en dicha área.

6.1. PARAGÉNESIS

La paragénesis mineral de los yacimientos de Aznalcóllar y Los Frailes está constituida por pirita, esfalerita, galena y calcopirita como minerales principales. Como minerales accesorios puede encontrarse plata, bismuto, melnicovita, arsenopirita, marcasita, cobre grises, bournonita, meneghinita, ilmenita, bornita, covellina y calcosina. Como minerales de ganga destacan el cuarzo y la clorita, calcita, siderita, sericita en menor proporción.

A continuación se detallan las características principales de los minerales de mena principales:

- Pirita (FeS_2): es el mineral más abundante, disminuyendo su proporción hacia los bordes. La pirita aparece en diferentes formas;
  - Pirita idiomorfa: con diferente tamaño de cristales, con crecimiento cristalino durante el metamorfismo con inclusiones rellenas de calcopirita, pirrotina o galena. La ganga asociada es cuarzo fibroso y clorita.
  - Pirita masiva: muestra una textura zonada con bordes de zonación asociados a otro mineral, generalmente galena.
  - Pirita brechoide: asociada a zonas de fracturas.
  - Pirita geliforme: pirita primaria.
  - Pirita nodular: con forma de esférulos o framboideos.
- Esfalerita (ZnS): es el segundo mineral en importancia. La textura más típica con la que se presenta es coloidal, formando una pátina alrededor de la pirita y rellenando huecos.

- Calcopirita ($CuFeS_2$): se encuentra presente en todo el yacimiento, con variaciones en su proporción. Puede aparecer con formas porosas, coloidales, en inclusiones de pirita, en mosaico y en texturas de evolución.
- Galena (PbS): se presenta en masas alotrimorfas o rellenando huecos. Suele aparecer asociada a la esfalerita, presentando sus mismas texturas.
- Plata nativa (Ag): se presenta como inclusiones dentro de la galena y en los huecos dejados por la pirita.
- Bismuto nativo (Bi): aparece incluido en la galena.
- Melnicovita (pirita coloforme S_2Fe): es un sulfuro de hierro inestable que evoluciona constantemente a marcasita, pirita o una asociación de ambos.
- Arsenopirita (FeAsS): aparece como diseminado y en proporciones muy variables. Está asociado a la pirita. Las grietas que presenta se suelen rellenar de galena, calcopirita y minerales ganga.
- Marcasita (S_2Fe): se presenta como producto de descomposición de la pirrotina, singenéticamente con la pirita, recristalizada con la pirita y asociada a la ganga.
- Cobres grises (Cu): se incluyen todas las especies minerales químicamente heterogéneas, con contenido en cobre. Suelen mostrarse como inclusiones en la pirita, rellenando huecos dejados por la pirita, cementando fracturas, como películas intergranulares…
- Bournounita ($PbCuSbS_3$): asociado siempre a la galena, cobres grises, meneghinita.
- Meneghinita ($Pb_{13}CuSb_7S_{24}$): rellenando huecos de pirita o cementando fracturas.
- Ilmenita (TiO_2Fe): asociado a la ganga con morfología alotriomórfica, a veces reemplazado por goetita.
- Pirrotina (Fe1-xS): se presenta de manera constante aunque en proporciones pequeñas, asociado a la pirita.
- Rutilo (TiO_2): se presenta en dos texturas; como agujas y como granos redondeados. Es un mineral accesorio aunque de presencia constante.

6.2. ALTERACIONES HIDROTERMALES

Tanto el yacimiento de Aznalcóllar como el de Los Frailes se encuentran asociados a las pizarras negras del primer episodio de vulcanismo ácido, las cuales aportan al paso de los fluidos hidrotermales por los canales de alimentación (stockwork) el azufre necesario para la precipitación de sulfuros, en condiciones de restricción de oxígeno.

Debajo de las masas de sulfuros, se encontraba los cuerpos de stockwork, zona de ascenso de los fluidos hidrotermales. Se observa que el ascenso de fluidos tuvo lugar en tres fases diferentes, mostrando una zonación en los materiales según las alteraciones sufridas.

- 1ª Fase de alteración hidrotermal: silicificación.
- 2ª Fase de alteración hidrotermal: seritización, silicificación y piritización.

- 3ª Fase de alteración hidrotermal: cloritización. Es la más intensa, aunque la menos extensa. Esta última fase aporta un enriquecimiento en Cu, y otros metales minoritarios: Co, As, Bi.

6.3. MODELO GEOLÓGICO DE LOS FRAILES

El modelo geológico actual se ha realizado a partir de la información existente de sondeos que datan de los años 1987-1998, realizados por Boliden Apirsa S.L.

El depósito de Los Frailes, situado a 1 km al NE de la mina de Aznalcóllar, en la Figura 5-7, presenta una zona mineralizada de hasta 90 m de potencia, entre los 250-350 m de profundidad. El yacimiento presenta zonas mineralizadas de baja y alta ley en Pb, Zn y Cu. La masa de pirita buza entre 30-50º, suavizándose el buzamiento en profundidad, donde se engrosa. Las mineralizaciones más enriquecidas se encuentran asociadas a la masa de pirita del bloque superior. La longitud conocida de la masa de pirita es superior a los 800 m.

6.3.1. Estratigrafía

Todo el yacimiento se encuentra afectado por fallas y una esquistosidad muy penetrativa, lo cual dificulta la identificación de las texturas primarias.

Los materiales del Complejo Vulcano-Sedimentario que aflora en esta área minera se encuentran cabalgados al Norte por materiales del Grupo PQ de edad devónica, desapareciendo al Sur bajo materiales miocenos, que van ganando potencia en esa dirección.

La parte menos conocida se corresponde con el bloque inferior del yacimiento, ya que pocos sondeos la han intersectado. Sin embargo se puede afirmar que la parte superior del bloque inferior se compone de pizarras negras y areniscas con intercalaciones de riolitas y dacitas, ligeramente porfídicas con una potencia de 20-30 m. Por debajo las rocas son volcánicas y progresivamente más porfídicas, con secciones similares a la dacita del bloque superior.

La secuencia del yacimiento de muro a techo, es la siguiente:

- Secuencia del bloque inferior: riolitas y dacitas ligeramente porfídicas con frecuentes intercalaciones de pizarras negras y areniscas de grano fino hacia el techo. Intersectado un máximo de 70 m en los sondeos.
- Mineralización: se han definido dos partes, una superior de sulfuros masivos y una inferior de reemplazamiento y de mineralización en venas.
- Dacita porfídica: unidad masiva de dacita porfídica de grano grueso, ocasionalmente brechificada. Potencia variable entre 50 y 120 m. La esquistosidad puede variar su textura localmente.
- Brechas riolíticas: paquete de 90 a 200 m de espesor de riolitas con diferentes texturas: brecha monomíctica y polimíctica, riolita coherente y brecha riolítica por sobreenfriamiento.
- Pizarras negras con lentejones de riolitas.
- Pizarras y areniscas en secuencia turbidítica.

Existen algunos niveles guías de referencia; unos pocos metros de limolitas negras y verdes con lentes hematíticas en el contacto entre la dacita porfídica y las brechas riolíticas y un nivel de pizarras negras, areniscas y conglomerados dentro de la unidad de brechas riolíticas, así como algunos metros de limolitas rojas y verdes en el bloque inferior.

6.3.2. Estructura

La estructura principal en el yacimiento consiste en una serie de pliegues isoclinales con plano axial buzando moderadamente hacia el norte, igual que la esquistosidad principal S1. Estos pliegues se encuentran truncados por zonas de cizalla y fractura buzando hacia el norte. Los pliegues tienen una longitud de onda de 500-800 m en dirección N-S y son asimétricos con un flanco normal largo buzando suavemente y un flanco inverso de buzamiento pronunciado, ambos hacia el norte. (Figura 6-3).

Localmente aparecen pliegues de segunda generación con presencia de clivaje de fracturación y kink-bands.

El principal pliegue de segunda generación observado es un sinclinal abierto, definido por la curvatura de la masa de sulfuros a los -100 m. Las fábricas parecen mostrar un plano axial buzando de moderada a fuertemente hacia el sur.

Al igual que ocurre regionalmente, en Los Frailes el flanco corto del anticlinal se encuentra afectado por un cabalgamiento dúctil, desplazando el flanco normal del anticlinal en el que se desarrolla el depósito hacia el sur.

Los sulfuros masivos que se han cortado en Los Frailes hasta los -120 m de profundidad se ha interpretado como la charnela de un anticlinal apretado, isoclinal, de acuerdo a la repetición de la estratigrafía a ambos lados del cuerpo, mientras que a profundidades mayores de -200 m se puede concluir que los sulfuros masivos tiene polaridad normal hacia el norte, correspondiente al flanco normal del anticlinal.

Los cabalgamientos y las fallas inversas que aparecen en el área de Los Frailes pertenecen a la fase de deformación F-1, en la subfase que da lugar a la formación de escamas por laminación de los flancos cortos de los pliegues (P1). La estratificación está frecuentemente enmascarada. Las superficies y los planos mejor identificados en muchos casos son las superficies de esquistosidad S1. Los cabalgamientos y fallas inversas, con dirección aproximada E-O muestran buzamientos que oscilan entre 30-40º, oscilando entre los 20 y 70º. Los planos de falla coinciden en muchos casos con la esquistosidad S1 (Pons et al, 1993).

Teniendo en cuenta el desarrollo de las zonas de cizalla y planos milonitizados no es posible pensar en desplazamientos superiores a la centena de metros para las fallas inversas asociadas a la mineralización. Sin embrago, con el mismo criterio los desplazamientos asociados a los cabalgamientos fuera de fase en los alrededores de Los Frailes serían de importancia. Las fallas inversas producen engrosamientos en los niveles mineralizados, sin llegar a producir el apilamiento de varias repeticiones, ni de situar niveles de stockwork por encima de los sulfuros masivos (Pons et al, 1993).

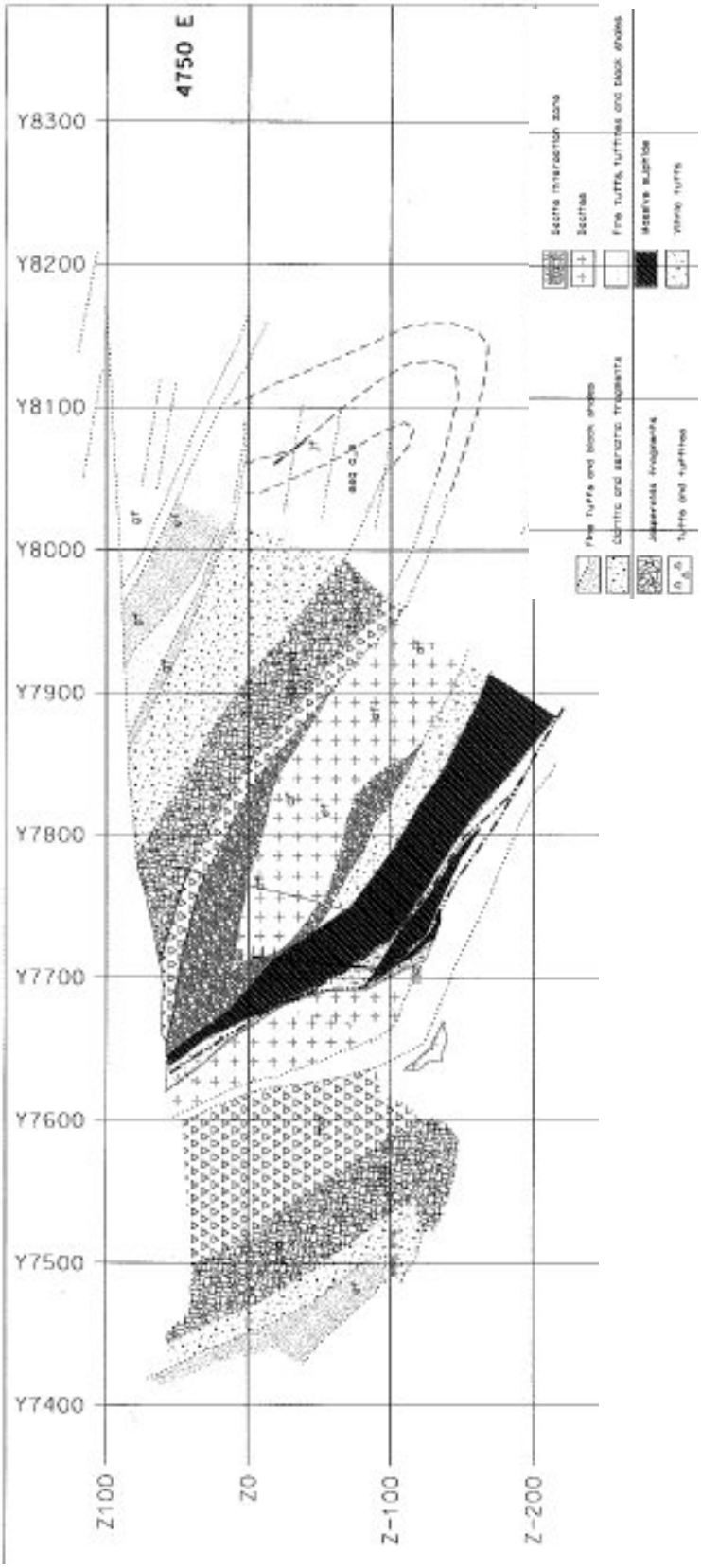


Figura 6-3 – Perfil geológico (4750) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990)

Se han definido tres fallas principales (S.J.Allen, 1997), que aparecen en el perfil estructural (Figura 5.9), correlacionables en diferentes secciones (Figura 6-4):

- TZ-10: zona de cabalgamiento de dirección ESE-OSO, buzando entre 25 y 30º norte, al menos hasta una profundidad de 100 m. Su posición y desarrollo hacia el este, oeste y en profundidad es incierto. Tiene un relleno de fractura delgado.
- A: plano con relleno de 0,5-1 m, principalmente en el bloque inferior con buzamiento 45º norte.
- MF: relleno de 1 a 5 m, con fracturación asociada en el cuerpo mineral y buzamiento de 60º norte.
- TZ5: cabalgamiento con dirección 55º/025º identificado al SE de la corta minera. Afecta a esquistos cloríticos y sericíticos.

Por otro lado se observan dos familias de esquistosidades, la primera S1 más penetrativa, presenta buzamientos de 40-70º norte, mientras que la segunda S2, muestra planos más espaciados y buzamientos más suaves, 25-35º norte. La falla TZ-10 y otras estructuras menores son paralelas a esta esquistosidad.

Se puede concluir que el cuerpo de sulfuros masivos de Los Frailes aparece asociado a un anticlinal cizallado, isoclinal de primera generación que ha sido cortado por dos o tres generaciones de fallas. El pliegue de segunda generación asociado a la masa de sulfuros es interpretado como un pliegue de propagación de falla.

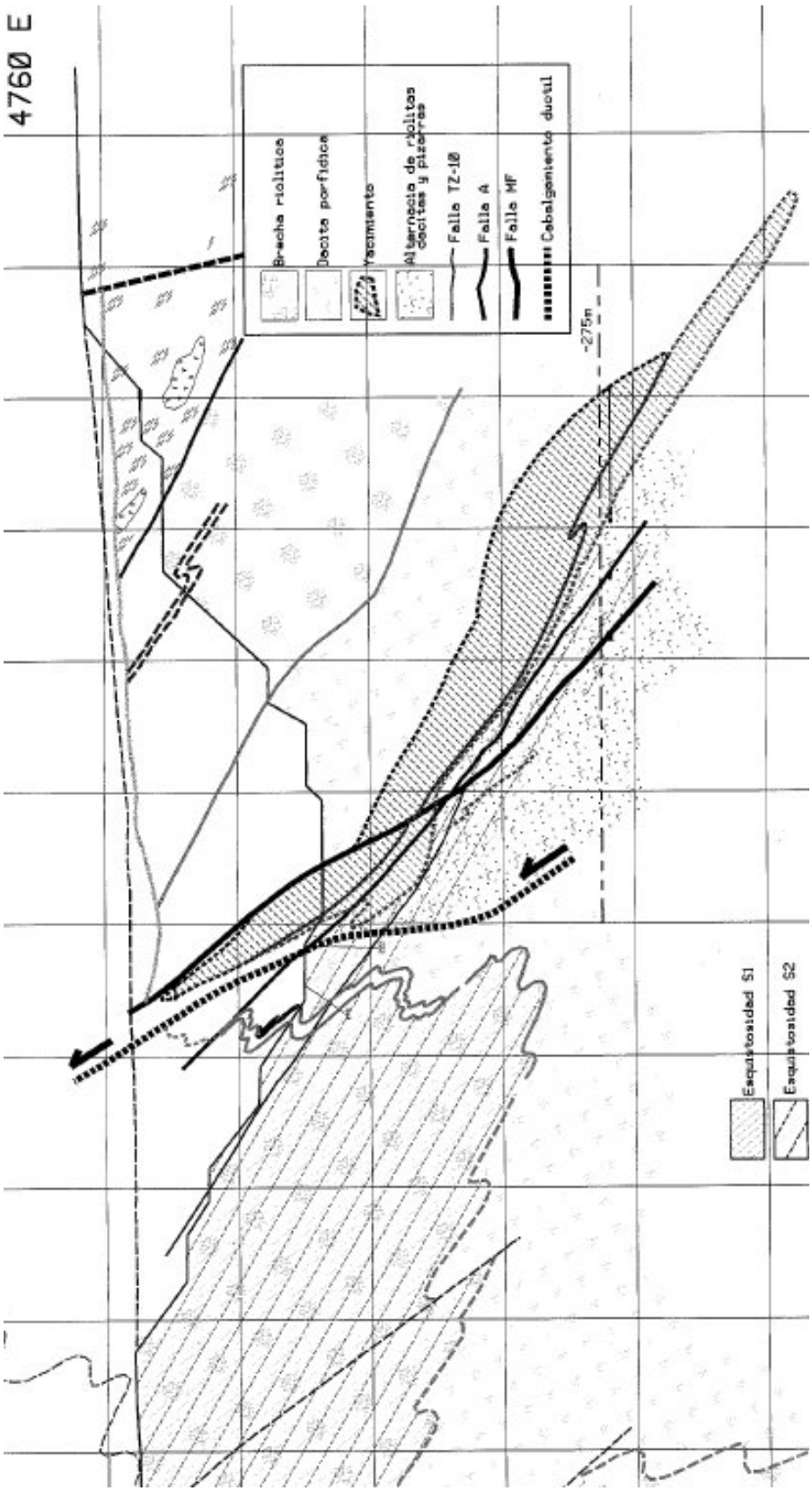


Figura 6-4 – Perfil estructural (4760) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990)

6.3.3. Mineralización

El yacimiento de los Frailes presenta dos tipo de mineralizaciones; sulfuros masivos y sulfuros diseminados, conocidos localmente como “piroclastos”, cuyo origen se determina en 1993 (Pons et al) como de tipo stockwork. Esta mineralización tiene poca importancia desde el punto de vista económico, hasta el momento.

Al igual que el resto de las mineralizaciones de la zona, se ubican en el mismo nivel estratigráfico, localizado a techo de las tobas vítreas y asociado a niveles tufíticos fuertemente cloritizados y pizarras negras con intercalación de niveles de piritas vulcano-sedimentarias de potencias centimétricas (Pons et al, 1993).

El mineral predominante es la pirita, y en menor proporción la esfalerita, galena, tetraedrita, arsenopirita, bournonita, casiterita, etc. La esfalerita, la galena y la tetraedrita aparecen asociadas en bandas sedimentarias con continuidad de varios metros. Esta continuidad es característica en el yacimiento y sólo se ve alterada por la presencia de fallas normales de dirección N-S y una serie de fallas inversas de dirección E-O, con superposición de diferentes escamas de sulfuros masivos.

La plata aparece asociada a la tetraedrita y la galena, pudiendo correlacionarse estadísticamente con el zinc y el plomo.

La calcopirita se encuentra asociada fundamentalmente a la mineralización Pirítica y la tetraedrita, a la mineralización bandeada. El cobre aparece en concentraciones muy homogéneas dentro del yacimiento, con valores de 0,2-0,4% Cu, pudiendo aparecer localmente valores de 0,8-2%Cu, en zonas de muro próximas al stockwork cobrizo.

El stockwork sólo ha sido cortado a poca profundidad en los sondeos mecánicos. Su composición se encuentra directamente relacionada con la roca encajante que lo envuelve.

7. LABORES DE INVESTIGACIÓN PREVISTAS

El programa constará de los siguientes trabajos:

7.1. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Esta etapa tendrá como objetivo la recopilación y análisis de toda la información geológico-minera disponible acerca de las sustancias y zonas a investigar. Para ello, al menos, se consultarán los siguientes documentos:

- Información procedente de los estudios específicos en la zona, correspondientes a las prospecciones geofísicas y a las diferentes campañas de sondeos realizadas en la reserva de Aznalcóllar.
- Planos geológicos a escala 1:50.000 (MAGNA) y 1:25.000 (Junta de Andalucía) del ámbito del proyecto, así como los de mayor detalle que puedan encontrarse.
- Fotografías aéreas, ortofotografía, mapas digitales, imágenes de satélite, etc.
- Archivos y biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España.
- Estudios locales, tesis doctorales, datos de minas próximas, etc., de los que se pueda disponer.
- Información disponible en otros organismos públicos y privados acerca de las antiguas explotaciones de la zona.
- Cualquier otra documentación relacionada con el tema y a la que se pueda tener acceso.

7.2. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA

Para obtener una base topográfica válida para todos los trabajos, se propone realizar un vuelo LIDAR sobre la zona estudio con una densidad media de 2 puntos/m^2 con el sensor ALS60 de Leica.

Se llevará a cabo un trabajo de apoyo de campo con instrumental topográfico con el objetivo de identificar, en términos de coordenadas X, Y, Z, varios puntos sobre el terreno. Se instalarán 5 vértices topográficos en zonas estables y que permanecerán fijos durante toda la vida del proyecto, que servirán tanto para los trabajos de investigación contemplados en este programa así como para futuros trabajos de explotación.

Estos 5 puntos identificados enlazarán con la Red Geodésica Nacional y servirán para dotar de coordenadas al resto de elementos presentes en cada par estereoscópico.

Mediante la restitución de los fotogramas obtenidos se formarán pares estereoscópicos precisos a partir de los cuales se elaborará un mapa topográfico de detalle que enlazará con la Red Geodésica Nacional.

7.3. ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL

Se realizará un Estudio de Base Ambiental por una Empresa Colaboradora de la Administración (ECA).

El Estudio Ambiental de Base se realizará con objeto de identificar e interpretar el estado actual en que se encuentra la Reserva de Aznalcóllar, con sus factores y temporalidades que lo definen. Su ejecución requiere de la participación de un equipo conformado por diversas disciplinas. Otorga a diferentes grupos de decisión, una herramienta de acción con carácter preventivo e integrador.

Los objetivos del estudio serán los siguientes:

- Evaluar las condiciones de base de los factores, tanto naturales como socioeconómicos, que conforman el área en estudio.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente tanto a nivel nacional como autonómico.
- Conformar una base de información para los estudios ambientales.
- Identificar y describir los impactos ambientales generados por actividades anteriores a la realización del EAB.
- Recomendar medidas necesarias para evitar o mitigar los impactos que pudieran producirse en el desarrollo de actividades futuras.
- Definir Unidades de Análisis, estructuradas en lo que se denomina Unidades de Paisaje (UP), que conforman la base para el análisis de sensibilidad ambiental
- Elaborar mapas temáticos de factores que abarquen la integralidad del área.

Se recogerán 5 muestras de suelo por km^2 en toda el área de la Reserva. Un total de 110 muestras.

Se recogerán 28 muestras de agua, 20 muestras correspondientes a aguas subterráneas y 8 muestras de aguas superficiales, en el rio Crispinejo y en las inmediaciones de las cortas.

Además se recogerán muestras de vegetación de las especies de plantas principales. Se estima podría haber alrededor de 6 especies de plantas principales en la zona de estudio. Se recogerán 20 muestras por especie, resultando un total de 120 muestras de vegetación a analizar.

Todos estos parámetros estarán condicionados y serán reajustados cuantitativamente según los resultados cualitativos que se obtengan.

7.4. PROSPECCIÓN GEOLÓGICA

La prospección geológica engloba todo el conjunto de técnicas que permiten el estudio de un yacimiento.

7.4.1. Prospección directa

7.4.1.1. Cartografía de detalle

Con la información reunida y el apoyo de la base topográfica, se procederá a una exploración de campo para el estudio de todos los afloramientos presentes en la zona de trabajo, que englobará la totalidad de la reserva con el fin de delimitar geológicamente las subzonas de interés. Estas quedarán plasmadas en una cartografía de detalle escala 1:5.000 del entorno de las masas en la que se reflejarán, además, los rasgos identificativos de las unidades litológicas existentes: litologías, tipos de contactos, fracturas, datos de la estructura, recubrimientos, etc.

Conviene puntualizar la existencia de una cartografía de detalle en la zona de la reserva y que ésta es poco reveladora de la estructura del yacimiento en profundidad, debido a que gran parte de la zona se encuentra cubierta por escombreras o por materiales del Mioceno. No obstante ésta cartografía será convenientemente revisada y ampliada en función de la información obtenida durante los trabajos de investigación.

En la realización de esta cartografía se prestará especial atención a la toma de datos de carácter estructural y a la diferenciación de las distintas facies volcánicas. Procurando obtener toda la información posible de los afloramientos, dado el extenso recubrimiento natural y artificial existente en toda la superficie de la Reserva.

Apoyarán a esta cartografía estudios petrográficos en laboratorio.

El resto de zonas dentro de la Reserva de Aznalcóllar sin afloramientos paleozoicos serán cartografiadas a escala 1:10.000.

7.4.2. Prospección indirecta

Los métodos de prospección indirecta son los que se describen en los apartados siguientes, correspondientes a teledetección, prospección geoquímica y prospección geofísica.

7.5. TELEDETECCIÓN

La teledetección comprende un amplio conjunto de técnicas para el estudio de materiales utilizando la radiación electromagnética. Estas técnicas permiten cartografiar materiales en superficie mediante el análisis de los patrones espectrales asociados a cada uno de los píxeles de una imagen.

Los estudios de teledetección son generalmente utilizados para la caracterización de zonas de alteración hidrotermal o para la determinación de lineamientos.

Una de las principales limitaciones en las exploraciones mediante teledetección, es la presencia de cubierta vegetal densa, además de la capacidad de penetración de la radiación electromagnética en el sustrato geológico, que queda limitada a una fina capa superficial que no suele ir más allá de los primeros milímetros o centímetros.

En el caso de este estudio, las técnicas de teledetección se emplearán para identificar posibles lineamientos que pudieran tener relación con posibles focos de mineralización. El estudio tendrá por tanto carácter regional y no se limitará a la superficie de la Reserva. La caracterización de zonas de alteración hidrotermal no resulta de interés debido a que el entorno del yacimiento se encuentra cubierto bien por escombreras bien por el Mioceno.

Para el estudio de lineamientos es necesario un encuadre regional debido a la precisión de la instrumentación utilizada. Por este motivo el área estudiada mediante teledetección será mayor que el área de estudio, equivalente al menos a dos hojas de la cartografía MAGNA 1:50.000.

Se adquirirá la imagen de teledetección más reciente y se realizará una interpretación de la misma en el entorno regional de la zona de estudio.

7.6. PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA

El método geoquímico es un método indirecto de prospección y se ocupa de la determinación de la distribución y abundancia de ciertos elementos como indicadores de la presencia de un depósito mineral explotable. Una anomalía geoquímica se refiere a una variación en la abundancia de un elemento en comparación a su abundancia normal en un área definida y puede ser relacionada o no con un depósito mineral.

El sedimento, como muestra que representa una mezcla y un promedio de los materiales superficiales de una cuenca de drenaje, es susceptible de suministrar una información geoquímica de validez para hacer una estimación de los contenidos geoquímicos en los suelos erosionados en dicha cuenca. La información geoquímica multielemental regional puede, por ello, proporcionar una definición de los fondos geoquímicos y de su variabilidad.

El método de prospección geoquímica recomendado viene condicionado por las características estructurales de la zona de estudio. La alta alteración y la presencia de un potente recubrimiento de Mioceno en gran parte del área de la Reserva no hacen recomendable la utilización de técnicas convencionales de prospección geoquímica.

7.6.1. Técnica del Ion Metálico Móvil (MMI)

En los últimos 6-7 años se han desarrollado las técnicas de MMI (Mobile Metal Ions) que se basan en el ascenso en la vertical de mineralizaciones profundas de un halo de dispersión muy sutil, con concentraciones metálicas bajísimas (Figura 7-2). La detección de éstas, que se concentran en determinadas fases minerales, requiere estudios de especiación previos, separaciones de fases y análisis muy específicos.

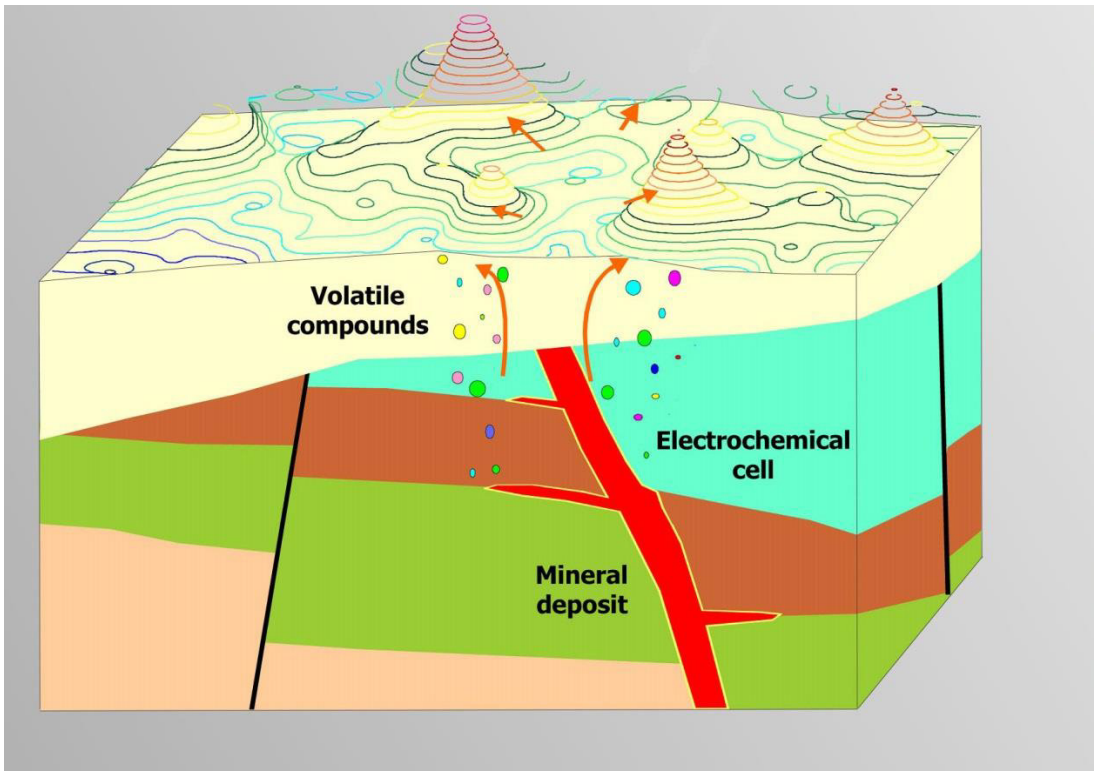


Figura 7-1 – Esquema de funcionamiento de ion metálico móvil. (Fuente: ActLabs)

La técnica de iones metálicos móviles (MMI) utiliza un enfoque único en el análisis de metales en suelos y de otros materiales relacionados. Los elementos buscados se extraen utilizando soluciones muy diluidas de compuestos orgánicos e inorgánicos en lugar de las agresivas absorciones convencionales basadas en ácidos o cianuro. Esta metodología permite contrastar pequeñas diferencias de contenidos en ciertos elementos químicos que indican posibles anomalías geoquímicas imposibles de detectar con los análisis tradicionales (ICP + INAA) de muestras de suelos o sedimentos de arroyo, ya que los materiales no afloran en superficie.

La técnica MMI mide los iones de metal que ascienden desde la mineralización hasta los materiales de superficie no consolidados como lodos, cultivos, arenas, etc. Estos iones de metal móviles se liberan de los materiales mineralizados y se desplazan ascensionalmente hasta la superficie. Utilizando cuidadosas estrategias de muestreo, sofisticados ligandos químicos e instrumentación ultrasensible, es posible medir esos iones. Tras su interpretación, los datos MMI pueden indicar la existencia de zonas anómalas.

Son muchas las ventajas que ofrece la utilización de la tecnología MMI para la geoquímica del suelo:

- Escasas anomalías falsas
- Anomalías centradas y bien definidas
- Excelente repetibilidad
- Definición de zonas y asociaciones de metal
- Detección de mineralizaciones enterradas a gran profundidad

- Valores de fondo bajos (poco ruido)

- Límites de detección bajos

Las soluciones MMI contienen ligandos fuertes, que separan y retienen iones de metal que estaban débilmente ligados a partículas del suelo por fuerzas atómicas débiles en soluciones acuosas. Este proceso de extracción no disuelve las formas de ligazón de los iones de metal. Así los iones de metal de las soluciones MMI son el componente químicamente activo o "móvil" de la muestra. Dado que estos complejos móviles de ligazón débil se hallan en muy bajas concentraciones, la medición se realiza mediante ICP-MS convencional y mediante la última evolución de esta tecnología, ICP-MS Dynamic Reaction Cell™ (DRC II™). Esto permite obtener límites de detección muy bajos.

La tecnología MMI utiliza extractantes patentados. "MMI-M" es un nuevo disolvente simple multielemento que ahora ofrece la posibilidad de medir la concentración de una amplia selección de elementos móviles. Con MMI-M, se crean paquetes propios individuales multielemento, utilizando algunos o todos los elementos de materias primas, elementos litológicos o elementos trazadores.

7.6.1.1. Técnica MMI en el yacimiento de Las Cruces

En Abril de 2007 se publicó un estudio realizado por el IGME de investigación de técnicas geoquímicas y sus aplicaciones en la zona de Las Cruces (Sevilla). Una de las técnicas investigadas fue precisamente la técnica MMI.

Con este estudio se pretendía conocer las técnicas de estudio de mineralizaciones profundas analizando por lixiviación enzimática muestras de suelos superficiales, contrastando pequeñas diferencias de contenidos en elementos químicos indicadores de posibles anomalías geoquímicas imposibles de detectar con los análisis tradicionales (ICP + INAA) de muestras de suelos o sedimentos de arroyo.

Las muestras recogidas se tamizaron a diferentes fracciones granulométricas para decidir la granulometría que permitía obtener la mejor representación de los contenidos en elementos químicos. Se tamizaron 19 muestras con las siguientes fracciones: <250, 250-177, 177-125, 125-63, >63 micras. Se observó que la representación más equilibrada de la muestra se obtenía entre 63 y 177 micras y se decidió tamizar a 177 micras que, aun siendo una fracción bastante fina, tiene valores suficientemente altos para la interpretación geoquímica. Los resultados de los análisis de algunos de los elementos químicos analizados para distintas granulometrías se muestran en la Figura 7-2, Figura 7-3 y Figura 7-4.

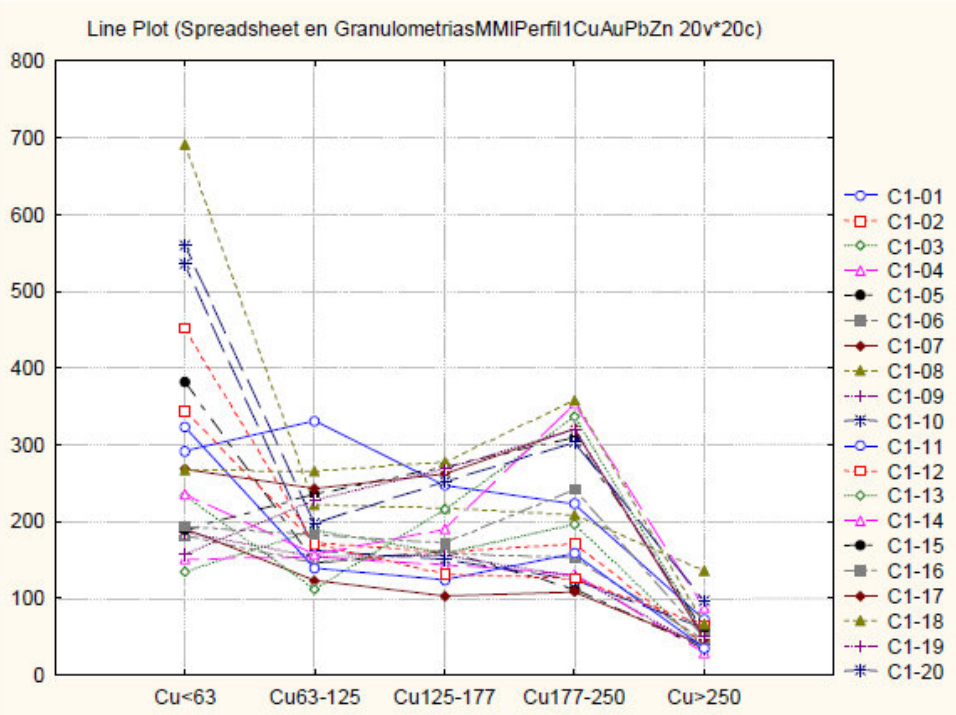


Figura 7-2 – Contenidos en Cu analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME)

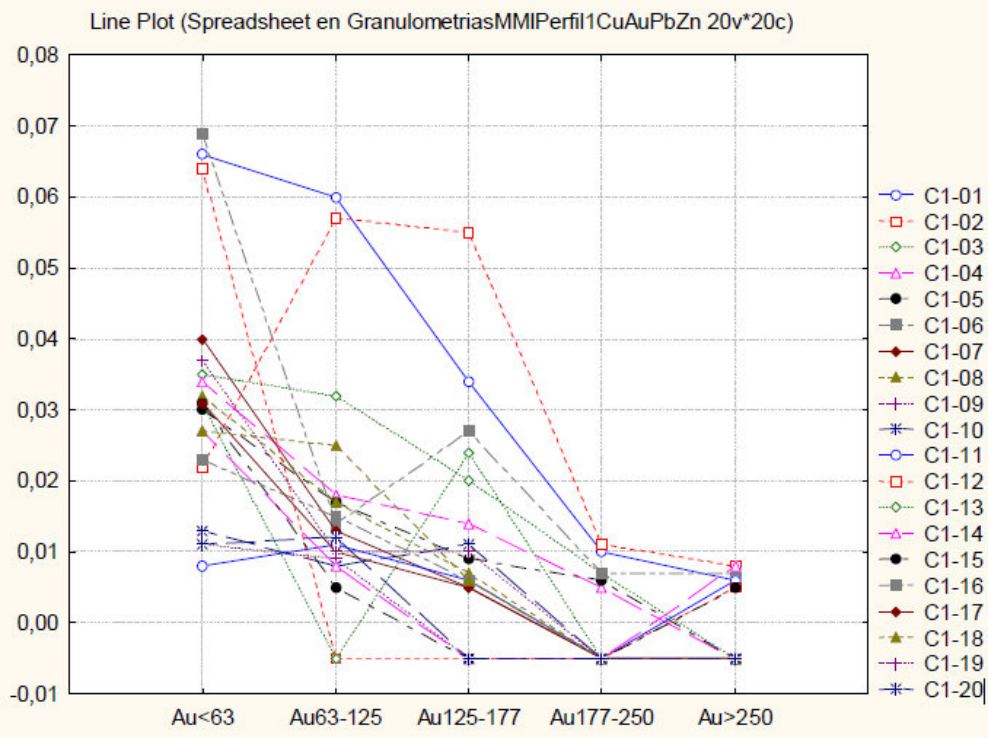


Figura 7-3 – Contenidos en Au analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME).

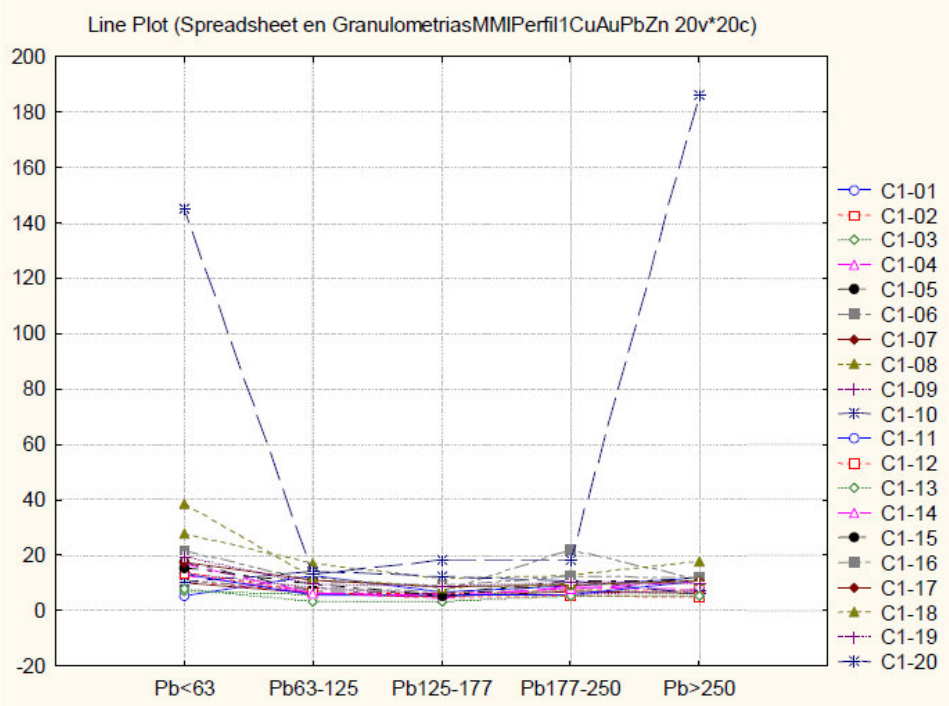


Figura 7-4 – Contenidos en Pb analizado por lixiviación enzimática para diversas granulometrías. (Fuente: IGME).

Los resultados de los análisis por lixiviación enzimática de las muestras se representaron en mapas cartográficos. La Figura 7-5, Figura 7-6 y Figura 7-7, representan las distribuciones de valores por krigeage de Cu, Au y Pb analizados.

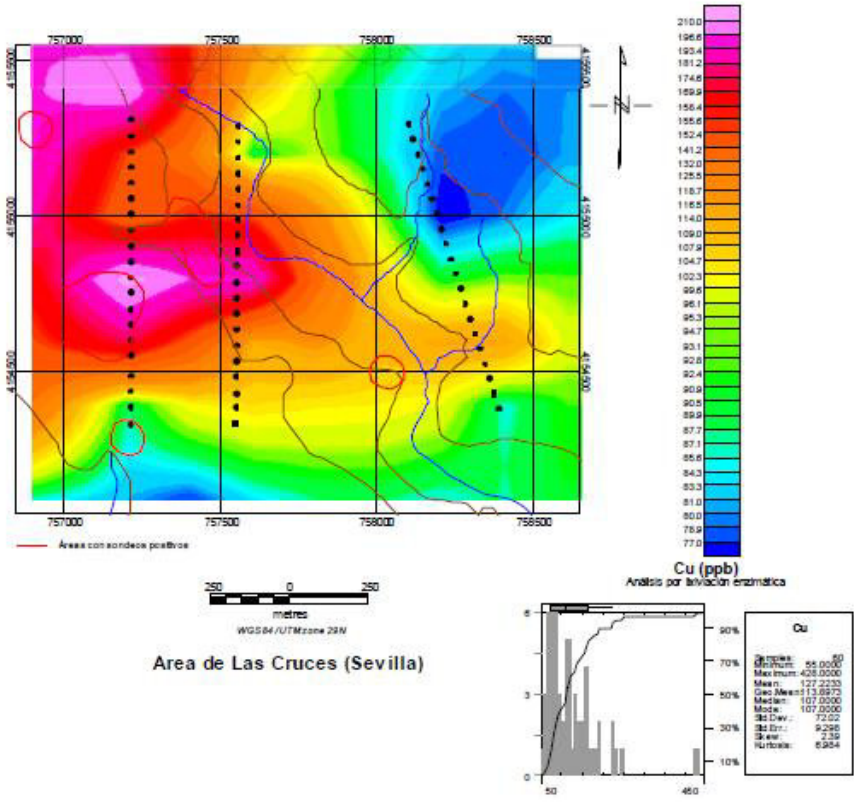


Figura 7-5 – Mapa de contornos de Cu analizado por lixiviación enzimática. (Fuente :IGME).

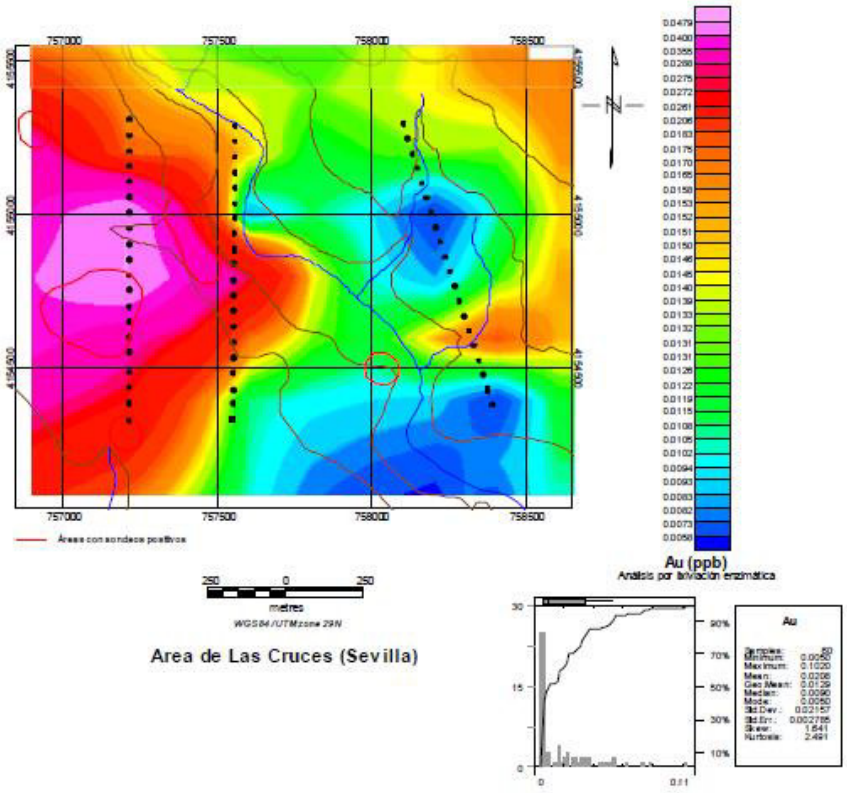


Figura 7-6 – Mapa de contornos de Au analizado por lixiviación enzimática. (Fuente: IGME).

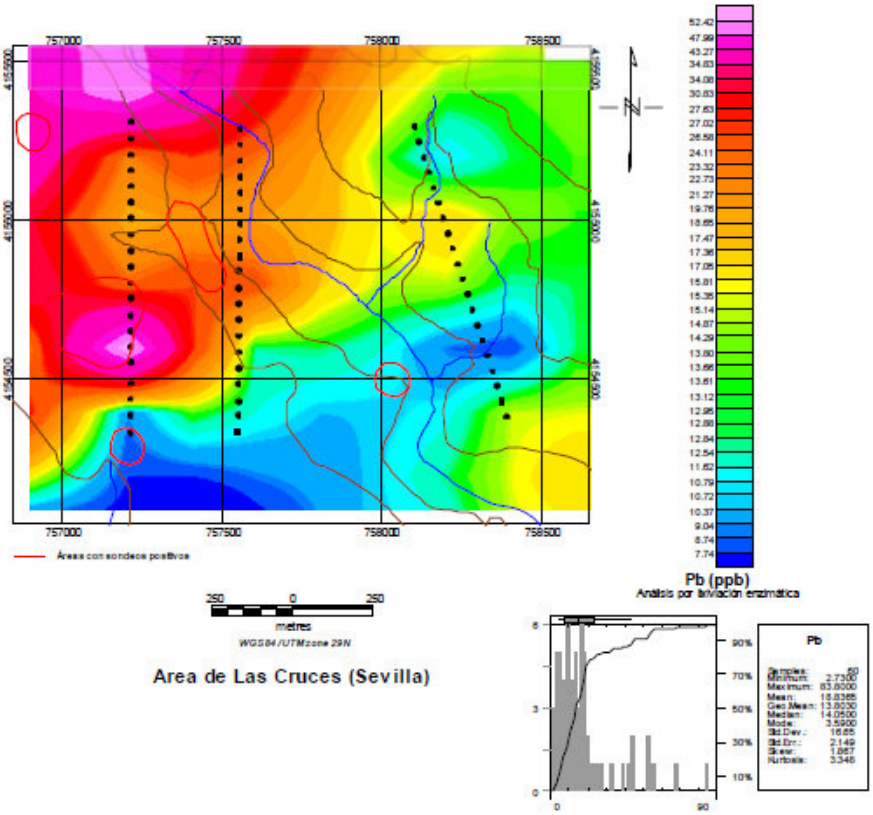


Figura 7-7 – Mapa de contornos de Pb analizado por lixiviación enzimática. (Fuente. IGME.)

La elección de la zona de Las Cruces para realizar este estudio del Ion Metálico Móvil se hizo en base a la certeza de la existencia de un yacimiento de sulfuros masivos de Cu listo para ser explotado por la empresa Cobre Las Cruces S.A.

Las conclusiones del estudio señalaron contrastes bastante elevados en los elementos de sulfuros masivos en contra de los análisis convencionales de suelos: Zn (44 contra 2), Pb (21 contra 3), Cd (22 contra 2) y Cu (6 contra 4) lo que implicaría que la geoquímica convencional con análisis por ICP+INAA no destacaría ninguna anomalía en el área de estudio.

7.6.1.2. Metodología en la Reserva de Aznalcóllar

La investigación con la técnica del Ion metálico móvil (MMI) se realizará únicamente en la zona sur de la Reserva de Aznalcóllar.

Se prevé la realización de 4 perfiles de dirección N-S, de 2.000 m de longitud cada uno, es decir, 8.000 m de longitud total de muestreo geoquímico. Se recogerán muestras cada 50 m, 40 muestras por perfil, resultando un total de 160 muestras. El número de perfiles o longitud de los mismos podrá variar en función de los resultados del estudio gravimétrico que se describe en el siguiente apartado, “Prospección geofísica”.

Las muestras se tomarán sobre suelos secos (sin lluvia previa de al menos 48 horas) y no contaminados (sin presencia de residuos de escombrera o material similar). Se recolectarán 2 kg por muestra de suelo, a una profundidad entre 5-20 cm. (Figura 7-8)



Figura 7-8 – Toma de muestra de suelo para análisis MMI. (Fuente. SGS).

Para el análisis de las muestras se requiere un secado y tamizado a fin de homogeneizar el tamaño de grano. Utilizando como referencia los resultados del estudio realizado en 2003 en Las Cruces (Sevilla), las muestras se tamizarán a 177 micras.

Las muestras, tras el tamizado, se lixiviarán en una matriz enzimática que contiene una solución oxidada de glucosa a 30ºC durante una hora. Durante la lixiviación, la enzima reacciona con el compuesto amorfo de MnO_2 disolviéndolo. Los metales forman complejos con el ácido glucónico presente. Las soluciones resultantes se analizan en un Perkin Elmer ELAND 6000, 6100 o 9000 ICP/MS.

Se efectuará la estadística elemental de los resultados de los análisis por lixiviación enzimática de las 160 muestras tratadas, con los cálculos de máximo, media, mediana, desviación estándar más cálculo del valor de fondo con el histograma y el contraste (valor máximo / valor de fondo).

Para la representación cartográfica de los resultados se realizarán mallas por krigeaje para obtener mapas de contornos de cada elemento analizado.

7.7. CAMPAÑA DE SONDEOS MECÁNICOS CON RECUPERACIÓN DE TESTIGO

7.7.1. Sondeos a testigo continuo

Como parte de la investigación prevista para la Reserva de Aznalcóllar, se realizará una campaña de sondeos mecánicos con recuperación de testigo de tipo wireline (Figura 7-9). Este tipo de sondeos proporciona muestras más fieles de los materiales in situ que los sondeos a destrucción, obteniéndose una columna constituida por las litologías que atraviesa el sondeo, pudiendo extraer muestras más adecuadas para posteriores estudios petrográficos, análisis químicos y ensayos geotécnicos y mineralúrgicos.



Figura 7-9 – Maquinaria de perforación. (Fuente. INSERSA).

En la investigación mediante sondeos con recuperación de testigo, el objetivo final es la caracterización de un volumen de roca representativo dentro de un área seleccionada, por lo que la investigación se plantea en varias etapas de manera que progresivamente se vaya profundizando en el conocimiento deseado.

Se prevé realizar 59 sondeos de investigación más 1 sondeo de condenación con profundidades variables entre 200 a 600 m de profundidad con recuperación de testigo continuo de tipo wireline. El diámetro de perforación será el denominado PQ hasta que la calidad de la roca requiera la reducción del diámetro, momento en el que se perforará con HQ. En casos excepcionales se podría reducir el diámetro de la perforación a NQ. En todos los sondeos se realizará testificación geológica y geotécnica.

Se prevé también la realización de una campaña de 4 sondeos geotécnicos para la caracterización de los materiales que atraviese la rampa principal en su desarrollo. Estos 4 sondeos geotécnicos se realizarán en la zona de emboquille, y serán del orden de 30-80 m de profundidad.

Por último, se realizarán 5 sondeos hidrogeológicos para seguimiento y control de aguas subterráneas de 300 m de profundidad y diámetro de perforación 300 mm.

Los objetivos de las diferentes campañas de sondeos serán los siguientes:

- Campaña de 10 sondeos gemelos en la corta Los Frailes: De cara a la validación de los datos obtenidos de diversas campaña realizadas entre los años 1987 y 1998 en el yacimiento Los Frailes. Se plantea la ejecución de 10 sondeos gemelos con

recuperación de testigo en los mismos emplazamientos que los sondeos históricos. La Tabla 7.1 muestra las coordenadas, inclinación y profundidad de estos sondeos.

- Campaña de 2 sondeos por debajo de la cota -350 m de la masa Los Frailes, del orden de 500 m de profundidad, con el objetivo de delimitar el yacimiento en profundidad y establecer una cifra de recursos indicados e inferidos por debajo de esa cota. La Tabla 7.2 muestra las coordenadas, inclinación y profundidad de estos sondeos. En una estimación inicial del número de sondeos a realizar, se planteó un número mayor de perforaciones por debajo del nivel -350 m, que no se han considerado en este plan de investigación debido a los condicionantes medio ambientales existentes en la zona. Las ubicaciones de estos sondeos se encontraban dentro del LIC, por lo que no se realizarán en este programa de investigación, planteándose su realización desde interior cuando se haya iniciado la explotación del yacimiento.
- Campaña de 40 sondeos por encima de la cota -350, cota de inicio de la explotación de interior, para pasar los recursos inferidos existentes por encima de esa cota a recursos medidos e indicados. La tabla 7.2 muestra las coordenadas, inclinación y profundidad de estos sondeos.
- Campaña de 5 sondeos en las áreas de Caridad, Cuchichón y Aznalcóllar para investigar la prolongación lateral y en profundidad de esas mineralizaciones y evaluar su potencial. En el apartado 6.3.3 de esta memoria se expone la información existente de estos yacimientos. La Tabla 7.1 muestra las coordenadas, inclinación y profundidad de estos sondeos.
- 1 sondeo de condenación. Para verificar la ausencia de cuerpos mineralizados en la zona donde irá situada las instalaciones de la planta.
- Sondeos para contrastar resultados de posibles anomalías en la zona sur. Se realizarán previsiblemente 2 sondeos de aproximadamente 600 m de profundidad.
- Campaña de 4 sondeos para la determinación de las propiedades geotécnicas de los materiales del emboquille y trazado de la rampa principal de transporte, de entre 30 y 80 m de profundidad.
- Campaña de 5 sondeos hidrogeológicos. Se instalarán piezómetros para control de aguas subterráneas.

La Figura 7-10 muestra el número de sondeos propuestos por cuadrícula minera.

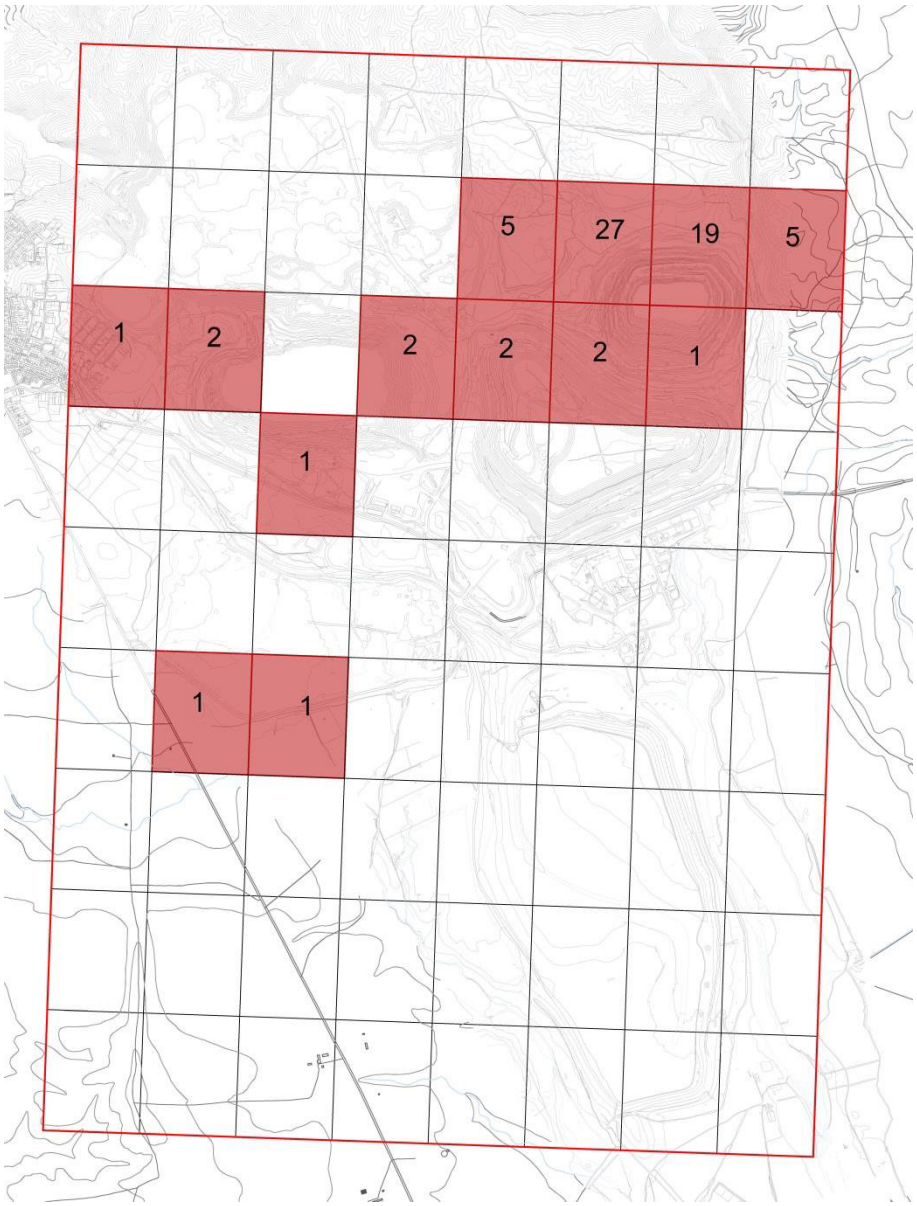


Figura 7-10 – Mapa del número de sondeos propuestos por cuadrícula minera. (Fuente: Elaboración propia).

La Tabla 7.1 muestra la información de la campaña de 69 sondeos previstos: 60 sondeos de investigación, 4 sondeos geotécnicos y 5 sondeos hidrogeológicos.

ETRS89_H30								
Sondeo	**Objetivo**	**x**	**y**	**z**	**Longitud total**	**Inclinación (rh)**	**Azimut**	**Observaciones**
TF1	Gemelo 109	214.139	4.157.901	106	385	-70	172	
TF2	Gemelo 121	214.239	4.157.888	200	384	-73	177	
TF3	Gemelo 47	214.343	4.157.817	105	333	-73	174	
TF4	Gemelo 36	214.456	4.157.808	97	341	-72	170	
TF5	Gemelo 39	214.360	4.157.650	61	208	-76	175	
TF6	Gemelo 113	214.639	4.157.888	73	357	-74	177	
TF7	Gemelo 66	214.810	4.157.780	-29	223	-71	166	
TF8	Gemelo 53	214.950	4.157.766	-16	252	-71	178	
TF9	Gemelo 51	215.041	4.157.856	84	427	-77	166	
TF10	Gemelo 72	215.045	4.157.707	26	273	-73	171	
S15_01	Nivel -400	214.147	4.157.995	113	525	-90,00		
S15_02	Nivel -400	214.389	4.157.981	99	529	-90,00		
S15_03	Nivel -345	214.143	4.157.919	108	463	-90,00		
S15_04	Nivel -345	214.189	4.157.940	109	519	-90,00		
S15_05	Nivel -345	214.289	4.157.962	110	536	-90,00		
S15_06	Nivel -345	214.239	4.157.896	108	495	-90,00		
S15_07	Nivel -345	214.389	4.157.937	97	497	-90,00		
S15_08	Nivel -345	214.339	4.157.896	108	497	-90,00		
S15_09	Nivel -345	214.431	4.157.892	96	461	-89,00	154	
S15_10	Nivel -345	214.625	4.157.962	113	491	-85,00	157	
S15_11	Nivel -345	214.739	4.157.897	200	447	-90,00		
S15_12	Nivel -345	214.889	4.157.896	86	466	-90,00		
S15_13	Nivel -345	214.989	4.157.879	81	456	-90,00		
S15_14	Nivel -345	215.088	4.157.821	84	449	-90,00		
S15_15	Nivel -285	214.138	4.157.835	108	403	-90,00		
S15_16	Nivel -285	214.239	4.157.836	105	442	-90,00		
S15_17	Nivel -285	214.390	4.157.870	102	467	-90,00		
S15_18	Nivel -285	214.390	4.157.798	89	409	-90,00		
S15_19	Nivel -285	214.552	4.157.866	73	426	-90,00		
S15_20	Nivel -285	214.552	4.157.866	73	403	-82,00	194	Emboquille en S15_19
S15_21	Nivel -285	214.639	4.157.878	72	423	-90,00		
S15_22	Nivel -285	214.738	4.157.867	70	425	-90,00		
S15_23	Nivel -285	214.738	4.157.867	70	395	-82,00	177	Emboquille en S15_22
S15_24	Nivel -285	214.889	4.157.896	86	418	-76,00	213	Emboquille en S15_12
S15_25	Nivel -285	214.939	4.157.797	4	319	-90,00		
S15_26	Nivel -285	215.142	4.157.745	74	399	-90,00		
S15_27	Nivel -225	214.189	4.157.784	103	358	-90,00		
S15_28	Nivel -225	214.389	4.157.756	73	341	-90,00		
S15_29	Nivel -225	214.489	4.157.784	47	347	-90,00		
S15_30	Nivel -225	214.603	4.157.760	-46	231	-83,00	226	
S15_31	Nivel -225	214.690	4.157.759	-39	241	-90,00		
S15_32	Nivel -225	214.790	4.157.773	-31	259	-82,00	180	
S15_33	Nivel -225	214.989	4.157.705	-13	267	-90,00		
S15_34	Nivel -165	214.190	4.157.720	102	298	-90,00		

ETRS89_H30								
Sondeo	**Objetivo**	**x**	**y**	**z**	**Longitud total**	**Inclinación (rh)**	**Azimut**	**Observaciones**
S15_35	Nivel -165	214.291	4.157.705	88	294	-90,00		
S15_36	Nivel -165	214.390	4.157.682	58	248	-90,00		
S15_37	Nivel -165	215.024	4.157.655	-6	269	-90,00		
S15_38	Nivel -165	215.139	4.157.660	66	311	-90,00		
S15_39	Nivel -105	214.370	4.157.621	62	187	-90,00		
S15_40	Nivel -105	215.139	4.157.622	70	255	-90,00		
S15_41	Nivel -105	215.142	4.157.745	74	289	-57,00	131	Emboquille en S15_26
S15_42	Aznalcóllar	212.049	4.157.228	118	387	-90		
S15_43	Aznalcóllar	212.557	4.157.474	87	387	-90		
S15_44	Aznalcóllar	213.401	4.157.489	112	512	-90		
S15_45	Aznalcóllar y Cuchichón	213.668	4.157.385	100	400	-45	182	
S15_46	Los Frailes	214.219	4.157.554	87	287	-90		
S15_47	Caridad	213.721	4.158.095	119	380	-45	177	
S15_48	Condenación	213.810	4.158.008	100	500	-90		
S15_49	Geotecnia	213.993	4.157.693	86	60			
S15_50	Geotecnia	213.996	4.157.632	104	30	-90		
S15_51	Geotecnia	214.129	4.157.491	89	35	-90		
S15_52	Geotecnia	214.711	4.157.250	39	80	-90		
S15_53	Hidrogeología	212.868	4.156.638	93	300	-90		
S15_54	Hidrogeología	215.141	4.157.698	70	300	-90		
S15_55	Hidrogeología	212.591	4.157.527	57	300	-90		
S15_56	Hidrogeología	213.427	4.157.418	112	300	-90		
S15_57	Hidrogeología	213.597	4.157.374	100	300	-90		
S15_58	A determinar							
S15_59	A determinar							
S15_54	A determinar							
S15_55	A determinar							

Tabla 7.1 – Información de la campaña de sondeos previstos. (Fuente: Elaboración propia).

Se ha realizado una valoración de la densidad de sondeos ya existente en los diferentes niveles de la masa de Los Frailes que se pretenden explotar, observándose que la densidad de sondeos por hectárea de cuerpo mineralizado (en planta) disminuye con la profundidad. Para compensar este hecho, dentro de la propuesta de investigación se ha planteado mayor número de sondeos en los niveles inferiores, para poder cerrar una malla de investigación que permita un mayor nivel de conocimiento del yacimiento en esos niveles (exceptuando el nivel -400, como se ha explicado en apartados anteriores).(Tabla 7.2).

Cota	Superficie (ha)	nº de sondeos	Sondeos/ha
N-105	3,44	24	6,97
N-225	7,83	22	2,81
N-285	11,50	8	0,70
N-345	6,93	4	0,58
N-400	4,58	2	0,44

Tabla 7.2 – Información de sondeos existentes en el yacimiento Los Frailes en los diferentes niveles. (Fuente: Elaboración propia).

La Figura 7-11, Figura 7-12, Figura 7-13, Figura 7-14, Figura 7-15 y Figura 7-16 muestran los límites del cuerpo mineralizado para distintos niveles del yacimiento de Los Frailes. En las distintas plantas se representan los sondeos ya realizados (en color naranja) y los nuevos sondeos propuestos (en diferentes colores según el nivel para facilitar la localización de su emboquille en superficie).

En total se perforarán 25.129 m en 69 sondeos En ellos se prevé cortar unos 3.340 m de mineralización.

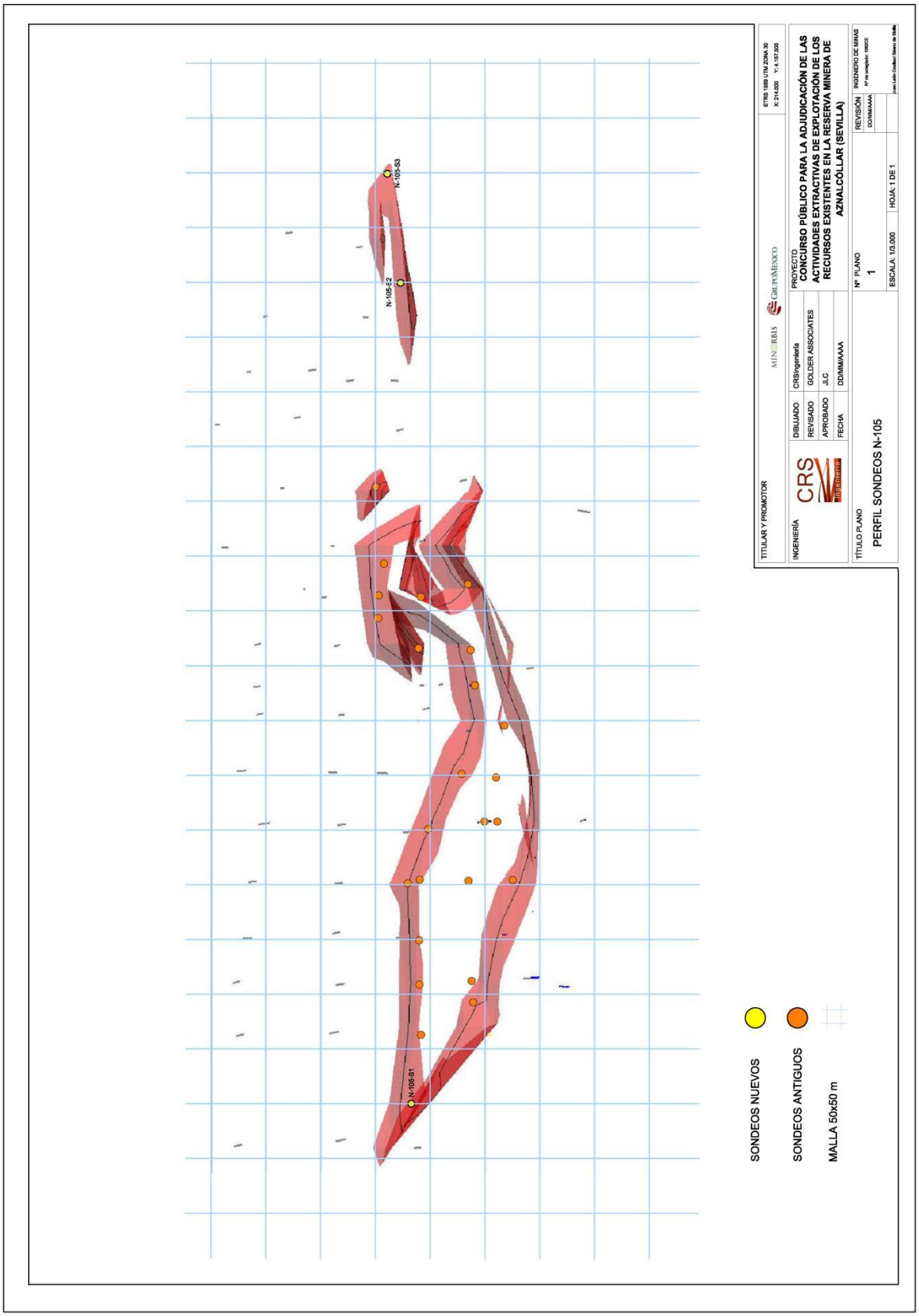


Figura 7-11 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 105m. (Fuente: Elaboración propia).

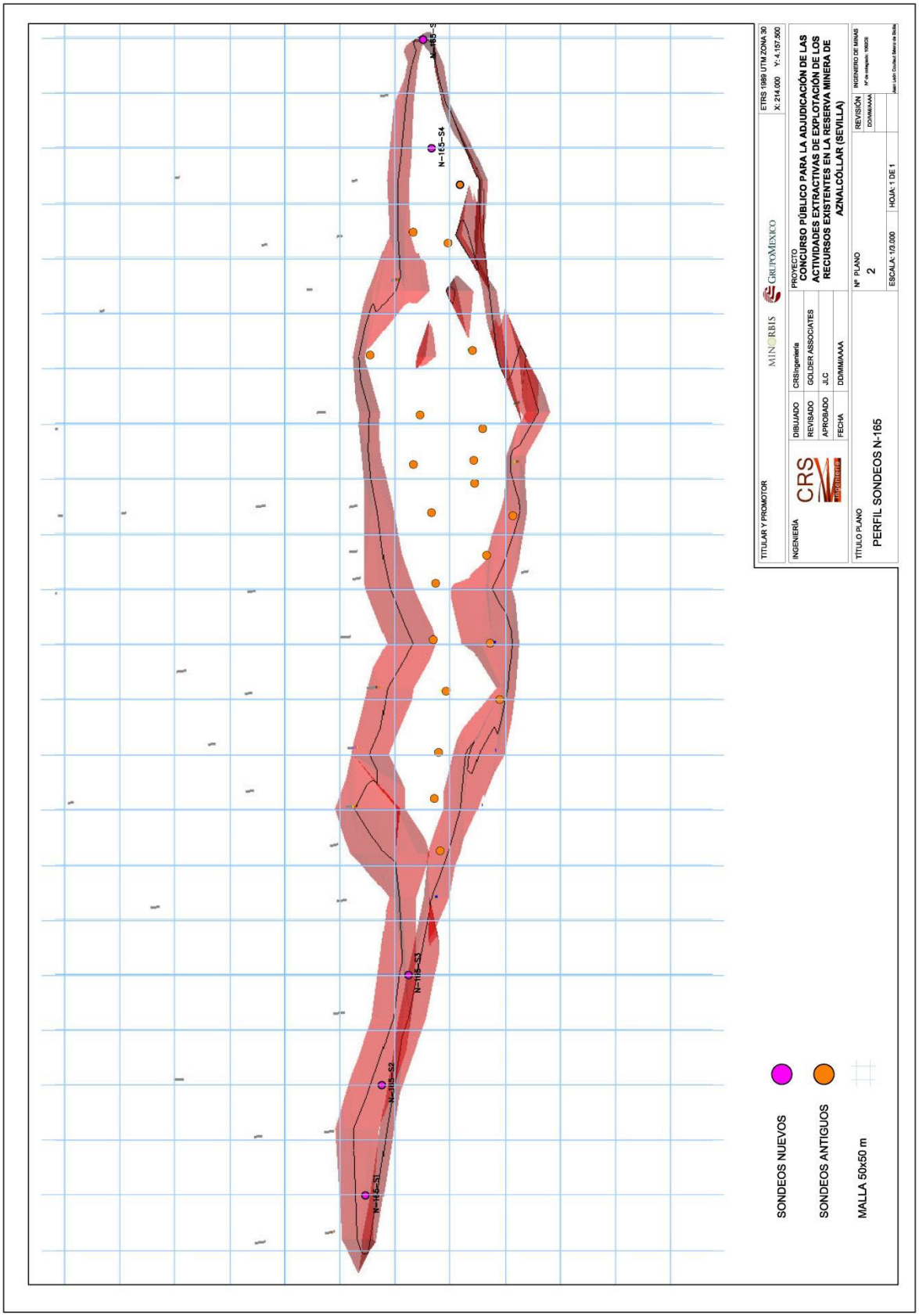


Figura 7-12 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 165m. (Fuente: Elaboración propia)

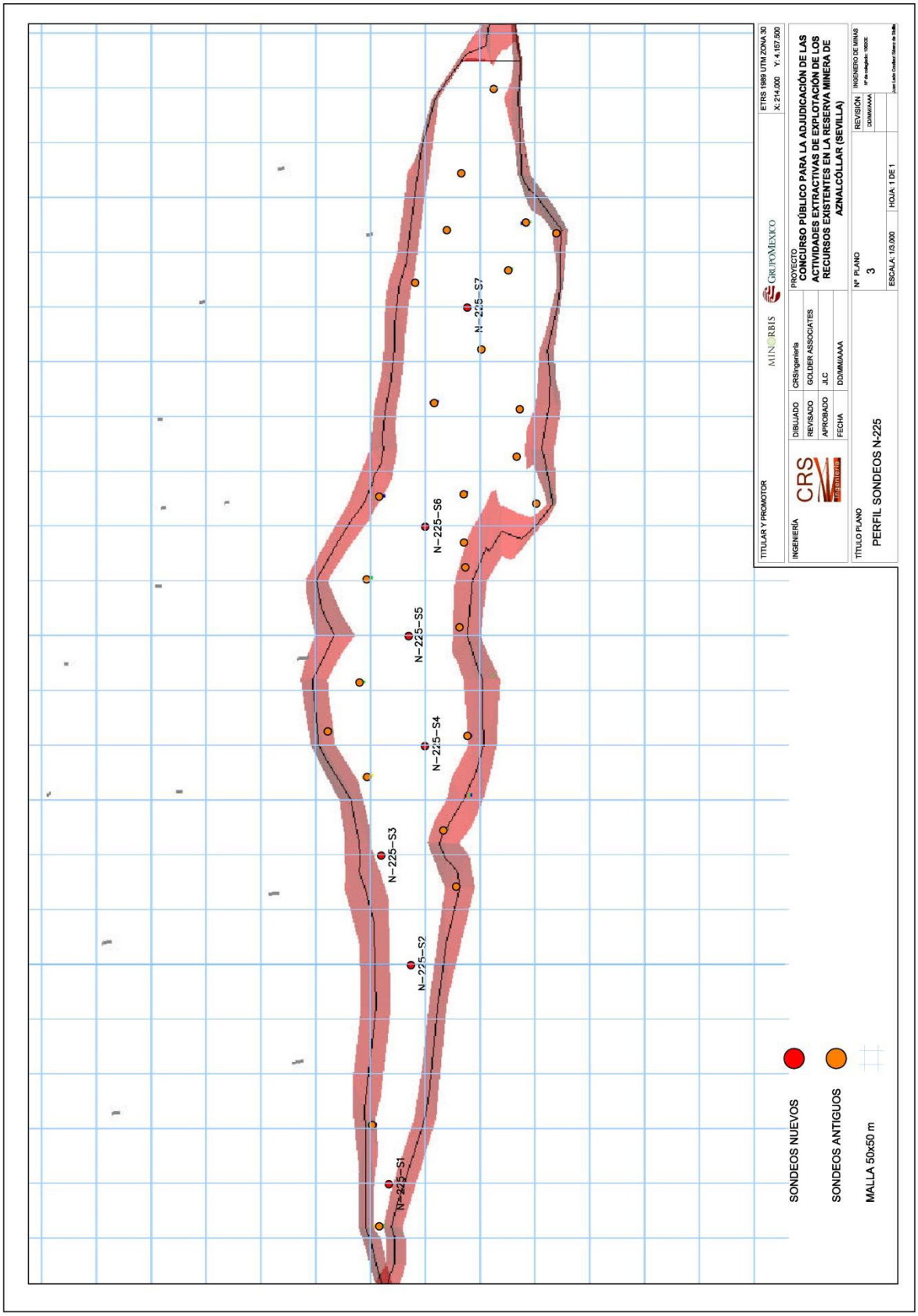


Figura 7-13 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 225m. (Fuente: Elaboración propia).

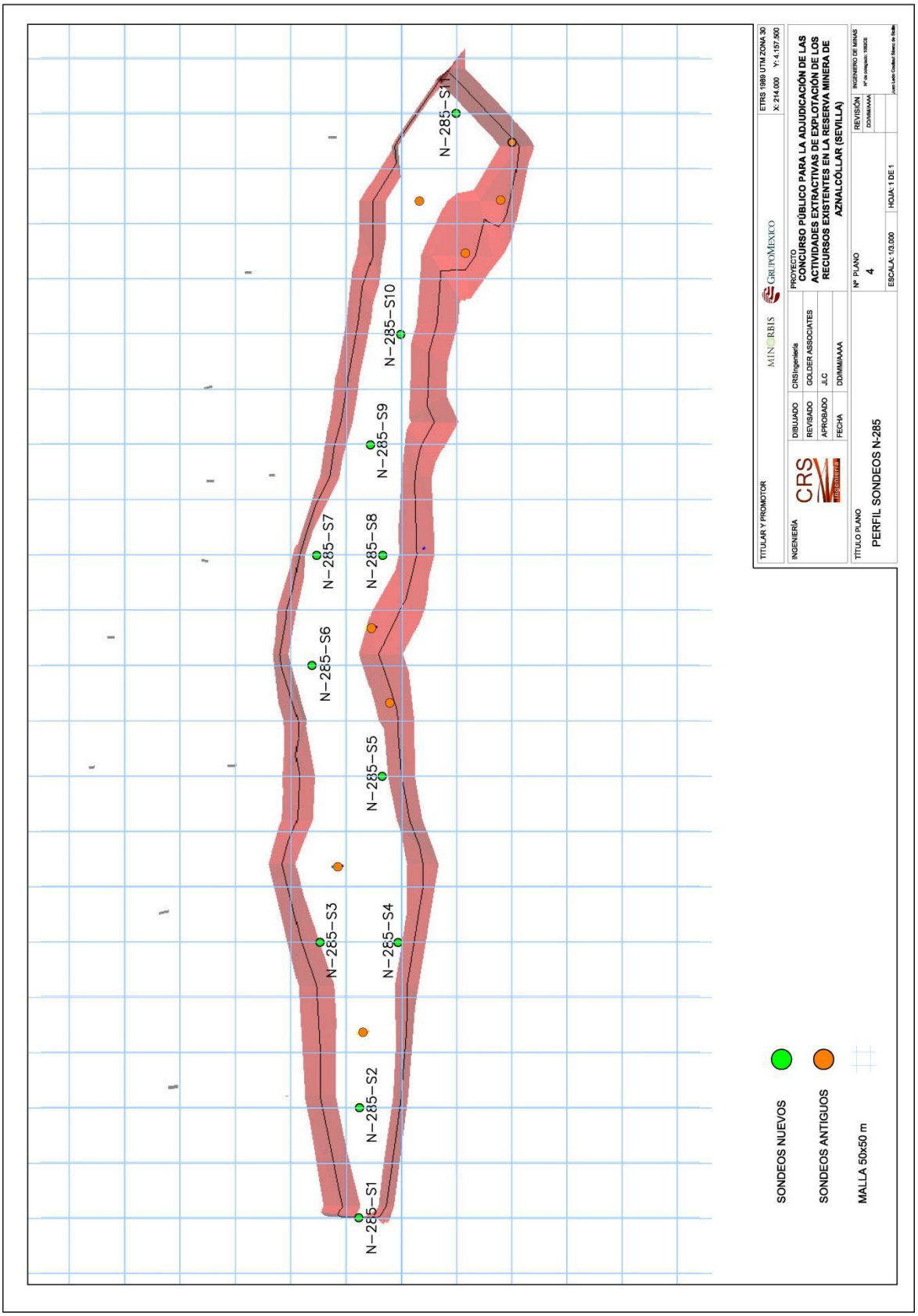


Figura 7-14 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 285m. (Fuente: Elaboración propia).

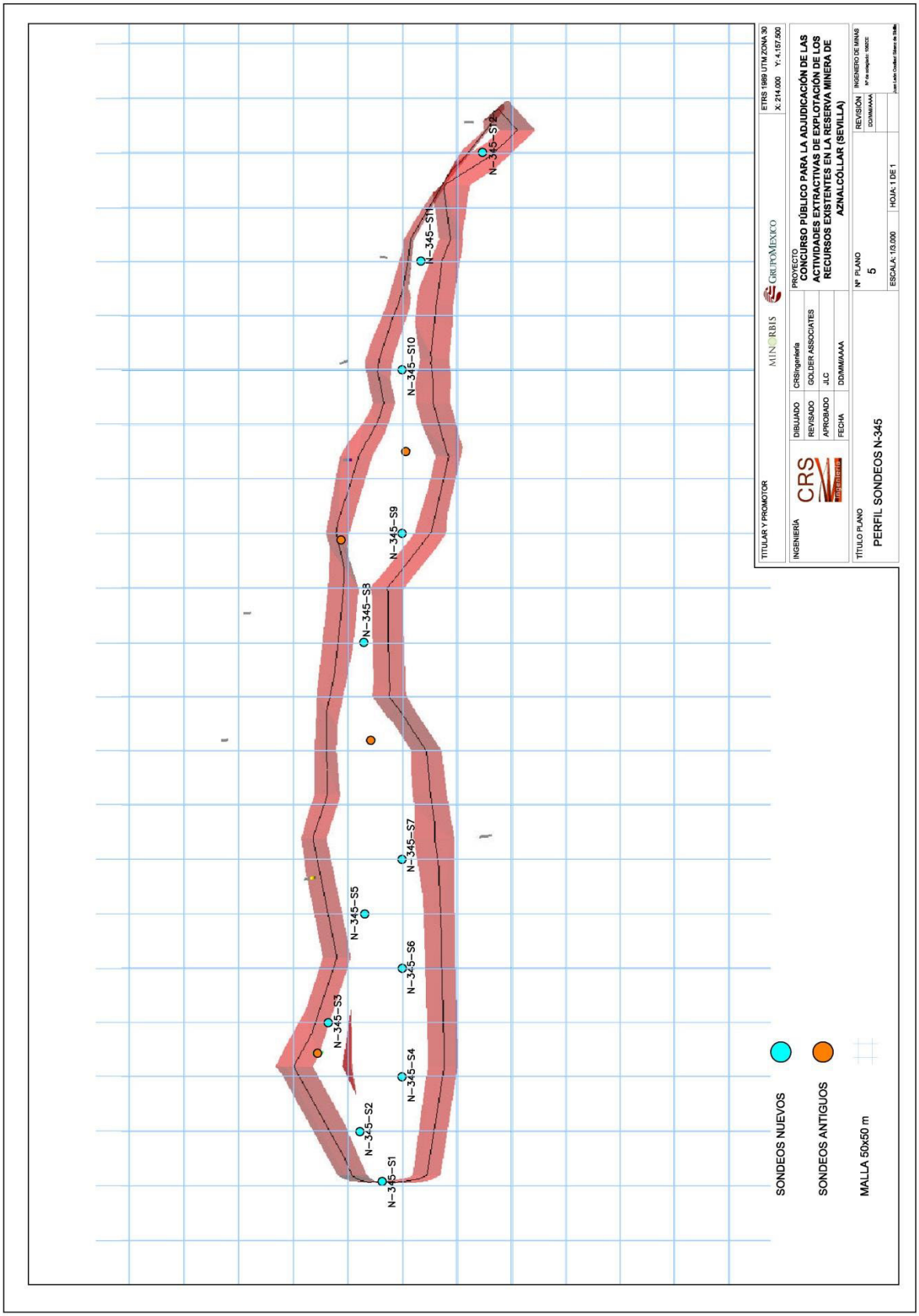


Figura 7-15 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 345m. (Fuente: Elaboración propia).

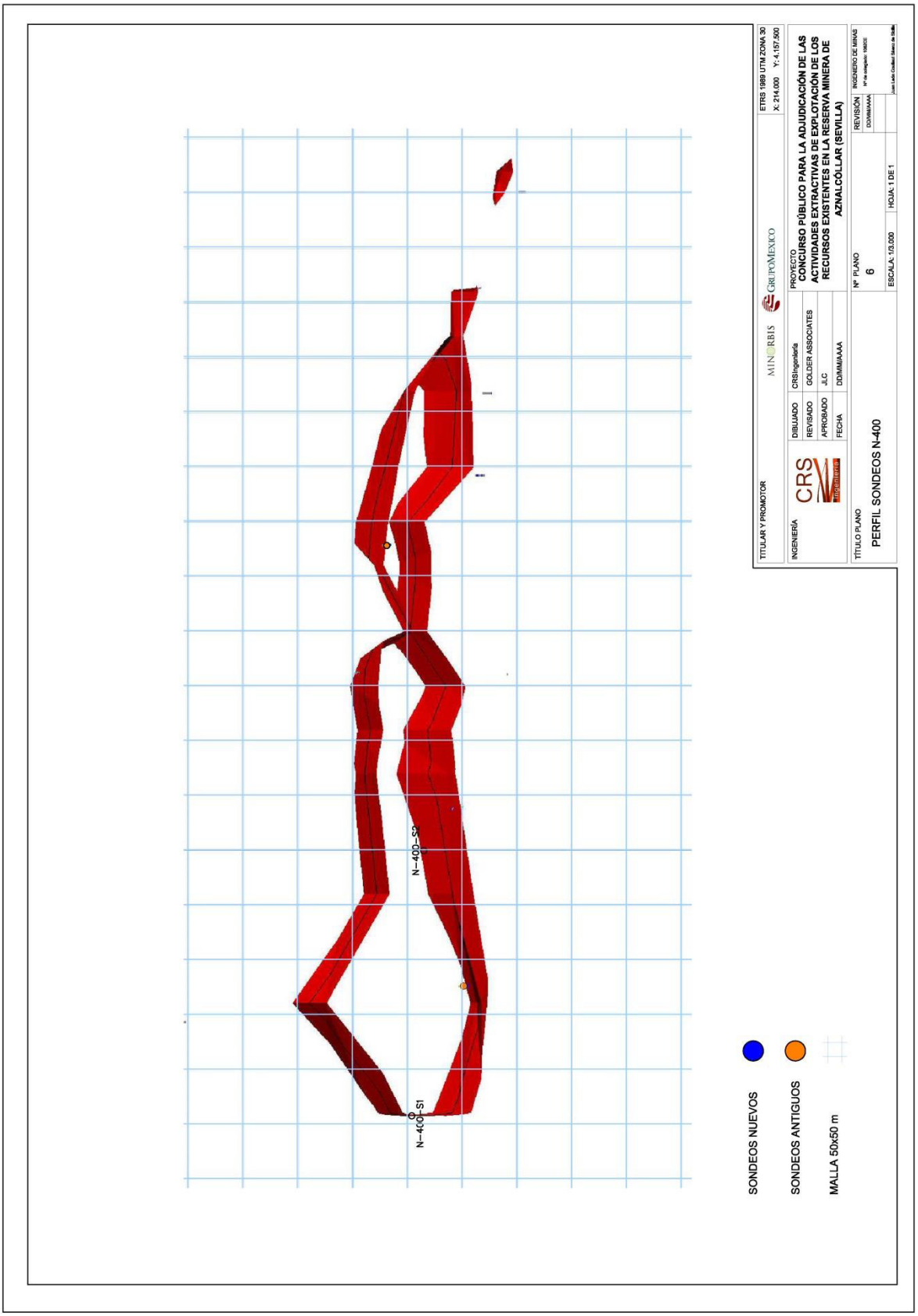


Figura 7-16 – Vista en planta sondeos existentes y sondeos nuevos propuestos en nivel – 400m. (Fuente: Elaboración propia).

7.7.2. Plan de trabajo y equipos

Los trabajos de perforación tendrán una duración de 5 meses.

La Tabla 7.3 muestra el número de equipos de perforación y personal necesario.

Descripción	Número
Máquinas de perforación	13
Encargados de obra	2
Sondistas	39
Ayudantes de sondista	78
Jefe de exploración	1
Geólogos	4

Tabla 7.3 – Información Equipos de perforación y personal previsto. (Fuente: Elaboración propia).

Serán necesarias 13 sondas o equipos de perforación, 1 máquina se destinará a los 4 sondeos geotécnicos y 1 sondeo hidrogeológico, y 12 máquinas se destinarán a la perforación de 60 sondeos de investigación.

El personal de perforación estará compuesto en cada turno de trabajo por 1 sondistas y 2 peones en cada máquina. Habrá 3 turnos de trabajo al día de 8 horas de duración.

Se dispondrá de 4 geólogos para la testificación geológica de los sondeos, levantamiento de columnas estratigráficas y geotécnicas, cartografía geológica y elaboración de cortes geológicos, que serán coordinados por un jefe de exploración.

Serán necesarios 2 encargados de obra.

7.7.3. Protocolos de aseguramiento de la calidad y control (QA/QC)

El programa de perforación y muestreo cumplirá los protocolos de aseguramiento de calidad y control (QA/QC).

Especificaciones de los sondeos

Un preciso revestimiento del emboquille de sondeo y el posicionamiento de la perforación serán de vital importancia para asegurar una adecuada localización en 3D de las muestras en la modelización y estimación del depósito de sulfuros previsto para la explotación.

Los procedimientos de reconocimiento consisten en:

- Reconocer los emboquilles de sondeos existentes y la transformación de las coordenadas a un HUSO o Datum Nacional, siendo para este programa el Datum ETRS 89 (HUSO 29).
- Sondeos iniciales o pre-existentes para su verificación.
- Reconocimiento de la trayectometría del sondeo a través de televiewer acústico (sonda ATV de IGT).

Testigos de perforación

Los procedimientos de manipulación consistirán en lo siguiente:

- Las cajas de testigo serán etiquetadas con el número de perforación correspondiente y los intervalos de perforación, usando marcadores resistentes al agua. (PE-03.1.1).
- Se colocarán tacos de plástico o madera con las profundidades correspondientes al final de cada tramo. Esto deberá ser realizado por los sondistas en el área de perforación.
- Las cajas deberán ser extendidas de manera secuencial en estanterías.

Los testigos son recopilados en vehículo por los sondistas en la plataforma de perforación a intervalos regulares, y son transportados de manera segura con las tapas bien cerradas (apretadas o clavadas) a la nave almacén de sondeos, donde se realizará la identificación y testificación.

Las marcas de las cotas de profundidad realizadas por los sondistas serán adecuadamente revisadas, y las discrepancias serán anotadas en la hoja de testificación.

El testigo será fotografiado húmedo con objeto de destacar los detalles. (PE-03.1.2).

Testificación (PE-03.1.1)

Los detalles de la perforación son introducidos en el registro de perforación por los sondistas y una copia será entregada al geólogo.

Los datos geológicos, geotécnicos y mineralúrgicos son registrados gráficamente (Plantilla A 3) por el geólogo.

Los datos geológicos consistirán en la medida de la recuperación del testigo, obtención de RQD, densidad de fracturas, orientación de las mismas, defectos estructurales y orientación del testigo.

Los datos introducidos manualmente en la hoja de registro (Plantilla A3) serán introducidos en un archivo de base de datos MS EXCEL.

El testigo será testificado geológicamente y las cotas serán marcadas (con marcadores resistentes al agua) según litología y/o intervalos mineralizados para la identificación y referenciado del testigo. Los detalles de estas muestras serán anotadas en la hoja de registro del sondeo.

Muestreo de los testigos (PE-03.1.4)

Una vez extraídos los testigos del tubo porta-testigos, y realizada la testificación geológica de los mismos, se recogerán muestras de testigos en intervalos de 2 metros. Los intervalos con recuperación inferior al 50% no serán muestreadas. Todo el procesamiento de las muestras se realizará de manera modular con objeto de facilitar el tratamiento de los datos usando el siguiente procedimiento:

El testigo se coloca con los trozos juntos y se marca con una línea de corte (línea orientada) para minimizar así la contaminación durante el muestreo.

Se muestreará la “mitad izquierda” de la muestra cortada, y se mantendrá la “mitad derecha” para referenciar dicha muestra. Las muestras de cuarto de testigo se introducirán en bolsas de muestreo prenumeradas, un cuarto del testigo se destinará a análisis químicos y el otro cuarto a ensayos mineralúrgicos, como se muestra en la Figura 7-17. En el interior de cada bolsa de muestreo se incluirá una segunda etiqueta numerada para su envío a laboratorio externo.

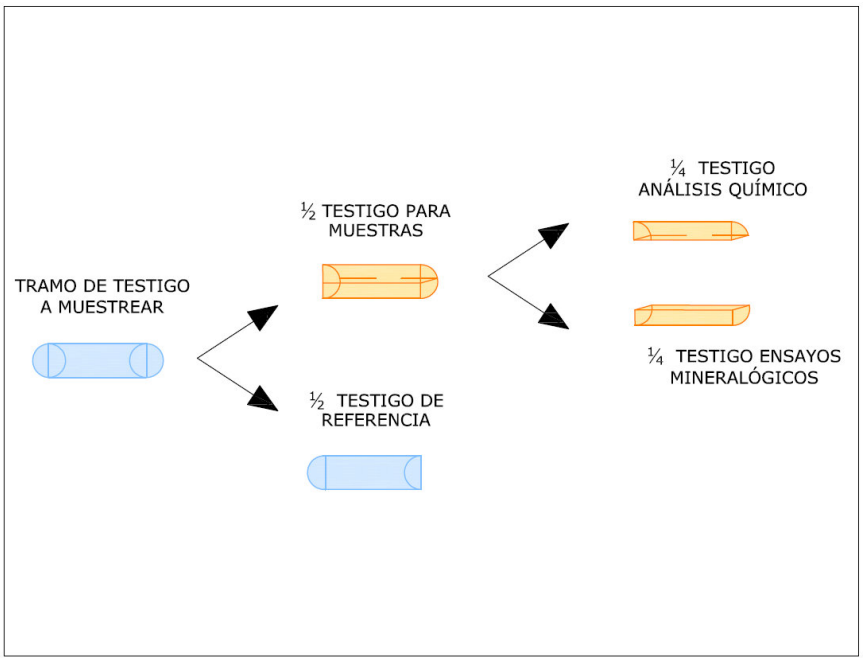


Figura 7-17 – Corte del testigo para toma de muestras de análisis químicos y ensayos mineralúrgicos (Fuente: Elaboración propia).

Las bolsas deberán cerrarse mediante bridas de plástico.

Las muestras duplicadas y las muestras estándares de control serán introducidas en intervalos acordados (5-10% de las muestras) en un sistema de muestras controladas (sample stream).

La mitad del testigo restante será devuelta a la caja porta-testigos en adecuadas condiciones para su mejor conservación.

Las cajas de testigos serán organizadas y apiladas en orden secuencial en las estanterías para ello destinadas en el interior de la nave almacén.

Registro de muestras y cadena de custodias (PE-03.2.1)

Las muestras serán enviadas al laboratorio y serán sometidas a un seguimiento de modo que se asegure que la muestra no sufrirá alteraciones que puedan invalidar los resultados.

La cadena de custodias se simplifica, si el transporte se realiza directamente desde la zona de perforación hasta la nave de almacenamiento de los testigos recuperados, donde posteriormente a los procesos de recepción, registro e identificación (Testificación PE-03.1.1), corte y tallado (Preparación de muestras en área de actuación PE-03 .1.4), se remiten directamente a laboratorio (PE-03.2.1).

Los sistemas de seguimiento y custodia consistirán en lo siguiente:

- La rutina de transporte de muestras hasta las instalaciones de Recepción y Preparación de muestras en el área de perforación se realizará en un vehículo de la empresa responsable.
- Los envíos a laboratorio desde las Instalaciones (nave de sondeos) irán acompañados de una copia del formulario de envío de muestras (formulario de cadena de custodia) que deberá ser completado indicando el número de muestras, método de transporte, métodos de preparación y ensayos determinados, personal en custodia de las muestras y método de envío de las mismas.

El Laboratorio al recibir el formulario de envío de muestras indicará la fecha de recepción de las muestras y una fecha estimada de finalización de los ensayos.

Protocolos QA / QC para laboratorios de análisis de muestras enviadas.

Laboratorio Acreditado

El laboratorio deberá estar acreditado por el Certificado Lloyd de Garantía de Calidad Registrado bajo las siguientes Normas y Sistemas de Calidad; ISO 9001:2008, BS EN ISO 9001:2008.

Métodos de Preparación de muestras (PE-03.2.2)

La preparación de muestras es el proceso por el que una muestra queda dispuesta para su análisis. Este proceso casi siempre implica un sub-muestreo. El método de muestreo adecuado es aquel que genera sub-muestras representativas de la muestra total. Una buena práctica del método de preparación será esencial para obtener resultados analíticos significativos y fiables.

Esto implicará equipos especializados, y en muchos casos, áreas separadas físicamente para el procesado de muestras de distintos tipos.

- Selección del Procedimiento de secado de muestras
    - Secar las muestras de rocas, testigos de sondeos, suelos y sedimentos en estufa a 110ºC.
    - Secar las muestras que serán analizadas para elementos volátiles en estufa a 60ºC.
    - Secar las muestras para análisis de lixiviación selectiva mediante secador de aire.
- Selección de los Procedimientos de reducción de tamaños; machaqueo y pulverización.

  Antes del análisis, existen varias opciones de trituración y machaqueo de muestras. La selección dependerá del tipo de muestra, tamaño y/o forma de los elementos de interés en la matriz de la muestra. Durante la preparación de muestras, existen varias zonas donde puede ocurrir contaminación de las mismas las cuales surgen según el tipo de equipo utilizado. Dicha contaminación durante la

preparación de muestras no siempre puede ser evitada, pero los niveles de contaminación pueden ser dependientes de:

- Dureza de la muestra.
- Tiempo de trituración y pulverizado.
- Medios de trituración y molienda utilizados.
- Procedimientos de bajo coste para suelos y sedimentos de salida – Tamizar en seco de toda la muestra a tamaño menor a 180 micras – retener fracción superior a 180 micras, analizar.
- Métodos de bajo coste para muestras de rocas y de perforación con tamaño de partículas uniformemente finos: Triturar la muestra entera de manera precisa hasta +75% a tamaños menores a 2 mm, cuartear 250 gramos y pulverizar la partición a +85% de la muestra pasa el tamaño 75 micras.
- Muestras de rocas y muestras de perforación con tamaño máximo de partículas menores a 20 mm: Pulverizar la muestra entera a +85% pasa el tamiz de 75 micras.
- Muestras de rocas y muestras de perforación con tamaño máximo de partículas superiores a 20 mm: Triturar los gruesos y pulverizar la muestra a +85% pasa el tamiz a 75 micras.

Análisis de muestras (PE-03.2.3)

Los análisis de muestras deberán ser realizados por un laboratorio independiente e internacionalmente acreditado.

Un porcentaje a considerar de muestras será enviado a un segundo laboratorio con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Hay varias etapas durante la evaluación de un recurso mineral cuyo rango va desde los inicios (etapa inicial) hasta el final de las etapas de proceso/control de calidad en el desarrollo de la mina y sus operaciones.

En cada etapa, las técnicas analíticas deberían ser cuidadosamente consideradas de acuerdo a las necesidades del proyecto. Por ejemplo, las bases de la exploración generalmente requieren de métodos geoquímicos basados en una ligera extracción parcial, seguida de un reconocimiento. En cambio, los análisis para justificar el estudio de viabilidad generalmente implican un proceso de digestión completa seguida por el análisis de una cámara específica de elementos enfocada a pagar o a penalizar dichos elementos.

En las primeras etapas de exploración, precisión, sensibilidad y coste son las consideraciones claves cuando se define un programa de geoquímica. La exactitud no tendría que ser tan importante como la habilidad de reproducir y detectar anomalías muy ligeras sobre niveles umbral y de fondo.

Una metodología de extracción leve o parcial seguido por un análisis multi-elementos se puede aceptar en esta etapa.

En procesos o situaciones de control de calidad, precisión y exactitud se convierten en parámetros críticos. Será más apropiada la disolución total de la muestra, seguida de la analítica de elementos específicos.

Descomposición, Digestión y Acabado de las muestras

La digestión de la muestra es uno de los criterios más importantes a considerar cuando se va a decidir la opción de análisis a realizar.

Existen varios tipos de digestión, tal y como se describen:

- Ensayo de fusión al fuego

  Es el método preferido para determinaciones exactas de Au y PGE. El técnico de exploración debería ser consciente de muestras con altos contenidos de As, Cr, Cu, Ni, Sb, Se o Te, dado que éstos requieren cambios de estado especiales. La fusión podrá ir seguida de AAS, ICP-AES, ICP-MS o determinación gravimétrica.

- Digestión Aqua Regia

  La Digestión Aqua Regia es válida para la determinación de Au en muestras de superficie y para determinaciones de bajo coste de algunos elementos asociados (Ag, As, Cu, Pb y Zn). Los minerales principales forman la roca y los minerales resistentes no suelen ser completamente digeridos.

- Digestión casi total en 4 ácidos “near total”.

  La Digestión 4 ácidos disuelve casi todos los elementos, con digestión parcial únicamente de minerales resistentes como el zircón.

- Fusión del borato de litio

  La fusión con borato de litio rompe todos los minerales, y el contenido total de elementos se determina mediante ICP-AES, ICP-MS ó XRF; a menudo utilizados para análisis de rocas (matriz y fenocristales).

- Extracción selectiva por lixiviación

  La extracción selectiva comienza con la disolución de elementos débilmente depositados, utilizando un extractor débil, y seguido por determinación ICP-MS.

Típicamente, el reconocimiento de las muestras (muestras de suelos regionales) es realizado mediante análisis multielementos para metales base, elementos traza y litológicos, utilizando el proceso de digestión Aqua Regia.

Las muestras de sedimentos, suelos o rocas son generalmente analizadas mediante análisis multielementos utilizando un análisis multiácidos para asegurar de este modo que los minerales más complejos son digeridos. Donde los contenidos de metal sean elevados, tales como muestras para clasificación del yacimiento, se requerirán más análisis.

El segundo parámetro de un análisis geoquímico es el “acabado” o el tipo de equipo utilizado.

Desde que los equipos utilizados tratan con varios elementos a la vez, los equipos de ICP AES e ICP MS son los más extendidos. Estos instrumentos son muy aceptados en la

industria minera y de exploración mineral en los conceptos de análisis rápidos y de coste eficiente. Otros equipos que pueden ser utilizados AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) e Hydride AAS.

7.7.4. Estudios petrográficos

Se realizarán análisis petrográficos de 60 muestras mediante microscopía de luz polarizada sobre lámina delgada, con el objetivo de obtener información relativa a la naturaleza de sus componentes minerales, abundancias, formas, tamaños y relaciones espaciales, lo cual permite clasificar la roca y establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de formación, así como posibles procesos evolutivos.

Se realizarán también estudios metalogénicos mediante probeta pulida, orientados a conocer las especies de minerales metálicos existentes y el tamaño de liberación de estos minerales. Se harán también unos 60 estudios en probeta pulida.

7.7.5. Análisis químicos para Cu, Zn, Pb, Au, Ag, S, As de los tramos mineralizados

Se realizarán análisis químicos de 1.670 muestras de testigos de tramos mineralizados en laboratorio especializado para determinar los contenidos en Cu, Zn, Pb, Au, Ag, S y As.

7.7.6. Determinación de la densidad aparente, según UNE 103301

Se realizarán análisis de densidad aparente de 1.670 muestras de testigos de tramos mineralizados en laboratorio.

7.7.7. Análisis multielemental del 10% de las muestras para identificación de otros posibles metales de interés

Se realizará un análisis multielemental sobre un 10 % de las muestras recogidas, es decir, 167 muestras, de cara a detectar la posible presencia de metales de interés en proporción interesante en la zona de proyecto. Se realizará un barrido de 54 elementos.

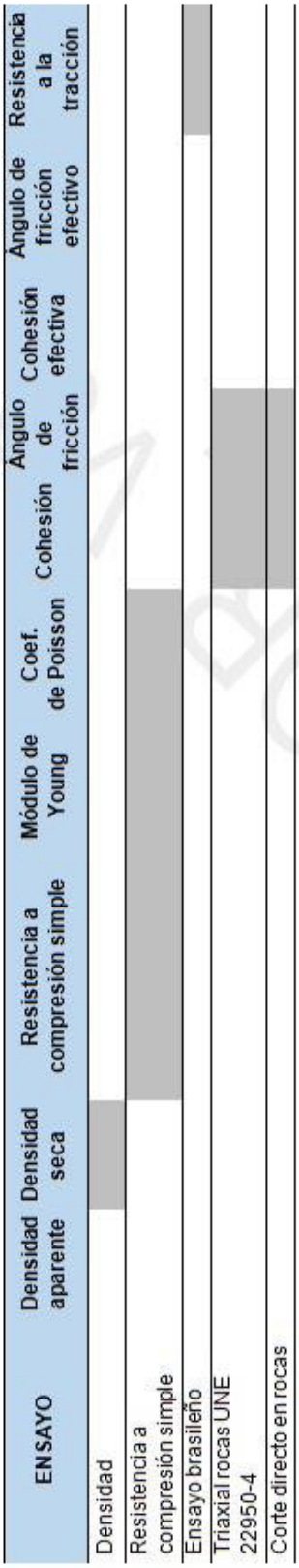
7.7.8. Ensayos geotécnicos

De cara a definir las características geotécnicas y resistivas de la roca, tanto del tramo mineralizado como del estéril, para poder definir y calcular las infraestructuras de transporte y los módulos de explotación, se prevé la realización de un tren de ensayos geotécnicos sobre muestras de testigo.

Se realizarán ensayos geotécnicos en 30 de los sondeos propuestos para investigación, aproximadamente un ensayo geotécnico en cada litología. Se diferencian 7 litologías en la zona de estudio, por tanto se realizarán ensayos geotécnicos sobre 210 muestras.

También se realizarán ensayos geotécnicos cada 5 m en los 4 sondeos previstos en el emboquille de la rampa. Un total de 41 muestras.

En Tabla 7.4 se definen los ensayos previstos así como los parámetros obtenidos de cada uno de ellos.



ENSAYO	Densidad aparente	Densidad seca	Resistencia a compresión simple	Módulo de Young	Coef. de Poisson	Cohesión	Ángulo de fricción	Cohesión efectiva	Ángulo de fricción efectivo	Resistencia a la tracción
Densidad										
Resistencia a compresión simple										
Ensayo brasileño										
Triaxial rocas UNE 22950-4										
Corte directo en rocas										

Tabla 7.4 – Ensayos previstos y parámetros obtenidos de cada uno de ellos. (Fuente: Elaboración propia).

Adicionalmente se contempla la realización de ensayos de hidrofracturación que tienen como objetivo la determinación del estado tensional del terreno, además de proporcionar información sobre la permeabilidad del macizo rocoso en el entorno de los sondeos ensayados.

El ensayo consiste en la inyección de un fluido en un tramo aislado de un sondeo, con objeto de inducir y que se propaguen las fracturas generadas, a través del macizo rocoso.

La ejecución de la medida de tensiones se realizará empleando la técnica de hidrofracturación con wireline desarrollada por MeSy, en la cual la sonda vertical con los dos obturadores se desplaza por el interior del sondeo, soportada por un cable de testificación de siete conductores movido por un cabrestante eléctrico.

Esta técnica permite un rápido registro de las tensiones sin necesidad de que esté presente una sonda de perforación.

Adicionalmente, este sistema permite un buen control de las presiones aplicadas y del comportamiento de las fracturas debido a su mínima elongación y a la posibilidad de registrar a tiempo real la información producida en el interior del sondeo.

Los ensayos de hidrofracturación se realizarán en dos sondeos correspondientes a la campaña de investigación.

7.7.9. Ensayos hidrogeológicos

Adicionalmente a los ensayos de hidrofracturación anteriormente mencionados, se contempla la realización de ensayos Lugeon para estimar la permeabilidad de la formación rocosa.

El ensayo Lugeon se realiza mediante la inyección a través de sondeos de agua a presión en macizos rocosos no meteorizados y con permeabilidad por fisuración (incluida S_o), para la estimación de la permeabilidad. En medios granulares se corre el riesgo de modificar la estructura del material debido a la inyección a presión y, por tanto, el propio ensayo puede modificar la permeabilidad que pretende medir.

Básicamente, el ensayo Lugeon consiste en medir el volumen de agua que se inyecta durante un tiempo en un tramo de sondeo y a una presión.

Normalmente, los sondeos se ensayan en tramos de 1 a 5 m de longitud, aislando dichos tramos mediante obturadores.

El obturador puede ser mecánico o hidráulico, aunque es preferible este último. La longitud del obturador suele ser de 50 cm, pero en el caso de macizos muy fracturados podría ser conveniente utilizarlos de 1 m para evitar escapes del agua. También es importante colocar con precisión (±0,1 m) el obturador, para saber con la mayor exactitud posible la longitud total ensayada.

Una vez colocado el obturador en la parte superior, se inyecta agua a presión con una bomba. Esta bomba debe de ser capaz de proporcionar el caudal requerido por el ensayo (en medios de alta permeabilidad se recomienda disponer de una capacidad de al menos 150 l/min).

Para controlar la presión y caudal inyectado, es necesario colocar un manómetro en la boca del sondeo, un caudalímetro y una válvula de descarga.

El ensayo se realiza aplicando varios escalones de presión, primero a presión atmosférica y luego a presiones crecientes (0, 2,5, 5 y 10 kg/cm^2) y después a presiones decrecientes hasta volver a la presión atmosférica (5, 2,5 y 0 kg/cm^2). Por tanto, los escalones de presión seguirían la siguiente secuencia: 0>2,5>5>10>5>2,5>0 kg/cm^2.

Cada escalón de presión se ensaya durante 10 min, registrando los volúmenes de agua introducidos durante ese tiempo en cada escalón de presión.

Si la permeabilidad del tramo ensayado es muy elevada, la admisión de agua es tan alta que posiblemente la bomba no sea capaz de dar y mantener presión, pudiendo no alcanzar alguno de los escalones de presión del ensayo.

La unidad de medida es el Lugeon, que corresponde a una absorción de agua de 1 l/m/min bajo una presión de 10 kg/cm^2, y que equivale a una permeabilidad en torno a 10^{-7} m/s (para diámetros de taladros entre 50 y 100 mm).

También es posible calcular el coeficiente de permeabilidad (k) mediante formulación y representando los datos en gráficos caudal-presión, se puede interpretar el comportamiento hidrogeológico del tramo ensayado.

Está previsto realizar un total de 30 ensayos Lugeon repartidos entre los 60 sondeos de investigación propuestos. Se realizarán 15 ensayos a profundidades inferiores a 100 m, y 15 ensayos a profundidad mayor de 100 m.

Siguiendo recomendaciones del IGME, con objeto de realizar el control y seguimiento de las aguas subterráneas, se llevará a cabo el diseño y construcción de 5 puntos de investigación hidrogeológica. Estos puntos se instalarán dentro de sondeos que cumplirán las siguientes especificaciones:

- Profundidad 300 m cada uno.
- Diámetro de perforación 300 mm.
- Tubos interiores de registro. Será necesario usar empaque de grava y bentonita para independizar los 2-3 niveles sobre los que se quiera hacer el seguimiento hidrogeológico.
- Tubos de naturaleza metálica galvanizados.
- Profundidad de cada tubo variable (a determinar en función de los niveles perforados).
- Instalación de sensores de registro continúo de Temperatura, Conductividad, pH y profundidad de agua.

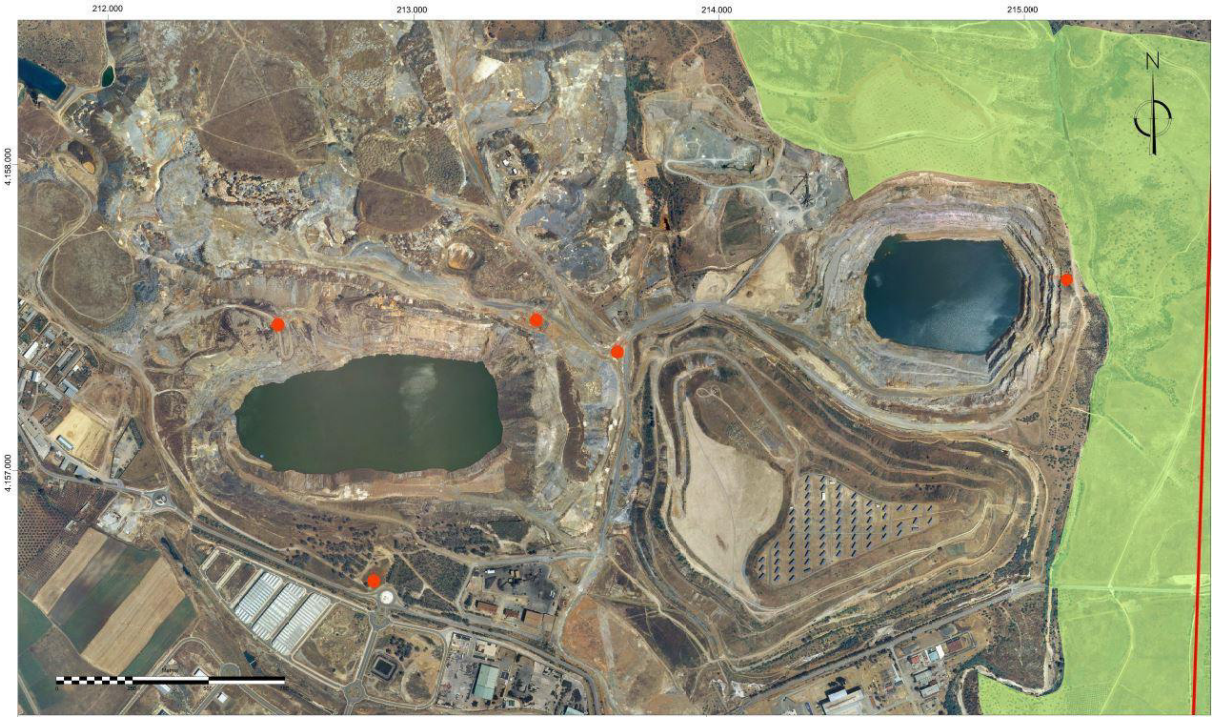


Figura 7-18 – Sondeos con instalación de puntos de control hidrogeológico. (Fuente: elaboración propia).

La localización de estos sondeos (Figura 7-18), que servirán de puntos de control, se propone en las siguientes zonas

- Punto 1: Sondeo S15_57, a unos 50 m al Noreste del actual piezómetro FRF-198, próximo al sondeo de investigación S15_45.
- Punto 2: Sondeo S15_53, al Suroeste de la corta de Aznalcóllar, próximo al sondeo de la Red de aguas subterráneas FRF-237.
- Punto 3: Sondeo S15_54, en torno de la intersección del antiguo cauce del Ágrio sobre las Pizarras Negras, próximo al sondeo de investigación S15_43.
- Punto 4: Sondeo S15_55, 100 m al Noreste del sondeo 1, próximo al sondeo de investigación S15_44.
- Punto 5: Sondeo S15_56, al Este de la corta Los Frailes, próximo al sondeo de investigación.

Se hará una caracterización hidrogeológica de estos sondeos mediante ensayos de permeabilidad por tramos según diferentes litologías y su posterior equipamiento con multipiezómetros, con un mínimo de 2 entubaciones por perforaciones donde poder muestrear para realizar campañas de calidad-hidroquímica e instalar equipos autónomos de medida de registro continuo de nivel, temperatura y conductividad eléctrica.

Se recogerán datos mensuales de los sondeos que se integrará junto con la información existente procedente de la Red de estudios realizados por Boliden-Apirsa, S.L. (BAPSL), recogidos en los diferentes informes presentados a la Administración para la obtención de los permisos necesarios para la reanudación de la actividad minera después del accidente (BAPSL, 1998, 1999, 2000 a y b, y 2001).

Boliden-Apirsa, S.L. recalibró con los datos obtenidos hasta el año 2001 el "Modelo hidrogeológico del entorno de las cortas" desarrollado previamente en el año 1999, y que había sido mejorado posteriormente (BAPSL, 2000 b), introduciendo nuevos datos generados en sondeos de investigación, con ensayos de permeabilidad realizados por el IGME, y nuevos datos piezométricos en el entorno Paleozoico de las cortas.

7.7.10. Ensayos mineralúrgicos

Se prevé realizar ensayos mineralúrgicos de cara a investigar los procesos óptimos de tratamiento del mineral.

Se realizará el muestreo siguiendo unos procedimientos específicos que permitan asegurar que la muestra enviada a laboratorio es representativa del yacimiento.

7.7.10.1. Caracterización del Mineral

El objetivo de la caracterización de mineral es conocer la composición mineralógica del mineral así como sus propiedades físicas y químicas. De cara a obtener una representatividad de estas muestras se contempla la realización de tres tipos de composites con las muestras obtenidas de la campaña de sondeos.

Uno de los composite se realizará con la media del yacimiento y las otras dos considerando también los valores extremos.

Será necesario caracterizar todos los productos de entrada y salida de la planta de tratamiento, empezando por la alimentación, así como todos los rechazos y concentrados finales.

A continuación se detallan los ensayos propuestos, y la finalidad de cada uno de ellos.

- Análisis Mineralógico

El conocimiento de las especies minerales y de la proporción de las mismas facilitara el diseño de proceso así como el dimensionamiento y selección de los equipos. Sera de vital importancia conocer el tamaño de liberación del sulfuro.

Es obvio que el desarrollo de la mineralogía avanzada y la evolución de la comprensión de las sustancias minerales naturales están relacionados muy estrechamente con el desarrollo de las nuevas técnicas analíticas y métodos modernos de investigación.

En la actualidad existe una cantidad enorme de técnicas analíticas que usan los mineralogistas en sus investigaciones. Al mismo tiempo se puede decir que todas estas técnicas se reducen sólo con algunos aspectos de la caracterización de minerales. En otras palabras, son los métodos y técnicas de la observación y determinación que permiten obtener la in formación objetiva y precisa sobre la composición química, estructura cristalina y diferentes propiedades de los minerales.

Así, por ejemplo, la microsonda electrónica, fluorescencia de rayos X, ICP de Masas, etc., presentan nuevas posibilidades para la determinación de la composición elemental de las sustancias minerales.

Prácticamente todos los métodos y las técnicas contemporáneas de la física y química del cuerpo sólido se utilizan actualmente en la mineralogía. Estos métodos permiten determinar y caracterizar cuantitativamente las particularidades cristaloquímicas y las propiedades de los minerales. Las primeras se caracterizan por la composición química (contenido de los elementos principales, fórmula cristaloquímica, impurezas y su naturaleza, isomorfismo, inclusiones, carácter de la distribución de los elementos, correlaciones, composición isotópica) y la estructura cristalina (grupo espacial, difractograma, parámetros de la celda elemental, número de las unidades formularías, tipo de la estructura, coordinados de los átomos, defectos estructurales).

Además, se consideran la morfología (dimensiones, aspecto, hábito, formas simples y su desarrollo relativo, relaciones entre los tamaños de las caras de diferentes formas simples, sistema y clase de simetría, simetría ideal y real, particularidades específicas de las caras, formas de crecimiento y destrucción) y la anatomía (zonalidad, estructuras sectoriales, inclusiones, estructuras de la alteración, metamorfismo) de los individuos minerales.

Entre las propiedades de los minerales para el estudio detallado son más importantes las siguientes: físico-químicas (solubilidad, reacciones, propiedades electroquímicas, etc.), gravitacionales (densidad, porosidad, peso volumétrico), térmicas (conductividad, termo magnéticas y termoeléctricas, cambios en diferentes condiciones), eléctricas (conductividad, piro y piezoeléctricos, fotoeléctricos), magnéticas (permeabilidad, susceptibilidad, efectos magneto térmicos), ópticas (reflexión, transmisión, color, refracción, polarización, luminiscencia), electrónicas (resonancia paramagnética electrónica, resonancia nuclear magnética, resonancia gamma nuclear), y otras (radioactividad, interacción con la radiación de rayos X, electromagnética, láser, etc.).

Actualmente existe alrededor de 10 técnicas analíticas principales que permiten caracterizar la composición química de los minerales, rocas y otras muestras geológicas. Todas las técnicas se diferencian por la señal analítica, método de excitación y aparatos que detectan las señales analíticas correspondientes.

- Análisis Elemental

Es necesario conocer la composición de todas las corrientes de material, para obtener las leyes de los productos, y para analizar la presencia de elementos penalizadores en la venta de concentrados. Un aspecto importante a tener en cuenta será el grado de precisión necesaria para el análisis elemental, siendo el método analítico elegido clave para asegurar la precisión de las medidas.

Para emplear una técnica analítica de forma adecuada y eficiente es fundamental conocer sus características analíticas, especialmente los mecanismos de excitación y la respuesta del sistema de detección. Muchas de las técnicas de estudio de minerales emplean una amplia variedad de fenómenos físicos. Estas técnicas se basan en principios diferentes, pero tienen un objetivo común: producir una señal que se pueda medir y esté relacionada con la concentración de sus constituyentes. A continuación se describen brevemente sólo las principales técnicas analíticas de una enorme cantidad de las distintas

técnicas empleadas actualmente en el estudio y caracterización de minerales. Entre ellas se puede señalar las siguientes:

Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), Método de microsonda electrónica (EPMA microanálisis), Análisis de absorción atómica (AAA), Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS: inductively coupled plasma mass spectrometry); ICP-OES (plasma de acoplamiento inductivo con espectrofotómetro de emisión óptico).

Dependiendo de la técnica analítica a emplear la muestra será debidamente preparada para su posterior análisis creando un compuesto líquido o sólido según la técnica analítica.

- Granulometría

Permitirá conocer la distribución de tamaños en cada corriente, dato fundamental en los equipos de clasificación y dimensionamiento de tuberías.

De los distintos métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, quizá el más utilizado sea la tamización con tamices acoplados en cascada. Para realizarlo se coloca un juego de tamices en cascada, es decir, ordenados de arriba abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla. El producto a analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete el conjunto a un movimiento vibratorio.

El producto a analizar o producto bruto, B, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose: rechazo: (producto que queda sobre el tamiz). Cernido: (producto que atraviesa el tamiz)

Además un análisis mineralógico-elemental de las diversas fracciones granulométricas nos permitiría conocer con exactitud el tamaño de liberación de los minerales de valor.

- Densidad real y densidad aparente

Las rocas como todo cuerpo poroso tienen dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad real será utilizada básicamente en el dimensionamiento de equipos. La densidad aparente se utilizará para el dimensionamiento de tolvas, acopios, silos, etc.

- Ángulo de reposo en pila

Se denomina ángulo de reposo de un montículo de granel sólido al ángulo formado entre el copete y la horizontal de la base, cuando el material se estabiliza por sí mismo. Al acumular granel sólido sobre un plano, éste queda apilado en forma de cono. El ángulo formado entre la generatriz del cono y su base se denomina ángulo de reposo. El mismo concepto se aplica en movimiento de suelos y otros trabajos o infraestructuras que estén relacionadas a la mecánica de suelos, dado que el ángulo de reposo determina el talud natural del terreno.

- Ensayo de fricción en bandas

El ángulo de rozamiento interno interviene en el diseño de equipos para el procesado de partículas sólidas. Por ejemplo, se puede usar para diseñar un silo de almacenaje o el dimensionado de una cinta transportadora para materiales granulares. Permitirá entre otras cosas, conocer el máximo ángulo de las cintas transportadoras.

- Límite de humedad en transporte (LHT)

Las cargas sólidas a granel que corren el riesgo de licuarse son aquellas que contienen partículas finas y cierta humedad entre las partículas aunque ésta aparentemente no se aprecie a simple vista. Las más conocidas son los concentrados de minerales, pero también hay otras cargas sólidas como el espatoflúor, carbón, piritas, finos de mineral de hierro, mineral de níquel, etc., que tienen el mismo riesgo.

En el momento del embarque estas cargas están en estado sólido habiendo contacto directo entre las diferentes partículas, que se mantienen unidas entre sí debido a la fricción y la cohesión, mientras que los espacios libres entre las partículas están ocupados por aire y agua. Durante la navegación debido a los movimientos del buque, así como a las vibraciones y el impacto de las olas sobre el casco la carga se va asentando y compactando expulsando el aire de esos espacios y consecuentemente el espacio libre entre las partículas se reduce. Si la compactación es tal que hay más agua en la carga que espacio libre entre las partículas, entonces el agua es sometida a una fuerza de compresión tal que su presión se eleva hasta eliminar las fuerzas que mantienen a las partículas unidas y hace que se separen eliminando el contacto directo entre las mismas. Si la carga tiene un grado de humedad adecuado, esta reducción de la fricción entre las partículas puede ser suficiente como para que la carga se licue y por tanto se comporte como un líquido. La licuefacción no se producirá si el contenido de humedad de la carga es lo suficientemente bajo y el espacio libre ocupado por el aire es lo suficientemente alto, tal que a pesar de la compactación, existe bastante espacio libre entre las partículas para alojar toda la humedad y por tanto no se ocasiona un aumento de la presión del agua. De ahí la importancia de determinar el punto de fluidización por humedad de la carga antes del embarque, o sea, el contenido de humedad al que puede licuarse.

7.7.10.2. Molienda

El tamaño de molienda en el proceso será un punto crítico para el óptimo funcionamiento de este. El correcto diseño y dimensionamiento de esta área permitirá alcanzar buenos rendimientos en el proceso.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

- Resistencia Compresiva Uniaxial (UCS)

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple (σc). Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura. Los datos obtenidos son: σ1 obtenido del ensayo, σ2, σ3. Con estos datos se puede obtener σc (resistencia a la compresión simple).

- Índice Abrasion Bond-Allis Chalmers

La prueba de abrasión Bond determina el índice de abrasión, que se usa para determinar el desgaste de las tuberías y los medios de acero en trituradores, molinos de barras y de bolas. Bond desarrolló correlaciones basadas en el índice de libras de desgaste

de metal/kWh de energía utilizada en el proceso de trituración. La prueba de abrasión fue desarrollada por Allis-Chalmers mediante un método y un aparato utilizados por la Pennsylvania Crusher Division de Bath Iron Works Corp. El equipo consta de un tambor giratorio en el que se colocan las muestras de mineral seco, con una paleta de impactos montada en un eje central que gira a una velocidad superior a la del tambor. La paleta está hecha de aleación de acero endurecido estándar a 500 Brinell. El índice de abrasión se determina a partir de la pérdida de peso de la paleta en condiciones de funcionamiento normal.

- Índice Bond Impacto baja energía

El índice de trabajo Wi, es un parámetro que depende del material y del equipo de conminución, por lo que es conveniente que en su obtención se utilice un mecanismo de ruptura similar al de la máquina para la cual se efectúa la determinación. En este caso se hacen ensayos de impacto (simulando etapas de trituración del material).

- Ensayo de Bond

De la realización de este ensayo se obtiene la energía necesaria para la reducción de tamaño de una unidad de mineral hasta el tamaño de partícula necesario. Permite un dimensionamiento correcto de los equipos de molienda. Es recomendable la realización de un ensayo por cada tipo de molino y/o trituradora.

Normalmente se suelen hacer el Ensayo de Bond para molino bolas (BWI) y el Ensayo de Bond para molinos de barras (RWI). Se miden en kWh/t

El BWI se utiliza en el diseño y análisis de circuitos de molienda con molinos de bolas, incluso con molinos primarios tipa AG/SAG. Las ventajas del BWI están en la repetibilidad y fiabilidad del ensayo.

El RWI tiene su utilidad en el cálculo de la potencia necesaria para moler una fracción intermedia por ejemplo desde 12,5 mm a 1mm.

- Ensayo de molienda autógena (JK Drop-weigh Test) y SAG (SMC test)

Se trata de dos ensayos específicos para molienda en equipos autógenos o semiautógenos.

El JK Tech Drop-weight test está dividido en tres fases. Primeramente, el ensayo mide la resistencia a la rotura por impacto de las partículas más gruesas en el rango de 63mm a 13.2 mm en 5 fracciones. Segundo, evalúa la resistencia de la rotura por abrasión de las partículas comprendidas entre 53 y 37.5 mm. Finalmente se mide la densidad de 30 partículas para asegurar la densidad media y la dispersión de los datos.

El ensayo SMC es un método abreviado del JK Drop-weight, el cual puede ser realizado a menor coste y con rocas de menor tamaño.

7.7.10.3. Simulación de proceso

La simulación del proceso de tratamiento requerirá de tres etapas principales de ensayos. La primera de ellas a escala de laboratorio y en circuito abierto. Esta nos dará los parámetros básicos del tratamiento y los datos necesarios para diseñar la segunda etapa, a escala laboratorio y en circuito cerrado. La tercera etapa consistirá en el tratamiento a

escala piloto. En esta tercera etapa se simula de forma semi-industrial el método de tratamiento de la planta, recirculando productos a cabeza de tratamiento, y obteniendo muestras de todas las corrientes. Finalmente será necesario una vez definidos los parámetros de flotación el realizar los ensayos de variabilidad del yacimiento para ver la eficiencia global del mismo.

Una vez definidos los diagramas de flujo definitivos será necesario simular y modelizar mediante software informáticos todo el proceso para cerrar los balances de material, agua y si fuese necesario el balance térmico del proceso. Se recomienda softwares como el METSIM, SYSCAD, HSC, etc. que permitan realizar simulaciones dinámicas para validar el proceso elegido.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

- Ensayos de Flotación Simples

Los objetivos de los ensayos de flotación serán:

- Optimizar el tamaño de liberación del mineral para la pulpa de alimentación a la flotación
- Optimizar los tiempos de residencia en las celdas para dimensionar los volúmenes de celda
- Optimizar las fases de la flotación para maximizar la recuperación y la ley de concentrado final.
- Seleccionar los reactivos a utilizar y optimizar su dosificación.

En el caso de la optimización del tamaño de molienda, este es crítico para el consumo de energía en relación con el tamaño de liberación del sulfuro, y permitirá optimizar los costes energéticos del proceso.

Los tiempos de residencia en celdas de flotación nos permitirán calcular los tamaños de celda y ver la distribución de las mismas en bancos para diseñar las fases de flotación más adecuadas para conseguir un concentrado vendible y reducir las pérdidas de metal en los estériles.

En el caso de reactivos de flotación, han de efectuarse la siguiente serie de pruebas para cada etapa de flotación:

- Selección del colector y dosis
- Selección del espumante y dosis
- Selección de depresores y dosis
- Selección de activadores y dosis
- Selección del pH adecuado de trabajo y modificadores del pH adecuados

Será necesario un esquema de pruebas de flotación que se definirá a partir de los datos obtenidos en ensayos anteriores.

7.7.10.4. Caracterización de los productos

Uno de los puntos críticos en todo proyecto minero es el manejo y almacenamiento de estériles y concentrados, para un correcto diseño del plan de explotación, así como para la concesión de permisos por las autoridades competentes, y además para una correcta gestión del balance de aguas del mismo.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

- Espesado

Para una correcta gestión de las aguas es necesario determinar las características del espesado de los concentrados y de los estériles. La deposición seca de estériles, así como el espesado de concentrados requerirá de una fase de espesado del producto. Para el correcto dimensionamiento y diseño de los espesadores, es necesario conocer su dinámica de sedimentación. Para ello se realizarán diferentes pruebas con floculantes así como la optimización de la dosificación de los mismos, obteniendo datos suficientes para las etapas posteriores de ingeniería.

- Ensayos de filtración

Este ensayo permitirá conocer las características y parámetros fundamentales de la filtración de los productos finales del proceso. A partir de los datos obtenidos se realizará la elección de equipos de filtrado y el dimensionamiento de los mismos.

- Análisis Mineralógico

El conocimiento de las especies minerales y de la proporción de las permitirá conocer el rendimiento del proceso y la calidad de los productos finales.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la Información de los ensayos y análisis a realizar en la campaña de sondeos previstos

Sondeo	Objetivo	Análisis químico	Ensayos geotécnicos	Ensayos mineralúrgicos	Piezómetros	Registros TEM
TF1	Gemelo 109	X	X	X		
TF2	Gemelo 121	X		X		
TF3	Gemelo 47	X	X	X		
TF4	Gemelo 36	X		X		
TF5	Gemelo 39	X	X	X		
TF6	Gemelo 113	X		X		
TF7	Gemelo 66	X	X	X		
TF8	Gemelo 53	X		X		
TF9	Gemelo 51	X	X	X		
TF10	Gemelo 72	X		X		
S15_01	Nivel -400	X	X	X		
S15_02	Nivel -400	X		X		
S15_03	Nivel -345	X	X	X		
S15_04	Nivel -345	X		X		
S15_05	Nivel -345	X	X	X		X
S15_06	Nivel -345	X		X		
S15_07	Nivel -345	X	X	X		
S15_08	Nivel -345	X		X		

Sondeo	Objetivo	Análisis químico	Ensayos geotécnicos	Ensayos mineralúrgicos	Piezómetros	Registros TEM
S15_09	Nivel -345	X	X	X		
S15_10	Nivel -345	X		X		
S15_11	Nivel -345	X	X	X		
S15_12	Nivel -345	X		X		
S15_13	Nivel -345	X	X	X		
S15_14	Nivel -345	X		X		X
S15_15	Nivel -285	X	X	X		
S15_16	Nivel -285	X		X		
S15_17	Nivel -285	X	X	X		
S15_18	Nivel -285	X		X		
S15_19	Nivel -285	X	X	X		
S15_20	Nivel -285	X		X		
S15_21	Nivel -285	X	X	X		
S15_22	Nivel -285	X		X		
S15_23	Nivel -285	X	X	X		
S15_24	Nivel -285	X		X		
S15_25	Nivel -285	X	X	X		
S15_26	Nivel -285	X		X		
S15_27	Nivel -225	X	X	X		
S15_28	Nivel -225	X		X		
S15_29	Nivel -225	X	X	X		
S15_30	Nivel -225	X		X		
S15_31	Nivel -225	X	X	X		
S15_32	Nivel -225	X		X		
S15_33	Nivel -225	X	X	X		
S15_34	Nivel -165	X		X		
S15_35	Nivel -165	X	X	X		
S15_36	Nivel -165	X		X		
S15_37	Nivel -165	X	X	X		
S15_38	Nivel -165	X		X		
S15_39	Nivel -105	X	X	X		
S15_40	Nivel -105	X		X	X	
S15_41	Nivel -105	X	X	X		
S15_42	Aznalcóllar	X		X		X
S15_43	Aznalcóllar	X	X	X	X	X
S15_44	Aznalcóllar	X		X	X	X
S15_45	Aznalcóllar y Cuchichón	X	X	X	X	X
S15_46	Los Frailes	X		X		
S15_47	Caridad	X	X	X		X
S15_48	Condenación	X		X		
S15_49	Geotecnia		X			
S15_50	Geotecnia		X			
S15_51	Geotecnia		X			
S15_52	Geotecnia		X			
S15_53	Hidrogeología				X	
S15_54	Hidrogeología				X	

Sondeo	Objetivo	Análisis químico	Ensayos geotécnicos	Ensayos mineralúrgicos	Piezómetros	Registros TEM
S15_55	Hidrogeología				X	
S15_56	Hidrogeología				X	
S15_57	Hidrogeología				X	
S15_58	A determinar	X	X	X		
S15_59	A determinar	X		X		
S15_54	A determinar	X	X	X		
S15_55	A determinar	X		X		

Tabla 7.5 – Información de los ensayos y análisis a realizar en la campaña de sondeos previstos. (Fuente: Elaboración propia).

7.8. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Existen dos parámetros físicos característicos de los depósitos de sulfuros masivos en general, y de la Faja Pirítica Ibérica en particular, que justifican la aplicación de los métodos geofísicos para su prospección. Estos parámetros son: alta densidad y muy baja resistividad eléctrica. En consecuencia la prospección de este tipo de yacimientos se realiza en todo el mundo mediante la combinación de dos métodos geofísicos: gravimetría para identificar el efecto de las masas de sulfuros de alta densidad y métodos geoeléctricos, basados en las medidas de la resistividad eléctrica del terreno. La eficacia de esta combinación de métodos geofísicos está ampliamente demostrada a lo largo de varias décadas y en un gran número de proyectos.

Mientras que la gravimetría es un método ampliamente divulgado y de empleo sistemático, cuyas últimas innovaciones y mejoras se limitan exclusivamente a la mayor sensibilidad de los equipos de medida y a la mayor precisión y complejidad de los programas de procesado, existe un elevado número de métodos y variantes operativas para un estudio del subsuelo en base a la ejecución de medidas relativas a su resistividad. No se considera oportuno hacer aquí una clasificación de todos ellos ni analizar las ventajas y limitaciones de unos y otros. A los efectos de esta propuesta, baste con poner de manifiesto que por su capacidad para proporcionar resultados con alta resolución lateral y vertical, conjuntamente con una profundidad de investigación aceptable para los objetivos de las campañas de investigación de este tipo, las opciones se reducen básicamente a dos:

- Métodos EM de Dominio de Tiempos (TEM).
- Métodos de Resistividad y Polarización Inducida por cc en modo Tomográfico a gran profundidad, en los que se encuadra por ejemplo el método Titan 24, de reciente actualidad.

Al margen cabe citar dentro de esta categoría el método puesta a masa, que se ha demostrado como muy eficaz en el ámbito de la Faja Pirítica para proporcionar información respecto a la continuidad de las masas de sulfuros cortadas por los sondeos, dentro de ciertas relaciones entre el tamaño de las masas y la profundidad a la que se localizan. Es un método plenamente vigente y del mayor interés.

Otros métodos geofísicos y geoeléctricos tales como el magnetotelúrico o el audio-magnetotelúrico de fuente controlada (CSAMT) tienen la ventaja de su capacidad para investigar a gran profundidad, pero una desventaja que consideramos fundamental: Su

resolución lateral es muy baja, insuficiente para el programa de prospección que exige el reconocimiento de la Reserva Minera de Aznalcóllar.

De modo general el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 7-19 describe las fases de la exploración por métodos geofísicos en el ámbito de la Faja Pirítica con indicación de los métodos aplicables en cada una de ellas. Esta figura se complementa con la Tabla 7.6 en la que se describen los conceptos fundamentales respecto al empleo de los métodos geofísicos para estos estudios.

En función del grado de información existente, de los objetivos a resolver y de los condicionantes logísticos de diversas zonas de la Reserva Minera de Aznalcóllar, se han diferenciado dos ámbitos de actuación en lo que se refiere al programa de estudio por métodos geofísicos, que se identifican como Zona Norte y Zona Sur. El límite entre ambas zonas queda definido por el borde meridional de la cota 90 m s.n.m y de la escombrera situada inmediatamente hacia el Este de la misma.

Los objetivos específicos para cada zona, a cuya resolución contribuirán los métodos geofísicos incluidos en este programa de trabajo son:

- **Zona Norte:**
  - Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos que se explotaron parcialmente hasta la cota -270 aproximadamente.
  - Identificar otras posibles masas de sulfuros metálicos que no hayan sido cortadas por los nuevos sondeos que se perforarán durante los futuros trabajos propuestos por Minorbis-Grupo México.
- **Zona Sur:**
  - Detectar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas bajo el recubrimiento terciario, en este sector donde los trabajos de exploración minera realizados hasta la fecha han sido muy escasos.
  - Determinar el espesor y la distribución del recubrimiento terciario.

Para cumplir los objetivos propuestos los métodos geofísicos que se ha considerado emplear son registros EM en sondeo, puesta a masa, gravimetría, sondeos eléctricos en dominio de tiempos (SEDT) y sísmica de reflexión 2D.

De acuerdo con estos objetivos y con las ideas básicas relativas al empleo de los métodos geofísicos en el ámbito de la Faja Pirítica, se ha elaborado el programa de trabajo que se desarrolla a continuación, con una breve explicación de los fundamentos y particularidades de los métodos a emplear.

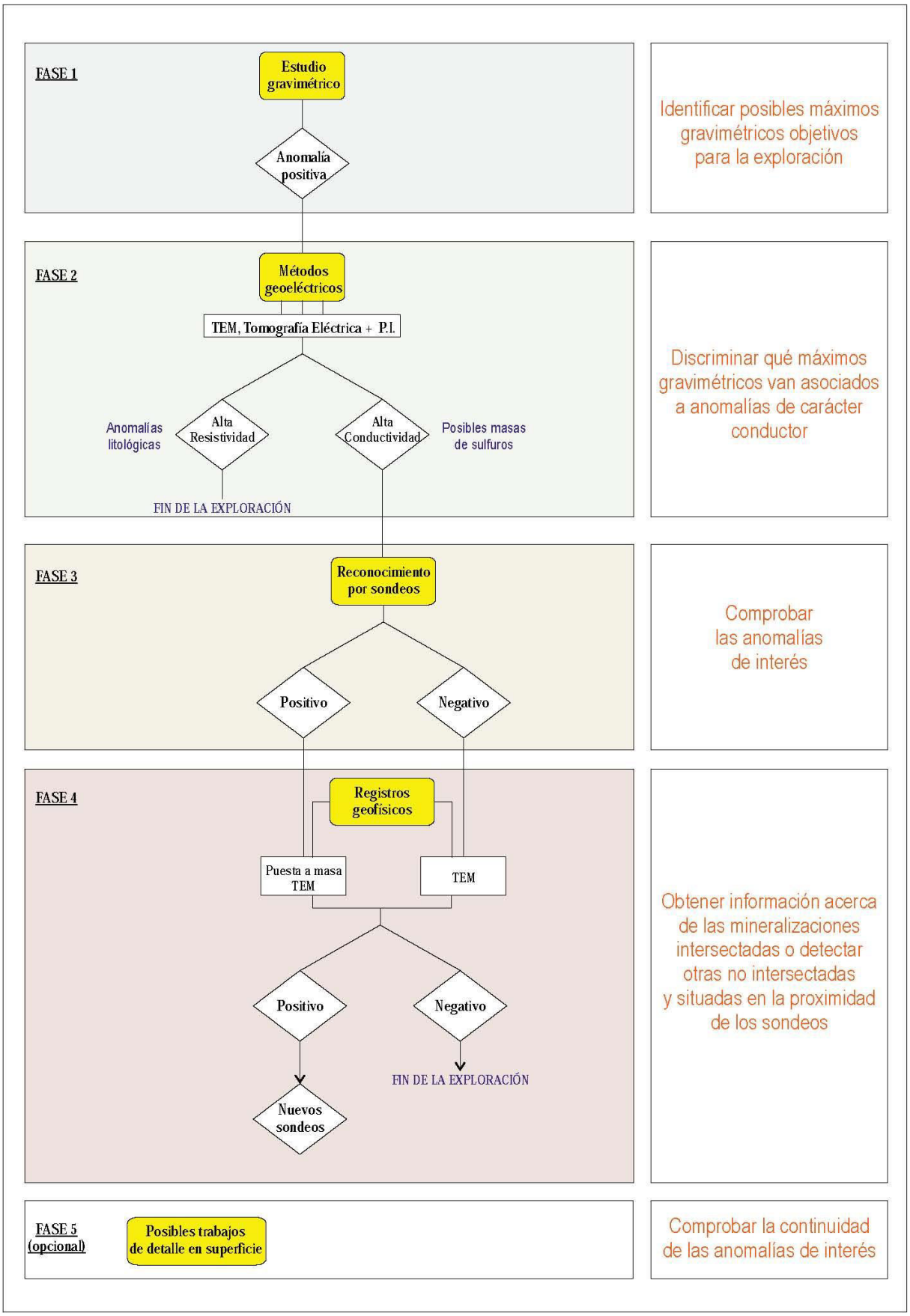


Figura 7-19 – Esquema general para el empleo de métodos geofísicos en la prospección de depósitos de sulfuros metálicos en la Faja Pirítica. (Fuente: IGT).

	Objetivo	Metodología de trabajo	Especificaciones técnicas	Comentarios
1ª Fase	Identificar posibles anomalías de interés producidas por masas densas, tales como yacimientos de sulfuros metálicos.	**Gravimetría**, preferiblemente en su versión Microgravimetría.	- Estaciones en malla adecuada a la extensión de la zona de estudio, pero nunca mayor de 100 x 100 m. En estudios de detalle se recomienda 100 x 40 m. - Control riguroso del correcto funcionamiento del gravímetro mediante repetición de al menos el 30 % de las medidas. - Corrección del efecto del relieve de modo automático a partir de un modelo digital del terreno con el mayor detalle posible. - Determinación de la densidad de reducción por procedimientos analíticos (*Nettleton*). - Precisión del plano de Anomalía de *Bouguer* > 0'05 mGal.	La idoneidad de sustituir la Gravimetría por métodos TEM aeroportado en la 1ª Fase del estudio es básicamente una cuestión de coste, que a su vez es función de la extensión de la zona de estudio. Ambas opciones son semejantes desde el punto de vista técnico.
2ª Fase	Comprobar el carácter conductor o resistivo del subsuelo en los máximos gravimétricos, para discriminar si éstos son de origen litológico, o si pueden corresponder a masas de sulfuros metálicos.	**TEM** con la configuración y tipo de bucles y sensores adecuados a las particularidades geológicas y a la profundidad a investigar, que puede llegar hasta 1.000 m aprox.	- Definir la configuración y la posición óptima de los bucles transmisores y de su tamaño. - Operar con la frecuencia base más baja posible hasta registrar la señal útil en su totalidad. - En principio bastará con registrar solamente la componente Z. - Control de calidad mediante repetición de al menos el 10% de las medidas. - Utilizar un sensor con la sensibilidad necesaria para el rango de profundidad a investigar.	En ese caso, la 2ª Fase del estudio se realizaría mediante Gravimetría sobre las anomalías de carácter conductor identificadas por las medidas TEM. A este respecto debe tenerse en cuenta que una anomalía conductora también puede justificarse por litología (pizarras grafitosas) o por efecto de masas de sulfuros metálicos. La Gravimetría permite discriminar uno y otro tipo de anomalía.
		Tomografía Eléctrica + Polarización Inducida para reconocer con suficiente detalle hasta 400 - 500 m de profundidad.	- Emplear preferentemente un dispositivo focalizado del tipo Polo-dipolo, por su mejor relación señal-ruido. - Combinar el menor espaciado posible entre los electrodos (a) con el mayor número posible de niveles (n) de registro para conseguir la mayor profundidad y la mejor resolución lateral. - Realizar las medidas de Cargabilidad en modo Dominio de Tiempos.	
3ª Fase	Obtener información respecto a la continuidad de cualquier nivel de sulfuros metálicos cortado por un sondeo.	***Mise-à-la-masse.***	- Para las medidas *Mise-à-la-masse* es necesario emplazar un electrodo en contacto con la masa metálica a estudiar. Debe comprobarse este contacto antes de iniciar las medidas. - Estabilizar los emplazamientos de los electrodos de recepción (M, N) antes de medir, para reducir las fluctuaciones del Autopotencial.	Este es un método rápido y sencillo, cuyos resultados son fácilmente interpretables en términos cualitativo
	Comprobar si en la proximidad de un sondeo negativo existe alguna masa de sulfuros metálicos de interés.	**TEM en sondeos.**	- Para las medidas TEM debe definirse mediante modelización la posición óptima de los bucles para conseguir el máximo acoplamiento EM. - El tamaño del bucle debe ser igual o mayor a ½ de la profundidad del sondeo. - Operar preferentemente con sondas 3D. - El espaciado entre puntos de medida en zonas de anomalía no debe ser mayor de 10 m. - Operar con la frecuencia más baja posible hasta registrar la totalidad de la señal.	Es recomendable hacer varias series de medidas independientes para diferentes localizaciones del bucle transmisor en el primer sondeo que intersecte una masa de sulfuros en una zona nueva. Las medidas TEM en sondeos negativos son la única herramienta eficaz para comprobar si en su proximidad existe o no una masa de sulfuros masivos.

Tabla 7.6 – Recomendaciones respecto al programa general de reconocimiento mediante métodos geofísicos para proyectos de exploración minera en la Faja Pirítica. (Fuente: IGT).

7.8.1. Programa de trabajo a realizar.

7.8.1.1. Registros TEM en sondeos

Este método se emplea de forma sistemática en la prospección de yacimientos de sulfuros metálicos y ha probado repetidamente su utilidad para resolver dos tipos de objetivos concretos:

a) Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos cortadas por los sondeos.

b) Detectar y caracterizar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en la proximidad de los sondeos o por debajo del fondo de los mismos, aunque no hayan sido intersectadas por éstos.

El método de las medidas Down-hole TEM es capaz de resolver este tipo de objetivos investigando hasta distancias que pueden superar incluso un centenar de metros desde los sondeos en los que se hacen las medidas. En consecuencia es el método geofísico con mayor capacidad para resolver los objetivos orientados a la cuantificación de los recursos minerales en la zona norte.

El método de los registros TEM en sondeos

El método de las medidas TEM en sondeos está ampliamente divulgado en la bibliografía técnica y su aplicación es habitual en la prospección de minerales metálicos tanto mediante medidas de superficie como mediante medidas realizadas en sondeos. Se explican brevemente algunos de sus aspectos más significativos en lo que afecta a la planificación y la ejecución de las medidas en los sondeos:

- Para conseguir energizar un posible conductor del subsuelo y que su efecto se manifieste en las medidas TEM realizadas dentro de un sondeo es necesario crear en el subsuelo un momento magnético suficientemente intenso. Esto se logra mediante el corte instantáneo de un pulso de corriente que se hace circular por un bucle de cable situado sobre el terreno. El momento magnético es el producto de la intensidad de los pulsos de corriente que circulan por el bucle transmisor multiplicada por el área encerrada por el bucle transmisor y por su número de espiras. En términos prácticos esto significa que el tamaño del bucle transmisor localizado en la superficie del terreno debe ser suficientemente grande y proporcional a la profundidad hasta la que se hayan de realizar las medidas en los sondeos.
- La manifestación de un conductor del subsuelo, como por ejemplo una masa de sulfuros metálicos, en las medidas TEM realizadas dentro del sondeo depende en gran parte del acoplamiento EM entre el campo EM primario (creado por los pulsos de corriente que se hacen circular por el bucle transmisor) y el conductor. El acoplamiento EM depende de la posición relativa entre el bucle transmisor y el conductor del subsuelo y es máximo cuando las líneas de fuerza del campo EM primario intersectan perpendicularmente a la cara de mayor superficie del conductor, asumiendo que éste sea de forma tabular.

En la Figura 7-20 se explica este concepto mediante una sección con dos posibles conductores metálicos situados en posición subvertical y señalando las líneas de fuerza del campo EM primario creado por el bucle transmisor también representado en este esquema. El conductor identificado como A es intersectado casi perpendicularmente por las líneas de fuerza del campo EM primario, por lo que su acoplamiento EM es bueno y por ello su efecto se manifestará de forma evidente en las medidas TEM que se realicen en el sondeo representado. Por contra, para la posición del bucle transmisor de este gráfico, las líneas de fuerza del campo EM primario son casi paralelas al conductor B, con lo que su acoplamiento EM será bajo. Sin embargo, también en este caso se podría observar su efecto en las medidas TEM, aunque con menor intensidad que para el caso del conductor A.

En la práctica lo anteriormente expuesto significa que para poder detectar y determinar con mayor precisión la localización y la continuidad de una posible mineralización masiva de carácter metálico es necesario en algunos casos realizar varias series de medidas TEM en el mismo sondeo, para diferentes localizaciones del bucle transmisor situado en la superficie del terreno; o bien emplear bucles transmisores con una configuración específica.

La anomalía producida en las medidas TEM por una masa metálica, especialmente cuando no ha sido intersectada por el sondeo, se manifiesta a lo largo de un tramo del mismo muy superior a la potencia real de la mineralización. La “anchura” de la anomalía es tanto mayor cuanto más alejada del sondeo se sitúa la mineralización que la origina. En consecuencia las medidas TEM en los sondeos no son continuas sino que se hacen a intervalos variables entre 10 y 20 metros, que pueden reducirse a 5 metros en zonas de anomalías complejas para la mejor definición de sus características.

La interpretación de las anomalías de los registros TEM de los sondeos se lleva a cabo mediante un proceso de modelización que permite determinar los siguientes parámetros de los conductores metálicos del subsuelo que las originan:

- Localización, rumbo y buzamiento.
- Tamaño aproximado.
- Conductancia. Es el producto de la conductividad por la potencia de la masa de sulfuros metálicos y sus valores son por lo tanto representativos de la entidad de la masa de sulfuros metálicos que produce la anomalía en cuestión.

En la Figura 7-21 se incluye un ejemplo de la forma en que se presentan los resultados de la interpretación de las anomalías de los registros TEM producidas por conductores metálicos del suelo tales como masas de sulfuros metálicos. En este caso se trata de la interpretación de la anomalía producida por una masa de sulfuros metálicos que no fue cortada por el sondeo.

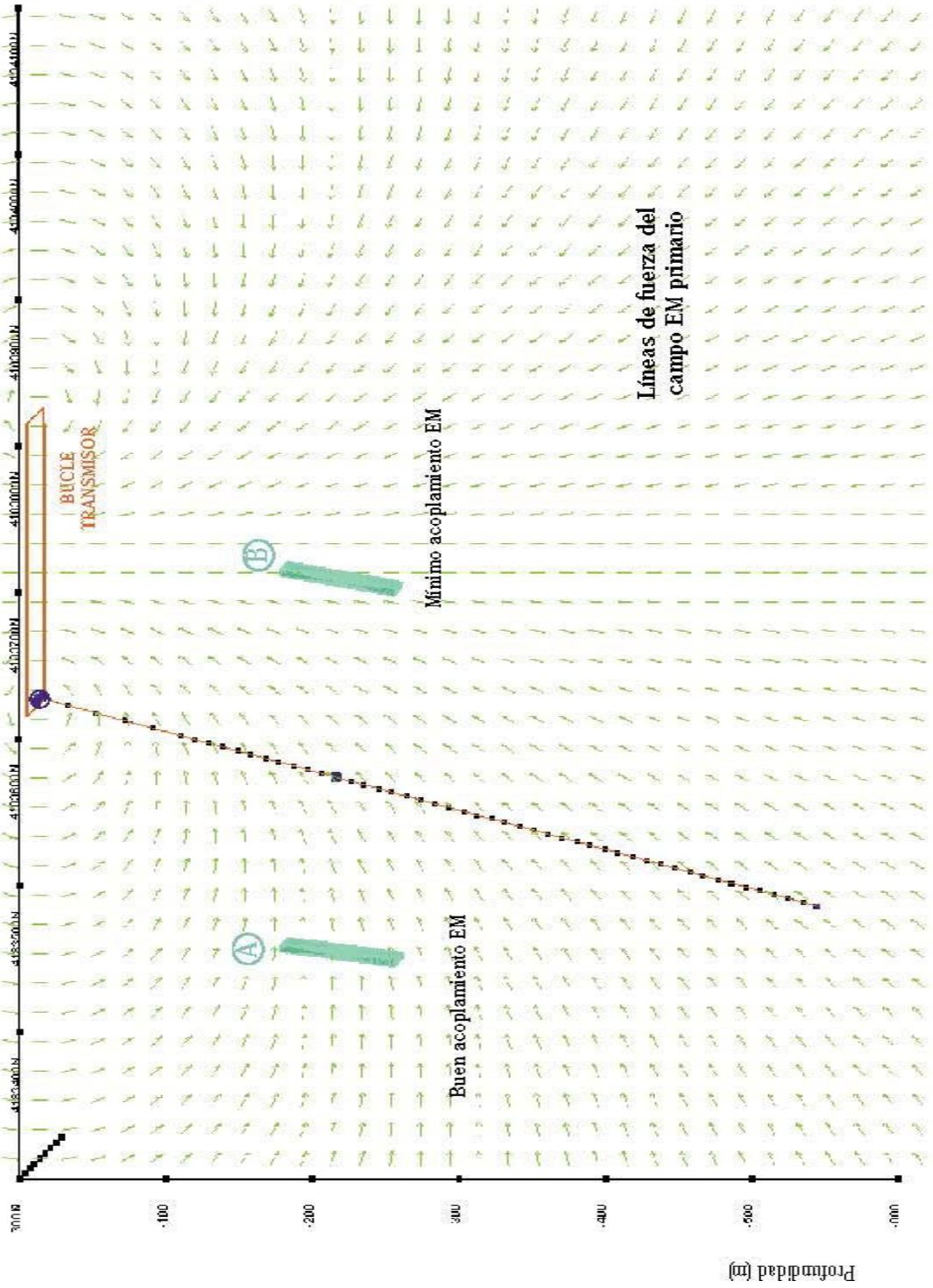


Figura 7-20 – Variación del acoplamiento EM entre el campo primario y un conductor del subsuelo en función de la posición de éste con respecto al bucle transmisor. (Fuente: IGT).

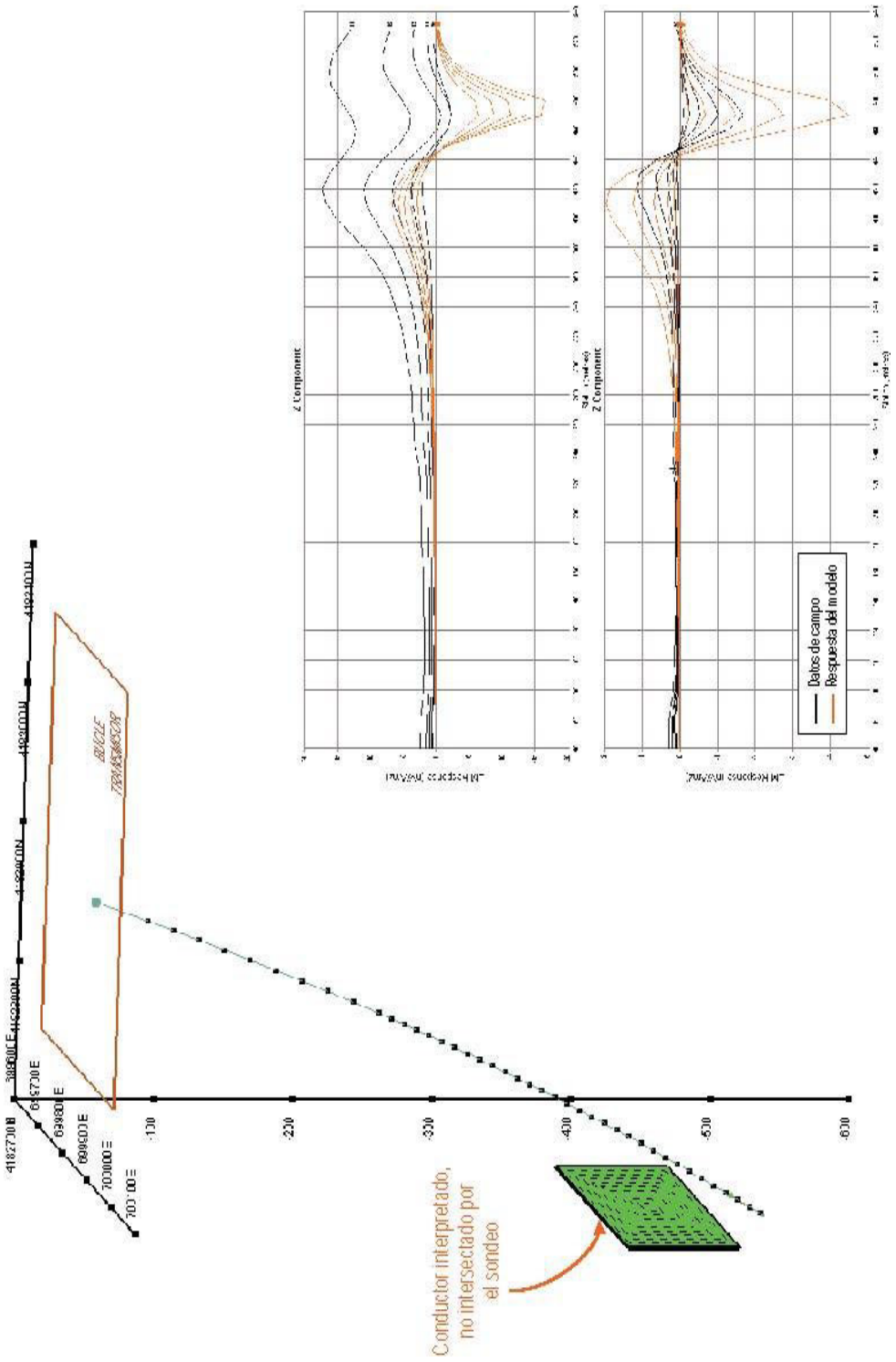


Figura 7-21 – Presentación de los resultados de la modelización de los registros TEM un sondeo que no cortó sulfuros metálicos. (Fuente: IGT).

En la representación de los valores del potencial en forma de perfiles la proyección horizontal de la cabecera del conductor viene definida por el punto de potencial máximo o de gradiente de potencial nulo. El plano de equipotenciales resultante de estas medidas permite determinar la proyección horizontal del conductor metálico cortado por el sondeo en la forma indicada en el ejemplo que se presenta en la Figura 7-18, correspondiente a un estudio realizado en la Faja Pirítica.

En ciertos casos, mediante las medidas de puesta a masa también pueden identificarse otros conductores próximos aunque no estén en contacto con aquél en el que se ha producido la inyección de los pulsos de corriente, porque producen máximos de potencial de menor amplitud que el principal, pero que pueden ser perfectamente interpretables.

Pese a su indudable interés, no se puede asegurar a priori que su empleo sea viable en la zona norte de la Reserva de Aznalcóllar, salvo en su extremo NE, debido a que una gran parte de esta zona está recubierta por escombreras y ello representa no solo una importante limitación logística, sino también una dificultad para la obtención de medidas fiables. En todo caso se planteará su aplicación para el estudio de posibles masas que se descubran independientemente de las conocidas y parcialmente explotadas.

La profundidad de los sondeos que se plantea perforar en la zona norte de la Reserva Minera de Aznalcóllar puede variar entre 300 y 600 m, lo que significa que están perfectamente dentro del rango de aplicación de este método que puede aplicarse en sondeos de hasta 2.000 metros de profundidad. El equipo técnico de Minorbis-Grupo México determinará a lo largo del desarrollo de la campaña de sondeos cuáles se deberán estudiar mediante medidas TEM, aunque en este momento cabe considerar que con este método se estudien al menos 7 sondeos.

Para estos estudios se aplicarán las especificaciones técnicas que se relacionan a continuación:

- Emplazamiento del bucle o bucles transmisores en superficie a partir de una simulación en función de la profundidad del sondeo y de las características geológicas de la zona de estudio, para tratar de conseguir el máximo acoplamiento del campo EM primario con las posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en el entorno del sondeo.
- Tamaño de los bucles transmisores — Se emplearán bucles cuadrados cuyo lado sea entre ½ y ⅓ de la profundidad del sondeo.
- Sincronismo entre Tx y Rx mediante cable de referencia.
- Intensidad de los pulsos de corriente — Como mínimo será de 10 A.
- Tiempo de corte de los pulsos de corriente (T/O time) — En función del tamaño de los bucles.
- Frecuencia de los pulsos de corriente en el bucle Tx — 25 Hz (HI) y 6'25 Hz (MD).
- Parámetro medido — Tres componentes ortogonales (X, Y, Z) de la f.e.m. del campo EM secundario.

- Opción de medida “Off time”. Esta modalidad implica que en cada posición del sensor dentro del sondeo se hace una sola serie de medidas independientes, después del corte de los pulsos de corriente en el bucle transmisor.

- Ejecución de las medidas del campo EM transitorio en el intervalo desde 0'078 hasta 7'04 ms para la frecuencia de 25 Hz y entre 0'312 y 28'12 ms para la frecuencia de 6'25 Hz a lo largo de 20 ventanas, distribuidas según se detalla en la Tabla 7.7. La operación a menor frecuencia, 2’5 Hz (LO), queda limitada al caso de que se detecte alguna masa extraordinariamente grande, de modo que su respuesta se mantenga en canales de tiempo posteriores a 25 ms.

- Distribución de los puntos de medida a intervalos de 10 metros a lo largo de todo el sondeo.

- Como control de calidad de las medidas, se repetirán las medidas al menos en el 10% de los puntos a lo largo del sondeo.

En caso de un posible estudio de sondeos localizados en la zona sur, el tamaño de los bucles transmisores y la frecuencia de los pulsos de corriente en ellos habrá de definirse en función del espesor del recubrimiento Terciario, que por su baja resistividad eléctrica produce un cierto efecto pantalla que se traduce en un retardo en la manifestación del efecto de los posibles conductores metálicos del subsuelo. En consecuencia será necesario operar con frecuencias medias y bajas (6’25 Hz y 2’5 Hz) y tener un conocimiento previo del espesor medio del Terciario en el emplazamiento del sondeo y en su entorno. De aquí la conveniencia de realizar un reconocimiento general mediante SEDT en la zona sur.

Ventana	Frecuencia (Hz)					
	25 (HI)		6'25 (MD)		2'5 (LO)	
	Inicio	Centro	Inicio	Centro	Inicio	Centro
1	0'078	0'087	0'312	0'348	0'78	0'87
2	0'096	0'198	0'384	0'432	0'96	1'08
3	0'120	0'138	0'480	0'552	1'20	1'38
4	0'156	0'174	0'624	0'696	1'56	1'74
5	0'192	0'216	0'768	0'864	1'92	2'16
6	0'240	0'277	0'960	1'11	2'40	2'77
7	0'314	0'353	1'27	1'41	3'14	3'53
8	0'392	0'441	1'57	1'76	3'92	4'41
9	0'490	0'561	1'96	2'24	4'90	5'61
10	0'632	0'706	2'53	2'82	6'32	7'06
11	0'780	0'865	3'12	3'46	7'80	8'65
12	0'950	1'07	3'80	4'28	9'50	10'7
13	1'19	1'38	4'76	5'52	11'9	13'8
14	1'56	1'75	6'24	7'00	15'6	17'5
15	1'93	2'19	7'72	8'76	19'3	21'9
16	2'45	2'82	9'80	11'3	24'5	28'2
17	3'18	3'56	12'7	14'2	31'8	35'6
18	3'93	4'37	15'7	17'5	39'3	43'7
19	4'80	5'54	19'2	22'2	48'0	55'4
20	6'28	7'04	25'1	28'2	62'8	70'4
21*	7'79	-	31'2	-	77'9	-

* Final de la ventana 20.

Tabla 7.7 – Distribución de las ventanas de tiempo del sistema PROTEM para las diversas frecuencias. (Fuente: IGT).

7.8.1.1. Estudios mediante el método Puesta a Masa

Este método consiste en inyectar un pulso de corriente continua en un cuerpo metálico de muy baja resistividad que haya sido intersectado por un sondeo para determinar en la superficie del terreno la distribución de las líneas equipotenciales del campo eléctrico creado al circular la corriente por el subsuelo y de forma preferente, a través del conductor.

Debido a la baja resistividad del cuerpo conductor (sulfuros metálicos) en el que se inyecta el pulso de corriente, la caída de potencial es mínima en él y máxima en su contacto con el encajante resistivo. Esto se traduce en que en el plano de equipotenciales resultante de este tipo de medidas, el efecto del conductor se manifiesta como un máximo que envuelve a la proyección horizontal de la parte más superficial del conductor. Este documento permite definir por lo tanto el rumbo del conductor y su continuidad lateral.

En la representación de los valores del potencial en forma de perfiles la proyección horizontal de la cabecera del conductor viene definida por el punto de potencial máximo o de gradiente de potencial nulo (Figura 7-22). El plano de equipotenciales resultante de estas medidas permite determinar la proyección horizontal del conductor metálico cortado por el sondeo en la forma indicada en el ejemplo que se presenta en la Figura 7-23, correspondiente a un estudio realizado en la Faja Pirítica.

En ciertos casos, mediante las medidas de Puesta a Masa también pueden identificarse otros conductores próximos aunque no estén en contacto con aquél en el que se ha producido la inyección de los pulsos de corriente, porque producen máximos de potencial de menor amplitud que el principal, pero que pueden ser perfectamente interpretables.

Pese a su indudable interés, no se puede asegurar a priori que su empleo sea viable en la zona norte de la Reserva de Aznalcóllar, salvo en su extremo NE, debido a que una gran parte de esta zona está recubierta por escombreras y ello representa no solo una importante limitación logística, sino también una dificultad para la obtención de medidas fiables. En todo caso se planteará su aplicación para el estudio de posibles masas que se descubran independientemente de las conocidas y parcialmente explotadas.

En el caso de emplearse este método, las medidas del potencial eléctrico se realizarán en modo gradiente con un espaciado de 20 metros entre los electrodos del dipolo receptor. El programa estándar para el estudio de cada sondeo incluirá la ejecución de las medidas sobre 8 perfiles de rumbo N-S, con una longitud unitaria de 800 a 1.000 metros y separados entre sí a intervalos de 200 m. Además, para la nivelación de los valores de potencial se harán medidas en un perfil de enlace que cruce todos los perfiles.

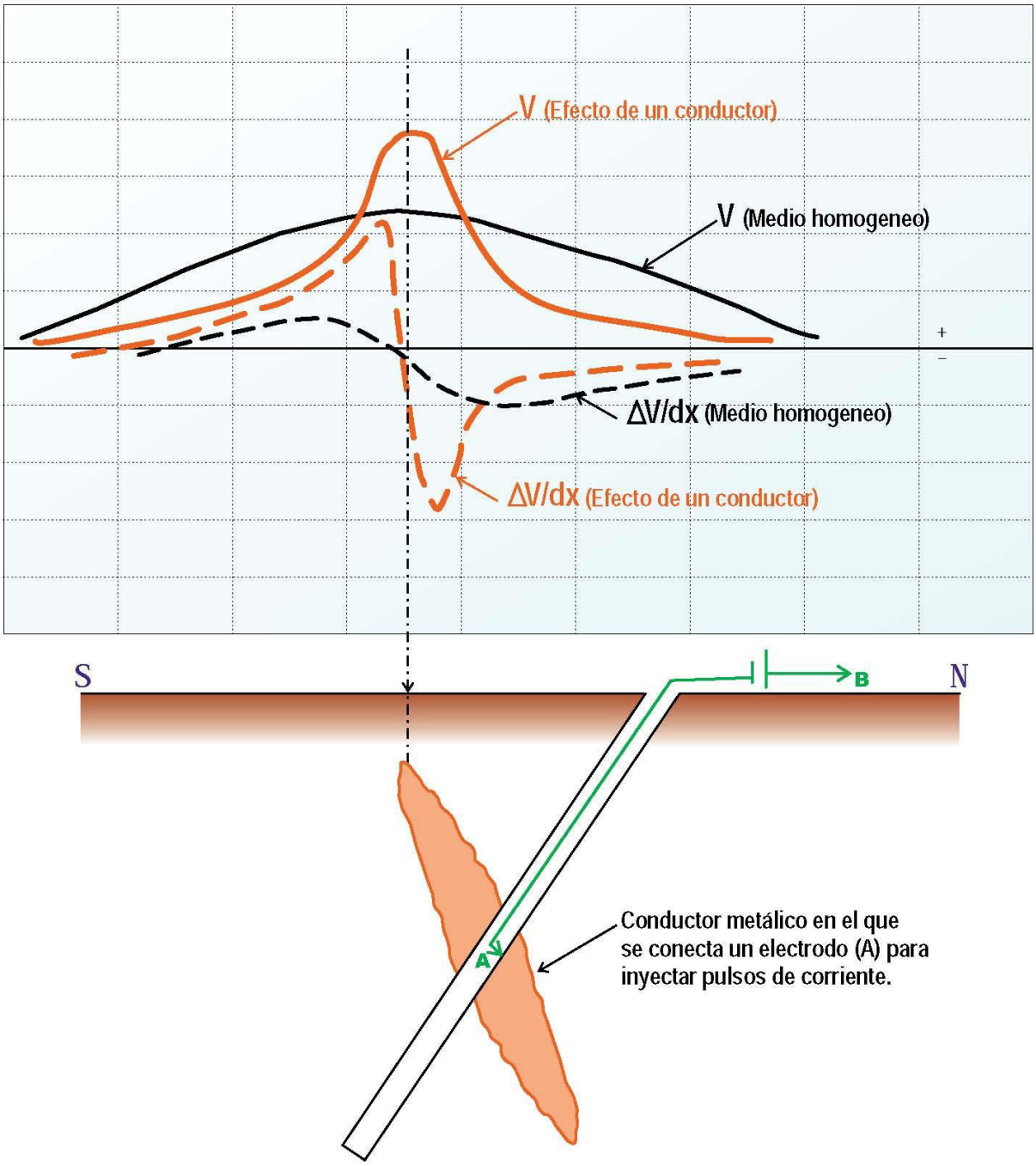


Figura 7-22 – Explicación del método de Puesta a masa. Fuente: IGT.

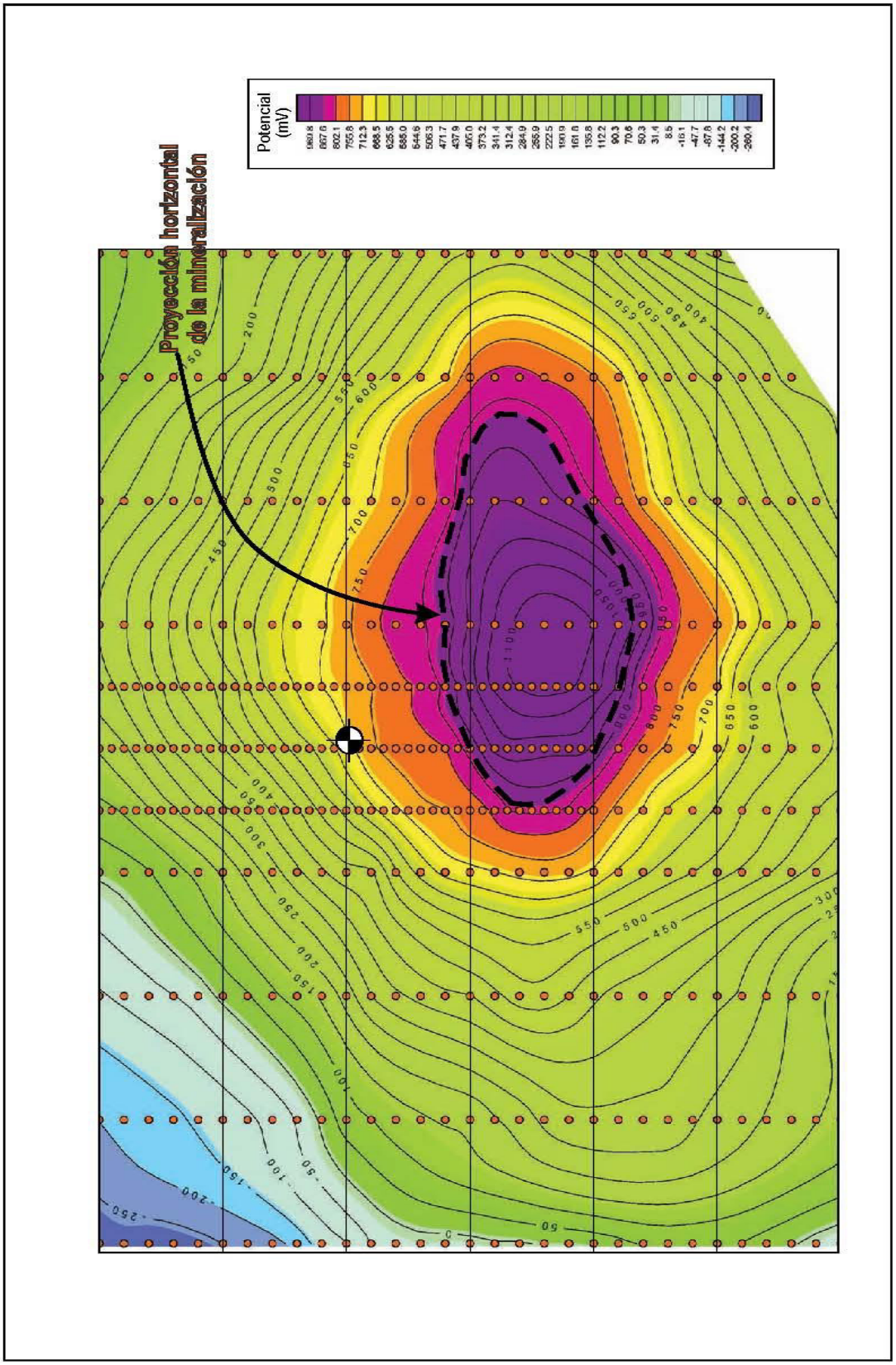


Figura 7-23 – Ejemplo de presentación de resultados de un estudio mediante el método de Puesta a Masa. Fuente: IGT.

7.8.1.2. Estudio gravimétrico en la zona sur

El objetivo del estudio gravimétrico será la identificación y la caracterización de anomalías positivas (máximos) en la atracción gravitatoria terrestre que puedan estar producidas por cuerpos densos del subsuelo, tales como masas de sulfuros metálicos. La **Fotografía 7.1** muestra el instrumental de medición gravimétrica.



Fotografía 7.1 – Gravímetro. (Fuente: IGT)

Las especificaciones técnicas que se aplicarán para la ejecución de este estudio serán del tipo estandar con alta sensibilidad para estudios de prospección minera de alta precisión, con el fin de conseguir una precisión en el Plano de Anomalía de Bouguer igual o mayor que 0'02 mGal. Estas especificaciones son las siguientes:

- Control de deriva secular del gravímetro, que se realizará midiendo en un punto fijo al inicio y final de cada jornada de trabajo. Deberá mostrar un comportamiento lineal sin saltos ni discontinuidades a lo largo de toda la campaña.
- Control de repeticiones del gravímetro sobre al menos el 15% de los puntos de estudio, en el curso de programas de lectura diferentes. El análisis estadístico de las repeticiones deberá demostrar que: El valor medio de las diferencias será menor de 0'02 mGal y que el 75% de las repeticiones presenta diferencias menores de 0'04 mGal.

- Control de la deriva. Cada programa de medidas, con una duración máxima de 4 horas, se iniciará y finalizará en una base gravimétrica. Se rechazarán los programas de medida cuyo error de cierre sea mayor de 0'03 mGal.

- Base gravimétrica. Dentro de la zona de estudio o en su proximidad se establecerá una base gravimétrica que se tratará de enlazar a una base de la Red Gravimétrica del Instituto Geográfico Nacional para operar con valores absolutos de gravedad. A esta base se enlazarán todas las medidas de los puntos de estudio.

- Corrección lunisolar. Se realizará de modo automático utilizando software comercial suficientemente contrastado.

- Corrección del efecto del relieve. Se efectuará de modo automático a partir del modelo digital del terreno que se obtendrá integrando las coordenadas y cotas de los puntos de estudio con la base digital de datos topográficos a escala 1/25.000 y con puntos en malla de 25 x 25 m, que se obtendrá en el Instituto Geográfico Nacional.

- Cálculo de la Anomalía de Bouguer que se efectuará de modo automático utilizando software comercial (GravRed desarrollado por GEOSOFT) según la fórmula general:

$$A = G-G_N + (C_F-C_B) \times Z + T.$$

Donde:

A- Anomalía de Bouguer.

G- Gravedad observada, corregida de efecto lunisolar y deriva instrumental.

GN- Gravedad normal calculada según la fórmula:

$$GN = 978.031'846\ [1+0'00552884\ \text{sen}2\ L+ 0'000023462\ \text{sen}4\ L]$$

CF- Coeficiente de Fayé.

CB- Coeficiente de Bouguer.

Z - Cota absoluta del punto de medida.

T - Corrección del efecto de relieve.

- Separación de anomalías regional - residual mediante filtrado digital en el dominio de frecuencias, prolongación de campos o ajuste de superficies, dependiendo de las particularidades del Plano de Anomalía de Bouguer resultante del estudio.

- Interpretación de los resultados del estudio mediante modelización (2'5D) e inversión 3D del Plano de Anomalía de Bouguer.

La zona a cubrir por el estudio gravimétrico es la señalada sobre el plano topográfico en la Figura 7-24. En ella se distribuirán los puntos de medida a intervalos de 50 m sobre una serie de perfiles regularmente distribuidos, con una separación de 200 m entre ellos. Esta malla de 200 x 50 m es orientativa y puede ser modificada localmente en zonas con

obstáculos topográficos, edificios u otros, y particularmente en la zona de la antigua balsa, donde se ha instalado un parque de paneles solares. De acuerdo con lo expresado, resulta un total de 1.440 estaciones gravimétricas.

La Fotografía 7.2 muestra un ejemplo de toma de medidas durante un estudio gravimétrico:



Fotografía 7.2 – Estudio microgravimétrico. (Fuente: IGT)



Figura 7-24 – Zona cubierta por el estudio gravimétrico (zona sombreada en gris). Fuente: Elaboración propia.

7.8.1.3. Estudio mediante SEDT en la Zona Sur

El método de los SEDT

Mediante este método se pretende resolver un doble objetivo:

- Determinar el espesor del recubrimiento terciario operando en modo convencional de sondeo eléctrico 1D y situando los puntos de medida relativamente próximos entre sí para poder correlacionar sus resultados y producir así secciones de resistividad similares a las secciones geológicas convencionales, del tipo del ejemplo que se presenta en la Figura 7-25 correspondiente a un estudio realizado en una zona de la Faja Pirítica Ibérica con importante recubrimiento del Terciario.
- Analizar el significado de las posibles anomalías gravimétricas para discriminar si están producidas por un alto en el relieve del sustrato rocoso bajo el recubrimiento, o si están producidas por masas de sulfuros metálicos. Para este objetivo las medidas de campo se realizarán en la modalidad de bucles móviles contiguos (Slingram).

Es oportuno recordar en este punto que el descubrimiento del yacimiento de “Las Cruces” se produjo como resultado de la correcta aplicación de esta metodología de trabajo: Estudio gravimétrico y comprobación mediante el método de los SEDT en modo Slingram que el máximo gravimétrico se correspondía con una zona de muy baja resistividad, localizada en el sustrato rocoso.

El método de los SEDT es una variante del Sondeo Eléctrico en la prospección geoeléctrica, que se diferencia del SEV clásico en que opera por inducción sin contacto eléctrico del dispositivo de medida con el terreno (Fotografía 7.3). De forma muy esquemática su funcionamiento es el siguiente: A través de un bucle de cable situado sobre el terreno se hace circular un pulso de corriente de alta intensidad que se interrumpe de forma brusca en el intervalo de algunos microsegundos (Fotografía 7.4). La interrupción de la corriente produce un campo magnético variable que a su vez induce una corriente en el subsuelo con un comportamiento de tipo difusivo.



Fotografía 7.3 – Testificación EM Peña del Hierro. (Fuente: IGT)



Fotografía 7.4 – Testificación EM Peña del Hierro. (Fuente: IGT)

Esta corriente migra hacia abajo y se extingue en el período de algunos milisegundos. Las medidas de la f.e.m. del campo EM secundario asociado a estas corrientes de difusión realizadas en diversas ventanas de tiempo son en consecuencia representativas de las características eléctricas (resistividad) del subsuelo. Se emplea para ello como sensor una bobina con un área efectiva equivalente del orden de 100 m^2 que se dispone respecto al bucle transmisor según diversas configuraciones. Una de las más comunes es situar la bobina receptora en el centro del bucle transmisor.



Fotografía 7.5 – Testificación EM. (Fuente: IGT)

Un concepto básico de este método es que a tiempos de lectura crecientes corresponden rangos crecientes de profundidad investigada.

A partir de los valores de f.e.m. medidos se calculan los correspondientes valores de la resistividad aparente que representados en función del tiempo de lectura dan origen a las curvas de la resistividad aparente, similares a las de los SEV. Estas curvas representan la variación integrada de la resistividad del subsuelo en función de la profundidad.

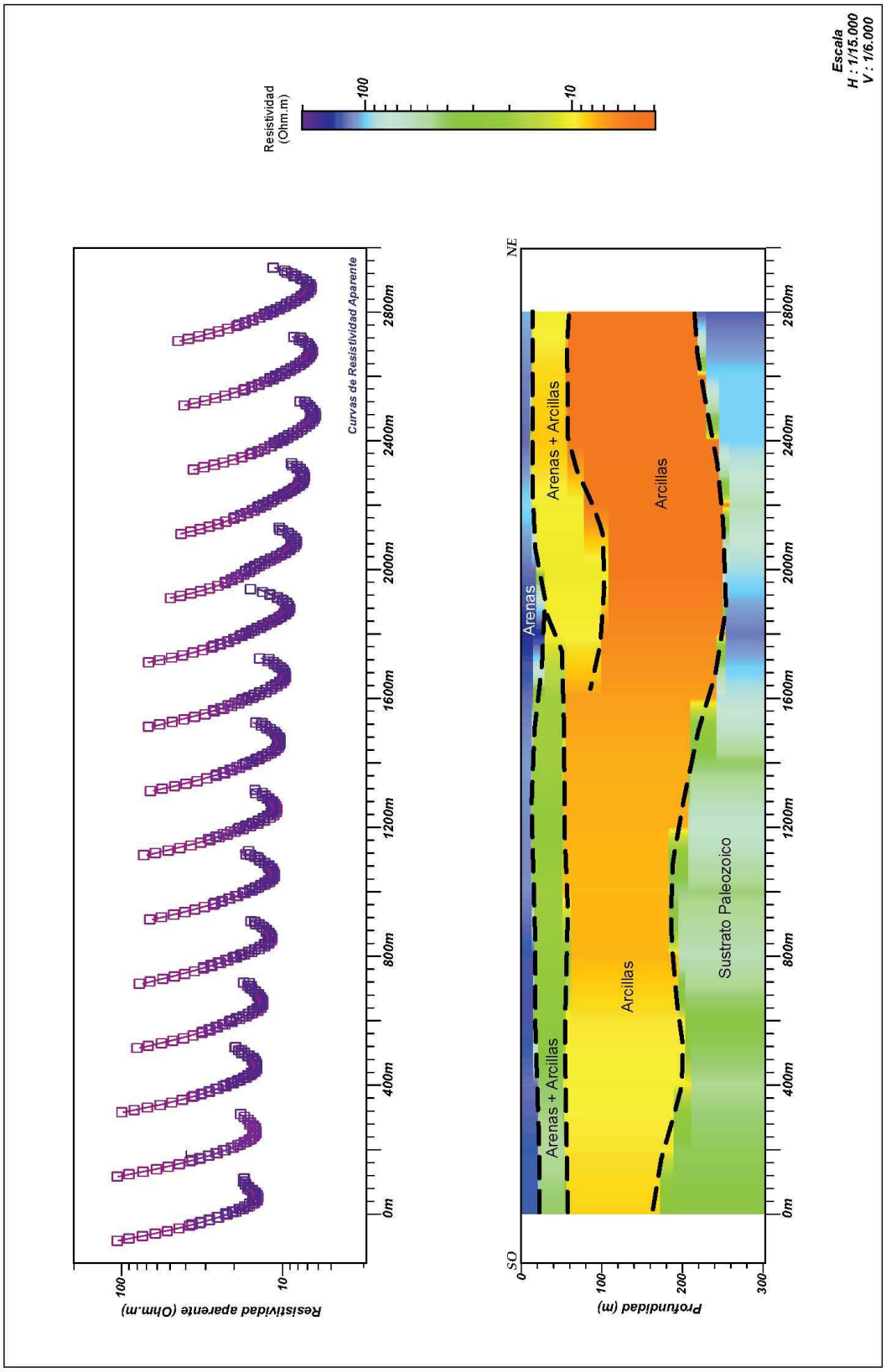


Figura 7-25 – Ejemplo de sección de resistividad obtenida mediante SEDT en una zona de la Faja Pirítica con recubrimiento Terciario. Fuente: IGT.

La escala horizontal de las curvas de resistividad aparente expresada en función del tiempo correspondiente a los diferentes canales de medida es equivalente a una escala de profundidad ya que, como se ha dicho, la señal correspondiente a tiempos de medida crecientes involucra el efecto de los materiales del subsuelo situados a rangos crecientes de profundidad.

El método de los SEDT tiene particularidades que le diferencian del de los SEV, haciéndole más o menos ventajoso para el estudio de cada caso particular, dependiendo de las características del modelo geológico, factores logísticos, profundidad a investigar, etc. Las características diferenciadoras más relevantes entre ambos métodos son las siguientes:

- Las medidas de los SEDT son representativas de los materiales situados principalmente en la vertical del bucle utilizado para generar el campo EM transitorio. Este bucle es normalmente de dimensiones inferiores a la profundidad investigada. Por ello tales medidas son más focalizadas que las obtenidas mediante SEV en las que se involucra el efecto de un considerable volumen rocoso cuando la distancia entre los electrodos de emisión AB es grande y siempre se cumple que AB es muy superior a la profundidad investigada. Esta mayor focalización contribuye a minimizar la influencia de los posibles cambios laterales de resistividad o de espesor de las capas.

- La capacidad de profundización de los SEDT depende directamente del tamaño del bucle y de la intensidad de los pulsos de corriente. También depende de la distribución de la resistividad de los materiales del subsuelo, siendo tanto mayor cuanto más conductor sean éstos. En cualquier caso, para igual profundidad investigada el tamaño del bucle requerido para la ejecución de un SEDT es muy inferior a la apertura necesaria entre los electrodos de emisión de un dispositivo de medida mediante SEV.

- A diferencia de los SEV, que aportan información desde los niveles más superficiales de la sección, los SEDT dejan sin resolver la zona más superficial hasta una profundidad que es directamente proporcional al tamaño del bucle transmisor pero que puede estimarse en un pequeño porcentaje de la dimensión de sus lados.

- Desde el punto de vista logístico el método de los SEDT es ventajoso respecto al de los SEV puesto que, para igualdad de profundidad a investigar, el tendido de un bucle rectangular de pequeño tamaño es siempre más sencillo que el extendido de un dispositivo lineal a distancias muy superiores al tamaño de uno de los lados del bucle.

- El grado de fiabilidad y repetibilidad de las medidas de los SEDT es generalmente muy superior a las de los SEV debido a dos causas principales: Por una parte, al no estar afectadas por las condiciones superficiales del terreno porque no requieren contacto físico de los electrodos con el medio rocoso y más importante aún porque las medidas en un determinado SEDT son el resultado de promediar las correspondientes a centenares de ciclos de medida que se repiten en el intervalo de algunos minutos.

Operación en modo Slingram

Esta configuración se denomina también de bucles móviles y se aplica de forma sistemática en la prospección de sulfuros metálicos por su capacidad para detectar masas conductoras con independencia de su disposición subvertical o subhorizontal. Tanto si se trata de conductores subverticales o subhorizontales, es factible conseguir un buen acoplamiento entre el campo EM primario y las posibles masas de sulfuros metálicos, tal como se puede observar en los esquemas que se incluyen en la Figura 7-26. Al variar la posición de los bucles transmisores siempre hay alguna localización para la que el acoplamiento EM es máximo, con independencia de la disposición de los conductores.

Se considera necesaria la aplicación de esta modalidad de uso del método TEM para el reconocimiento de las posibles anomalías de interés que resulten del estudio gravimétrico que se realice previamente, para poder discriminar si realmente están producidas o no por masas de sulfuros metálicos.

Para este reconocimiento se operará con un espaciado de 50 metros entre los puntos de medida al objeto de conseguir suficiente resolución en los resultados. Por su parte el tamaño de los bucles habrá de definirse en función del espesor del recubrimiento Terciario y en todo caso deberá ser suficiente para extender el reconocimiento hasta al menos 400 – 500 m de profundidad.

La forma en que un conductor de morfología tabular y disposición subvertical se manifiesta en este tipo de medidas es fácilmente reconocible, ya que produce en los perfiles de f.e.m. del campo EM transitorio una anomalía formada por dos máximos asimétricos y un mínimo centrado en la cabecera del conductor, del tipo del ejemplo de la Figura 7-27 correspondiente a un estudio realizado recientemente en la Faja Pirítica.

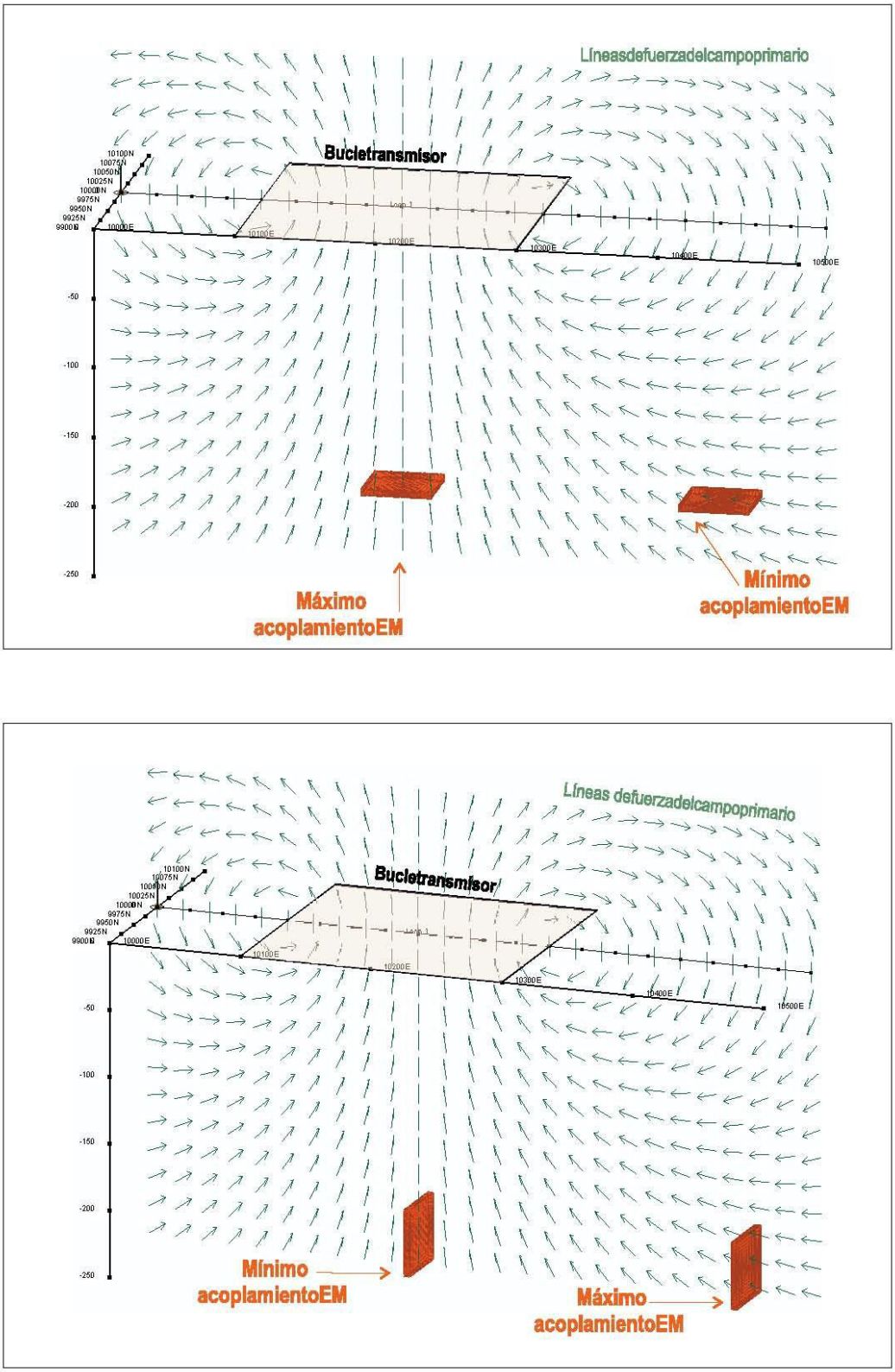
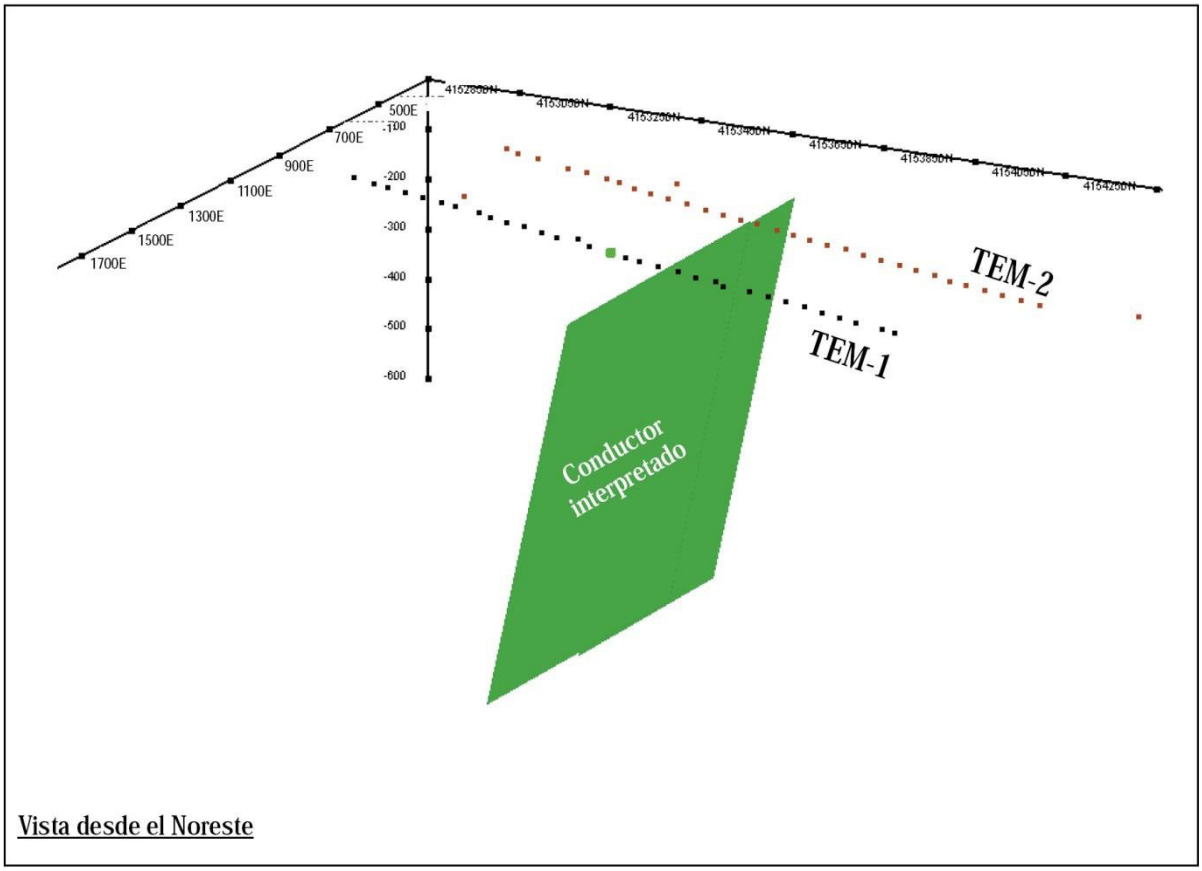


Figura 7-26 – Acoplamiento EM entre un conductor del subsuelo y el campo EM primario para las medidas con dispositivo Slingram. (Fuente: IGT).



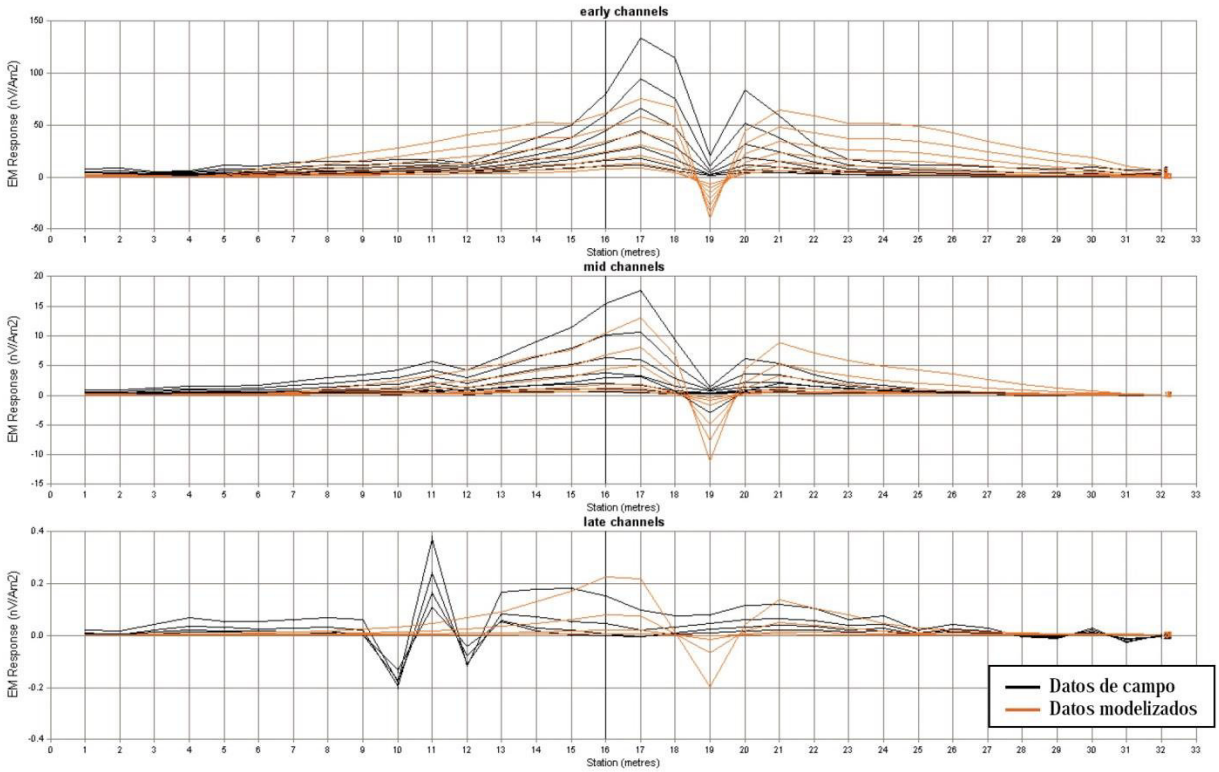


Figura 7-27 – Ejemplo de anomalía producida por un conductor metálico en un estudio TEM con dispositivo Slingram y su interpretación. (Fuente: IGT)

El rumbo general del contacto entre el sustrato Paleozoico y el recubrimiento Terciario, que incrementa su espesor hacia el Sur, es aproximadamente Este-Oeste. En consecuencia se considera conveniente situar en dirección Norte-Sur los perfiles en los que se realizarán estas medidas.

El reconocimiento mediante SEDT se organizará en dos fases diferenciadas en función de sus objetivos y lógicamente de la modalidad de operación para realizar las medidas sobre el terreno y el posterior procesado de los datos.

Programa para determinar el espesor del recubrimiento Terciario

Se cuantifica este programa en el estudio de los cuatro perfiles señalados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que totalizan aproximadamente 11 km. Para un espaciado del orden de 200 m entre los puntos de medida resulta un total de 55 SEDT.



Figura 7-28 – Programa de trabajo para las medidas mediante SEDT destinadas a determinar el espesor del recubrimiento Terciario. (Fuente: elaboración propia)

Las especificaciones técnicas para estos trabajos serán las siguientes:

- Espaciado entre los puntos de medida – 200 m.
- Tamaño del bucle transmisor – 100 x 100 m.
- Sincronismo entre transmisor y receptor mediante cable de referencia.
- En cada punto de medida se harán tres registros independientes para frecuencias de 25 Hz, 6’25 Hz y 2’5 Hz, cada uno de ellos a lo largo de 20 ventanas distribuidas según la Tabla 7.2.

- Se registrará exclusivamente la componente vertical del campo EM transitorio empleando como sensor una bobina de inducción con un área equivalente de 100 m^2 o mayor (Fotografía 7.6).



Fotografía 7.6 – EM en Grandola. (Fuente: IGT)

Medidas en modo Slingram para el reconocimiento de posibles anomalías gravimétricas

Esta fase se desarrollará operando en modo de bucles móviles con medidas a intervalos de 50 m a lo largo de los perfiles que oportunamente se definan en base a los resultados del estudio gravimétrico. Asimismo habrán de definirse la longitud de los posibles perfiles y las especificaciones técnicas para las medidas en función del espesor del Terciario y de las particularidades de las posibles anomalías gravimétricas.

En todo caso para esta fase del estudio el registro de la f.e.m. del campo EM transitorio se realizará midiendo tres componentes ortogonales (X, Y, Z) del mismo y empleando como sensor una bobina de inducción multidireccional.

7.8.1.4. Sísmica de reflexión 2D en la zona sur

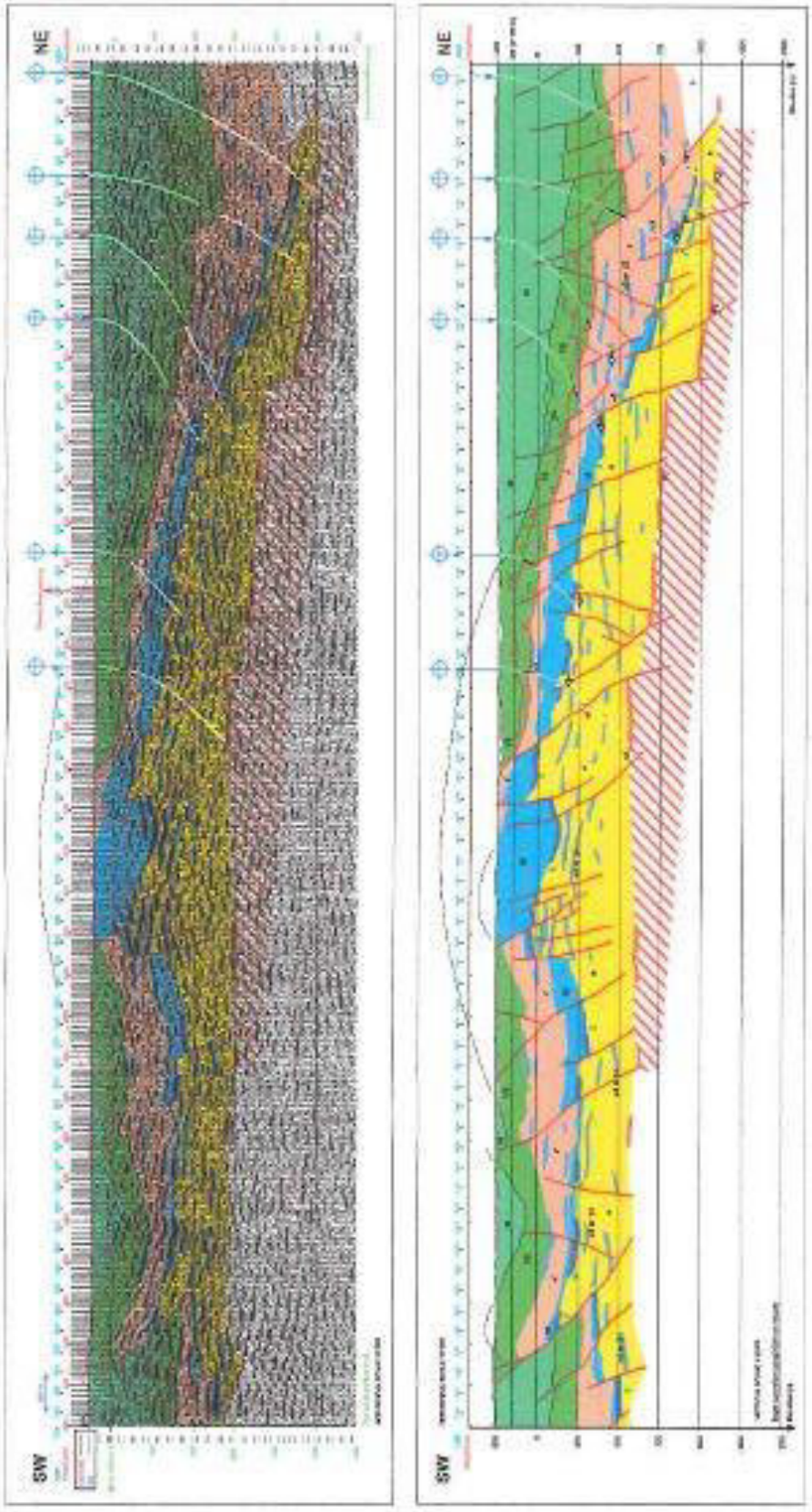


Figura 7-29 –Perfil sísmico interpretado (arriba) y corte geológico (abajo) en Neves Corvo, Portugal. (Fuente: CGG Veritas Somincor)

El estudio de sísmica de reflexión servirá como complemento de la investigación en la zona sur en el caso de localizarse mediante las técnicas de investigación anteriormente descritas, masas de sulfuros con una disposición estructural favorable para la realización de sísmica de reflexión, es decir, cercana a la horizontal.

La sísmica de reflexión es un método geofísico que pone de manifiesto contrastes de impedancia acústica entre los materiales atravesados. La impedancia acústica se define como el producto de la velocidad de onda sísmica y la densidad de una roca determinada.

Este método ya ha sido utilizado con éxito en el yacimiento de Neves Corvo, en Portugal. Figura 7-29 muestra un perfil sísmico interpretado del yacimiento. Los ensayos realizados sobre el yacimiento han permitido obtener criterios interpretativos para reconocer algunas extensiones del mismo, que se consideraban probables masas de sulfuros metálicos por su manifestación como débiles anomalías gravimétricas.

Se realizarán 2 perfiles sísmicos de 1000 m de profundidad y 5500 m de longitud total, que atravesarán la reserva con orientación Norte-Sur (Figura 7-30):

Las trazas de ambos perfiles serán diseñadas aprovechando los caminos y por este motivo no será necesario permitaje.

La aplicación del método se efectúa en tres fases:

- Adquisición de datos sobre el terreno
- Procesado de los datos
- Conversión de los datos a profundidad e interpretación geológica



Figura 7-30 – Traza de perfiles sísmicos 2D propuestos. (Fuente: Elaboración propia)

La campaña sísmica será mediante la utilización de fuentes vibrosísmicas que provocan un minitemblor de tierra. Los geófonos dispuestos en el terreno transforman los movimientos en tensión eléctrica y los datos se registran en un laboratorio móvil. Los geófonos se agrupan formando trazas sísmicas.

Los registros provenientes de cada tiro corresponden a un número constante de trazas. Sobre el terreno, todos estos tiros equidistantes, se alinean según el eje de un perfil definido previamente por la geología. El conjunto constituido por la fuente sísmica y las trazas constituye lo que se denomina el dispositivo.

La técnica consiste en el registro de ondas sísmicas en superficie, para lo cual es necesaria la intervención de diferentes equipos, que en un principio y temporalmente actuarán de forma independiente para, a continuación actuar conjuntamente.

Para la realización de la campaña sísmica se van a efectuar los siguientes trabajos:

- Topografía
- Tendido de la traza sismográfica
- Fuente vibrosísmica
- Registro
- Limpieza del terreno
- Procesado de los datos

Fuente vibrosísmica

La ventaja de la fuente vibrosísmica es que permite llegar muy cerca de casas y tuberías incluso por debajo de las líneas eléctricas por tener la posibilidad de ajustar las frecuencias de trabajo así como la duración y la energía del tren de ondas generado.

La vibrosísmica emplea una fuente de energía superficial basada en la vibración del terreno mediante una serie de equipos móviles destinados a este fin (Fotografía 7.7).

En cada punto de vibración (PV) se instala un equipo de vibración portátil o "vibro" encargado de producir el tren de ondas. Su generación se realiza mediante la vibración en el terreno de una placa (la presión que la placa ejerce sobre el suelo es del orden de los 200 kg/cm².) a unas determinadas frecuencias controladas las cuales generan el tren de ondas sísmicas.



Fotografía 7.7 – Camión vibrador tipo M22. (Fuente: CGG Veritas)

Estos parámetros se pueden introducir en una formula (Figura 7-31) que permite calcular la energía por kilómetro cuadrado o sea el SSE (Signal Strength Estimate) con otros parámetros propios a los demás de adquisición como numero de geófonos, cobertura, tamaño del bin, etc.

No existe una fórmula que permita estimar el SSE de la vibrosísmica. Lo que se hace habitualmente al inicio de una campaña son ensayos de vibrosísmica con diferentes arreglos, longitud y número de barridos. Se eligen unos puntos de vibración en la misma posición que un PT convencional y se compara el ratio de la señal sobre el ruido.

$$SSE = F.D.N_v.\sqrt{\frac{N_s.k.N_r.C.L}{b.(f_2 - f_1)}}$$

Contractual VP parameters

Nv	Contractual number of vibrators	2
Pf	H Peak Force (kN)	134
D	Drive (%) Fund= 96 KN	0.8
Ng	Number of Geophones	6
Ns	Contractual number of sweeps per VP	2
C	Fold	32
SL	Contractual sweep length (s)	16
SR	Sweep range (Hz)	72
b	Bin size (2D=m 3D=m²)	12.5
I_{PROD}	kN.sec /m in 3D	503
Pf	H Peak Force per vibrator M22/601 (daN)	13360

Figura 7-31 – Estimación del SSE (Energía emitida en cada punto de vibración). (Fuente: CGG Veritas)

Se utilizarán cajetines de registro sísmico tipo Unite de Sercel inalámbricos (Fotografía 7.8) en vez de material con cables para favorecer la operación en aquellas circunstancias que así lo aconsejen.



Fotografía 7.8 – Dispositivo UNITE y tendido de registro inalámbrico tipo Unite de Sercel. (Fuente: CGG Veritas)

Procesado

La información grabada sobre el terreno es posteriormente enviada al centro de cálculo, donde se realizará un procesado con el fin de obtener una sección que posteriormente será objeto de la interpretación.

Todos los tratamientos aplicados a los datos tienen por objeto depurar al máximo la información sísmica y producir la imagen más fiel posible de las capas del subsuelo en la vertical del perfil.

Otro de los objetivos del tratamiento es facilitar el cronometrado de las llegadas de las ondas y la profundidad de los reflectores.

Los programas de tratamiento más habituales que suelen aplicarse en sísmica de reflexión pueden agruparse en cuatro grupos, según sea su acción:

- Modificación de la amplitud de las señales

- Corrección de los tiempos de llegada de las señales

- Mejora de la señal con relación al ruido

- Transformación de la sección sísmica en corte geológico

Los resultados se interpretan teniendo en cuenta los datos geológicos y geofísicos existentes. Esta fase puede conducir a rehacer los tratamientos complementarios para confirmar las interpretaciones.

Para la interpretación geológica se realiza el cálculo de modelos sísmicos. A partir de una estructura sugerida por la sección sísmica se elabora un modelo con algunas variantes y se realiza el perfil sísmico teórico. Estos estudios interactivos entre los modelos teóricos y los perfiles reales permiten obtener una gran precisión en las estructuras, corregir el efecto de la topografía, la alteración superficial de las rocas o suprimir el efecto de la longitud del dispositivo de escucha.

Interpretación preliminar de la sísmica

En la etapa final de esta fase de la exploración, se procederá a la interpretación de las líneas sísmicas 2D.

Los trabajos de interpretación sísmica habituales están establecidos en base a una metodología clásica de la prospección petrolera, en la que los objetivos finales son la cartografía de las estructuras y delimitación de los posibles almacenes. Los documentos finales obtenidos de la sísmica 2D consisten en mapas de contornos de los horizontes sísmicos de interés y mapas de isopacas, ambos 'en tiempo', que se transforman a profundidad utilizando los datos de velocidad procedentes de los sondeos, básicamente el registro sónico y los 'checkshots'-VSP. No se suelen tener en cuenta las velocidades obtenidas en el procesado de la sísmica. Con los perfiles sísmicos 2D se obtienen los cortes geológicos con las principales estructuras y la posición de los niveles estratigráficos más relevantes en escala de tiempo (TWT).

Existe sin embargo, un método de conversión a profundidad desarrollado por la empresa AGH S.L. en colaboración con CRS Ingeniería, que permite la obtención de perfiles sísmicos directamente en el dominio de profundidad cuyo método se describe a continuación.

Perfiles sísmicos 2D en dominio de profundidades

La metodología clásica de interpretación de los datos sísmicos utiliza los datos procedentes del procesado convencional en tiempo para el trazado de los diferentes horizontes y obtener, a partir de éstos, los mapas de isocronas. Los mapas de isocronas son entonces convertidos a profundidad mediante la utilización de funciones de velocidad del tipo

$$Z = V0 * T + (K/2) * T2.$$

Interpretando los datos sísmicos en tiempo, la incorporación a la interpretación de datos de sondeo y otros obtenidos en el dominio de profundidades pasa por la conversión de éstos al dominio de tiempos utilizando tablas tiempo-profundidad que solo son válidas en el entorno cercano al sondeo. Por otra parte, cuando existen cambios laterales de velocidad,

se trabaja con imágenes distorsionadas asumiendo, en la gran mayoría de los casos, que no lo están.

Trabajando con los datos sísmicos en profundidad, la interpretación se hace más 'geológica' y todos los datos que se van incorporando con el tiempo permiten mejorar el modelo de velocidades con relativamente poco esfuerzo.

Existe la posibilidad, desde hace poco tiempo, unos 8-10 años, de realizar el procesado sísmico directamente en profundidad utilizando PSDM (Pre Stack Depth Migration). El coste es elevado, de 5 a 10 veces el coste del equivalente (PSTM) en tiempo y el tiempo de procesado se puede prolongar varios meses en función de la complejidad geológica y del modelo de velocidades.

En nuestra propuesta metodológica los perfiles sísmicos 2D en su versión Pre-Stack Time Migration (PSTM) se convierten a profundidad para su interpretación en este dominio. La metodología consiste en la utilización de las velocidades RMS, utilizadas en el procesado PSTM de la sísmica 2D, para obtener los perfiles sísmicos en el dominio de profundidades. La secuencia de trabajos es la siguiente:

- Ajuste de los datos Vrms del DPF al DP (+400 M). Extrapolación a +200 ms. Mallado de los datos cada 100 ms para 1 Inline - 1 Crossline
- Generación de un primer modelo de velocidades, utilizando solamente las velocidades RMS de la sísmica (modelo v0).
- Generación del primer juego de datos sísmicos en profundidad
- Aplicación de un porcentaje fijo a las velocidades del modelo v0. Obtención del modelo v1 y el nuevo juego de perfiles sísmicos en profundidad
- Interpretación de los horizontes clave y ajuste fino del modelo v1. Obtención del modelo final de velocidades (v2) y volumen final de los datos sísmicos en profundidad.

Todos los ficheros de salida, tanto de datos sísmicos como de modelos de velocidades, se generarán siguiendo el estándar SEGY, rev. 2, 'big-endian'

7.9. INSTRUMENTACIÓN DE TALUDES EN LA CORTA LOS FRAILES Y AZNALCÓLLAR

Se controlará la estabilidad de los taludes de la corta Los Frailes y el talud sur de la corta Aznalcóllar mediante instrumentación, a fin de obtener información sobre el comportamiento de los taludes, y las características del movimiento en el caso de que éste existiera, velocidad, pautas en los desplazamientos, situación de las superficies de rotura, presiones de agua, etc.

Se realizará un control geométrico exhaustivo mediante un seguimiento automatizado informando en todo momento de los posibles desplazamientos del talud.

El sistema de control se realizará bajo instrumentación topográfica que constará de estación total Trimble S8, 60 prismas de control, estación remota y sistema de control centralizado. Un dispositivo comunica el Instrumento Topográfico con el Centro de Control enviando los datos registrados y recibiendo nuevas instrucciones de lectura. La Figura 7-32 muestra una estación total.

La prolongada previsión de toma de datos obliga que el sistema se diseñe en modo totalmente automatizado y que registre, gestione e informe de los posibles movimientos sin necesidad de operador de campo.

La estación total tiene la función de medir el conjunto de prismas distribuidos sobre la zona a auscultar según un ciclo de observaciones previamente establecido. Una vez registrada cada una de las lecturas, envía las medidas, mediante el dispositivo de monitorización, a un centro de gestión que procesa y analiza los datos modificando, si fuera necesario, los ciclos de lectura y enviando las nuevas instrucciones a la estación total a través del mismo dispositivo de monitoreo.

La primera lectura calculará las coordenadas origen que servirán para comparar los datos que se vayan tomando de forma sucesiva. De este modo, si hubiera inestabilidad sobre el talud, las gráficas detectarían el movimiento tomando como partida las primeras lecturas.

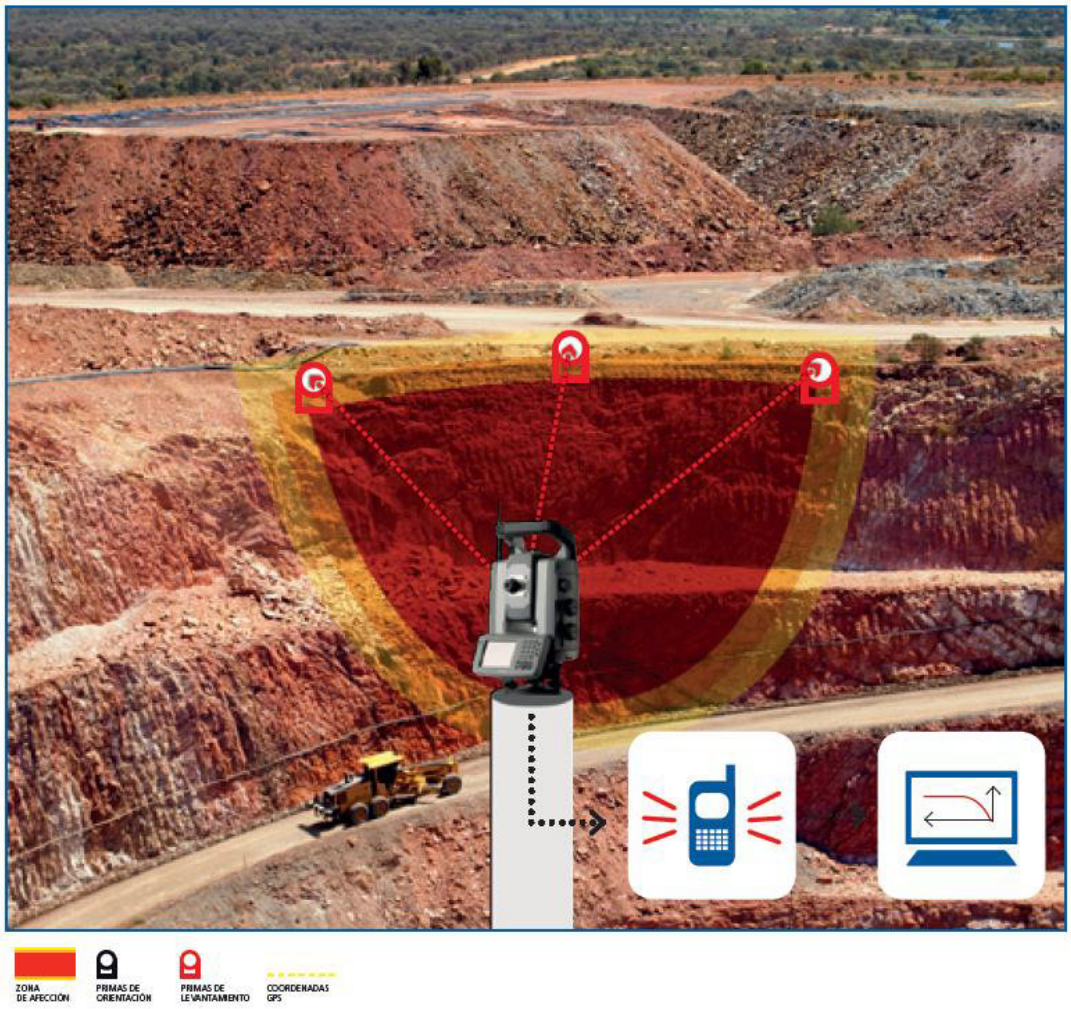


Figura 7-32 – Estación total para medición de prismas. (Fuente: al-top topografía).

Se debe disponer un conjunto de puntos de control fijados sobre el frente del talud. El movimiento de dichos puntos será objeto de estudio, de modo que, para la modelización y extrapolación de un modelo de previsiones de movimiento se debe analizar la posición que

debe ocupar cada uno de ellos y comparar posteriormente el movimiento vector de cada punto con el modelo previsto.

Para poder mantener un estado de medidas sobre los puntos éstos se materializarán con prismas anclados sobre el terreno (Figura 7-33).



Figura 7-33 – Prisma de control. (Fuente al-top topografía).

La estación total medirá el conjunto de prismas distribuidos sobre la zona a auscultar según un ciclo de observaciones previamente establecido. Una vez registrada cada una de las lecturas, se enviarán las medidas, mediante el dispositivo de monitorización, a un centro de gestión que procesará y analizará los datos modificando, si fuera necesario, los ciclos de lectura y enviando las nuevas instrucciones a la estación total a través del mismo dispositivo de monitoreo.

La estación total (Figura 7-34) mide los prismas distribuidos sobre los taludes a auscultar. La estación total tiene la función de tomar lectura de la posición de los prismas registrando el ángulo horizontal, vertical y distancia inclinada.



Figura 7-34 – Estación total Trimble S8. (Fuente al-top topografía).

La Figura 7-35 muestra la salida grafica del software de registro que consta de una base de datos que gestiona la gran cantidad de datos que transmitirá la Estación Total.

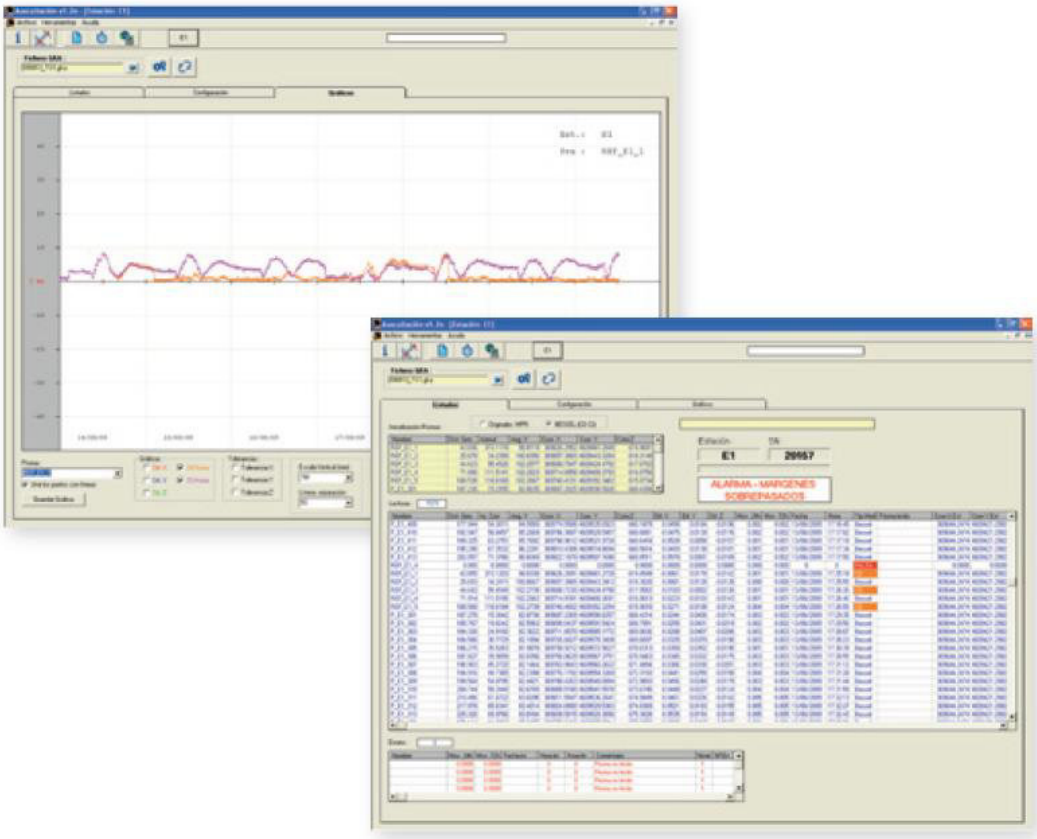


Figura 7-35 – Estación total para medición de prismas. (Fuente al-top topografía).

Los resultados se compararán según unas tolerancias previamente establecidas. En caso de producirse movimientos superiores a los previstos el sistema generará una señal de aviso clasificando el movimiento, según el umbral alcanzado, en zona verde (movimiento previsto), zona ámbar (alerta de aumento de movimiento) y zona roja (alarma por inestabilidad del talud).

7.10. ASPECTOS DE ESTA PROPUESTA RELATIVOS A LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

A partir de los descubrimientos de algunos yacimientos de sulfuros profundos, como son principalmente los de Neves Corvo en Portugal y Aguas Teñidas en Huelva, y teniendo en cuenta los nuevos modelos estructurales de la Faja Pirítica desarrollados principalmente por el IGME, se ha producido un notable interés para incrementar la profundidad de investigación hasta el rango de 1.000 metros como orden de magnitud.

Esta necesidad de incrementar la profundidad de investigación ha llevado al desarrollo de mejoras tanto en la instrumentación como en los programas de procesado de los datos.

Las mejoras en la instrumentación han tenido como objetivo incrementar la sensibilidad de los equipos de medida, para poder registrar señales más débiles en el caso de métodos geofísicos, o concentraciones de mineral más reducidas en el caso de métodos geoquímicos, y con ello detectar el efecto de posibles masas de sulfuros profundas.

Por su parte, los avances en los procedimientos de cálculo y procesado de las medidas geofísicas han permitido determinar mediante inversión modelos 3D con la distribución de parámetros característica del subsuelo, lo cual facilita extraordinariamente la

interpretación y reduce sus posibles ambigüedades. Otro avance sustancial en este campo es la modelización que permite por una parte contribuir a concretar la interpretación de los resultados y previamente a la mejor programación de las campañas de medida.

El programa de trabajo que se ofrece en esta propuesta incluye estas innovaciones y mejoras técnicas de forma concreta, en los siguientes puntos:

7.10.1. Innovación en prospección geoquímica Ion metálico móvil (Mobile Metal Ions MMI)

El Proceso de Iones de Metales Móviles (MMI) es un enfoque para la exploración de metales preciosos y metales base. Usa una extracción parcial débil y análisis de ultratrazado de elementos ICP-MS para mejorar la respuesta geoquímica convencional sobre depósitos minerales subterráneos.

Las anomalías MMI están agudamente limitadas y, en la mayoría de los casos, definen la proyección en superficie de zonas subterráneas con mineralización primaria.

La efectividad del Proceso MMI ha sido documentada en más de 1000 casos en seis continentes y ha sido responsable de numerosos éxitos comerciales.

7.10.2. Innovación en sondeos

7.10.2.1. Ensayos de hidrofracturación

La determinación del estado tensional del terreno se realizará empleando la técnica de hidrofracturación con wireline desarrollada por MeSy, en la cual la sonda vertical con los dos obturadores se desplaza por el interior del sondeo, soportada por un cable de testificación de siete conductores movido por un cabrestante eléctrico.

Esta técnica permite un rápido registro de las tensiones sin necesidad de que esté presente una sonda de perforación, permitiendo un buen control de las presiones aplicadas y del comportamiento de las fracturas debido a su mínima elongación y a la posibilidad de registrar a tiempo real la información producida en el interior del sondeo.

7.10.2.2. Registro Televiewer acústico

La técnica del televiewer proporciona una imagen continua, detallada y orientada de las paredes de la perforación, lo que permite la determinación de la dimensión y orientación de fracturas, desprendimientos en la pared del sondeo y el campo de deformaciones. El televiewer acústico registra la amplitud y el tiempo de recorrido de las ondas acústicas reflejadas, determinando además, el diámetro real del pozo.

Esta técnica ha sido ya utilizada en sondeos profundos de exploración de la mina Cabanasas en Súria (Barcelona) en 2012. La Figura 7-36 muestra un registro de televiewer acústico de esta campaña.

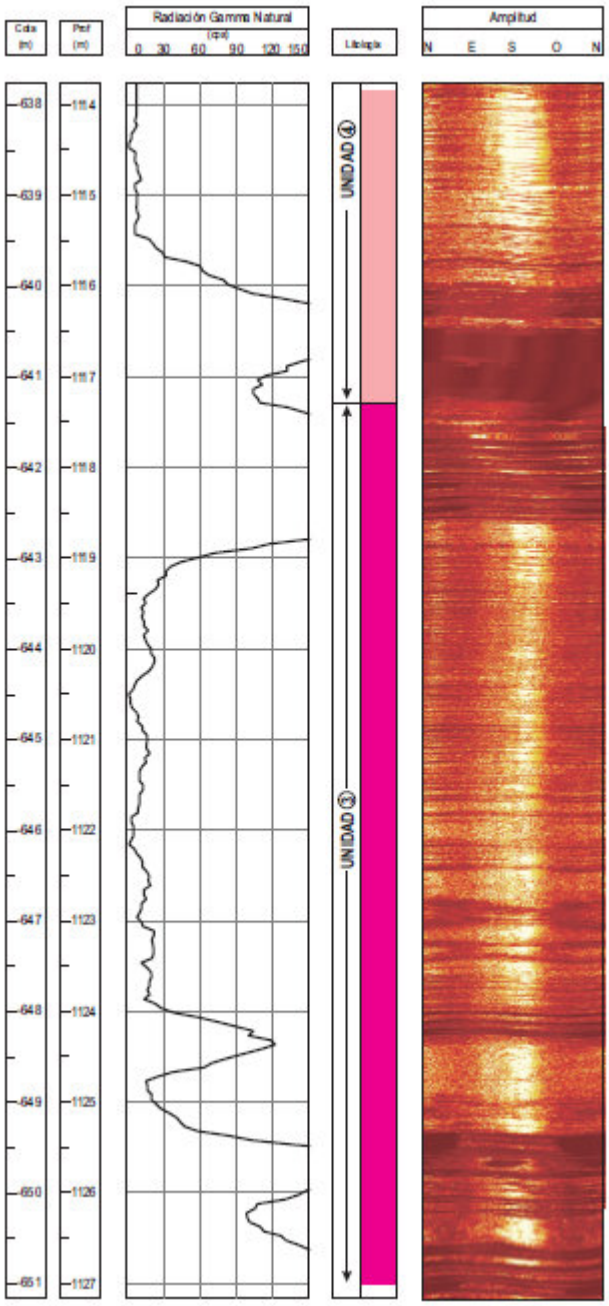


Figura 7-36 – Registro de Televiewer acústico. (Fuente: IGT).

7.10.3. Innovación en prospección geofísica

Los programas de prospección de sulfuros masivos por métodos geofísicos en la Faja Pirítica Ibérica se basan en dos métodos principales: Gravimetría y métodos Geoeléctricos, para la medida de la resistividad del terreno.

Así pues las innovaciones tecnológicas en el ámbito de los métodos geofísicos aplicables a la Faja Pirítica se centran casi exclusivamente en las mejoras que se han desarrollado en ambos tipos de métodos durante los últimos años. No puede decirse que haya métodos nuevos en sentido estricto, sino mejoras a los métodos clásicos.

7.10.3.1. Gravimetría

Para llevar a cabo los trabajos propuestos se dispone de un microgravímetro modelo Autograv CG5 con sensibilidad de 0'001 mGal, es decir un orden de magnitud mayor que los gravímetros estándar empleados habitualmente en prospección minera, cuya sensibilidad es 0'01 mGal (Fotografía 7.9). Para el procesado de los datos, IGT emplea los siguientes programas comerciales que están actualmente entre los más avanzados:

Gravred + Xcelleration.- Correcciones y cálculo de la Anomalía de *Bouguer*.

Magmap.- Filtrados digitales para separación regional/residual en el dominio de frecuencias a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), mediante Prolongación de campos, Filtro Butterword, *High-pass, Low-pass*, Ajuste de superficies, etc.

GM-SYS.- Modelización 2'5 D de anomalías gravimétricas y magnetométricas.

EMIGMA.- Inversión 3D de los planos de Anomalía de *Bouguer* y Residual y también del Campo Magnético Total.



Fotografía 7.9 – Microgravímetro Autograv CG5. (Fuente: IGT).

7.10.3.2. EM de Dominio de Tiempos

Las mejoras más recientes en este método se han desarrollado en dos aspectos:

- Empleo de sensores de alta sensibilidad (SQUID, fluxgate y bobinas de inducción de gran área equivalente) para las medidas de superficie.
- Empleo de transmisores de gran potencia para incrementar el momento magnético en el bucle transmisor y con ello la amplitud de la señal.

El equipo que se incluye en esta propuesta cumple estas dos condiciones ya que incluye:

- Una bobina receptora de tipo inductivo con un área equivalente de 1.000 m^2, lo que mejora de forma sustancial a las bobinas estándar de 100 m^2.
- Un transmisor modelo TEM57-MK2 con módulo de potencia adicional TEM67, capaz de hacer circular pulsos de 20 A en un bucle de 1.000 x 1.000 m (Fotografía 7.10).



Fotografía 7.10 – Transmisor. (Fuente: IGT).

Para los registros TEM en sondeos, los avances tecnológicos se han desarrollado en dos aspectos:

- Registro de 3 componentes ortogonales del campo EM secundario en vez de una sola componente (Z).
- Aumento del área equivalente de la bobina receptora para cada componente.

La sonda BH43/3D de que dispone IGT cumple con ambas condiciones y está considerada como una referencia por los profesionales de la geofísica.

El procesado y análisis de los registros TEM tanto de superficie como de sondeos, lo realiza IGT con los programas que se relacionan a continuación. Estos programas son los más completos y avanzados del mercado, y sus diseñadores los mejoran continuamente. Mediante los correspondientes contratos de mantenimiento IGT recibe sistemáticamente las versiones actualizadas:

DATEM & MOTEM.- Programas para edición, reducción y modelización.

EMIGMA/TEM.- Edición, reducción, modelización e inversión.

MAXWELL.- Es el programa más potente para la modelización y la inversión de datos. Incluye además todas las opciones de reducción.

7.10.3.3. Sísmica de reflexión 2D

El empleo de sísmica de reflexión proporciona información en profundidad acerca de la localización y estructura de los diferentes estratos y discontinuidades. Esta técnica ha sido utilizada con éxito en el yacimiento de Neves Corvo, en Portugal. El contraste de impedancia acústica reflejada en los perfiles permite diferenciar con claridad el contacto entre el Mioceno y Paleozoico, y por tanto localizar masas de sulfuros masivos en profundidad. La Figura 7-37 muestra un ejemplo de uno de estos perfiles sísmicos realizados.

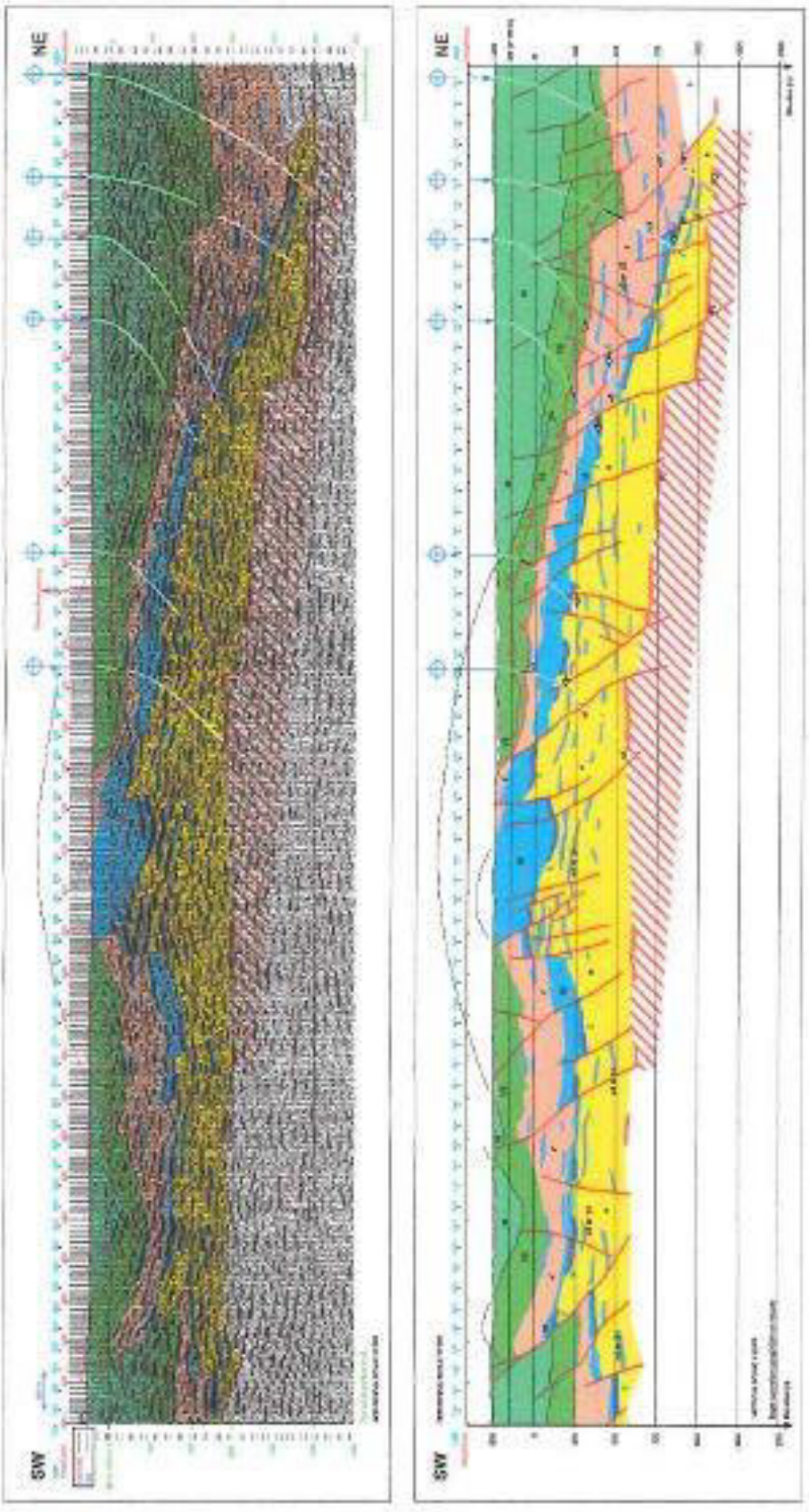


Figura 7-37 – Perfil sísmico de alta resolución en Neves Corvo, Portugal. (Fuente: CGG Veritas).

El tipo de vibrador a emplear durante la adquisición, el M22 de 30000 lbs (15 toneladas), permite llegar muy cerca de casas y tuberías incluso por debajo de las líneas eléctricas por tener la posibilidad de ajustar las frecuencias de trabajo así como la duración y la energía del tren de ondas generado.

El material a utilizar para el registro, denominado UNITE, es inalámbrico y está compuesto de un cajetín, de unos 20 cm de alto y 1,5 kg de peso, que lleva conectado una ristra de 6 geófonos que serán implantados en el terrero alrededor del Unite en un radio de 1 metro.

Toda la información registrada en los Unite será recogida por equipos harvesting (recolectores de datos), que podrán ir instalados en vehículos 4X4 o transportados por personas, transmitiéndose la información vía wifi, descargando la información en el camión laboratorio para ser derivada posteriormente al QC (control de calidad) en la oficina, que es el departamento que controla y procesa todos los datos. (Fotografía 7.11, Fotografía 7.12, Fotografía 7.13, Fotografía 7.14 y Fotografía 7.15)



Fotografía 7.11 – Dispositivo UNITE y tendido de geófonos. (Fuente: CGG Veritas).



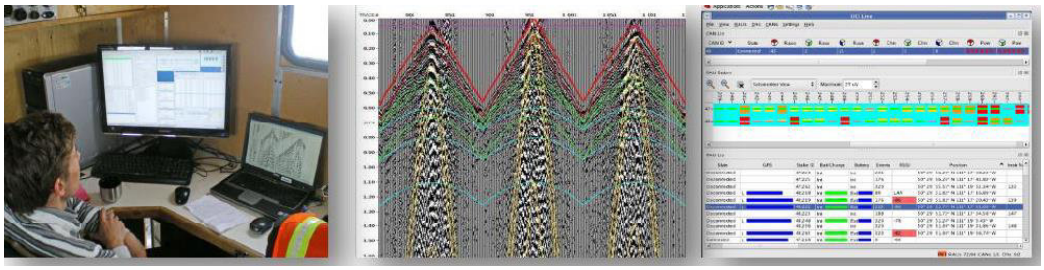
Fotografía 7.12 – Geófonos. (Fuente: CGG Veritas).



Fotografía 7.13 – Recogida de datos de los UNITE. (Fuente: CGG Veritas).



Fotografía 7.14 – Camión laboratorio e instrumentación. (Fuente: CGG Veritas).



Fotografía 7.15 – Control de datos en el camión laboratorio. (Fuente: CGG Veritas).

En cuanto a la interpretación de los datos, el método de conversión a profundidad desarrollado por AGH S.L. permite la interpretación sísmica directamente en profundidad, minimizando errores derivados de los modelos clásicos a conversión de datos en profundidad.

CRS Ingeniería realizó el control logístico y técnico de la campaña de sísmica de reflexión 3D, primera en realizarse en España para prospección minera, para la investigación geológico-minera en Mina Cabanasas (Súria, Barcelona),

7.10.3.4. Comentarios respecto a otros métodos geofísicos aparentemente innovadores

Los métodos geofísicos cuyo empleo se propone en esta oferta, son los que en nuestra opinión consideramos más adecuados y eficaces para los objetivos del reconocimiento que se plantea. Existen otros métodos supuestamente novedosos pero que

no se incluyen en este programa de trabajo por los motivos que brevemente se explican a continuación:

- Magnetotelúrico y Audio-MT.- Este método puede alcanzar una profundidad de investigación de varios Km pero su resolución lateral es muy baja e insuficiente para los requerimientos de la prospección minera, incluso en su variante CSAMT orientada al estudio de los niveles más superficiales y que a veces se ha empleado en la Faja Pirítica sin que se haya publicado ningún que avale su empleo en futuras campañas de investigación minera.
- TITAN 24.- En esencia este método es una variante de la Polarización Inducida – Resistividad, a la que se incorporan también medias Magnetotelúricas. Su rango de profundidad de investigaciones semejante al del método TEM cuando se emplean sensores de alta sensibilidad.
- Métodos aeroportados.- Diversas compañías ofrecen la ejecución de estudios mediante medidas del Gradiente gravimétrico (sistemas FALCON o BELL AEROSPACE) o mediante métodos EM de Dominio de Tiempos (MEGATEM, TEMPEST, GENESIS, etc.) de diversas características. Ninguno de estos métodos proporciona información mejor ni a más profundidad que la obtenida mediante medidas realizadas sobre el terreno. Sin embargo tienen la ventaja de que el coste unitario de estos reconocimientos es mucho menor que el de los reconocimientos convencionales sobre el terreno, y por ello su empleo está justificado para el reconocimiento de áreas muy extensas o inaccesibles.

7.10.4. Innovación en instrumentación de taludes

El área de la geotecnia ha tenido un gran desarrollo en el panorama mundial con la creación de nuevas técnicas y tecnologías. La instrumentación geotécnica es parte de estas nuevas tecnologías; y su objetivo es monitorizar el comportamiento del terreno a lo largo del tiempo.

La tecnología empleada, permite obtener información del comportamiento del talud y medir algunos parámetros geotécnicos de control.

El sistema de auscultación automática consiste en la combinación de instrumentos electrónicos y técnicas de telecomunicación que hacen posible la auscultación automática y el envío de la correspondiente información por medio de control remoto.

7.11. ASPECTOS DE ESTA PROPUESTA EN RELACIÓN AL ANTEPROYECTO DE EXLOTACIÓN

La elaboración del programa de investigación ha contemplado el estudio de la información previa existente y, a partir de esta información, ha realizado la propuesta de medios y técnicas más eficaces para ampliar al máximo el conocimiento de los yacimientos existentes en la Reserva de Aznalcóllar así como conocer la posible existencia de nuevas mineralizaciones.

Se ha desarrollado y ampliado el programa de investigación propuesto en el Anteproyecto de Explotación. Tras un minucioso estudio de las características de los yacimientos, y teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, se propone un programa específico, con técnicas que complementan las ya mencionadas en el Anteproyecto. La Tabla 7.8 muestra el resumen de las actividades propuestas en el presente programa de investigación

.

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN				
Actividad				**Objetivos**
GENERAL		Restitución fotogramétrica		Obtención de una base topográfica válida para todos los trabajos que enlace con la Red Geodésica Nacional.
		Estudio ambiental de base		Identificar el estado medioambiental actual en el que se encuentra la Reserva de Aznalcóllar.
		Prospección geológica		Cartografía de detalle escala 1:5.000 del entorno de las masas mineralizadas, y en el resto de la zona de la Reserva sin afloramientos paleozoicos a escala 1:10.000.
		Teledetección		Estudio regional para identificar posibles lineamientos que pudieran tener relación con posibles focos de mineralización.
ZONA NORTE	LOS FRAILES	Campaña de sondeos mecánicos con recuperación de testigo	10 sondeos gemelos en la corta Los Frailes	Validación de los datos obtenidos de diversas campaña realizadas entre los años 1987 y 1998.
			40 sondeos de investigación por encima del nivel - 350 m s.n.m.	Pasar los recursos inferidos existentes por encima de esa cota a recursos medidos e indicados.
			2 sondeos de investigación por debajo del nivel - 350 m s.n.m.	Delimitar el yacimiento en profundidad y establecer una cifra de recursos indicados e inferidos por debajo de esa cota.
			4 sondeos geotécnicos	Determinación de las propiedades geotécnicas de los materiales del emboquille y trazado de la rampa principal de transporte.
		Registros TEM en sondeo	Se realizarán registros en 2 sondeos: S15_05 y S15_14	Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos cortadas por los sondeos Detectar y caracterizar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en la proximidad de los sondeos o por debajo del fondo de los mismos, aunque no hayan sido intersectadas por éstos.
		Instrumentación de taludes		Controlar la estabilidad de los taludes, obtener información sobre el comportamiento de los taludes, características del movimiento en el caso de que éste existiera, velocidad, pautas en los desplazamientos, situación de las superficies de rotura, presiones de agua.
	AZNALCÓLLAR	Campaña de sondeos mecánicos con recuperación de testigo	4 sondeos de investigación (3 de ellos también hidrogeológicos)	Delimitar y evaluar el yacimiento lateralmente y en profundidad, para definir la cifra de recursos inferidos y evaluar la viabilidad de explotación. En tres de estos sondeos se instalarán piezómetros para control y seguimiento de aguas subterráneas.
			1 sondeo hidrogeológico	Instalación de un piezómetro de control y seguimiento de aguas subterráneas.
		Registros TEM en sondeo	Se realizarán registros en 4 sondeos: S15_42, S15_43, S15_44 y S15_45 (este último sondeo tiene doble objetivo Aznalcóllar-Cuchichón)	Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos cortadas por los sondeos. Detectar y caracterizar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en la proximidad de los sondeos o por debajo del fondo de los mismos, aunque no hayan sido intersectadas por éstos.
		Instrumentación del talud sur		Controlar la estabilidad del talud, obtener información sobre el comportamiento del talud, características del movimiento en el caso de que éste existiera, velocidad, pautas en los desplazamientos, situación de las superficies de rotura, presiones de agua.
	CARIDAD	Campaña de sondeos mecánicos con recuperación de testigo	1 sondeo de investigación	Delimitar y evaluar el yacimiento lateralmente y en profundidad para definir la cifra de recursos inferidos y evaluar la viabilidad de explotación.
		Registros TEM en sondeo	Se realizarán registros en 1 sondeo: S15_47	Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos cortadas por los sondeos. Detectar y caracterizar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en la proximidad del sondeo o por debajo del fondo del mismo, aunque no hayan sido intersectadas por éste.
	CUCHICHÓN	Campaña de sondeos mecánicos con recuperación de testigo	1 sondeo de investigación	Delimitar y evaluar el yacimiento lateralmente y en profundidad para definir la cifra de recursos inferidos y evaluar la viabilidad de explotación.
		Registros TEM en sondeo	Se realizarán registros en 1 sondeo: S15_45 (este sondeo tiene doble objetivo Aznalcóllar-Cuchichón)	Determinar la continuidad lateral y en profundidad de las masas de sulfuros metálicos cortadas por los sondeos. Detectar y caracterizar posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en la proximidad del sondeo o por debajo del mismo, aunque no hayan sido intersectadas por éste.
	1 sondeo mecánico			Condenación
	Método puesta a masa: Se contempla la realización de este método en 3 sondeos de la zona norte aún por determinar.			Detección de cuerpos metálicos de muy baja resistividad, rumbo del conductor y continuidad lateral.
ZONA SUR		Estudio MMI		Identificar posibles zonas con contenido de metales anómalo que puedan estar relacionados con mineralizaciones en profundidad.
		Estudio gravimétrico		Identificación y caracterización de anomalías positivas (máximos) en la atracción gravitatoria terrestre que puedan estar producidas por cuerpos densos del subsuelo, tales como masas de sulfuros metálicos.
		Perfiles SEDT		Determinar el espesor del recubrimiento terciario. Analizar el significado de las posibles anomalías gravimétricas para discriminar si están producidas por un alto en el relieve del sustrato rocoso bajo el recubrimiento, o si están producidas por masas de sulfuros metálicos.
		Perfiles de sísmica 2D		Obtener información en profundidad acerca de la localización y estructura de los diferentes estratos, discontinuidades y posibles masas mineralizadas.

Tabla 7.8 – Resumen de trabajos del programa de investigación. (Fuente: Elaboración propia).

A continuación se detallan las modificaciones y ampliaciones de las labores de investigación previstas con respecto al programa propuesto en el Anteproyecto de Explotación.

7.11.1. Restitución fotogramétrica:

Se realizará un vuelo fotogramétrico con apoyo de campo para la obtención de pares estereoscópicos actuales de la zona de estudio.

7.11.2. Prospección geológica:

La prospección geológica consistirá en la elaboración de mapas y cortes geológicos a escala 1:10.000 de la Reserva de Aznalcóllar. La cartografía geológica será realizada por los geólogos contratados para la campaña de perforación de sondeos. La información procedente de dicha campaña será integrada junto la cartografía geológica para la elaboración de cortes geológicos de detalle.

7.11.3. Teledetección

Se adquirirá la imagen más actual de la zona de estudio y se realizará un estudio regional para identificar posibles lineamientos que pudieran tener relación con posibles focos de mineralización.

7.11.4. Prospección geoquímica, sondeos mecánicos y prospección geofísica:

Se han diferenciado dos zonas dentro de la Reserva de Aznalcóllar en función de la información existente en cada una de ellas:

- La zona norte, con gran volumen de información existente, donde se localizan los yacimientos ya conocidos de Los Frailes, Caridad y Cuchichón.
- La zona sur con escasa información existente y sin mineralizaciones conocidas.

El programa de investigación se ha adaptado para cubrir los distintos objetivos presentes en las dos zonas del proyecto. Esto quiere decir que estas dos zonas serán investigadas con distintos métodos, en función de la información existente.

La diferencia principal con respecto al programa de investigación anterior propuesto en el Anteproyecto de Explotación son las zonas donde se van a realizar trabajos de investigación. Las zonas 1 y 2 inicialmente propuestas en el Anteproyecto de Explotación para exploración geofísica (Figura 7-38) han sido descartadas para investigación por localizarse dentro de la extensión del LIC. El presente programa de investigación no contempla ningún trabajo de investigación dentro de los límites del LIC.



Figura 7-38 – Zonas de investigación propuestas en el Anteproyecto de Explotación del yacimiento de Aznalcóllar para su exploración geofísica. (Fuente: Minorbis-Grupo México)

La Figura 7-39 muestra un resumen de la investigación propuesta en el presente programa de investigación y en ella puede apreciarse la extensión de la Reserva objeto de investigación por métodos geoquímicos, sondeos mecánicos y métodos geofísicos.



Figura 7-39 – Resumen de la investigación propuesta en el presente documento. (Fuente: Elaboración propia).

A continuación se detalla los métodos geoquímicos, campaña de perforación y métodos geofísicos específicos:

7.11.4.1. Estudio MMI

El estudio de prospección geoquímica mediante análisis del ion metálico móvil (MMI) únicamente se realizará en la zona sur de la Reserva. Se estima realizar 4 perfiles de 2000 m de longitud cada uno, separados 250 m entre sí, y con toma de muestras cada 50 m, lo que supone un total de 160 muestras a analizar.

7.11.4.2. Campaña de sondeos

En cuanto a la campaña de perforación, se concreta la realización de los siguientes sondeos:

- 50 sondeos de investigación.
- 10 sondeos gemelos.
- 4 sondeos geotécnicos para caracterización del emboquille de la rampa.
- 5 sondeos hidrogeológicos para seguimiento y control de aguas subterráneas (4 de estos sondeos coinciden con sondeos de investigación propuestos)..

El programa de perforación y muestreo cumplirá los protocolos de aseguramiento de calidad y control (QA/QC).

El programa de investigación contempla la realización de los siguientes ensayos y análisis:

- Se tomarán muestras de testigo de los tramos mineralizados y se realizarán análisis químicos cada 2 m para determinar los contenidos en Cu, Zn, Pb, Au, Ag, S, As y densidad.
- Se realizará un análisis multielemental sobre un 10 % de las muestras recogidas para detectar la posible presencia de otros metales de interés.
- Se realizará una media de 60 ensayos geotécnicos.
- 2 ensayos de hidrofracturación.
- Estudios petrográficos y metalogénicos.
- Ensayos Lugeon.
- Ensayos mineralúrgicos.

7.11.4.3. Prospección geofísica

En cuanto al estudio por métodos geofísicos, el programa de investigación presenta las siguientes especificaciones y modificaciones que se detallan a continuación.

7.11.4.4. Registros TEM en sondeo

Se especifican 7 sondeos de interés para realiza en ellos registros EM en dominio de tiempos. La elección del registro EM en dominio de tiempos y discriminación del resto de posibles registros geofísicos presentados en el anteproyecto responde a los objetivos de la investigación.

Para el posible estudio de sondeos localizados en la zona sur, será necesario operar con frecuencias medias y bajas (6'25 Hz y 2'5 Hz) y tener un conocimiento previo del espesor medio del Terciario en el emplazamiento del sondeo y en su entorno.

7.11.4.5. Puesta a masa

El estudio de Puesta a Masa, en principio descartado en el Anteproyecto, se considera que podría ser interesante para investigar la zona noreste. En el caso de emplearse este método, las medidas del potencial eléctrico se realizarán en modo gradiente con un espaciado de 20 metros entre los electrodos del dipolo receptor. El programa estándar para el estudio de cada sondeo incluirá la ejecución de las medidas sobre 8 perfiles de rumbo N-S, con una longitud unitaria de 800 a 1.000 metros y separados entre sí a intervalos de 200 m. Además, para la nivelación de los valores de potencial se harán medidas en un perfil de enlace que cruce todos los perfiles.

7.11.4.6. Método SEDT

Finalmente no se van a realizar medidas EM en superficie, tal como se proponía en el Anteproyecto. En su lugar, se propone el estudio mediante SEDT (sondeo eléctrico en dominio de tiempos) con dos objetivos principales:

- Determinar el espesor del recubrimiento terciario.
- Analizar el significado de las posibles anomalías gravimétricas para discriminar si están producidas por un alto en el relieve del sustrato rocoso bajo el recubrimiento, o si están producidas por masas de sulfuros metálicos.

7.11.4.7. Estudio gravimétrico

El estudio gravimétrico propuesto en el presente programa de investigación únicamente ha variado la zona de estudio con respecto a la zona prevista en el Anteproyecto, como ya se ha mencionado, no se contempla la realización de ningún trabajo de investigación dentro de los límites del LIC.

7.11.4.8. Estudio de sísmica 3D

Finalmente, el estudio mediante sísmica 3D propuesto en el Anteproyecto no se realizará. Se ha considerado que en la Reserva de Aznalcóllar existen algunos inconvenientes y limitaciones para la aplicación del método sísmico 3D.

En la zona norte existen limitaciones en las zonas de balsas donde no es posible la colocación de geófonos.

En la zona del LIC tampoco es posible la realización del estudio sísmico así como en la zona de tailings situada al sur.

Todas estas restricciones dejan una superficie muy reducida e insuficiente para la realización de un estudio sísmico de reflexión 3D.

Se propone por tanto un estudio mediante sísmica de reflexión 2D en la zona sur, en el caso de localizarse nuevas mineralizaciones de interés que presenten una geometría adecuada para la obtención de buena información sísmica. Se realizarán dos perfiles sísmicos 2D de 5,5 km de longitud total.

7.11.5. Integración de información y modelización digital 3D del yacimiento

Toda la información generada durante los trabajos de investigación será integrada junto con la información existente que a su vez sea revisada y validada durante la consecución del programa de investigación. Toda la información será integrada en distintos softwares, entre ellos ArcGis y VULCAN.

Se realizará un modelo geológico 3D de todos los yacimientos, tanto de los yacimientos ya conocidos como de las posibles nuevas mineralizaciones que pudieran encontrarse al sur de la Reserva.

Los modelos geológicos 3D generados permitirán un mayor conocimiento de las características de los yacimientos, en cuanto a localización, estructura y volumen, que a su vez permitirán la evaluación de recursos y reservas, así como elaborar planificaciones mineras.

8. MODELIZACIÓN DIGITAL 3D DEL YACIMIENTO

8.1. INTEGRACIÓN DE DATOS

Finalizado el trabajo de campo y adquiridos los datos de la cartografía geológica, campaña de sondeos, prospección geofísica y geoquímica, se integrarán los datos en una base de datos GIS.

Al mismo tiempo, para la estimación de recursos de los distintos yacimientos, se utilizará como herramienta informática Vulcan 3D, así como sus distintas aplicaciones.

8.2. DEFINICIÓN DE LAS MINERALIZACIONES: Los Frailes y otras

Una vez integrada la información obtenida de cartografía, campañas de prospección y sondeos, se definirán las mineralizaciones que resulten de interés para ser modelizadas.

8.3. MODELIZACIÓN DE LAS MINERALIZACIONES POR SEPARADO

Se realizará una modelización de cada una de las mineralizaciones que resulten de interés por separado (Figura 8-1).

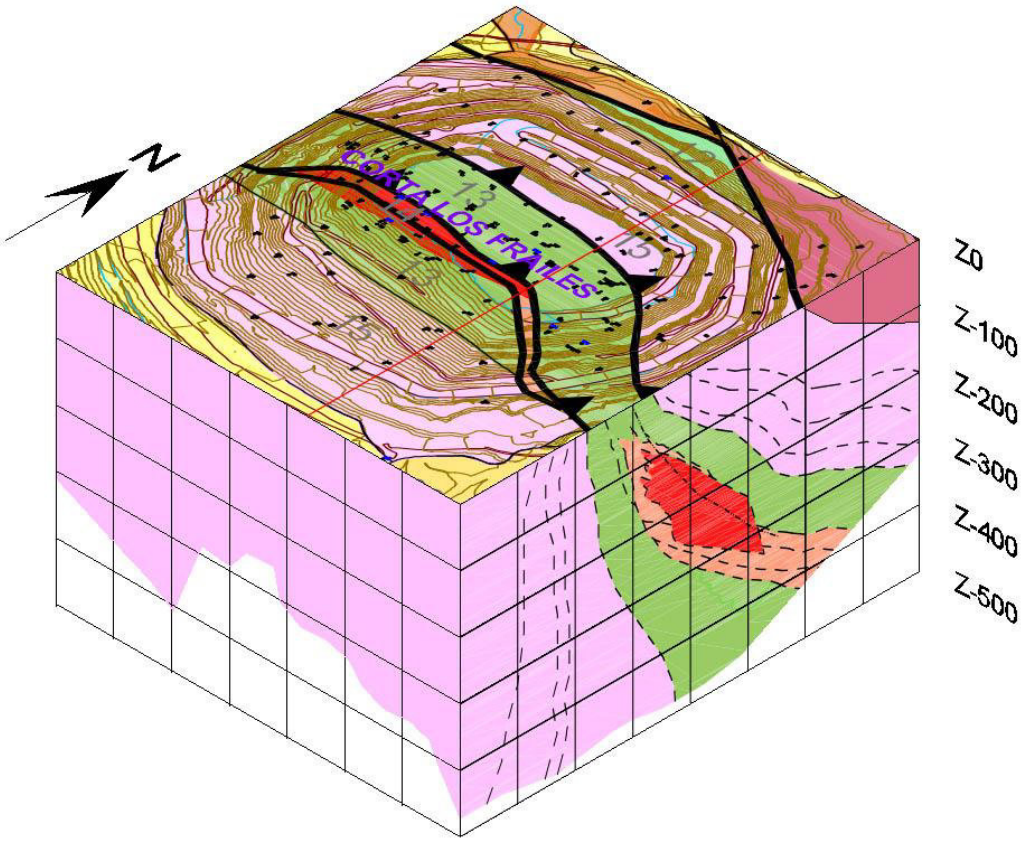


Figura 8-1 – Modelización geológica 3D de Los Frailes. (Fuente: elaboración propia)

8.3.1. Modelización geológica 3D: estructural y litológica

Toda la información integrada en el programa informático Vulcan 3D permitirá realizar una batería de perfiles y plantas mediante los que se diseñará un cuerpo geológico 3D limitado a las zonas mineralizadas reconocidas por los sondeos. (Figura 8-2)

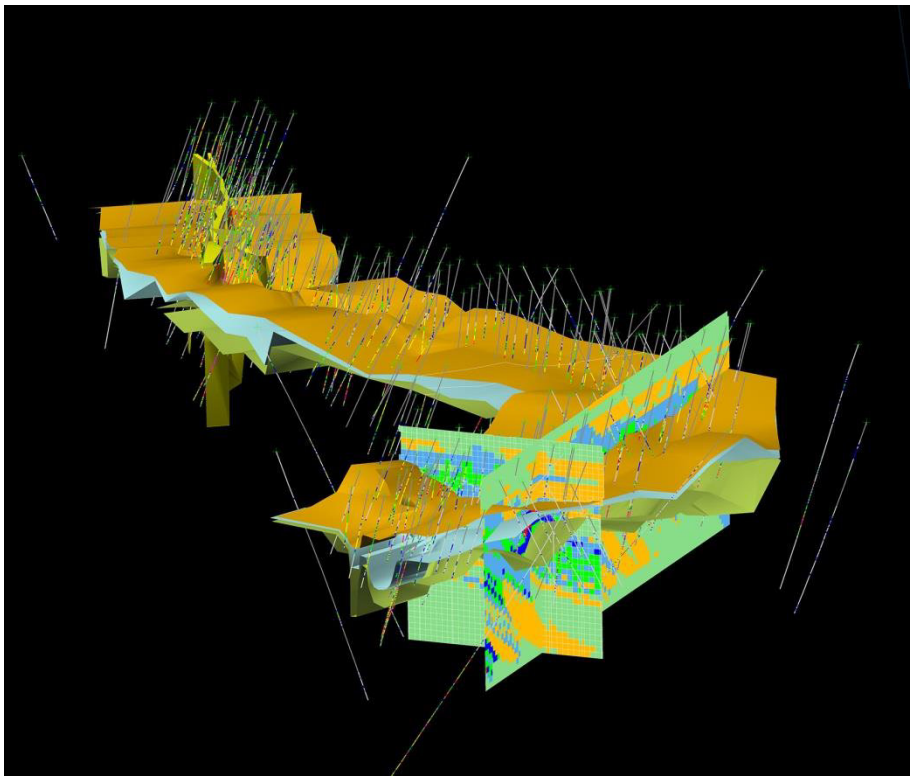


Figura 8-2 – Modelización geológica 3D. (Fuente: Maptek)

8.3.2. Modelización geoquímica 3D

Una vez establecido el modelo geológico 3D de las mineralizaciones, su estructura y la geometría de las unidades, se procederá a realizar una primera caracterización geoquímica de los distintos tramos diferenciados. Para ello, se utilizarán los datos analíticos disponibles.

A partir de los resultados analíticos de las muestras analizadas se realizará un análisis estadístico univariante y bivariante, de cara a obtener diagramas de dispersión, correlaciones y tendencias de los elementos analizados.

Adicionalmente, y en función de su situación espacial dentro del yacimiento se realizará un estudio geoestadístico, definiendo las relaciones existentes entre las litologías, estructuras y otras características de cada tramo de sondeo con sus contenidos analíticos.

8.3.3. Modelo de bloques para cada elemento

El modelo de bloques se obtendrá a partir del tratamiento geoestadístico referido en el apartado anterior, utilizando el programa de diseño y planificación minera VULCAN 3D.

Para cada uno de los cuerpos mineralizados, definidos mediante el modelo geológico 3D, se realizará un modelo de bloques mediante krigeaje.

El modelo de bloques suministrará información geoestadística, geotécnica y geometalúrgica de las mineralizaciones modelizadas (Figura 8-3).

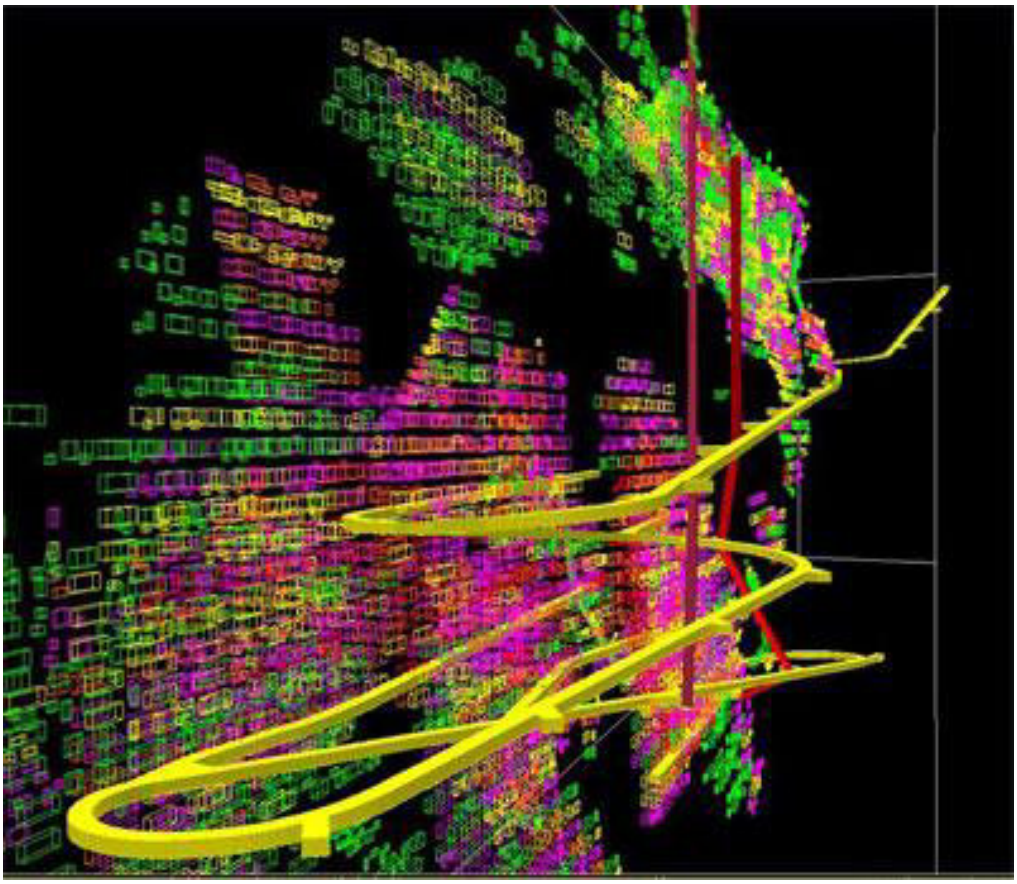


Figura 8-3 – Modelo de bloques. (Fuente: Maptek)

8.3.3.1. Cálculo de recursos

A partir del modelo de bloques se obtendrán las calidades y recursos mineros y su distribución espacial, lo que permitirá plantear el modo más adecuado de explotación.

Los resultados de la modelización se presentarán mediante mapas de banco y perfiles e incluirá un informe en el que se indicarán las características del modelo, los parámetros estadísticos y los resultados de la cubicación de reservas por unidades o sectores.

Del modelo de bloques se obtendrá la curva tonelaje / ley del yacimiento y las leyes medias y el tonelaje para las distintas leyes de corte.

8.3.3.2. Validación de los resultados

Se realizará un ejercicio de validación de los resultados mediante estudio cruzado entre los datos del modelo de bloques obtenido y los datos reales obtenidos en los sondeos.

8.3.3.3. Niveles de confianza, estabilizador estadístico para

El nivel de confianza permite establecer la precisión de la estimación.

Partiendo de las leyes de corte en Zinc, Plomo, Cobre y Plata se establecerán los valores del límite de confianza.

Para definir con mayor exactitud estos datos se analizará también la concordancia de los mismos con la varianza del krigeaje. Con estas premisas se obtendrán los niveles de confianza de los recursos obtenidos

Se calculará el nivel de confianza para los distintos bloques de los distintos elementos como porcentaje del total de los bloques calculados.

8.3.3.4. Clasificación de recursos en base a estándares internacionales

El informe de evaluación y caracterización de reservas se atendrá a lo establecido en códigos del CRIRSCO.

Estos códigos, que se utilizan a nivel internacional para la valoración de los recursos y reservas de mineral, definen los siguientes términos (Figura 8-4):

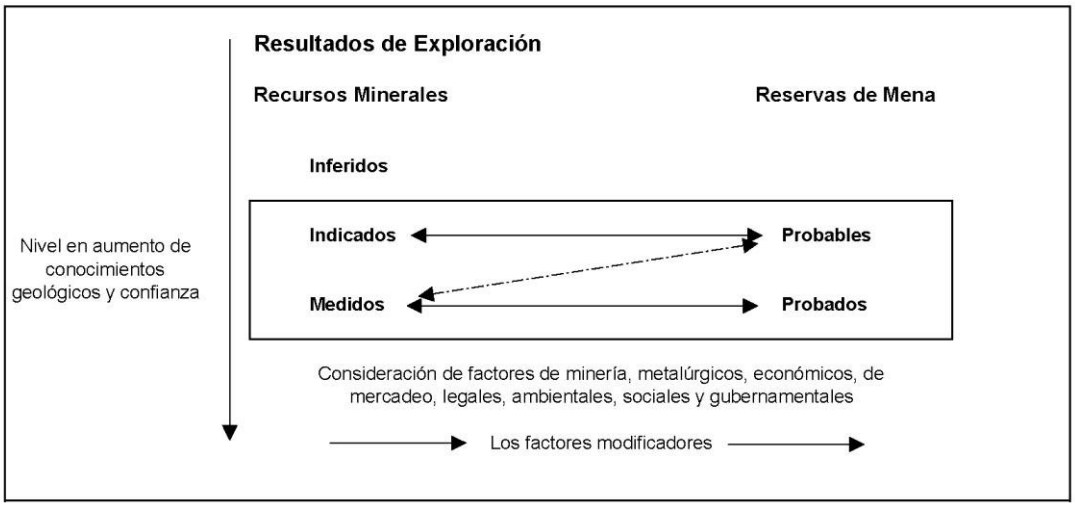


Figura 8-4 – Clasificación de los recursos minerales. (Fuente: The JORC Code, edición 2012))

Un "Recurso Mineral" es una concentración u ocurrencia de material de interés económico existente en la corteza de la Tierra en forma, calidad y cantidad tal que hay probabilidades razonables de una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimientos específicos geológicos. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

Un "Recurso Mineral Inferido" es aquella parte de un Recurso Mineral de la que se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas como son afloramientos, calicatas, labores y sondeos que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

Un "Recurso Mineral Indicado" es aquella parte de un Recurso Mineral del que puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas como son: afloramientos, zanjas, calicatas, galerías, labores y sondeos. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar la continuidad geológica y/o la ley, pero están espaciadas con suficiente cercanía para que se pueda suponer la continuidad.

Un “Recurso Mineral Medido” es aquella parte de un Recurso Mineral del que puede estimarse con un alto nivel de confianza, el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en la exploración detallada y confiable, información sobre muestreos y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas como son afloramientos, calicatas, galerías, labores y sondeos. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y de ley.

Una “Reserva Mineral” es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad que incluyen consideraciones de, y/o modificaciones por, factores razonables de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran en la fecha que se hace el informe que podría justificarse razonablemente la extracción. Las Reservas Minerales se subdividen en orden creciente de confianza en Reservas Probables Minerales y Reservas Probadas Minerales.

Una “Reserva Probable” es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material.

Una “Reserva Probada” es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se explota el material.

Una vez comprobadas la existencia de reservas suficientes se integrará la información existente, procediéndose a redactar el proyecto de explotación en gabinete, teniendo en cuenta las exigencias de la Administración.

El proyecto de explotación se atendrá a lo establecido en el Reglamento General para el Régimen de la Minería y en las Instrucciones Técnicas Complementarias, en concreto en la ITC MIE S.M.07.1.02. Constará de los siguientes documentos: Memoria, presupuesto, estudio de viabilidad, planos y anexos.

8.4. MODELO HIDROGEOLÓGICO

El Modelo hidrogeológico del entorno de las cortas existente fue recalibrado con nuevos datos piezométricos en el entorno Paleozoico de las cortas y con los datos obtenidos en los sondeos de investigación realizados por el IGME, donde se hicieron ensayos de permeabilidad (BAPSL, 1998, 1999, 2000 a y b, y 2001).

No obstante, siendo válido el modelo existente, se propone elaborar un nuevo modelo hidrogeológico matemático, mediante un software actualizado (ModFlow 2011.a), donde se incorporarán tanto los resultados de la campaña de investigación propuesta (especialmente la información recogida en los 5 sondeos hidrogeológicos que está previsto realizar) como los nuevas infraestructuras mineras subterráneas previstas.

Por otro lado, se hará una nueva calibración con los datos piezométricos recopilados y procesados procedentes de la Red de control y vigilancia existente de aguas subterráneas, aporta nueva información para el periodo 1999 -2003

Las etapas contempladas para el desarrollo de un modelo hidrogeológico en el ámbito del yacimiento, serían las siguientes:

- Integración de la información y definición del sistema hidrogeológico.
- Cartografía geológica.
- Modelo conceptual y de funcionamiento del sistema.
- Modelo matemático.

La información hidrogeológica histórica y la obtenida en la presente campaña de investigación, mediante los sondeos, los ensayos de permeabilidad y la monitorización de piezometrías y de parámetros básicos de las aguas subterráneas (Tª y conductividad), permitirá obtener la piezometría general y carga hidráulica en cada unidad litoestratigráfica, definir las condiciones de contorno, la red de flujo, gradientes hidráulicos (identificación de áreas de recarga-descarga del sistema), así como su evolución temporal.

Todo ello quedará recogido en una cartografía hidrogeológica del sistema, cuyo alcance se circunscribirá al contexto hidrogeológico del yacimiento, considerando las masas de sulfuros, el encajante y el recubrimiento.

Esta información se integrará en el modelo geométrico-geológico del yacimiento con la finalidad de desarrollar un modelo conceptual del sistema hidrogeológico, que constituye una descripción de las características principales de las unidades hidrogeológicas y estructuras que juegan un papel relevante en la circulación de las aguas subterráneas, así como en su funcionamiento hidrogeológico.

Por lo tanto, el desarrollo del modelo conceptual del sistema hidrogeológico permitirá:

- Identificar y caracterizar hidrogeológicamente los diferentes elementos que componen el sistema (hidroestratigrafía, fracturación, eventuales labores mineras, bordes y condiciones de contorno, etc), así como definir los roles que desempeñan cada uno de forma individual y en el funcionamiento conjunto del sistema (funciones capacitivas vs. transmisivas).
- Establecer una zonificación, organización y jerarquización del sistema hidrogeológico atendiendo a la geometría, distribución y funciones que desempeñan los diferentes elementos identificados (bordes impermeables y zonas confinantes, bloques capacitivos de elevado almacenamiento, estructuras transmisivas preferenciales, áreas de recarga, etc).
- Identificar las áreas de recarga del sistema y estimar su cuantía en función de los parámetros hidráulicos de los materiales y de la interconexiones de los mismos con dichas áreas.
- Definir el comportamiento y funcionamiento hidrogeológico del sistema en su conjunto para poder determinar y prever su respuesta-evolución en diferentes escenarios de interacción sobre el mismo (laboreo, bombeo,
- Aproximación cuantitativa a los órdenes de magnitud de los caudales de bombeo, balance de aguas de mina y de los parámetros hidrodinámicos principales.

- Analizar y evaluar la vulnerabilidad hidroquímica de las unidades hidrogeológicas en el ámbito del yacimiento.

Una vez establecido el modelo conceptual y de funcionamiento hidrogeológico, se puede abordar con garantías la elaboración de un modelo matemático del sistema hidrogeológico. Para ello se utilizará el software de modelización hidrogeológica ModFlow y en función de la coherencia de los resultados obtenidos se valorará la utilización de un módulo específico para modelización hidrogeológica de medios fracturados (Figura 8-5).

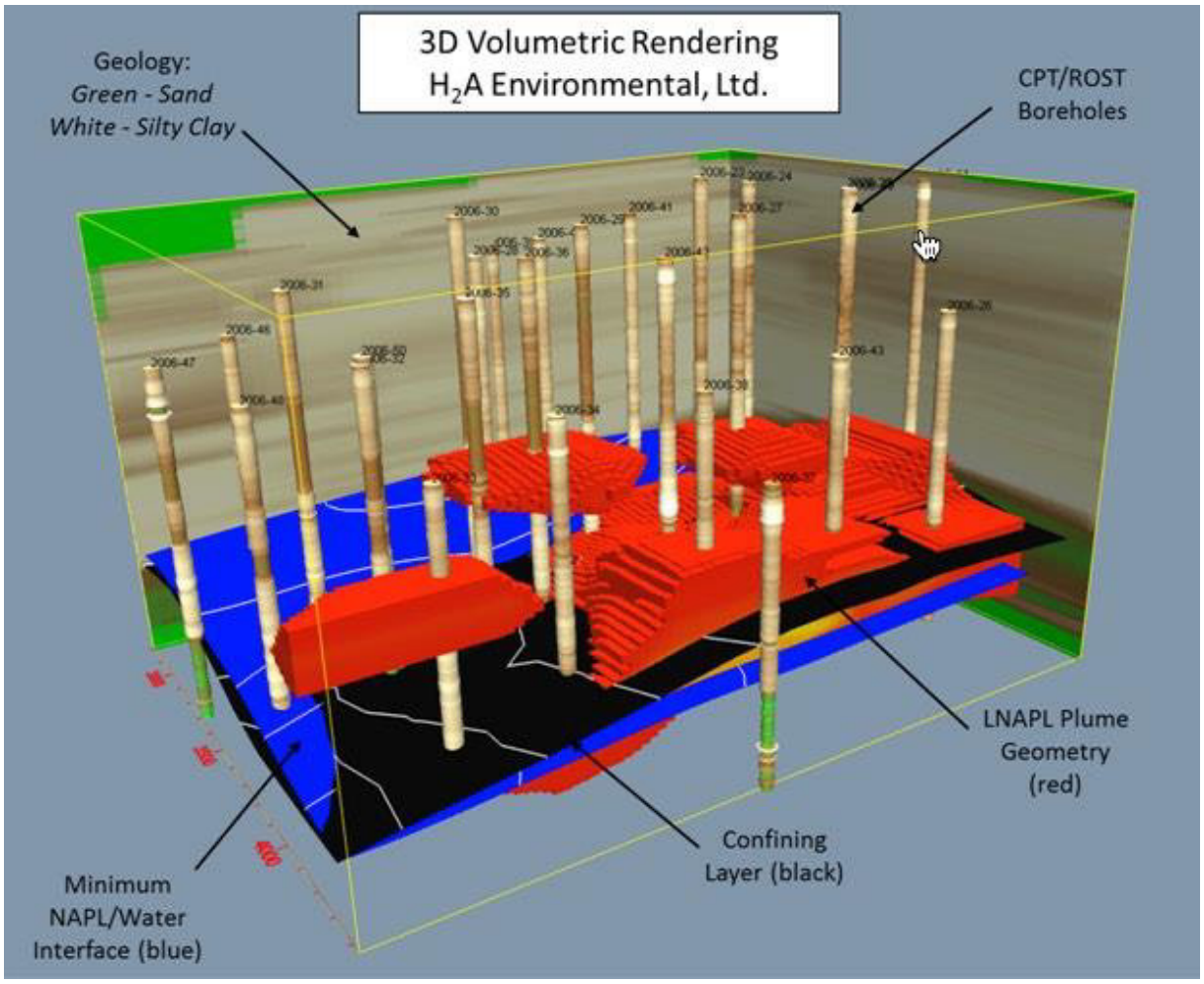


Figura 8-5 – Ejemplo de modelo conceptual-matemático de un sistema hidrogeológico. (Fuente: LNAPL Conceptual Site Model Three-Dimensional Visualizations)

En base al modelo conceptual-matemático y especialmente al significado hidrogeológico que se deduce de las diferentes estructuras y su geometría, se puede abordar un diseño futuro para el sistema de drenaje de la mina que garantice la extracción del agua y la depresión de las cargas hidráulicas en las estructuras y en el macizo rocoso para la seguridad de la explotación.

Este sistema de drenaje debe plantear dos niveles funcionales:

- Drenaje principal y convencional de la mina a través de sus galerías de acceso y transporte, con recogida en depósitos de fondo y bombeo al exterior.

- Drenaje local mediante sondeos cortos o barrenos en las galerías inferiores de las cámaras, para mantener unos bordes de drenaje forzado en la base de las cámaras que garantice la desaturación y reducción de cargas hidráulicas en el ámbito más próximo a los frentes.

Mediante el modelo matemático se podrán cuantificar las necesidades de drenaje y analizar diferentes alternativas con la finalidad de conseguir la mayor eficiencia en el diseño e implementación del sistema de drenaje-bombeo.

8.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ACUERDO CON LA NORMA NI 43-101

Todos los trabajos contemplados en el presente programa de investigación van encaminados a la obtención de la información necesaria para la elaboración de un estudio de viabilidad de acuerdo con la norma NI 43-101.

El estudio de viabilidad se atendrá a lo establecido en la NI 43-101 y contemplará el siguiente capitulado:

- Resumen ejecutivo
- Introducción
- Referencia de los redactores
- Descripción de las propiedades y localización
- Accesos, clima, recursos locales, infraestructuras y estudio del medio
- Antecedentes
- Características geológicas y mineralógicas
- Tipo de depósitos
- Exploración realizada
- Sondeos
- Preparación de muestras, análisis y calidad
- Verificación de los datos
- Proceso metalúrgico y test
- Recursos geológicos estimados
- Reservas estimadas
- Método de explotación
- Procesos de recuperación
- Infraestructuras
- Estudio de mercado y contratos
- Estudios ambientales, permisos, impactos sociales
- Costes de capital y costes operativos

- Análisis económico
- Otras explotaciones cercanas
- Otros datos relevantes
- Interpretaciones y conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias

Para la realización del estudio de viabilidad NI 43-101 será necesario disponer de toda la información procedente del programa de investigación. El estudio de viabilidad comenzará una vez finalizado el plazo de ocho meses que durará el programa de investigación, y por lo tanto el presupuesto presentado no contempla la realización de dicho estudio.

9. EQUIPO TÉCNICO DISPONIBLE

Para llevar a cabo los trabajos reflejados en este proyecto de investigación se cuenta con el equipo técnico de las siguientes empresas, cuyos preacuerdos para la ejecución de los trabajos se aportan como parte integrante de la oferta que se presenta junto con este proyecto:

9.1. MINORBIS-GRUPO MÉXICO

El Consorcio Grupo México-Minorbis opta a la adjudicación de las actividades extractivas para la explotación de los recursos existentes en la Reserva Minera de Aznalcóllar (Sevilla) mediante concurso público convocado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía.

Grupo México está en la actualidad entre los cinco mayores productores del mundo de cobre y cuenta con las mayores reservas mundiales de dicho metal.

Cuenta con operaciones mineras en Estados Unidos, México y Perú, cubriendo toda la fase del ciclo productivo, desde la explotación y la obtención de concentrados hasta su posterior refino. Por otro lado, cuenta con proyectos de investigación y exploración en Argentina, Ecuador y Chile. Grupo México tuvo con unas ventas consolidadas en 2013 de 9.352 M$, de los cuales su división minera representó casi el 80%

Minorbis S.L. es una sociedad con sede en Sevilla, cuyo fin es la exploración y explotación de yacimientos mineros, vinculada al Grupo Empresarial Andaluz Magtel.

Las principales delegaciones de Magtel radican en las ciudades de Sevilla y Córdoba, contando con sedes en todas las provincias andaluzas. En los últimos 5 años una intensa política de internacionalización ha hecho que esta compañía andaluza cuente con sedes consolidadas en Perú, Paraguay y Marruecos.

Sus principales áreas de desarrollo empresarial son las telecomunicaciones, energía, ferrocarriles, obra civil y medio ambiente.

Actualmente cuenta con 1.000 empleados de los cuales 650 operan desde Andalucía, región en la que Magtel lleva operando desde el año 1990 y donde ha liderado proyectos de alto nivel tecnológico, exigencias medioambientales e inversión económica.

9.1.1. Equipo técnico

9.1.1.1. GRUPO MÉXICO

Remigio Martinez Muller:

Cuenta con 46 años de experiencia en el campo de la geología minería, desarrollando toda su vida laboral en Grupo México. Durante este periodo realizó, entre otras, las siguientes funciones:

Geólogo de exploración en diferentes unidades mineras de Grupo México desde 1967-1974.

Su desarrollo profesional en esta Unidad Minera se inició en 1968 donde comenzó como jefe de brigada geofísica para acabar como Director de Exploraciones entre 1995-2000.

Director General de Exploraciones Grupo México y Vicepresidente de Exploraciones Souther Copper Corp.

Actualmente, es Consultor Exclusivo Americas Mining.

Alfonso Martínez Vera:

Su dilatada trayectoria profesional de 38 años en el campo de la geología minera comenzó en 1976 desarrollando trabajos de exploración gravimétrica.

Ha trabajado en varias compañías mineras con puestos de gran relevancia mencionando por ejemplo la Compañía Minera Nukay, S.A (2002), donde fue Vicepresidente de Exploración y La Coordinación General de Minería, Secretaría de Economía (2007-2013), llegando a ser Director de Operación.

En la actualidad, es Director de Exploraciones de Industrial Minera de México, S.A.

Víctor Andrés Del Castillo Alarcón:

Cuenta 21 años trabajando para Grupo México teniendo a su cargo los asuntos ambientales de todas las Plantas de Grupo México de todo el país.

Actualmente es Director de Medio Ambiente y Ecología de Minera México.

Juan Luis Reyes Bahena

A lo largo de su carrera profesional y formación ha desarrollado varias competencias tanto profesionales en tareas relacionadas con el sector minero-metalúrgico así como de investigación. Presenta 17 años de experiencia y actualmente es Gerente de Metalurgia en la Industrial Minera México S.A de C.V.

Marco Antonio Rivera Martínez

Cuenta con una extensa trayectoria profesional desarrollada en Grupo México ocupando diferentes posiciones de relevancia como: Supervisor de mina, Superintendente de planeación, gerente de planeación realizando elaboraciones de análisis económicos de los nuevos proyectos de la empresa incluyendo proyectos de expansión o Encargado de la revisión de la estimación de reservas de mineral de las unidades mineras subterráneas y elaboración del sumario tanto de las reservas oficiales de la empresa de las reservas SEC.

Othon Ernesto Hintze Arenas

Ha desarrollado la totalidad de su trayectoria profesional con una experiencia en el campo minero y metalúrgico de 53 años en Grupo México desempeñando labores de gran relevancia como Asesor industrial, Gerente de Planeación, Gerente de Proyectos, Gerente Unidad Minera, Asesor Director General, Superintendente de planeación y control de unidad.

Actualmente es Asesor Industrial Minera México Proyectos Mineros.

Grupo México está involucrado en un intenso programa de exploración para encontrar yacimientos adicionales en México, Perú y Estados Unidos y se están llevando a cabo trabajos de exploración para localizar nuevos yacimientos minerales.

Actualmente Grupo México posee el control directo sobre 93.972 hectáreas de derechos mineros en Perú y 160.454 hectáreas en México. También tiene 100.383 hectáreas de concesiones de explotación en Argentina, 35.958 hectáreas en Chile y 2.544 hectáreas en Ecuador.

La presencia de la división minera de Grupo México en México se representan en la Figura 9-1 y las labores de investigación se describen brevemente a continuación:

- Arco: yacimiento de cobre ubicado en el estado de Baja California en México. El trabajo de exploración realizado indica la existencia de sulfuro mineralizado.
- Buenavista: yacimiento de zinc y cobre, situado en el estado de Sonora.
- Pilares: se encuentra ubicado en el estado de Sonora.
- Angangueo: yacimiento de sulfuro polimetálico subterráneo de cobre y zinc.
- Chalchihuites: yacimiento de reemplazamiento con una mezcla de óxidos y sulfuros de plomo, cobre, zinc y plata.

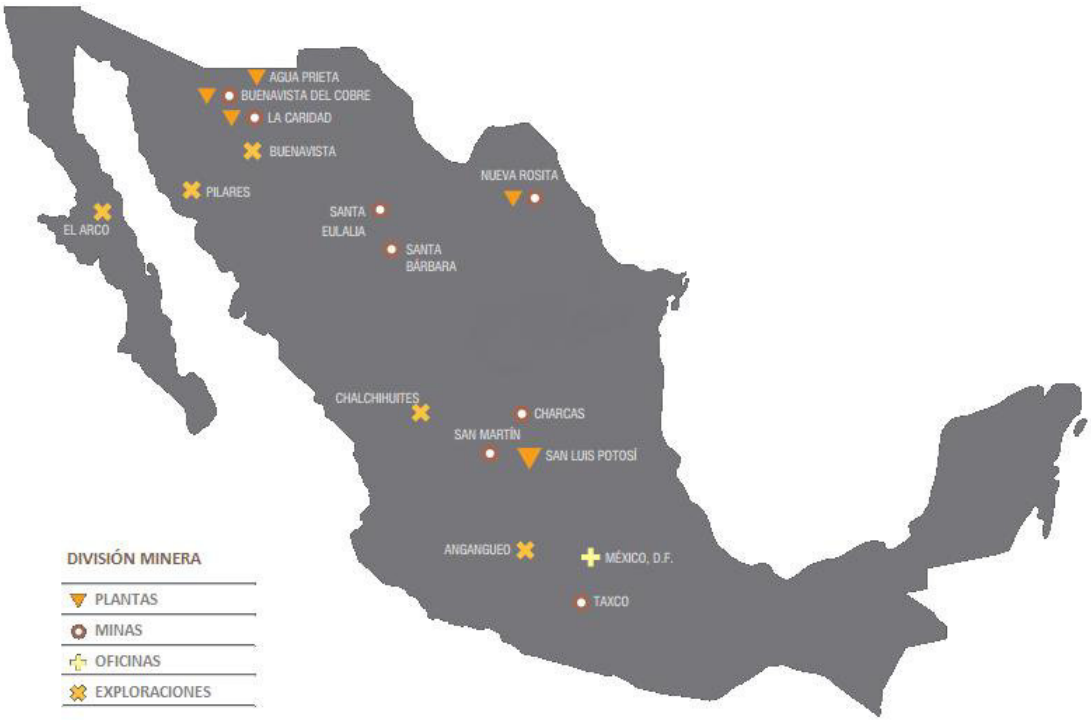


Figura 9-1 - Presencia de la división minera de Grupo México en México. (Fuente: Elaboración propia)

La presencia de la división minera de Grupo México en Estados Unidos (izquierda) y Perú (derecha), se representan en la Figura 9-2, describiendo brevemente las labores de investigación desarrolladas en Perú.

Las operaciones peruanas de mayor relevancia comprenden los complejos mineros de Cuajone y Toquepala, estando las labores de investigación distribuidas en numerosos yacimientos a lo largo de todo el país y se citan a continuación:

- Chancas: es un yacimiento de pórfido de cobre y molibdeno, ubicado en el sur de Perú.

- Tía María: incluye varias concesiones mineras, que totalizan 32,989.64 hectáreas. El yacimiento es de cobre.
- Catanave: Ubicado en el norte de Chile (Arica), Catanave pertenece a un sistema epitermal de mineralización de oro y plata.
- Chaucha: este yacimiento es denominado la "Ruta del Cobre" y consiste en un sistema pórfido de cobre y molibdeno.

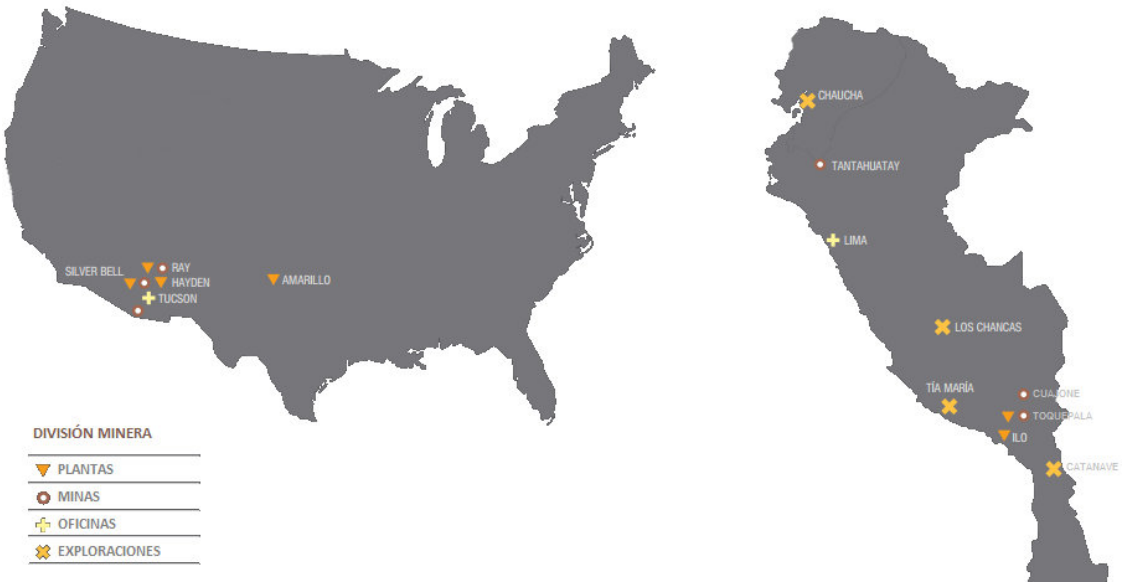


Figura 9-2 - Presencia de la división minera de Grupo México en Estados Unidos (izquierda) y Perú (derecha). (Fuente: Elaboración propia).

9.1.1.2. MAGTEL

Ángel Maestre García

Cuenta con 32 años de experiencia en el campo de la minería, y gestión, comenzando en las minas de Aznalcóllar hasta el año 2002. Durante este periodo realizó, entre otras, las siguientes funciones:

- Jefe del Departamento de Investigación minera y Responsable de Control de Calidad hasta 1981.
- Jefe del Departamento de Planificación y Control de Minería hasta 1988, siendo responsable de la planificación a corto, medio y largo plazo incluyendo diseño y control de las fases de la explotación minera, diseño y seguimiento de vertederos y estabilidad de la explotación durante sus últimos años y clausura.
- Subdirector y posteriormente Director de Minería hasta 2002, periodo en el que dirigió las operaciones de explotación de la mina de Aznalcóllar y la nueva explotación de Los Frailes, poniendo en marcha esta última como parte del equipo internacional que desarrolló los proyectos necesarios.
- Tras la rotura del depósito/presa, coordinó operativamente los equipos de limpieza en la retirada de lodos de las áreas afectadas por éstos, especialmente del río Guadiamar.

Tras esta etapa operativa pasó a dirigir Servicios Mineros de Andalucía, S.L. en 2002, momento en el que su actividad comenzó a desarrollarse en el campo de la consultoría, enfocada principalmente a los sectores de Medio Ambiente, Minería y Obra Civil. Desde esta empresa ha colaborado en la reactivación industrial del municipio de Aznalcóllar, tanto junto a la agencia IDEA como al Ayuntamiento de este municipio, EGMASA, y las consejerías de Medio Ambiente e Innovación, Ciencia y Empresa (actual Economía, Innovación, Ciencia y Empleo). También ha desarrollado diversos proyectos de restauración y regeneración ambiental relacionados no sólo con actividades mineras sino también con residuos de diversa naturaleza.

9.2. INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN RECURSOS DEL SUBSUELO, S.L. (CRS INGENIERÍA)

Se trata de la principal empresa contratada para prestar servicios de consultoría y asesoría en las labores de investigación a desarrollar. En ella descansarán las labores de dirección facultativa de las labores, así como la coordinación y planificación en detalle de los trabajos, siempre siguiendo las directrices marcadas por Minorbis-Grupo México.

CRS Ingeniería es una Sociedad de capital totalmente privado, que no tiene dependencia de ningún grupo industrial ni financiero. Tiene su sede social en Madrid, calle Raimundo Fernández Villaverde nº 53, 1º izquierda, 28003 Madrid.

Se trata de una empresa especializada en el estudio y gestión de los recursos del subsuelo, constituida por un equipo de profesionales de amplia experiencia, tanto a nivel nacional como internacional (Estados Unidos, República Dominicana, Colombia, Argentina, Marruecos, Argelia, Túnez y Guinea Conakry), cuyo objetivo es prestar a sus clientes una asistencia personalizada, que se traduce en una relación continuada entre el cliente y CRS Ingeniería, incluyendo desde la resolución de problemas puntuales hasta la realización de proyectos integrados.

CRS Ingeniería trabaja para los sectores público y privado. Entre sus clientes figuran organismos públicos nacionales, empresas mineras, empresas cementeras, consultoras y empresas del sector energético, tanto nacionales como internacionales.

Ofrece un abanico completo de servicios de ingeniería y consultoría para el sector minero, que abarca desde trabajos de exploración minera hasta planes de restauración de explotaciones mineras, incluyendo valoración de activos mineros, estudios de viabilidad, proyectos de explotación a cielo abierto y subterránea y direcciones de obra.

CRS Ingeniería proporciona a sus clientes una asistencia técnica personalizada en los campos de exploración minera, minería, geotecnia, hidrología e hidrogeología, medio ambiente y ordenación del territorio, gestión de residuos y almacenamiento subterráneo.

CRS Ingeniería dispone de un Sistema de Gestión Ambiental conforme con la norma UNE-EN ISO 14001:2004 y de Gestión de la Calidad conforme con la norma UNE-EN ISO 9001:2008, ambos certificados por la empresa AENOR, con el número GA-2013/0102 y ER-0240/2013 respectivamente.

Las oficinas de CRS Ingeniería están dotadas con sistemas informáticos de altas prestaciones que la capacitan para satisfacer todas las necesidades de desarrollo de los trabajos que en cada momento tenga encomendados, mediante la ejecución fiable y rápida de aplicaciones específicas y sistemas de CAD, CAE, SIG y CAM.

CRS Ingeniería aplica en sus proyectos de investigación y diseño minero el software de diseño y planificación minera VULCAN 3D. El programa Vulcan 3D es una herramienta minera que permite el desarrollo de proyectos mineros desde los aspectos geológicos hasta la planificación minera. El programa posee las herramientas necesarias para la realización de diseños, tanto a cielo abierto como en interior. Asimismo permite convertir datos complejos en información visual que se refleja en la creación de imágenes interactivas y dinámicas en 3D, facilitando su comprensión y entendimiento. Además, permite desarrollar completos estudios de viabilidad y de impacto ambiental.

Aparte de este software comercial, CRS Ingeniería dispone de herramientas informáticas de desarrollo propio en los campos de planificación y operación minera, hidrología, hidrogeología y riesgos geológicos.

CRS Ingeniería dispone además de la instrumentación necesaria para obtener el mayor rendimiento de los trabajos de campo.

9.2.1. Equipo técnico

CRS Ingeniería cuenta en la actualidad con un equipo humano integrado por quince titulados superiores: 8 ingenieros de minas, 5 geólogos, 1 ingeniero de montes, 1 economista, 1 licenciada en gestión comercial y marketing.

Juan León Coullaut Sáenz de Sicilia

Es el principal accionista y Director Gerente de CRS Ingeniería. Ingeniero de Minas, por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (1969), ha desarrollado toda su actividad profesional en empresas de ingeniería privadas, siendo desde 1979 director responsable de la gestión y ejecución de proyectos de minería, geofísica, hidrogeología, medio ambiente y usos del subsuelo para organismos públicos y privados. Ha trabajado en España, Estados Unidos, Túnez, Guinea-Conakry, República Dominicana, Argentina y Colombia. Cuenta con cuarenta años de experiencia en investigación de recursos del subsuelo: investigación minera, minería, hidrogeología y usos del subsuelo.

Ha dirigido y participado directamente en estudios y proyectos de geología aplicada, investigación minera, evaluación y valoración de yacimientos, estudios de viabilidad y proyectos de explotación a cielo abierto y mediante minería subterránea para:

- Minerales metálicos (Au, Cu, Zn-Pb, Fe, W, Sn, Hg...)
- Minerales industriales (magnesita, potasas, cuarzo metalúrgico, sepiolita, feldespatos, arenas silíceas)
- Rocas industriales (rocas ornamentales, materias primas del cemento, áridos, ofitas, arcillas...)
- Minerales energéticos (carbón, U, pizarras bituminosas).

Desde 1991 hasta 2011 ha sido Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Geológica de la Universidad Politécnica de Madrid. Desde 2012 a 2014 es Profesor ad Honorem de la E. T. S. de Ingenieros de Minas de Madrid (UPM).

Pedro Jiménez Marcos

Es el Director de Geología y Exploración de Recursos de CRS Ingeniería. Licenciado en Ciencias Geológicas, especialidad en Estratigrafía y Paleontología, Universidad del País Vasco (1993), cuenta con veinte años de experiencia en exploración geológico-minera, geotecnia e hidrogeología en diversos ámbitos geológicos.

Juan Ignacio Coullaut Santurtún

El Director de Proyectos y Desarrollo Minero de CRS Ingeniería es también Ingeniero de Minas, con la especialidad en laboreo de minas y explosivos por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2003), Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales (especialidad: Seguridad en el trabajo, 2009). Cuenta con diez años de experiencia en proyectos de explotación minera a cielo abierto y en interior, estudios de viabilidad y planificación minera.

Manuel Martínez Pelayo

Es el Director de Gestión Ambiental e Innovación de CRS Ingeniería. Ingeniero de Minas de Madrid, con la especialidad en Geología y Geofísica por la E.T.S. Ingenieros de Minas (2003). Cuenta con diez años de experiencia en proyectos de minería a cielo abierto y subterránea, en estudios y modelos geotécnicos y en modelos virtuales.

María Lozano Ballesteros

Es Ingeniero de Minas por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2009). Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales (especialidades de Seguridad en el trabajo, higiene y ergonomía).

Ha realizado estudios de viabilidad de proyectos mineros y evaluación de yacimientos y proyectos de explotación a cielo abierto y en interior. Es especialista en VULCAN 3D.

Vanesa Hermoso de Mingo

Es Ingeniero de Minas. E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2009) y Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales (especialidad: Seguridad en el Trabajo).

Ha realizado numerosos proyectos de evaluación de yacimientos, proyectos de explotación a cielo abierto como interior con VULCAN 3D y realizando el control y supervisión de campañas geoquímicas de ámbito regional.

Camino Velasco Isusi

Es Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo (2005). Cuenta con ocho años de experiencia en investigación minera, control e interpretación de campañas de sondeos y testificación geofísica de sondeos.

Itziar Erdocia Arce

Es Ingeniero Técnico de Minas por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2008), y Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales.

Ha realizado numerosos proyectos de balsas de residuos mineros, estudios geotécnicos y apoyo y supervisión en la Dirección de Obra de explotaciones subterráneas.

Inés Molero Sánchez.

Ingeniero de Montes. E.T.S. Ingenieros de Montes (2006). Especialista en restauración de espacios degradados, ha realizado diversos planes de restauración de explotaciones mineras, tanto a cielo abierto como subterráneas incluyendo el desarrollo de cartografía en entorno CAD y modelización en 3D.

Cristina Horno Kort

Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid (2009). Master en almacenes geológicos por la Universidad de Montpellier (2008-2009). Tres años de experiencia en interpretación sísmica, interpretación de logs y modelización geológica 3D.

9.2.2. Experiencia

A continuación se presenta una relación de los trabajos desarrollados por CRS Ingeniería durante los últimos años, agrupados por áreas:

Faja Pirítica Ibérica

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA SECCIÓN COBRE DE LAS BALSAS DE RIOTINTO (HUELVA)	2012	MINAS DE RIOTINTO (HUELVA)
PROYECTO DE LA RAMPA DE LA MINA DE ORO DE LOMERO – POYATOS	2012	VALDELAMUSA (HUELVA)
REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN RELATIVA A LOS DEPÓSITOS DE SULFUROS COMPLEJOS (CU-CO-AU) DE THARSIS, LA ZARZA Y SAN TELMO	2011	THARSIS Y OTROS (HUELVA)
INICIO DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRIMERA Y SEGUNDA FASE DEL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL YACIMIENTO LOMERO-POYATOS	2011	VALDELAMUSA (HUELVA)
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE SULFUROS DE LOMERO-POYATOS (HUELVA). PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS	2010	VALDELAMUSA (HUELVA)
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL YACIMIENTO LOMERO-POYATOS	2010	VALDELAMUSA (HUELVA)
VALORACIÓN DE LOS ACTIVOS MINEROS DE RIOTINTO	2010	MINAS DE RIOTINTO (HUELVA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE SULFUROS DE LOMERO-POYATOS	2010	VALDELAMUSA (HUELVA)
ANÁLISIS MINERO-AMBIENTAL DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS EN ANDALUCÍA 2007- 2009	2009	TODA LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
PROYECTO DE REINICIO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA DE SULFUROS DE AGUAS TEÑIDAS	2008	VALDELAMUSA (HUELVA)
CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA DE SUELOS EN UN SECTOR DE LA FAJA PIRÍTICA ESPAÑOLA	2004	VARIOS TTMM (HUELVA)
ASISTENCIA A LA DIRECCIÓN FACULTATIVA Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD PARA EL PROYECTO MINERO COBRE LAS CRUCES	2000	GERENA (SEVILLA)
LEGISLATION AND LABOUR COSTS CONCERNING OPEN PIT AND UNDERGROUND MINING IN SPAIN FOR COBRE LAS CRUCES	2000	GERENA (SEVILLA)
LEGAL CONSTRAINTS AND REGULATIONS CONCERNING OPEN PIT AND UNDERGROUND MINING IN SPAIN FOR COBRE LAS CRUCES	2000	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA ESCOMBRERA DE LA MINA LOS FRAILES PARA EL ALMACENAMIENTO DE 350 MILLONES DE TONELADAS DE ESTÉRIL DE SULFUROS MASIVOS	1999	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
RECONOCIMIENTO MEDIANTE SONDEOS DE SULFUROS MASIVOS EN AZNALCÓLLAR. CAMPAÑA DE SONDEOS PARA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE LA MASA LOS FRAILES.	1989	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA DE LAS CONCESIONES DE APIRSA EN AZNALCÓLLAR	1980	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
INVESTIGACIÓN DE METALES BÁSICOS MEDIANTE SONDEOS EN UNA ZONA DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA	1979	VARIOS TTMM (HUELVA)
INVESTIGACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS MEDIANTE GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA, GEOFÍSICA Y SONDEOS EN HUELVA Y SEVILLA	1977	VARIOS TTMM (HUELVA Y SEVILLA)
CONTINUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE METALES BÁSICOS MEDIANTE GEOQUÍMICA Y GEOFÍSICA EN ZONAS DE HUELVA Y SEVILLA	1977	VARIOS TTMM (HUELVA Y SEVILLA)
INVESTIGACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS EN ZONAS DE HUELVA	1976	VARIOS TTMM (HUELVA)
ESTUDIO DE LAS MINERALIZACIONES DE SULFUROS COMPLEJOS DE EL TINTILLO	1975	CASTILLO DE LAS GUARDAS Y AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
RECONOCIMIENTO DE INDICIOS Y PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA EN AZNALCÓLLAR	1975	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA HOJA DE AZNALCÓLLAR (MAGNA)	1975	AZNALCÓLLAR Y OTROS (SEVILLA)
INVESTIGACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS EN EL ÁLAMO	1974	VARIOS TTMM (SEVILLA)
INVESTIGACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS EN AZNALCÓLLAR	1973	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Exploración y Evaluación de depósitos minerales

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
MODELO DE BLOQUES Y EVALUACIÓN DE RESERVAS Y RECURSOS DEL YACIMIENTO DE MAGNESITAS	2013	AZCÁRATE (NAVARRA)
ESTUDIO GEOESTADÍSTICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE AU DEL YACIMIENTO MONTE PIÑOR EN LA C.E. ISABEL	2012	A CORUÑA
ESTUDIO GEOESTADÍSTICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS DEL YACIMIENTO DE SN-TA DE PENOUTA	2012	PENOUTA (OURENSE)
RESUMEN EJECUTIVO, EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DEL YACIMIENTO DE GLAUBERITA EXISTENTE EN EL DOMINIO MINERO DE LA COMUNIDAD DE BIENES "MONTES DE TORRERO"	2012	ZARAGOZA
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN, ESTUDIO DE VIABILIDAD Y PLAN DE RESTAURACIÓN DEL YACIMIENTO DE URANIO DE ALAMEDA	2012	ALAMEDA (SALAMANCA)
ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE BLOQUES DEL YACIMIENTO DE AZKARATE Y EL CÁLCULO DE RECURSOS Y RESERVAS EXPLOTABLES POR MINERÍA SUBTERRÁNEA	2012	NAVARRA
PROYECTO DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICO-MINERA EN MINA CABANASAS EN LA CUENCA POTÁSICA CATALANA (CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE DETALLE, REALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE SÍSMICA 3D, REALIZACIÓN DE SONDEOS PROFUNDOS, MODELIZACIÓN DEL YACIMIENTO, CÁLCULO DE RECURSOS Y RESERVAS Y PLANIFICACIÓN MINERA)	2007-2012	SURIA (BARCELONA)
MODELO DE BLOQUES DE LA CANTERA MONTE MURGIA	2008-2012	VIZCAYA
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PLAN DE RESTAURACIÓN DE LA MINA DE ORO DE CORCOESTO	2011	A CORUÑA
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y PLAN DE RESTAURACIÓN DEL YACIMIENTO DE ORO EXISTENTE EN LA CONCESIÓN DE EXPLOTACIÓN ISABEL	2011	A CORUÑA
ESTUDIO GEOLÓGICO – MINERO DE DUNITAS LA ZONA NORTE DE DAVID Y SUR DE HERBEIRA. FASE I.	2011	A CORUÑA
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL YACIMIENTO LOMERO POYATOS	2010	VALDELAMUSA (HUELVA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ESTUDIO GEOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE RESERVAS DE MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN EL YACIMIENTO CARBONATADO DE GAADA-SAMMAR	2010	MARRUECOS
EVALUACIÓN DE RESERVAS DE MATERIAS PRIMAS PARA CEMENTO EN LA PROVINCIA DE NADOR	2010	MARRUECOS
ESTUDIO GEOLÓGICO-MINERO DE MATERIAS PRIMAS PARA CEMENTO EN ENFIDHA	2007-2010	TÚNEZ
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-MINERA DEL YACIMIENTO DE CALIZAS DE APARIO Y PROYECTO DE EXPLOTACIÓN MEDIANTE MINERÍA A CIELO ABIERTO Y SUBTERRÁNEA	2002-2010	NAVARRA
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-MINERA EN EL PERMISO DE INVESTIGACIÓN “LAS BRAÑAS AMPLIACIÓN”	2009	CANTABRIA
RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y EVALUACIÓN DEL POTENCIAL MINERO EN EL YACIMIENTO DE OFITAS DE SOLBORRO	2009	NAVARRA
EVALUACIÓN DE RESERVAS DE POTASAS EN LA ZONA NORTE DE MINA CABANASAS	2009	SURIA (BARCELONA)
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA-MINERA Y EVALUACIÓN DE RESERVAS DE LAS CONCESIONES DE ARCANOR	2008-2009	VIZCAYA
EVALUACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO DE ÁRIDOS VILGA, S.L.	2008	BURGOS
RECURSOS MINEROS DE CALIZA DE LA SECCIÓN C AFECTADOS POR EL PERÍMETRO DEL PARQUE NATURAL DEL ÁREA DE ARMAÑÓN	2007	VIZCAYA
ESTUDIO GEOLÓGICO Y EVALUACIÓN DE RECURSOS DE CALIZA EN EL ENTORNO DE LEMOA	2007	VIZCAYA
CUBICACIÓN DE RESERVAS DE MINA SERRABAL. EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO Y MINERÍA SUBTERRÁNEA EN DISEÑO FUTURO Y LIMITADA POR EXPROPIACIÓN DEL T.A.V.	2007	BEDRA Y BOQUEIXÓN (A CORUÑA)
RESERVES EVALUATION AND MINING DEVELOPMENT ALTERNATIVES IN CABANASAS AND VILAFRUNS MINES	2007	SURIA (BARCELONA)
REEVALUACIÓN DE RECURSOS DE MAGNESITA EN ARTESIAGA OESTE Y ESTE	2006	VIZCAYA
IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FORMACIONES SILÍCEAS APTAS PARA SU APROVECHAMIENTO METALÚRGICO O PARA LA OBTENCIÓN DE VIDRIO EN LA RIOJA	2006	LOGROÑO
CUBICACIÓN DE LAS RESERVAS EXPLOTABLES DE LAS CANTERAS DE CEMENTOS LEMONA A ENERO DE 2006	2006	VIZCAYA
VALORACIÓN DE UN YACIMIENTO DE ARCILLAS	2003	CERVERA DEL MAESTRE (CASTELLÓN)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ALTERNATIVAS DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE RESERVAS EN LA MINA SERRABAL	2003	VEDRA Y BOQUEIXÓN (A CORUÑA)
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MINERA DE LOS P.I. AMPLIACIÓN AZURREKA, SAUCO, DIMA Y GALDAMES	2001	VIZCAYA
ACTUALIZACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO DE MAGNESITAS DE AZCÁRATE. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	2001	NAVARRA
ACTUALIZACIÓN DE RESERVAS EXPLOTABLES EN LA CANTERA DE APARIO	2001	NAVARRA
MODELO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL Y CUBICACIÓN DE RESERVAS DEL YACIMIENTO DE MAGNESITAS DE AZCÁRATE	2000	NAVARRA
INVESTIGACIÓN DE MAGNESITAS EN LA ZONA DE ZILBETI Y PICUDA	2000	NAVARRA
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL MINERO EN MAGNESITAS DEL ANTICLINAL DE ASTURRETA	1999	NAVARRA
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EN MAGNESITAS DE LA ZONA DEL PUERTO DE ARTESIAGA	1998-1999	NAVARRA
ASESORAMIENTO EN EL PROCESO DE PRIVATIZACIÓN DEL GRUPO POTASAS EN LOS ASPECTOS RELATIVOS A LEGISLACIÓN MINERA, SEGURIDAD MINERA, IMPACTO AMBIENTAL Y RESERVAS	1998	BARCELONA
ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA DIRECCIÓN DE LA UNIDAD TÉCNICA DE GESTIÓN (UTG) DEL PROGRAMA SYSMIN EN LA REPÚBLICA DOMINICANA (FED) PARA LA AMPLIACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LOS RECURSOS MINERALES, FENÓMENOS SÍSMICOS, APROVECHAMIENTO DE DETERMINADAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES Y CONTROL DEL IMPACTO AMBIENTAL. (UNIÓN EUROPEA)	1995-1997	REPÚBLICA DOMINICANA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LAS CONCESIONES DE SURIA K Y POTASAS DEL LLOBREGAT EN LA CUENCA POTÁSICA CATALANA	1994-1997	BARCELONA

Prospección Geoquímica

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA. CAMPAÑA DE TOMA DE MUESTRAS, PREPARACIÓN Y ANÁLISIS GEOQUÍMICOS MULTIELEMENTALES	2008-2011	VARIAS PROVINCIAS
DESMUESTRE Y ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES SUPERFICIALES EN OSSA MORENA PARA LA EXPLORACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA REGIONAL	2007-2009	BADAJOZ

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
DESMUESTRE Y ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES SUPERFICIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA	2005-2007	VARIAS PROVINCIAS
IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR DE FORMACIONES SILÍCEAS APTAS PARA SU APROVECHAMIENTO METALÚRGICO O PARA LA OBTENCIÓN DE VIDRIO EN LA RIOJA	2006	LOGROÑO
ELABORACIÓN DEL MAPA GEOQUÍMICO DE LA RIOJA	2006	LOGROÑO
CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA DE SUELOS EN UN SECTOR DE LA FAJA PIRÍTICA ESPAÑOLA	2004	HUELVA
ASISTENCIA TÉCNICA PARA ANÁLISIS QUÍMICOS DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS Y CONCENTRADOS PESADOS EN OSSA MORENA	2004	BADAJOZ
DESMUESTRE Y ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES SUPERFICIALES EN OSSA MORENA (SUR DE BADAJOZ) PARA EXPLORACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA REGIONAL	2002	BADAJOZ
PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA DE SUELOS EN EL PERMISO DE INVESTIGACIÓN MANUEL II	2002	VELADA (TOLEDO)
RECOGIDA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE CORRIENTE Y SUELOS PARA COMPROBACIÓN DE ANOMALÍAS DERIVADAS DE ESTUDIOS REGIONALES	2001	VARIAS PROVINCIAS
ANÁLISIS QUÍMICO MULTIELEMENTAL, MEDIANTE ICP-MS DE MUESTRAS DE SUELO DE LA CUENCA TERCIARIA DEL TAJO	2001	VARIOS TTMM
DESMUESTRE Y ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIALES SUPERFICIALES EN LA COMUNIDAD DE CANTABRIA (ESPAÑA), PARA LA ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA	2000-2001	CANTABRIA
ANÁLISIS MULTIELEMENTAL DE MUESTRAS DE SUELOS Y SEDIMENTOS PARA CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA	2001	MADRID
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-MINERA A ESCALA 1:5.000 PARA ZN-PB	1995	SAN PRUDENCIO (GUIPÚZCOA)
ESTABLECIMIENTO DE MODELOS DE EXPLORACIÓN PARA YACIMIENTOS DE PB-ZN-FE DEL COMPLEJO URGONIANO (ARCO VASCO) MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE DATOS MULTIDISCIPLINARES	1992-1993	VARIOS TTMM
MUESTREO SISTEMÁTICO DE MINERALIZACIONES DE AU EN EL MACIZO PALEOZOICO DE CINCO VILLAS	1992	GUIPÚZCOA
EXPLORACIÓN DE MINERALIZACIONES DE ORO EN RELACIÓN CON ZONAS DE CIZALLA EN DISTINTAS ÁREAS DEL PIRINEO CENTRAL MEDIANTE TELEDETECCIÓN, GEOQUÍMICA TÁCTICA Y ESTUDIOS DE DETALLE	1991	HUESCA
INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-MINERA DE AU Y PB EN EL MACIZO DE CINCO VILLAS	1991	GUIPÚZCOA

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
RECONOCIMIENTO DEL POTENCIAL AURÍFERO DE VARIAS ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS DEL PIRINEO AXIAL	1989	NAVARRA
INVESTIGACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE ORO EN LAS SERIES NEGRAS	1989	
INVESTIGACIÓN DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS PARA ORO Y METALES BÁSICOS EN ÁREAS DE LAS RESERVAS MALADETA NORTE Y ANETO	1985	HUESCA
PROSPECCIÓN PARA AU-W-PB-ZN EN DIVERSAS ÁREAS DE LA R.E. MALADETA NORTE Y ANETO MEDIANTE RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS, GEOQUÍMICOS Y GEOFÍSICOS	1984-1985	HUESCA
EXPLORACIÓN MEDIANTE RECONOCIMIENTOS DE DETALLE Y GEOQUÍMICA ESTRATÉGICA DE LAS POSIBILIDADES MINERAS DE DISTINTAS ZONAS DEL PIRINEO CENTRAL	1982	HUESCA
EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA DE LAS POSIBILIDADES MINERAS DEL PIRINEO CENTRAL	1981	HUESCA
PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA DE LAS CONCESIONES DE APIRSA EN AZNALCÓLLAR	1980	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
INVESTIGACIÓN MINERA DE LA RESERVA ESTATAL SUROESTE PARA HIERRO, METALES BÁSICOS Y ROCAS INDUSTRIALES, MEDIANTE RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICO-MINEROS Y TÉCNICAS GEOQUÍMICAS Y GEOFÍSICAS	1978-1980	VARIOS TTMM
INVESTIGACIÓN DE SULFUROS COMPLEJOS MEDIANTE GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA, GEOFÍSICA Y SONDEOS EN HUELVA Y SEVILLA	1977	VARIOS TTMM (HUELVA Y SEVILLA)

9.3. SEMA

Alfonso José González Muñoz

Licenciado en Ciencias Ambientales, Ingeniero Agrónomo e Ingeniero de Montes. Es responsable Técnico del Departamento de Medio Ambiente, Calidad y Prevención de Riesgos Laborales de Servicios Mineros de Andalucía, S.L.

Con notable formación de postgrado como Máster en Gestión Integral del Medio Ambiente, Máster Oficial en Organización Industrial y Gestión de Empresas y Máster/Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, Esp. Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial y Ergonomía y Psicosociología Aplicada, experto en SIG, cuenta con 10 años de experiencia en consultoría e inspección medioambiental en las diferentes áreas.

Como hitos profesionales más importantes cuenta en su haber con:

- Documentación ambiental para la renovación de concesiones de explotación: Santiago, El Realejo, Andalucía
- Desarrollo e implantación de planes de autoprotección

- Tramitación y documentación de Autorizaciones Ambientales Unificadas e Integradas: canteras, plantas de tratamiento, plantas de aglomerado
- Análisis de recursos hídricos y aprovechamientos autorizados en el entorno del bajo Guadalquivir
- Plan de Restauración para la planta temporal de tratamiento de aguas en la mina de Lomero-Poyatos
- Valoración de la restauración de antiguas explotaciones mineras
- Medidas correctoras y plan de seguimiento de cuestiones medioambientales para explotaciones mineras
- Estudios ambientales relacionados con obra civil (SE-40)
- Tramitación y seguimiento de las autorizaciones para instalaciones de gestión de residuos (RCD, neumáticos fuera de uso)

Luisa de Acuña López:

Departamento de Minería de Servicios Mineros de Andalucía, S.L. (SEMA, SL).

Responsable de proyectos, gestión minera, voladuras, direcciones facultativas y proyectos de explotación en SEMA, SL (desde 2008), Enycon (2008) y Compañía General de Canteras (2008). Especialista CAD. Técnico SIG.

Ingeniero Técnico de Minas (Esp. Explotación de Minas. EPS Linares, Universidad de Jaén, 2007) e Ingeniero Técnico Industrial (Esp. Electricidad. EPS Linares, Universidad de Jaén, 2005).

Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, especialidades Seguridad en el Trabajo (2008), Higiene Industrial (2009) y Ergonomía y Psicosociología Aplicada (2009).

Carlos Barahona Oviedo

Departamento de Minería de Servicios Mineros de Andalucía, S.L. (SEMA, SL).

Técnico Experiencia en gestión minera, proyectos de explotación y direcciones facultativas desde marzo de 2013. Técnico CAD. Técnico SIG.

Ingeniero de Minas (Esp. Laboreo de Minas. Universidad Politécnica de Madrid, 2013).

Francisco Acuña Parra

Departamento de Medio Ambiente de Servicios Mineros de Andalucía, S.L. (SEMA, SL).

Experiencia en gestión ambiental en proyectos asociados a la actividad minera. Desde mayo de 2014. Técnico SIG.

Licenciado en Ciencias Ambientales (Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, 2013).

9.3.1. Experiencia

A continuación se presenta una relación de los trabajos de interés llevados a cabo por SEMA (en solitario o en colaboración con otras empresas) durante los últimos años.

Faja Pirítica Ibérica

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE JARDINERÍA A EFECTUAR POR TRAGSA EN EL ÁREA DEL COMPLEJO MINERO LAS CRUCES.	2014	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE ADECUACIÓN DE SEGURIDAD MINERA EN EL ANTIGUO COMPLEJO MINERO DE AZNALCÓLLAR	2014	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS EN PLANTA HIDROMETALÚRGICA EN MINA LAS CRUCES. SAN MATEO LOGÍSTICA	2014	GERENA (SEVILLA)
PLAN DE LABORES PARA EL AÑO 2014 DE MINA MAGDALENA	2014	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO GEOTÉCNICO DE LA RAMPA DE SERVICIO DE MINA MAGDALENA	2014	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO DE BALSA. AUMENTO DE CAPACIDAD DE LA BACIET EN MINA COBRE LAS CRUCES	2014	GERENA (SEVILLA)
ESTUDIO DE ORGANISMOS IMPLICADOS EN PROCESOS DE BIOMINERALIZACIÓN Y OXIDACIÓN DE MANGANESO EN AMBIENTES MINEROS DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA. NERVA	2013	EL CAMPILLO (HUELVA).
ACTUALIZACIÓN DE DATOS EN FINCAS REGISTRALES DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN	2013	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DOSSIER DEL ESTADO ACTUAL DE LAS MINAS DE AZNALCÓLLAR.	2013	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA BALSA BNC 1 EN MINA COBRE LAS CRUCES	2013	GERENA (SEVILLA,
PROYECTO DE BALSA. ADENDA AL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA BNC1 EN MINA COBRE LAS CRUCES	2013	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE BALSA. ADENDA AL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES DE CONTACTO EN MINA COBRE LAS CRUCES	2013	GERENA (SEVILLA)
ASESORAMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLIEGOS TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS PARA UN CONCURSO PÚBLICO INTERNACIONAL PARA VOLVER A EXPLOTAR LAS MINAS DE AZNALCÓLLAR.	2013	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
ACTUALIZACIÓN DE TODOS LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2013	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
PROYECTO Y PLAN DE RESTAURACIÓN DE P.I. PATRICIA Y P.I. FARALAES III PARA CONCURSO PÚBLICO DE REGISTROS MINEROS EN SEVILLA	2013	GERENA (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE JARDINERÍA A EFECTUAR POR TRAGSA EN EL ÁREA DEL COMPLEJO MINERO LAS CRUCES	2013	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE ADECUACIÓN DE SEGURIDAD MINERA EN EL ANTIGUO COMPLEJO MINERO DE AZNALCÓLLAR	2013	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE PLAN DE RESTAURACIÓN DE ACOMPAÑAMIENTO A PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACUMULADAS EN GALERÍAS DE MINA LOMERO-POYATOS	2013	EL CERRO DEL ANDÉVALO (HUELVA)
PLAN DE LABORES (SECCIÓN RESTAURACIÓN) PARA EL AÑO 2013 DE MINA LOMERO-POYATOS	2013	EL CERRO DEL ANDÉVALO (HUELVA
PLAN DE LABORES PARA EL AÑO 2014 DE MINA MAGDALENA	2013	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO Y PLAN DE RESTAURACIÓN DE P.I. EL TINTILLO 2 PARA CONCURSO PÚBLICO DE REGISTROS MINEROS EN SEVILLA	2013	AZNALCÓLLAR Y CASTILLO DE LAS GUARDAS (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE JARDINERÍA A EFECTUAR POR TRAGSA EN EL ÁREA DEL COMPLEJO MINERO LAS CRUCES	2012	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE ADECUACIÓN DE SEGURIDAD MINERA EN EL ANTIGUO COMPLEJO MINERO DE AZNALCÓLLAR	2012	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
PROYECTO DE MODIFICACIÓN Y MEJORA DE LA MOTA ANTIVERTIDO EN LA BALSA BEAC EN MINA COBRE LAS CRUCES	2012	GERENA (SEVILLA)
ESTUDIO SOBRE EL ALCANCE LEGAL DE LAS MODIFICACIONES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO EN MINA COBRE LAS CRUCES	2012	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE TANQUE SURGE LEACH FEED TANK EN MINA COBRE LAS CRUCES	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO CRIBADO Y BOMBEO DE FINOS DE MINERAL Y MEJORAS DE LA PLANTA HIDROMETALÚRGICA EN MINA COBRE LAS CRUCES	2011	GERENA (SEVILLA)
ADENDA AL PROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES DE CONTACTO-CUBETA AUXILIAR A LAS BALSAS BAC1 Y BEAC EN MINA COBRE LAS CRUCES	2011	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE ADECUACIÓN DE SEGURIDAD MINERA EN EL ANTIGUO COMPLEJO MINERO DE AZNALCÓLLAR	2011	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE JARDINERÍA A EFECTUAR POR TRAGSA EN EL ÁREA DEL COMPLEJO MINERO LAS CRUCES	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LAS BALSAS BP01 Y BAC 4 EN MINA COBRE LAS CRUCES. COBRE	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE CRIBADO Y BOMBEO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO EN MINA COBRE LAS CRUCES	2011	GERENA (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
PROYECTO DE BOMBAS PARA ESPESADOR DE NEUTRALIZACIÓN EN MINA COBRE LAS CRUCES	2011	GERENA (SEVILLA)
LÍNEA ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN DE SERVICIO AL PROYECTO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES DE CONTACTO EN EL COMPLEJO MINERO MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LAS BALSA BNC III EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE LA BNC2 SUR POLIVALENTE, APTA PARA AGUAS DE CONTACTO O NO CONTACTO EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE RECRECIMIENTO DE LA BAC IEM1 EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DE BOMBA DE NEUTRALIZACIÓN EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA. TRABAJOS DE JARDINERÍA A EFECTUAR POR TRAGSA EN EL ÁREA DEL COMPLEJO MINERO LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE EXPLOTACIÓN MINERA EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DE BOMBAS DE LIXIVIACIÓN EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LA BALSA BNC II EN MINA COBRE LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LAS BALSAS BEOI3, B3 Y LOS RECRECIMIENTOS DE LA BNC2 Y BNC7 EN MINA COBRE LAS CRUCES	2009	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LAS BALSAS BEOI 3, B3, BNC 2 – 7 Y ANEJOS EN MINA COBRE LAS CRUCES	2009	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS Y AMPLIACIÓN DE LAS BAC IEM1 Y IET EN MINA COBRE LAS CRUCES	2009	GERENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN DE AUTORIZACIONES EN LA AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA DEL PROYECTO ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN EN MINA COBRE LAS CRUCES	2009	GERENA (SEVILLA)
PROPUESTA SISTEMA DE MEDICIÓN EN CONTINUO DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2009	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
DELIMITACIÓN DEL VERTEDERO N-O Y ZONA N-O DE LA CORTA AZNALCÓLLAR, EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2009	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN EN MINA DE AGUABLANCA	2008	MONESTERIO (BADAJOZ),
DESLINDE DE UN ÁREA PREVISTA A SEGREGAR, PRÓXIMA AL PAMA, EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2008	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE ÁREA PREVISTA A SEGREGAR, PRÓXIMA A LA BALSA DE RESIDUOS, EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2008	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE ÁREA PREVISTA A SEGREGAR, PRÓXIMA A LA DEPURADORA DE AGUAS, EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2008	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
ACTUALIZACIÓN DE TODOS LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2008	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
PROYECTO DE VOLADURAS TIPO Y ADECUACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE AL PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2008	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO DE NAVE DE ALMACENAMIENTO DE REACTIVOS EN LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2008	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE DRENAJE DE LA EXPLOTACIÓN DE LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2008	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO DE BALSA PARA LA GESTIÓN DE AGUAS DE PLANTA DE OSMOSIS INVERSA EN MINA COBRE LAS CRUCES	2008	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LA BALSA BAC-IEM 1 EN MINA COBRE LAS CRUCES	2008	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA BAC IEM2, BAC AUX2 Y BAC IET EN MINA COBRE LAS CRUCES	2008	GERENA (SEVILLA)
DELIMITACIÓN DE VARIAS ÁREAS PARA HUERTOS SOLARES MEDIANTE COLOCACIÓN DE HITO-FENOS EN EL PERÍMETRO DE LA BALSA DE RESIDUOS, EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2007	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DELIMITACIÓN, ESTAQUILLADO Y MEDIDA PARA TRES ÁREAS O PARCELAS PREVISTAS PARA DIFERENTES USOS, SITUADAS EN EL ÁREA DE LA ERMITA, PRÓXIMAS A LA BALSA DE RESIDUOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2007	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y REPLANTEO DE LAS LINDES DE LA FINCA “LA ZARCITA”, PRÓXIMAS A LA BALSA DE RESIDUOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2007	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN EN LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS.	2007	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO DE BALSAS BAC IEM2; BAC IEM1; BAC1; BEAC, BAC IEP BNC II EN MINA COBRE LAS CRUCES	2007	GERENA (SEVILLA)
INFORME DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE	2007	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR		
DESLINDE Y TOPOGRAFÍA DE INSTALACIÓN DE FABRICACIÓN DE EXPLOSIVOS EN EL T.M. DE EL GARROBO	2007	EL GARROBO, (SEVILLA)
TOPOGRAFÍA Y DESLINDE DE HUERTO SOLAR EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
PROYECTO DE DESMANTELAMIENTO DE PLANTA MACHACADORA PRIMARIA EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
TOPOGRAFÍA Y DESLINDE DE HUERTOS SOLARES EN FINCA MATRIZ AZNALCÓLLAR EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
TOPOGRAFÍA Y DESLINDE DE LA CANTERA LAS MESAS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO PARA TUBERÍA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL PAMA EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA DE INSTALACIÓN DE PLANTA DE CALDERERÍA Y DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE GRAN TONELAJE EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2006	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
INFORME AMBIENTAL PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE CALDERERÍA Y DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE GRAN TONELAJE EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2005	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA RECONVERSIÓN DE ACTIVIDAD EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR.	2005	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR CONTAMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA DEBIDO A LA ACTIVIDAD MINERA EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA	2004	El Campillo, Huelva
ESTUDIO DE CONTROL DE ESCORRENTÍA DE AGUAS DE CONTACTO PROCEDENTES DE LA ESCOMBRERA NORTE EN LA MINA THARSIS	2004	(Alosno, Huelva).
ASESORAMIENTO TÉCNICO - PROYECTOS DE DESCONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS DE ÁREAS PRÓXIMAS A LA BALSA DE RESIDUOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2004	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
PLAN DE VOLADURA DEL CAMINO "LA TORERERA", EN EL T.M. DE CALAÑAS (HUELVA	2004	CALAÑAS (HUELVA)
ASESORAMIENTO TÉCNICO PROYECTOS DE DESCONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2003	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
ASESORAMIENTO TÉCNICO - PROYECTOS DE DESCONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS DE ÁREAS PRÓXIMAS A LA BALSA DE RESIDUOS EN LOS TERRENOS DE LA ANTIGUA EXPLOTACIÓN MINERA DE BOLIDEN, EN EL T.M. DE AZNALCÓLLAR	2003	AZNALCÓLLAR, (SEVILLA)
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2006	CASTILBLANCO DE LOS ARROYOS (SEVILLA)
ESTUDIO HIDROLÓGICO Y TOPOGRÁFICO ARROYO LOS ARQUILLOS	2006	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2006	ESTEPA (SEVILLA)
PROYECTO DE SONDEO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE RONDA	2007	RONDA (MÁLAGA)
PROYECTOS DE BALSAS Y PRESAS	2007	GERENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2008	ALCALÁ DE GUADAÍRA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA Y CONTROL GEOLÓGICO DE SONDEOS PARA ESTUDIO DE RESERVAS DE LA EXPLOTACIÓN MINERA AGUABLANCA	2008	MONESTERIO (BADAJOZ)
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS. 1ª FASE	2008	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
PROYECTO DE DEPURACIÓN DE AGUAS DE ESCORRENTÍA DE LA CANTERA SANTIAGO	2008	ESTEPA (SEVILLA)
PROYECTO DE BALSA PARA LA GESTIÓN DE AGUAS DE PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA	2008	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE RECRECIMIENTO DE LA BAC IEM1	2008	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LAS BALSAS BEOI3, B3 Y LOS RECRECIMIENTOS DE LA BNC2 Y BNC7	2008	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA DE VOLADURAS EN BALSA DE PLUVIALES LA VEGA	2009	ALCALÁ DEL RÍO (SEVILLA)
PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA BAC IEM2, BAC AUX2 Y BAC IET	2009	GERENA (SEVILLA)
ESTUDIO INTEGRAL PARA LA GESTION TOTAL DE LAS AGUAS EN LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2009	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
PROYECTO DE REINICIO DE LA MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2009	ALMONASTER LA REAL (HUELVA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	EL SAUCEJO (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	CARMONA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN Y PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	QUESADA (JAÉN)
PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE LA BNC2 SUR, POLIVALENTE, APTA PARA AGUAS DE CONTACTO O NO CONTACTO	2009	GERENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	QUESADA (JAÉN)
CERTIFICACIÓN Y PROYECTO DE BALSAS AUXILIARES	2009	GERENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN Y PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	SEVILLA (SEVILLA)
PROYECTO DE BALSAS BEOI 3, B3, BNC2-7 Y ANEJOS	2009	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS Y AMPLIACIÓN DE BAC IEM 1 Y BAC IET	2009	GERENA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA DE EJECUCIÓN DE BALSAS	2009	GERENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	AZNALCÁZAR (SEVILLA)
PROYECTO DE LEGALIZACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	VILLAMANRIQUE DE LA CONDESA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	JAÉN (JAÉN)
ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CAUCE	2009	GUILLENA (SEVILLA)
TRAMITACIÓN CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2009	GUILLENA (SEVILLA)
INVENTARIO DE EXPLOTACIONES MINERAS DE ANDALUCÍA 2007-2009	2009	TODA LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
TRAMITACIÓN AUTORIZACIONES EN AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA DE PROYECTO ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN COMPLEJO HIDROMETALÚRGICO LAS CRUCES	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE TUBERÍA SUBTERRÁNEA PARA HIDROCARBUROS	2010	PALOS DE LA FRONTERA (HUELVA)
ESTUDIO DESPRENDIMIENTO SOBRE EL RÍO GUADALETE	2010	JEREZ DE LA FRONTERA (CÁDIZ)
MODIFICACIÓN DE PROYECTO DE BALSA BCN - 3	2010	GERENA (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
PROYECTO DE TANQUE SEMIENTERRADO	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE TANQUE HOMOGENEIZACIÓN	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE BALSA BNC II	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE BALSA BAC-IEM 1	2010	GERENA (SEVILLA)
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO	2010	CARMONA (SEVILLA)
PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DE BOMBAS DE LIXIVIACIÓN	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2010	LA CAMPANA (SEVILLA)
PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DE BOMBAS DE NEUTRALIZACIÓN	2010	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE LEGALIZACIÓN DE POZO	2010	ALMONTE (HUELVA)
ANÁLISIS DE COSTES DERIVADOS DE UNA POSIBLE EXPLOTACIÓN MINERA	2010	ROTA (CÁDIZ)
ASESORAMIENTO AMBIENTAL PARA LICITACIÓN PÚBLICA	2010	TTMM CASTILBLANCO DE LOS ARROYOS Y OTROS (SEVILLA)
ESTUDIO PARA DESMANTELAMIENTO DE FÁBRICA DE EXPLOSIVOS	2010	MORÓN DE LA FRONTERA (SEVILLA)
PROYECTOS PLANTAS DE AGLOMERADO ASFÁLTICO	2010	AUTOVÍA A-49
PROYECTO DE EXPLOTACIÓN, ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y PLAN DE RESTAURACIÓN PARA PRÓRROGA DE 2 CONCESIONES DE EXPLOTACIÓN	2010	CAZALLA DE LA SIERRA (SEVILLA)
ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN DE EXPLOTACIÓN MINERA	2010	GERENA (SEVILLA)
PLAN DE ABANDONO DE CANTERA LAS MAJADILLAS	2010	ALCALÁ DE GUADAÍRA (SEVILLA)
DIRECCIÓN FACULTATIVA Y GESTIONES PARA LA DESTRUCCIÓN DE MATERIAL PIROTÉCNICO UTILIZADO EN CINE	2010	SEVILLA
ACTUALIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA Y ORDENAMIENTO DE LOS ANTIGUOS TERRENOS DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE AZNALCÓLLAR	2010	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)
PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN PERMISO DE INVESTIGACIÓN	2010	ALBACETE
ESTUDIO HIDROLÓGICO DE POZO	2010	CARMONA (SEVILLA)
CAMPAÑA DIPUTACIÓN PARA PROGRAMAS DE	2010	GUILLENA (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
DESARROLLO RURAL		
PROYECTO DE BOMBAS PARA ESPESADOR DE NEUTRALIZACIÓN	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO SURGE LEACH FEED TANK	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	2011	QUESADA (JAÉN)
INFORME SOBRE INESTABILIDAD EN TALUD SOBRE EL RÍO GUADALETE	2011	JEREZ DE LA FRONTERA (CÁDIZ)
PROYECTO DE CRIBADO Y BOMBEO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO	2011	GERENA (SEVILLA)
PROYECTO DE VOLADURA PARA CELDA DE PLUVIALES	2011	ALCALÁ DEL RÍO (SEVILLA)
POZO DE AGUA SUBTERRÁNEAS	2011	UTRERA (SEVILLA)
PROYECTO DE PLANTA DE SUELO CEMENTO	2011	AUTOVÍA A-49
PROYECTO CONSTRUCTIVO DE 2 BALSAS EN EL RECINTO MINERO LAS CRUCES (BP01 Y BAC 4)	2011	GERENA (SEVILLA)9
PERITACIÓN SOBRE RESTAURACIÓN LLEVADA A CABO EN ANTIGUA CANTERA	2011	LA RINCONADA (SEVILLA)
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	2011	FUENTES DE ANDALUCÍA (SEVILLA)
PROYECTO DE POZO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	2011	LOS PALACIOS Y VILLAFRANCA (SEVILLA)
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL NUEVO PGOU DEL MUNICIPIO DE ESTEPA	2011	ESTEPA (SEVILLA)
PROYECTOS PARA EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE PRÉSTAMO PARA LA SE-40	2011	ALCALÁ DE GUADAÍRA (SEVILLA)
ESTUDIO GEOTÉCNICO DE FRENTES DE CANTERA	2011	MORÓN DE LA FRONTERA (SEVILLA)
PERITACIÓN SOBRE POSIBLES CONSECUENCIAS DE ESPECTÁCULO PIROTÉCNICO	2011	SEVILLA
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE PERMISOS DE INVESTIGACIÓN	2012	CALERA DE LEÓN Y OTROS (BADAJOZ)
ESTUDIO SOBRE EL ALCANCE LEGAL DE MODIFICACIONES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO	2012	GERENA (SEVILLA)
ESTUDIOS GEOLÓGICOS	2012	ALCALÁ DEL RÍO
AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA PARA PLANTA DE TRANSFERENCIA DE RCD	2012	LA RINCONADA (SEVILLA)
AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA PARA INSTALACIÓN DE REVALORIZACIÓN DE NEUMÁTICOS	2012	AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
FUERA DE USO		
DIRECCION FACULTATIVA DE EFECTOS ESPECIALES EN RODAJE	2012	LAS CABEZAS DE SAN JUAN (SEVILLA) Y OTROS
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA PARA EL AYUNTAMIENTO DE ESTEPA SOBRE RECURSOS Y RESERVAS DE UNA CANTERA	2012	ESTEPA (SEVILLA)
CUANTIFICACIÓN DE RESERVAS E INSTALACIONES DE UNA CANTERA	2012	ESTEPA (SEVILLA)
ASESORAMIENTO PARA GESTIÓN DE AGUAS	2012	UTRERA (SEVILLA)
PLAN DE RESTAURACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE AVAL PARA EXPLOTACIÓN MINERA	2012	MORÓN DE LA FRONTERA (SEVILLA)
PLAN DE RESTAURACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE AVAL PARA EXPLOTACIÓN MINERA	2012	MORÓN DE LA FRONTERA (SEVILLA)
PLAN DE RESTAURACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE AVAL PARA EXPLOTACIÓN MINERA	2012	ESTEPA (SEVILLA)

9.4. INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.L. (IGT)

International Geophysical Technology, S.L. (IGT) es una empresa española, ubicada en Fuenteventura 4, 1º-4. 28700 San Sebastian de los Reyes (Madrid), especializada en el estudio del subsuelo mediante métodos geofísicos. Fue fundada en 1989 por técnicos especialistas en Geofísica que entonces tenían más de 10 años de experiencia, gran parte de la cual se había adquirido en estudios geofísicos para prospección minera en la Faja Pirítica Ibérica.

Los ámbitos de actuación de IGT cubren la prospección de recursos minerales, hidrogeología, geotecnia y medio ambiente, siendo el primero de ellos el más significativo tanto por el equipo técnico y los medios materiales de que dispone la empresa, como por su experiencia en un considerable número de países donde ha desarrollado sus actividades para empresas mineras internacionales durante los últimos veinte años.

La plantilla de IGT incluye cinco titulados de grado superior: tres ingenieros de minas expertos en métodos geofísicos, un licenciado en geología y un ingeniero geofísico, graduado en la Universidad Simón Bolívar de Venezuela. El personal experto en operaciones de toma de datos en campo está formado por cuatro técnicos geofísicos y cinco ayudantes.

En lo que respecta a instrumentación geofísica de empleo específico para prospección de recursos minerales, IGT cuenta con equipos de magnetometría, espectometría de radiación gamma, gravimetría y microgravimetría, polarización inducida – resistividad en modo tomografía, electromagnético de dominio de tiempos y de dominio de frecuencias para superficie y para medidas en sondeos, registros geofísicos convencionales en sondeos, etc.

Asimismo IGT tiene experiencia en la planificación y la supervisión de campañas geofísicas mediante métodos aeroportados (magnetometría, espectometría de radiación gamma y electromagnéticos) desarrolladas en España y Portugal. Actualmente, IGT realiza

trabajos de supervisión de la campaña geofísica por métodos aeroportados que la sociedad IMPULSO realiza en Angola, sobre una zona de 480.000 Km^2.

En resumen, IGT dispone de los medios materiales, de la experiencia y del equipo técnico necesarios para planificar y llevar a cabo los estudios mediante métodos geofísicos incluidos en esta propuesta.

Con el objetivo de proporcionar a sus clientes los resultados más fiables, IGT tiene establecido un sistema de control de calidad y de la protección ambiental de acuerdo con las normas ISO 9001 e ISO 14001, certificado por la Cámara de Comercio de Madrid. De este modo se han establecido las correspondientes instrucciones técnicas y los procedimientos que siguen los equipos de campo para asegurar la calidad de las medidas, y los técnicos encargados de su análisis para conseguir los resultados más representativos.

Para la ejecución de los estudios geofísicos de esta propuesta, el equipo de trabajo estará formado por los técnicos de la plantilla de IGT que se relacionan a continuación, con indicación de su formación académica, experiencia y funciones a desarrollar en el proyecto.

9.4.1. Equipo técnico

Ángel Granda Sanz

Es Ingeniero de Minas por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (1975), contando además con diplomas españoles e internacionales en Hidrogeología (1976), Prospección Geoeléctrica (1980), EM de Dominio de Tiempos (1985), y Geofísica Aplicada a la Ingeniería Civil (1996). Es miembro de diversas asociaciones profesionales, entre las que destacamos Society of Exploration Geophysics (SEG), Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS), Prospectors and Developers Association of Canada (PDAC), European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) y Canadian Exploration Geophysical Society (KEGS).

Desde 1989 dirige y actúa como responsable técnico de IGT y Medios Geofísicos, S.L., habiendo desempeñado con anterioridad su carrera profesional como Jefe del Departamento de Geofísica de Compañía General de Sondeos, S.A. Cuenta, pues, con más de 35 años en Geofísica aplicada a geotecnia, hidrogeología, prospección de recursos mineros y medio ambiente. En el período de 1989-2008 ha realizado más de 2.400 informes técnicos de estudios realizados en diversos países. Ha dado conferencias y cursos en un elevado número de seminarios y congresos especializados en geofísica aplicada a minería, geotecnia, hidrogeología, etc. Desde 1979 es autor y coautor de numerosas publicaciones técnicas relacionadas con el mundo de la geofísica, sus técnicas y aplicaciones.

Alejandro Madrid Contreras

Es Ingeniero de Minas por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2001), y Máster en Técnicas Geofísicas Avanzadas formando parte desde entonces de la plantilla de IGT como ingeniero consultor y en la empresa asociada Medios Geofísicos, S.L. (distribución y venta de equipos y software para geofísica, geotecnia y cartografía). Es especialista en toma de datos en campo, desarrollo técnico, procesado e interpretación de datos geoeléctricos, sísmicos, electromagnéticos y métodos de campos.

Como professional es miembro de las asociaciones Society of Exploration Geophysics (SEG); Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS); European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE). Ha participado en numerosos seminarios internacionales relacionados con técnicas geofísicas y sus aplicaciones, y cuenta en su haber con diversas publicaciones técnicas relacionadas con su campo profesional.

Ana Penélope Torrealba Dávila

Es Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid (2001). Desde 2003 forma parte del equipo técnico de IGT, realizando labores de Procesado e interpretación de datos de tomografía eléctrica, sísmica de refracción, registros geofísicos en sondeos y georadar.

Teresa Granda Paris

Es Ingeniero de Minas por la E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid (2000), habiendo cursado el último curso en la Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (París), en la especialidad : Suelo y subsuelo (Sol et Sous-sol). También es Master en Técnicas Geofísicas Avanzadas. Es miembro de la Society of Exploration Geophysics (SEG), Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS) y la European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE).

Desde 2000 es Ingeniero consultor en International Geophysical Technology, S.L. (IGT) y en la empresa asociada Medios Geofísicos, S.L. (distribución y venta de equipos y software para geofísica, geotecnia y cartografía). Desde Enero 2.005 es responsable del Sistema Integrado de Gestión de Calidad y Medioambiente (Normas ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004).

Ha colaborado y asistido a múltiples cursos y seminarios internacionales, principalmente relacionados con el empleo y desarrollo de técnicas geofísicas. Desde 2005 cuenta en su haber con publicaciones técnicas en esta área, tanto para publicaciones especializadas como para congresos.

José Enrique Borges Viralta

Ingeniero Geofísico por la Universidad Central de Venezuela (2004) y con Máster en Administración y Dirección de Empresas (Especialidad Producción) por la UNED (2010). Es miembro de la Sociedad Venezolana de Geofísicos (SOVG).

Desde 2005 es Ingeniero consultor en International Geophysical Technology, S.L. (IGT) y en la empresa asociada Medios Geofísicos, S.L. (distribución y venta de equipos y software para geofísica, geotecnia y cartografía). Funciones desempeñadas: especialista en toma de datos en campo, desarrollo técnico, procesado e interpretación de datos, formación técnica.

Ha asistido a múltiples cursos y seminarios internacionales, principalmente relacionados con el desarrollo de técnicas geofísicas

Cuenta con 10 años de experiencia y será responsable de la supervisión de los equipos de campo y participación en la ejecución de las medidas TEM en sondeos.

Antonio Álvaro Granda

Técnico Geofísico con 25 años de experiencia. Será encargado de las medidas gravimétricas y también participará en las medidas TEM.

Víctor Manuel Yagüe Álvaro

Técnico Geofísico con 15 años de experiencia. Responsable principal de las medidas de Puesta a Masa

9.4.2. Medios materiales

9.4.2.1. Gravimetría

Para la ejecución de las medidas gravimétricas de este estudio IGT ofrece los siguientes instrumentos:

- Microgravímetro (0'001m Gal) Autograv CG5 (s/n 301200057)
- Gravímetro Lacoste & Romberg modelo G con sensibilidad 0'01 mGal (s/n G-636)
- Gravímetro (0'01 mGal) Sodin 200T (s/n 287-T)
- Sistema GPS de doble frecuencia TOPCON HYPER PRO operando en tiempo real (RTK), conjuntamente con los 24 satélites de la constelación NAVSTAR de GPS y con los 11 satélites de la constelación GLONASS. Ello contribuye a incrementar su precisión, especialmente cuando se opera en modo diferencial.



Fotografía 9.1 – Gravímetro Sodin 200T. (Fuente: CGG Veritas)

9.4.2.2. EM de Dominio de Tiempos

También para estas medidas se dispondrá de dos equipos completos, formados por los instrumentos que a continuación se relacionan:

- Receptor PROTEM nº 1 (s/n 890301)
- Receptor PROTEM nº 2 (s/n 971005)
- Transmisor EM37 (s/n 8603003)
- Transmisor EM57-MK2 (s/n 051002)
- Bobina receptora de baja frecuencia con un área efectiva de 100 m^2
- Bobina receptora de baja frecuencia con un área efectiva de 1.000 m^2
- Sonda BH43/1D (s/n 0873) para medidas en sondeos
- Sonda BH43/3D (s/n 0517-2) para medidas en sondeos
- Cabrestantes motorizados con 500 y 1.1.00 metros de cable
- Material auxiliar como motores generadores, cables especiales para los bucles transmisores, etc.

9.4.2.3. Puesta a Masa

Para la ejecución de estos trabajos se empleará instrumentación específica para este tipo de estudios, compuesta por los siguientes elementos:

- Transmisor modelo GEO-400 (s/n 4061989) de la marca GEOTRON.
- Milivoltímetro digital de alta sensibilidad, modelo KH 3322 de la marca Power Fix
- Motor generador HONDA de 3 KVA.
- Rectificador marca GEOTRON de 220V en c.a. a c.c. cuyo voltaje de salida se puede regular desde el transmisor GEO-400 en intervalos de 100 mV.
- Electrodos impolarizables para el dipolo receptor (MN).

9.4.3. Experiencia

A continuación se presenta una relación de los trabajos realizados por IGT para prospección minera desde 2005.

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
KAPIKAYA PROJECT. RESISTIVITY AND I.P. GEOPHYSICAL SURVEY IN KAPIKAYA-TEPE-UVEZLICE TEPE AREA	2005	TURQUÍA
CAMPAGNE DE TEST GEOPHYSIQUES AU SOL. RAPPORT PRELIMINAIRE	2005	ARLIT (NÍGER)
GEOPHYSICAL TEST IN BOUGRINE MINE	2005	TÚNEZ

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
AS PROSPECT. RESISTIVITY AND INDUCED POLARIZATION GEOPHYSICAL SURVEY IN SONDIKLI AREA	2005	TURQUÍA
TEM GEOPHYSICAL SURVEY IN TOPLAK TEPE	2005	TURQUÍA
GEOPHYSICAL SURVEY (GRAVITY AND TEM) IN THE VICINITY OF BOUGRINE MINE	2005	TÚNEZ
GEOPHYSICAL TEM SURVEY IN TROZZA	2005	TÚNEZ
CAMPAÑA DE REGISTROS TEM EN LOS SONDEOS AC-4, ATW-5, ATW-6, ATW7 Y ATW-10. MINAS DE AGUAS TEÑIDAS, SAU	2006	HUELVA
GEOPHYSICAL SURVEY IN RIO DE MINHOS, NEAR GRÁNDOLA	2006	PORTUGAL
TIME DOMAIN EM SURVEY IN TE-2 AND S-5 AREAS	2006	IRLANDA
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE MEDIDAS DE RESISTIVIDAD Y POLARIZACIÓN INDUCIDA EN SAGUAZAL	2006	CÁCERES
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS (SEDT) EN LA ZONA DE LES AVELLANES I SANTA LINYA	2006	LLEIDA
REGISTROS GEOFÍSICOS DEL SONDEO CMN-3	2007	CHIMENEAS (GRANADA)
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO DEL ENTORNO DE LAS SALINAS DE LA ROSA (JUMILLA) MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS SEDT	2007	MURCIA
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE MEDIDAS DE RESISTIVIDAD Y POLARIZACIÓN INDUCIDA EN RETORTILLO	2007	SALAMANCA
CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO TEM EN LA ZONA DE EDROSA. 1ª Y 2ª FASE	2007	PORTUGAL
REGISTROS TEM EN EL SONDEO AB601. ÁREA DE PORTEL-SECTOR DE ABEGOARIA	2007	PORTUGAL
REGISTROS TEM EN LOS SONDEOS AE-62 Y AE-63 DE AGUAS TEÑIDAS	2007	HUELVA
INFORME SOBRE LA NUEVA CAMPAÑA DE SEDT REALIZADA EN LA ZONA DE TARTAREU	2007	LLEIDA
TEM GEOLOPHYSICAL SURVEY IN THE AREA OF EDROSA, 3RD PHASE	2007	PORTUGAL
PROYECTO DRAZJNA. ESTUDIO GRAVIMÉTRICO Y MAGNETOMÉTRICO. INFORME LOGÍSTICO.	2008	KOSOVO
ENSAYO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS AEROPORTADOS AL SUR DE MINA FE. REPROCESADO DE LOS DATOS DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL.	2008	SALAMANCA

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ESTUDIO GRAVIMÉTRICO EN LA CANTERA “LAS NIEVES”	2008	CANTABRIA
TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS EN LA MINA DE AGUABLANCA	2008	BADAJOZ
TEM DOWN-HOLE SURVEY OF BOREHOLES P02, P03A AND P04.”P.I. COLMENITAS”	2009	HUELVA
ESTUDIO MAGNETOMÉTRICO EN LA ZONA DE ALCONCHEL	2009	BADAJOZ
MAGNETIC AND GRAVIMETRIC SURVEY IN KAMENICA AN GLAVEJ PROSPECTS	2009	KOSOVO
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE GRAVIMETRÍA Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA LA INVESTIGACIÓN DE UN YACIMIENTO DE HALITAS EN OS DE BALAGUER	2009	LLEIDA
C.E. “CUCHILLAREJOS”.). REGISTROS TEM EN LOS SONDEOS CH_09_02, CH_09_03 Y CH_09_04	2010	HUELVA
PERMISOS DE INVESTIGACIÓN “MARCIA I” Y “MARCIA II”. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE MAGNETOMETRÍA Y ESPECTOMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL	2010	ALMERÍA
PERMISOS DE INVESTIGACIÓN “MARCIA I” Y “MARCIA II”. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y RESISTIVIDAD EN LA ZONA DE “EL CERRO DEL GALLO”.	2010	ALMERÍA
TEM DOWN-HOLE SURVEY OF BOREHOLE LZ002. LA ZARZA	2010	HUELVA
TEM DOW-HOLE SURVEY OF BOREHOLE L2003. LA ZARZA	2010	HUELVA
ENSAYOS DE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y RESISTIVIDAD EN LA ZONA DE NEVES-CORVO	2010	PORTUGAL
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO DE DOMINIO DE TIEMPOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ACUÍFERO DE RÍO TINTO EN LA ZONA DE PEÑA DEL HIERRO	2011	HUELVA
INFORME DEL ESTADO DE LOS TRABAJOS DE PROSPECCIÓN MEDIANTE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN EL “PERMISO DE INVESTIGACIÓN OROPESA 13050"	2011	CÓRDOBA
NOTA INFORMATIVA SOBRE LOS TRABAJOS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA REALIZADOS EN EL PERMISO DE INVESTIGACIÓN “LAS COLMENITAS” Nº 14.680	2011	HUELVA
NOTA COMPLEMENTARIA AL INFORME “ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO DE DOMINIO DE TIEMPOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ACUÍFERO DE RÍO TINTO”. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	2011	HUELVA
TORAL PROJECT - NW SPAIN. ENSAYO GEOFÍSICO MEDIANTE MEDIDAS DE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	2011	CASTILLA Y LEÓN

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
ESTUDIO GRAVIMÉTRICO EN EL PERMISO DE INVESTIGACIÓN “LAS COLMENITAS”, Nº 14.860	2011	HUELVA
DOURO PROSPECT. ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE LA POLARIZACIÓN INDUCIDA - RESISTIVIDAD Y LA MAGNETOMETRÍA	2011	PORTUGAL
COMENTARIOS A LOS TRABAJOS GEOFÍSICOS REALIZADOS EN LA MINA DE FREIXEDA DURANTE 2.012 Y 2.011	2011	PORTUGAL
ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE MAGNETOMETRÍA Y GRAVIMETRÍA EN FREIXEDA	2011	PORTUGAL
INDUCED POLARIZATION - RESISTIVITY AND MAGNETICS. GEOPHYSICAL SURVEY IN OROPESA - LA GRANA PROSPECT	2011	CÓRDOBA
LAGOA SALGADA PROJECT. GRÃNDOLA. TEM DOWN-HOLE SURVEY BOREHOLES PX01, PX03, PX04A AND PX08	2011	PORTUGAL
FREIXEDA PROSPECT. ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE MICROGRAVIMETRÍA, POLARIZACIÓN INDUCIDA, Y MAGNETOMETRÍA	2011	PORTUGAL
MARATECA PROJECT. TEM DOWN-HOLE SURVEY IN BOREHOLES SE11-01, SM11-01, MV10-01	2011	PORTUGAL
CONCESIÓN DE EXPLOTACIÓN “EL ACEBUCHAL”. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA Y SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS (SEDT)	2011	SEVILLA
NOTA COMPLEMENTARIA RELATIVA A LA CAMPAÑA DE SONDEOS RECOMENDADOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS ANOMALÍAS GEOFÍSICAS EN “DOURO” Y “FREIXEDA”	2011	PORTUGAL
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO EN EL ENTORNO DE LA MINA DE LUMBRALES MEDIANTE MEDIDAS DE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y RESISTIVIDAD	2011	SALAMANCA
ENSAYO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA POLARIZACIÓN INDUCIDA Y RECOPILACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS REALIZADOS POR CHARTER Y SAN ALBIN EN LOS AÑOS 1.970 - 1.980.	2011	SALAMANCA
INFORME FINAL DEL SONDEO C4 (BALSARENY). TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA.	2011	BARCELONA
FREIXEDA PROSPECT. ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GRAVIMETRÍA + POLARIZACIÓN INDUCIDA + MAGNETOMETRÍA. REVISIÓN 1.	2011	PORTUGAL
INFORME FINAL DEL SONDEO C 4 BIS (BALSARENY). TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS.	2011	BARCELONA
ENSAYO MAGNETOMÉTRICO EN LA ZONA DE MAÇORES	2012	PORTUGAL
CARACTERIZACIÓN DEL ACUÍFERO DE RÍO TINTO. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE SEDT Y REGISTROS GEOFÍSICOS EN LOS SONDEOS BH-10 Y BH-	2010	HUELVA

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
11		
TEM SOUNDINGS GEOPHYSICAL SURVEY IN GUNII HOOLOI BOREFIELD. OYU TOLGOI	2010	MONGOLIA
ESTUDIO MAGNETOMÉTRICO EN LA ZONA DENOMINADA “CANADA”, MAÇORES	2012	PORTUGAL
AIRBORNE MAGNETIC + SPECTOMETRIC SURVEY IN MONCORVO AREA	2012	PORTUGAL
ESTUDIO MAGNETOMÉTRICO EN LA ZONA DENOMINADA “FELGUEIRAS”	2012	PORTUGAL
LAGOA SALGADA PROJECT. GRÃNDOLA. TEM DOWN-HOLE SURVEY BOREHOLES LS20, LS23, LS28 AND LS31	2012	PORTUGAL
ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LA MINA “EL SALITRE”, TIBIRITA. RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE POLARIZACIÓN INDUCIDA Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.	2012	COLOMBIA
ENSAYO MAGNETOMÉTRICO EN LA ZONA DE BOAVISTA	2012	PORTUGAL
DOURO PROSPECT. ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS DE LA POLARIZACIÓN INDUCIDA - RESISTIVIDAD, GRAVIMETRÍA Y MAGNETOMETRÍA.	2012	PORTUGAL
ENSAYO GEOFÍSICO MEDIANTE EL MÉTODO DE LA POLARIZACIÓN INDUCIDA Y TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR CENTRAL DE LAGOA SALGADA	2012	PORTUGAL
LAGOA SALGADA PROJECT. GRÃNDOLA (PORTUGAL). TEM DOWN-HOLE SURVEY ON BOREHOLES PX02 AND PX05	2012	PORTUGAL
ENSAYOS GEOFÍSICOS MEDIANTE MÉTODOS GEOELÉCTRICOS EN EL SALAR DE ATACAMA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS CON MAYOR CONTENIDO DE SALMUERA	2012	CHILE
ESTUDIO MAGNETOMÉRICO EN EL TÍTULO MINERO 19734 DEL MUNICIPIO DE PÁEZ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA	2012	COLOMBIA
TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA EN EL SONDEO DE INVESTIGACIÓN DE SAL “EL TROBAL-1" EN JEREZ DE LA FRONTERA	2012	CÁDIZ
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE MAGNETOMETRÍA EN LA FERRERÍA DE MONTE DE CHAPARRAL O PEÑAS NEGRAS	2012	VIZCAYA
ESTUDIO GEOFÍSICO EN LA ZONA OESTE DE AGUAS TEÑIDAS), MEDIANTE EL MÉTODO TEM PARA RECONOCER LA EXTENSIÓN DE LAS MASAS DE SULFUROS HACIA EL OESTE.	2012	HUELVA
REGISTROS TEM EN EL SONDEO SP_12_01 DE SAN PLATÓN.	2012	HUELVA
ENSAYO GEOFÍSICO MEDIANTE GRAVIMETRÍA COMO APOYO A LA PROSPECCIÓN MINERA EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LOA Y SALADO. CIUDAD DE CALAMA, REGIÓN ANTOFAGASTA	2012	CHILE
REGISTROS TEM EN LOS SONDEOS SP-12-01 Y SP-12-02 DE SAN PLATÓN.	2012	HUELVA

DENOMINACION Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REALIZACIÓN
REGISTROS TEM EN EL SONDEO AM-32 DE AGUAS TEÑIDAS	2013	HUELVA
RECONOCIMIENTO GEOFÍSICO MEDIANTE LOS MÉTODOS EM DE DOMINIO DE TIEMPOS Y POLARIZACIÓN INDUCIDA-RESISTIVIDAD EN EL PERMISO DE INVESTIGACIÓN "LAS COLMENITAS" Nº 14.860	2013	HUELVA
ESTUDIOS GEOFÍSICOS PARA PROSPECCIÓN MINERA MEDIANTE POLARIZACIÓN INDUCIDA - RESISTIVIDAD EN MODO TOMOGRAFÍA Y REGISTROS TEM EN SONDEOS EN LA ZONA DE ANGOSTURA	2013	HUELVA
IP - RESISTIVITY TEST CARRIED OUT AL CABEZA DE CABALLO PROYECT, SALAMANCA. LOGISTICAL REPORT	2013	SALAMANCA

9.5. INSERSA

INSERSA es una compañía constituida en 1988 con una actividad inicial en sondeos y perforaciones mineras. Hoy en día, está segmentada en diversas áreas productivas como son minería, cimentaciones especiales, edificación industrial y obra civil, con un ámbito de trabajo internacional.

Este desarrollo e importante crecimiento experimentado por INSERSA ha sido posible, entre otros, gracias a los siguientes aspectos básicos de la filosofía empresarial de la compañía:

- Especialización y formación continua del personal
- Amplio parque de Maquinaria
- Conocimiento y desarrollos técnicos
- Orientación al cliente
- Calidad
- Seguridad de los trabajadores
- Respeto al medio ambiente

Para velar por el cumplimiento de los objetivos permanentes de Calidad, Seguridad y Respeto al Medioambiente, INSERSA ha implantado un Sistema de Integral de Gestión conforme a las normas ISO9001, ISO14001 y OHSAS18001.

Las características y los valores que posee INSERSA le permiten afrontar el desarrollo y ejecución de proyectos en ámbitos o sectores de enorme potencial, entre los que destacamos Medioambiente, Minería y Agua, en todas sus fases, con medios propios y con todas las garantías para nuestros clientes.

Sus principales actividades se desglosan a continuación:

- Perforación

La actividad de Perforación está dirigida principalmente a dos campos:

- Investigación

Dentro del área de investigación se realizan trabajos de sondeos para diversas aplicaciones:

- Exploración minera
- Minería, tanto exterior como interior
- Geotecnia
- Geotermia
- Hidrogeología

Estos sondeos se ejecutan para una recuperación continua de testigo, con método convencional o wire-line en diámetros desde B hasta P, con cualquier inclinación, realizándose controles de desviación y dirección, o bien, se ejecutan con métodos destructivos (rotopercusión, tricono a circulación directa o inversa).

- Tratamiento de suelos y Cimentaciones

La compañía cuenta con una amplia experiencia en estas actividades y se desarrollan trabajos de pilotes, micropilotes, inyecciones de consolidación, de compactación o de impermeabilización, recalces, anclajes, gunita y bulones, drenajes, etc.

- Túneles y Minería

La Sociedad ejecuta todo tipo de trabajos tanto en minería de interior como de exterior, desde el desarrollo de infraestructuras hasta la extracción y transporte del mineral a zonas de acopio, disponiendo de medios y personal propios para ello. Actividades propias de esta área son voladuras, apertura de canteras, excavaciones, transporte de estériles y mineral, apertura de galerías mineras, ejecución de bulones y gunitados, etc.

En los últimos años, la compañía ha proyectado su actividad a la realización de túneles para carreteras, ferrocarriles y obras hidráulicas.

Actualmente INSERSA cuenta con uno de los parques de maquinaria para túneles y minería más amplio del país.

- Edificación

INSERSA participa en el sector de Edificación contribuyendo a la realización de proyectos tanto de promoción pública como privada.

En nuestra trayectoria hemos realizado obras de muy diferentes características constructivas, desde las realizadas para Administraciones Locales, Provinciales o Autonómicas, consistentes en centros hospitalarios, educativos o deportivos, hasta las obras realizadas para otros clientes, destinadas a construir, ampliar o reformar sus centros de producción, llevando a cabo obras de nueva planta, urbanizaciones, polígonos, naves, instalaciones industriales y readaptación de procesos.

Su objetivo es dar servicio a las necesidades de edificación del mercado, tanto en la obra pública como en la privada, así como complementar otras actividades de la compañía a fin de abarcar todas las fases del proceso constructivo.

- Obra Civil

La empresa acumula gran experiencia en ejecución de obras relacionadas con Obras Hidráulicas y Carreteras.

Dentro de las obras hidráulicas ejecutamos todas las obras relacionadas con las actividades de captación, bombeo, conducción y depuración, disponiendo de la máxima clasificación oficial en prácticamente todos los grupos y tipos de obras que salen a licitación pública.

En obras de carreteras ejecutamos infraestructuras de nuevo trazado, como mejoras o elevaciones de rasantes existentes, estabilizaciones de firme o de taludes, drenajes y obras de paso, así como grandes excavaciones y voladuras.

Dentro del área de investigación realiza trabajos de sondeos para diversas aplicaciones:

- Exploración minera

- Minería, tanto exterior como interior

- Geotecnia

- Geotermia

- Hidrogeología

Estos sondeos se ejecutan para una recuperación continua de testigo, con método convencional o wire-line en diámetros desde BQ hasta PQ, con cualquier inclinación, realizándose controles de desviación y dirección, o bien, se ejecutan con métodos destructivos (rotopercusión, tricono a circulación directa o inversa).

9.5.1. Experiencia

A continuación se presenta una relación de alguno de los trabajos más recientes realizados por INSERSA para prospección minera.

DENOMINACIÓN Y NATURALEZA	AÑO	LUGAR DE REAIZACIÓN
SONDEOS DE INVESTIGACIÓN, PRODUCCIÓN Y GEOTÉCNIA DE INTERIOR EN MINA DE AGUAS TEÑIDAS.	2013	HUELVA
SONDEOS DE INVESTIGACIÓN, PRODUCCIÓN Y GEOTECNIA EN EXTERIOR EN MINA DE AGUAS TEÑIDAS Y SOTIEL.	2013	HUELVA
SONDEOS DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y EVALUACIÓN EN MINA LAS CRUCES.	2013	SEVILLA
MICROPILOTES ARMADOS EN MEJORA Y CIMENTACIÓN DE AMPLIACIÓN DE PLANTA EN M.A.T.S.A	2013	HUELVA
PARAGUAS DE BULONES AUTOPERFORANTES EN EL TUNEL DE HORNABEQUE (MELILLA)	2013	MELILLA
SONDEOS DE INVESTIGACIÓN, PRODUCCIÓN Y GEOTÉCNIA DE INTERIOR EN MINA DE AGUAS TEÑIDAS.	2012	HUELVA
SONDEOS DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y	2012	SEVILLA

EVALUACIÓN EN MINA LAS CRUCES.		
SONDEOS PROFUNDOS DE INVESTIGACIÓN MINERA EN SUPERFICIE EN MINA DE AGUAS TEÑIDAS	2012	HUELVA
PATALLA DE MICROPILOTES ANCLADA EN CORTA DE MINA AGUABLANCA	2011	BADAJOZ
SONDEOS DE INTERIOR EN MINA NEVES CORVO	2011	PORTUGAL

9.6. ALS

ALS inició su actividad en Europa en 2006 como consecuencia de la consolidación de las empresas como Ecochem y ALS Laboratory Group. Formando esta nueva empresa parte del grupo multinacional ALS Laboratory Group.

Los laboratorios de análisis de ALS están certificados y registrados con la aplicación mundial de los procedimientos y las auditorías estándar para mantener una práctica habitual en toda la red de laboratorios.

Quality Management Systems (ISO 17025)

ALS ha establecido unos procedimientos de aseguramiento de la calidad a nivel global con el fin de controlar y supervisar todos los aspectos de las operaciones de la compañía.

El sistema de calidad se documenta mediante una serie de procedimientos de Calidad que se desglosan al detalle en su sistema de Procedimientos Estándar de operación S.O.P (Standar Operation Procedures)

Los informes de Control de Calidad proporcionan información detallada de la revisión de duplicados, blancos, standards de análisis, sustitutos, preservación de las muestras y tiempos de espera, El sistema LIMS (Laboratory Information, Management System) pone de manifiesto cualquier anomalía en las muestras. De esta manera se ahorra mucho tiempo en la revisión de calidad de los datos.

El Control de Calidad, obliga al control periódico de las pruebas de los métodos y el rendimiento y calibración de los instrumentos, incluyendo la manipulación de muestras.

Control de Calidad en el Laboratorio

Todos los laboratorios de ALS trabajan de acuerdo con un sistema global de Control de Calidad y Control de Analítico integrado QA/QC, para monitorización y control de todos los aspectos de los procesos de nuestros laboratorios. Los procedimientos de nuestro sistema QA/QC han sido diseñados para proporcionar datos contrastados y de confianza.

Los procedimientos de QA/QC de sus laboratorios incluyen un control de muestras de laboratorio (LCS), blancos de método (MB) y duplicados de laboratorio (Dup).

10. CRONOGRAMA, PERSONAL Y MEJORAS SOCIALES

10.1. CRONOGRAMA

Los trabajos contemplados en el plan de investigación se realizarán en un plazo de 8 meses y se detallan a continuación. A partir de los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados se elaborará el estudio de viabilidad según estándares internacionales, cuyo plazo de realización se estima en 12 meses a contar desde el inicio de los trabajos de investigación.

	LABORES DE INVESTIGACIÓN PREVISTAS		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
7.1	Recopilación y análisis de la información existente									
7.2	Restitución fotogramétrica									
7.3	Estudio de base ambiental									
7.4	Prospección geológica									
7.5	Teledetección									
7.6	Prospección geoquímica: Estudio MMI									
7.7	Campaña de perforación									
	Control y testificación campaña perforación									
7.7.4	Estudios petrográficos									
7.7.5	Análisis químicos									
7.7.6	Análisis de densidad aparente									
7.7.7	Análisis adicionales multielemental									
7.7.8	Ensayos geotécnicos									
7.7.9	Ensayos hidrogeológicos									
7.7.10	Ensayos mineralúrgicos									
7.8.1.1	Registros TEM en sondeos									
7.8.1.2	Estudio puesta a masa									
7.8.1.3	Estudio gravimétrico									
7.8.1.4	Estudio mediante SEDT	Espesor del Terciario								
		Reconocimieto anomalías gravimétricas								
7.8.1.5	Sísmica de reflexión 2D									
7.9	Instrumentación de taludes (Los Frailes)									
8.1-8.3	Modelización digital 3D del yacimiento									
8.4	Modelización hidrogeológica									
	Supervisión y dirección de los trabajos									
	Evaluación e Informe final									

10.2. PERSONAL

En los trabajos de la campaña de perforación serán necesarias un total de 124 personas entre personal de las máquinas de perforación, encargados y geólogos. En los cinco meses que durará la campaña de perforación esto equivale a un total de 640 meses de dedicación. El trabajo de los geólogos estará repartido entre la testificación geológica y geotécnica de los sondeos, toma de muestras de testigo y elaboración de la cartografía geológica, por tanto la prospección geológica se incluye dentro del cálculo de personal en esta sección.

En los trabajos de análisis de información previa, restitución fotogramétrica, estudio ambiental de base, teledetección, instrumentación de taludes, prospección geofísica y geoquímica, así como en los trabajos ligados a la campaña de perforación de análisis químicos estudios petrográficos y ensayos geotécnicos, hidrogeológicos y mineralúrgicos serán necesarias 44 personas con dedicaciones variables que suponen un total de 124 meses.

Para los trabajos de modelización geológica e hidrogeológica, realización de modelo de bloques y evaluación e informe final será necesario 10 personas, con dedicaciones variables de entre 2 y 5 meses, lo que implica un total de 40 meses.

Durante los ocho meses que durará la campaña de investigación serán necesarias 2 personas para la dirección y supervisión de todos los trabajos, esto implica una dedicación de 16 meses.

El total de personal empleado en los trabajos de investigación se estima en 180 personas que suman una dedicación total de 800 meses. Teniendo en cuenta la duración total de la campaña de investigación, fijada en ocho meses, esto es equivalente a la dedicación completa de 100 personas durante estos ocho meses.

10.3. MEJORAS SOCIALES

Los trabajos de investigación reportarán beneficios sociales a las poblaciones cercanas a la Reserva de Aznalcóllar.

Durante la realización de los trabajos de investigación se contratará personal de la zona para las labores auxiliares de apoyo a los trabajos de investigación, tales como ayudantes de sondista, prospectores de investigación, etc.

El personal contratado recibirá formación específica de los trabajos a realizar por parte de la empresa promotora.

Los trabajos de investigación implicarán la movilización de numerosos equipos especializados desde diferentes puntos de España. Estas personas se alojarán en hoteles de la zona y reportarán beneficio al sector hostelero.

11. PRESUPUESTO

Orden	Unidad	Descripción	Medición	Precio/Ud	Importe
7.1		**RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN**			
	ud	Revisión de la información existente (geología, sondeos y geofísica)	1	18.000,00	18.000,00
		TOTAL CONTROL ACTIVIDAD			**18.000,00**
7.2		**RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA**			
		Vuelo fotogramétrico a color a escala 1:5.000	1	2.000,00	2.000,00
		Apoyo topográfico de pares	1	3.000,00	3.000,00
	ha	Restitución analítica	72	103,00	7.416,00
		TOTAL RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA			**12.416,00**
7.3		**ESTUDIO DE BASE AMBIENTAL**			
	ud	Recogida de muestras de suelo	110	25,00	2.750,00
	ud	Análisis de muestras de suelo	110	40,00	4.400,00
	ud	Recogida y análisis de muestras de agua	28	1.760,00	49.280,00
	ud	Recogida de muestras de vegetación	120	30,00	3.600,00
	ud	Análisis de muestras de vegetación	120	27,00	3.240,00
	ud	Informe de la ECA	1	15.000,00	15.000,00
		TOTAL ESTUDIO DE BASE ABIENTAL			**78.270,00**
7,4		**PROSPECCIÓN GEOLÓGICA**			
	km^2	Cartografía de detalle	22	1.650,00	36.300,00
	ud	Redacción de informe	1	10.000,00	10.000,00
		TOTAL PROSPECIÓN GEOLÓGICA			**46.300,00**
7.5		**TELEDETECCIÓN**			
	km^2	Adquisición imágenes e interpretación de datos	1.000	9,00	9.000,00
		TOTAL TELEDETECCIÓN			**9.000,00**
7.6		**PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA. ESTUDIO MMI**			
	ud	Toma de muestras	160	25,00	4.000,00
	ud	Preparación y análisis en laboratorio	160	28,00	4.480,00
	ud	Interpretación y tratamiento de datos	1	6.000,00	6.000,00
		TOTAL CAMPAÑA GEOQUÍMICA			**14.480,00**

7.7		SONDEOS MECÁNICOS DE INVESTIGACIÓN			
	mov	Movilización y desmovilización del equipo necesario para la realización de sondeos mecánicos, equipos auxiliares, fungibles, así como su personal de obra	12	3.600,00	43.200,00
	ud	Emplazamiento de sonda en cada punto de sondeo	64	220,00	14.080,00
	m	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 0 a 100 m (PQ)	6.000	130,00	780.000,00
	m	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 100 a 200 m (PQ)	5.987	140,00	838.180,00
	m	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 200 a 300 m (HQ)	5.294	135,00	714.690,00
	m	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 300 a 400 m (HQ)	3.826	138,00	527.988,00
	ml	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 400 a 500 m (HQ)	1.765	140,00	247.100,00
	ml	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 500 a 600 m (HQ)	312	155,00	48.360,00
	día	Ud. Turno de trabajo en fin de semana y/o festivo	16	500,00	8.000,00
	día	Estimación de paradas por causa ajenas	35	100,00	3.500,00
		TOTAL CAMPAÑA DE SONDEOS	**60**		**3.225.098,00**

7.7		SONDEOS GEOTÉCNICOS RAMPA			
	mov	Movilización y desmovilización del equipo necesario para la realización de sondeos mecánicos, equipos auxiliares, fungibles, así como su personal de obra	1	3.600,00	3.600,00
	ud	Emplazamiento de sonda en cada punto de sondeo	4	220,00	880,00
	m	Perforación vertical e inclinada "wire line" con recuperación de testigo. De 0 a 100 m (PQ)	205	130,00	26.650,00
	día	Ud. Turno de trabajo en fin de semana y/o festivo	16	500,00	8.000,00
	día	Estimación de paradas por causa ajenas	35	100,00	3.500,00
		TOTAL CAMPAÑA DE SONDEOS	4		**42.630,00**

		TESTIFICACIÓN, DESMUESTRE Y ANÁLISIS DE SONDEOS MECÁNICOS			
7.7.1	m	Control y testificación geológica y geotécnica del sondeo	23.689	13,00	307.957,00
7.7.3	m	Registro televiewer acustico y medida de desviación	23.689	2,25	53.300,25
7.7.3	ud	Selección de muestras y transporte	1.670	35,00	58.450,00
7.7.3	ud	Preparación y corte de testigos	3.340	43,00	143.620,00
7.7.4	ud	Estudios petrográficos y metalogenéticos	120	150,00	18.000,00
7.7.5	m	Análisis Au, Ag, Zn, Pb, Cu, S, As y densidad	1.670	94,00	156.980,00
7.7.6	ud	Análisis de densidad aparente	1.670	8,00	13.360,00
7.7.7	m	Análisis multielementales adicionales	167	40,00	6.680,00
7.7.8	ud	Ensayos geotécnicos	251	200,00	50.200,00
		TOTAL ANÁLISIS			808.547

		TESTIFICACIÓN, DESMUESTRE Y ANÁLISIS DE SONDEOS MECÁNICOS			
7.7.9		ENSAYOS HIDROGEOLÓGICOS			
	sondeo	Ensayos de hidrofracturación	2	26.000	52.000,00
	m	5 sondeos a rotopercusión de 300 m de profundidad y diámetro 300 mm, incluido movilización, desmovilización, emplazamiento, instalación y colocación de tubería de acero, de tubería piezométrica, colocación de grava silícea y gravilla, sellado con bentonita, compresor, balsa, cisterna, instalación de control	1.500	304	456.000,00
	ud	Ensayo Lugeon < 100 m	15	137	2.058,00
	ud	Ensayo Lugeon > 100 m	15	213	3.198,00
		TOTAL ENSAYOS HIDROGEOLÓGICOS			513.256,00
7.7.10		ENSAYOS MINERALÚRGICOS			
	ud	Etiquetado de muestreo y cadena de custodia	1	1.827	1.827
	ud	Trituracion y sub muestreo	100	228	22.842
	ud	Analisis de cabeza	100	330	32.994
	ud	Granulometrias	100	761	76.140
	ud	Analisis de series granulometricas	100	1.066	106.596
	ud	Preparación de composites	120	343	41.116
	ud	Mineralogía	3	7.170	21.510
	ud	UCS	18	533	9.594
	ud	Indice Abrasion Bond	18	286	5.139
	ud	Indice Bond Trituracion Impacto	18	349	6.282
	ud	Indice Bond moilno Barras	18	698	12.563
	ud	Indice Bond Molino Bolas	18	730	13.134
	ud	SMC	18	952	17.132
	ud	JK drop AG/SAG	18	2.982	53.679
	ud	Densidad aparente	9	152	1.371
	ud	Densidad real	9	44	400
	ud	Angulo reposo Pila	9	178	1.599
	ud	Ensayo de friccion	9	4.112	37.004
	ud	Angulo de reposo banda	9	914	8.223
	ud	Limite humedad Transp. (LHT)	9	2.513	22.614
	ud	Flotación Bach cycle	240	169	40.560
	ud	Separación sólido líquido	46	533	24.517
	ud	Ensayos Vendor	30	317	9.518
	ud	Gestión residuos y neutralización	1	6.000	6.000
	ud	Supervisión e informes (1.100h)	1	132.000	132.000
	ud	Pilotaje de planta	1	330.000	330.000
	ud	Variabilidad	30	150	4.500
		Contingencia (@15%)	1	100.244	100.244
		TOTAL ENSAYOS MINERALÚRGICOS			1.139.095
		TOTAL EVALUACIÓN DE SONDEOS			**2.460.898,03**

7.8		**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA**			
7.8.1.1		**EM DE DOMINIO DE TIEMPOS (TEM)**			
	mov	Movilización de medidas en sondeo (varias movilizaciones)	7	1.450,00	10.150,00
	sondeo	Tendido y recogida de bucles transmisores (Tx) (de 300x300 m)	7	320,00	2.240,00
	sondeo	Ejecución de las medidas con dos frecuencias (sondeo de hasta 600 m)	7	1.615,00	11.305,00
	sondeo	Modelización de anomalías	7	450,00	3.150,00
	ud	Redacción de informe (por sondeo)	7	400,00	2.800,00
		TOTAL EM dominio de tiempos			29.645,00
7.8.1.2		**ESTUDIO MEDIANTE PUESTA A MASA**			
	ud	Movilización de equipo de puesta a masa (varias movilizaciones)	3	1.450,00	4.350,00
	ud	Estudios mediante Puesta a Masa	3	7.000,00	21.000,00
		Redacción de informe (por sondeo)	3	400,00	1.200,00
		TOTAL PUESTA A MASA			26.550,00
7.8.1.3		**GRAVIMETRÍA**			
	mov	Movilización de equipos (una sola movilización)	1	1.200,00	1.200,00
	ud	Ejecución de medidas, incluyendo su procesado e interpretación de resultados estaciones)	1.440	42,00	60.480,00
	ud	Elaboración y edición de informes	1	500,00	500,00
		TOTAL GRAVIMETRÍA			62.180,00
7.8.1.4		**ESTUDIO MEDIANTE SEDT**			
	ud	Movilización	2	1.450,00	2.900,00
		Con bucles de 100x100 m a intervalos de 200 m	55	380,00	20.900,00
		Con bucles de 100x100 m a intervalos de 50 m (Slingram)	40	350,00	14.000,00
		Redacción de informe	1	500,00	500,00
		TOTAL ESTUDIO SEDT			38.300,00
7.8.1.5		**ESTUDIO SÍSMICA DE REFLEXIÓN 2D**			
	km	Movilización y desmoviización del equipo*, y adquisición	5,5	21.920,00	120.560,00
	P.A	Procesado PSTM	1,0	20.000,00	20.000,00
	P.A	Conversión a profundidad	1,0	15.000,00	15.000,00
	P.A	Informe interpretación sísmica	1,0	10.000,00	10.000,00
		TOTAL SÍSMICA DE REFLEXIÓN 2D			165.560,00
		TOTAL CAMPAÑA GEOFÍSICA			**322.235,00**

7.9		**INSTRUMENTACIÓN DE TALUDES**			
	ud	Estación meteorológica automática de lectura y registro de datos	1	13.600,00	13.600,00
	ud	Pilar cilíndrico y zapata	4	933,00	3.732,00
	ud	Placa base fija para estacionamiento del teodolito	4	204,00	816,00
	ud	Diana de puntería	60	100,00	6.000,00
	ud	Estación total	2	28.000,00	56.000,00
	ud	Estación remota, conexión equipos de campo, sistema de control centralizado	2	6.000,00	12.000,00
	m	Instalación de inclinómetros	970	214,00	207.580,00
		TOTAL INSTRUMENTACIÓN DE TALUDES			**299.728,00**

7.10		**MODELIZACIÓN DIGITAL 3D**			
	P.A	Modelización geológica, análisis estadístico y geoestadístico: Modelo de bloques y cálculo de recursos	1	55.000,00	**55.000,00**
	P.A	Modelización hidrogeológica	1	35.000,00	**35.000,00**
		TOTAL MODELIZACIÓN			
					90.000,00

7.11		**SUPERVISIÓN Y DIRECCIÓN DE LOS TRABAJOS**			
	mes	Supervisión y dirección de los trabajos	8	20.000,00	160.000,00
		TOTAL EVALUACIÓN			**160.000,00**

7.12		**EVALUACIÓN DE RESULTADOS E INFORMES**			
	P.A	Supervisión, evaluación e informes finales	1	300.000,00	300.000,00
		TOTAL EVALUACIÓN			**300.000,00**

7.13		**ENSAYOS DE ESTÉRILES DE PROCESO Y PASTA DE CONFORMACIÓN**			
7.13.1		**PREPARACIÓN DE MUESTRAS**			
		Muestreo	1	1.805,00	1.805,00
		Etiquetado de muestreo y cadena de custodia	1	350,00	350,00
		Transporte y envío	1	650,00	650,00
		TOTAL PREPARACIÓN DE MUESTRAS			2.805,00
7.13.2		**IDENTIFICACIÓN**			
		Humedad (secado en estufa)	15	10,00	150,00
		pH	15	32,00	480,00
		Granulometrias (PSD Laser)	15	55,00	825,00
		Columna de Sedimentación	15	75,00	1,125,00
		Densidad Aparente	15	25,00	375,00
		TOTAL IDENTIFICACIÓN			2.955,00
7.13.3		**COMPOSICIÓN MINERALÓGICA**			
		Microscopía rayos	3	950,00	2.850,00
		Composición química	3	350,00	1.050,00
		TOTAL COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			3.900,00

7.13.4		**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA**			
		Límites Atterberg (Plasticidad)	10	75,00	750,00
		Edómetro	5	410,00	2.050,00
		Compresión Simple (UCS)	15	95,00	1.425,00
		Triaxial (CSL_3CIU+3CID)	10	325,00	3.250,00
		Corte Directo UU (Sin consolidar y sin drenar)	10	75,00	750,00
		Corte Directo CD (Consolidado Drenado)	10	118,00	1.180,00
		Permeabilidad	10	250,00	2.500,00
		TOTAL CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA			11.905,00

7.13.5		**CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA**			
		Floculación	5	980,00	4.900,00
		Fluencia	10	690,00	6.900,00
		Viscosidad	10	370,00	3.700,00
		Segregación 'Bleeding'	15	240,00	3.600,00
		Abatimiento 'SLUMP'	15	225,00	3.375,00
		Yield Stress	5	370,00	1.850,00
		Flow Loop	1	14.100,00	14.100,00
		Filtración	5	1.400,00	7.000,00
		TOTAL CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA			45.425,00

TOTAL ENSAYOS DE ESTÉRILES DE PROCESO Y PASTA DE CONFORMACIÓN	**66.990,00**
IMPORTE TOTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	**7.146.405 €**

El número de cuadrículas investigadas es de **53**. Se prevé un presupuesto inicial por cuadrícula de **134.837,83 euros**.

12. PLANIFICACIÓN

LABORES DE INVESTIGACIÓN PREVISTAS			Presupuesto total	Plazo de ejecución	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
7.1	Recopilación y análisis de la información existente		18.000,00	1,50	12.000,00	6.000,00						
7.2	Restitución fotogramétrica		12.416,00	1,50	8.277,33	4.138,67						
7.3	Estudio de base ambiental		78.270,00	3,00	26.090,00	26.090,00	26.090,00					
7.4	Prospección geológica		46.300,00	5,00	9.260,00	9.260,00	9.260,00	9.260,00	9.260,00			
7.5	Teledetección		9.000,00	1,50	6.000,00	3.000,00						
7.6	Prospección geoquímica: Estudio MMI		14.480,00	1,50			4.826,67	9.653,33				
7.7	Campaña de perforación		3.267.728,00	5,00	653.545,60	653.545,60	653.545,60	653.545,60	653.545,60			
	Control y testificación campaña de perforación		361.257,25	5,00	72.251,45	72.251,45	72.251,45	72.251,45	72.251,45			
7.7.4	Estudios petrográficos y metalogénicos		18.000,00	4,00		4.500,00	4.500,00	4.500,00	4.500,00			
7.7.5	Preparación de muestras, análisis químicos y densidad aparente		379.090,00	5,00	37.909,00					37.909,00		
7.7.8	Ensayos geotécnicos		50.200,00	2,00		25.100,00	25.100,00					
7.7.9	Ensayos hidrogeológicos y reológicos		513.256,00	5,00	102.651,20	102.651,20	102.651,20	102.651,20	102.651,20			
7.7.10	Ensayos mineralúrgicos		1.206.084,78	5,00	113.909,48	227.818,96	227.818,96	294.808,96	227.818,96	113.909,48		
7.8.1.1	Registros TEM en sondeos		29.645,00	2,00	7.411,25		7.411,25	7.411,25	7.411,25			
7.8.1.2	Estudio puesta a masa		25.350,00	2,00		6.337,50	6.337,50	6.337,50	6.337,50			
7.8.1.3	Estudio gravimétrico		62.180,00	2,00	31.090,00	31.090,00						
7.8.1.4	Estudio mediante SEDT	Espesor del Terciario	24.300,00	1,00		24.300,00						
		Reconocimiento anomalías gravimétricas	14.000,00	1,00			14.000,00					
7.8.1.5	Sísmica de reflexión		165.560,00	2,00		41.390,00	41.390,00	41.390,00	41.390,00			
7.9	Instrumentación de taludes		299.728,00	2,00	149.864,00	149.864,00						
8.1-8.3	Modelización digital 3D del yacimiento		55.000,00	3,00					18.333,33	18.333,33	18.333,33	
8.4	Modelización hidrogeológica		35.000,00	2,00						17.500,00	17.500,00	
	Dirección y supervisión de los trabajos		160.000,00	8,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00
	Evaluación e Informe final		300.000,00	5,00				60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00

La inversión en investigación en los 4 primeros meses será de 5.154.588.60 euros.

13. BIBLIOGRAFÍA

Andaluza de Piritas S.A. (1979) “Las piritas de Aznalcóllar”.

Bolidén-Apirsa S.L. (1999). “A review of geological parameters for the Los Frailes mine mineral resource model”. 22 pp.

Boliden-Apirsa S.L. (1999). “Geological cross section and interpretation, 4850mE, Los Frailes massive sulphide deposit, Iberian Pyrite Belt, Spain”.

Coullaut Sáenz de Sicilia, J.L., Soler Sampere, M., Antón Plaza, J.A. (1973) “Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar”.

I.G.M.E. (1978) Mapa geológico de España E. 1:50.000 y Memoria hoja nº 961 Aznalcóllar.

I.G.M.E. (1976) Mapa geológico de España E. 1:50.000 y Memoria hoja nº 983 Sanlúcar La Mayor.

I.G.M.E. (Abril 2007). “Investigación y estudios metodológicos sobre las técnicas geoquímicas y sus aplicaciones”.

Instituto Tecnológico Geominero de España, 1999. “Investigación Geológica y cartográfica básica en la faja Pirítica y zonas aledañas. Hoja 961 Aznalcóllar”.

Palero Fernández, F.J. –Geología y Metalogenia. Págs. 12-48.

Pérez-Estaún, A. y Bea, F. (editores) (2004): Macizo Ibérico. En: Geología de España (J.A. Vera, Ed.), SGR-IGME, Madrid; 19-230.

Pinedo Vara, I. (2011) “Piritas de Huelva. Su historia minería y aprovechamiento”. Ediciones Consulcom.

Pons, J.M., Agmalm, G. y Maestre, A.J. “Modelo de Zonación de Cu, Pb, Zn y Ag en el yacimiento de sulfuros masivos polimetálicos “Los Fraile”. Su aplicación en la realización de un modelo de bloques zonado”.

Revista Metalogenia. Mineralizaciones de la zona Sudportuguesa. Págs. 108-190.

TOMO Nº 1: PLAN DE INVESTIGACIÓN

ANEJO 1.1: PROGRAMA DE PRUEBAS PLANTA DE BENEFICIO Y TRATAMIENTO DEL MINERAL

CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA RESERVA MINERA DE AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Código proyecto:	PE_LFR	**Fecha:**	Diciembre 2014
Ingeniería	**Autor**		**Titular**
MAGTEL – GRUPO MÉXICO	GOLDER ASSOCIATES		MINORBIS S.L.U. – GRUPO MÉXICO

ANEJO 1.1: PROGRAMA DE PRUEBAS PLANTA DE BENEFICIO Y TRATAMIENTO DEL MINERAL

CONTROL DE LA DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE CALIDAD

TITULO DEL DOCUMENTO: PROGRAMA DE PRUEBAS PLANTA DE BENEFICIO Y TRATAMIENTO DEL MINERAL.

CODIGO PROYECTO: PE_LFR

CODIGO DOCUMENTO: PE_LFR_A_1.1_Rev00

Fichero: PE_LFR_ A_1.1_Rev00.doc

	Fecha	Nombre
Realizado	18/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Revisado	28/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Aprobado	01/12/14	GRUPO MÉXICO-MINORBIS

TABLA DE CONTENIDOS

TABLAS 3

1. INTRODUCCIÓN 4

2. ANTECEDENTES 5

2.1. Características del mineral 5

2.2. Ensayos de laboratorio con pirita 5

2.3. Ensayos en Planta Piloto 6

2.4. Recuperaciones metalúrgicas y leyes de concentrados 7

3. MUESTREO 8

4. ENSAYOS PROPUESTOS 10

4.1. Caracterización del Mineral 10

4.1.1. Análisis Mineralógico 10

4.1.2. Análisis Elemental 11

4.1.3. Granulometría 11

4.1.4. Densidad real y densidad aparente 12

4.1.5. Angulo de reposo en pila 12

4.1.6. Ensayo de fricción en bandas 12

4.1.7. Límite de humedad en transporte (LHT) 12

4.2. Molienda 13

4.2.1. Resistencia Compresiva Uniaxial (UCS) 13

4.2.2. Indice Abrasion Bond-Allis Chalmers 13

4.2.3. Índice Bond Impacto baja energía. 13

4.2.4. Ensayo de Bond 14

4.2.5. Ensayo de molienda autógena (JK Drop-weight Test) y SAG (SMC test) 14

4.3. Simulación de proceso 14

4.3.1. Ensayos de Flotación Simples 15

4.4. Caracterización de los productos 15

4.4.1. Espesado 16

4.4.2. Ensayos de filtración 16

4.4.3. Análisis Mineralógico 16

5. PRESUPUESTO 17

TABLAS

Tabla 2.1 Resultados pruebas 1994 6
Tabla 2.2 Tabla de leyes y recuperaciones metálicas obtenidas 7

1. INTRODUCCIÓN

Los bancos de pruebas tienen como objetivo la obtención de los datos necesarios para llevar a cabo el diseño de un proceso mineralúrgico en detalle.

Todo esto conlleva a la determinación del proceso metalúrgico más apropiado que no solo obedece a los resultados del banco de pruebas sino a un conjunto de factores clave que permiten la viabilidad del proyecto:

- Medioambiente
- Seguridad
- Inversión de capital
- Costes de operación
- Recuperación del metal
- Flexibilidad del proceso
- Riesgo técnico
- Operatividad
- Mantenimiento

El proyecto de Los Frailes ha sido investigado en períodos anteriores de forma detallada y existe información suficiente como para establecer un programa de pruebas óptimo y cuyos resultados puedan ser contrastados con los obtenidos en etapas anteriores.

Desde el punto de vista metalúrgico cobre, plomo y zinc del yacimiento son recuperables por métodos convencionales de tratamiento. En líneas generales el proceso precisa de una primera etapa de trituración, molienda y clasificación seguida de una secuencia de flotaciones diferenciales en varias etapas, cuyo objetivo es obtener tres concentrados finales.

A continuación se exponen y explican los ensayos que necesarios para desarrollar la ingeniería de proceso en detalle.

2. ANTECEDENTES

Se indican los estudios efectuados tanto a nivel de laboratorio como de plantas piloto, para la elección y puesta a punto de los sistemas de molienda y proceso de flotación diferencial obtenido de Proyecto de Explotación del Yacimiento Los Frailes 1994 de Boliden.

2.1. Características del mineral

El mineral objeto de tratamiento, es pirita compleja, cuya estructura predominante consiste en una matriz pirítica con inclusiones de otras especies minerales, que forman asociaciones más o menos complejas con la pirita.

Teniendo en cuenta el conjunto de los sulfuros a recuperar, calcopirita, esfalerita, galena y tetraedrita, la gama de tamaños de grano predominante, es la comprendida entre 15 y 60 micras, por lo que moliendas avanzadas, del orden de K80 = 25-35 micras han de ser consideradas para obtener adecuadas liberaciones de las especies minerales.

La necesidad de moler a tamaños tan finos como los indicados, origina problemas de ultrafinos en las etapas de flotación, lo que unido a las dificultades de control del proceso, las similares características fisico-quimicas de la ganga (pirita), y de las especies a recuperar, hace que se tenga que definir el mineral como de gran dificultad de tratamiento.

2.2. Ensayos de laboratorio con pirita

Los trabajos de laboratorio comenzaron por estudiar las características del mineral de pirita para someterlo a molienda autógena. Estos trabajos fueron efectuados en el Centro de Investigación que Boliden tiene en Skelleftea y donde se posee amplísima experiencia sobre este tipo de molienda. Ensayos de fragmentación, relación de desgaste y molturabilidad fueron efectuados, obteniéndose la conclusión de que el mineral de Los Frailes poseía excelentes condiciones para efectuar con él molienda autógena.

Una vez conocido que el mineral podría ser tratado aplicando molienda autógena, se procedió a efectuar con el mismo ensayos de flotación siguiendo esta técnica y buscando grados de liberación del orden de K80 = 30 micras (según aconsejaba el estudio de liberación efectuado). En principio se siguieron dos caminos independientes:

- Flotación global Cu-Pb seguida de flotación de Zn.
- Flotación diferencial Cu-Pb-Zn.

Respecto a la flotación global Cu-Pb, cabe indicar que aunque se obtuvieron buenos resultados tanto en leyes como en recuperaciones, fueron importantes los problemas encontrados en la fase de separación posterior para la obtención de concentrados diferenciales de cobre y plomo, por lo que los trabajos en este camino fueron suspendidos.

El estudio de flotación diferencial Cu-Pb-Zn fue abordado siguiendo diversos procesos, pero mostrándose como más idóneo el utilizado en el concentrador de Aznalcóllar, consistente fundamentalmente en depresión selectiva de las especies por medio de una combinación de Cal y SO_2, control muy riguroso de los diferentes pH requeridos en las

diferentes etapas de flotación y utilización de colectores específicos de las especies a recuperar en los diferentes circuitos.

Los resultados obtenidos en estas investigaciones indican la posibilidad de alcanzar los objetivos metalúrgicos de la Tabla 2.1.

TIPO DE CONCENTRADO	RECUPERACIONES %	LEYES METAL BASE %
Conc. Cu	43	20
Conc. Pb	52	48
Conc. Zn	75	48

Tabla 2.1 Resultados pruebas 1994

2.3. Ensayos en Planta Piloto

Después de los alentadores resultados de laboratorio, se decidió confirmar los estudios con ensayos en Planta Piloto.

Los primeros ensayos se efectuaron en la planta piloto de Boliden de Skelleftea y comprendió ensayos comparativos entre molienda convencional y autógena.

Los resultados de esta primera fase, confirmaron que dos etapas de molienda debían establecerse para evitar la producción de demasiados superfinos menores de 5 micras, que crearían problemas en la flotación diferencial. De los datos de los ensayos se sacó la conclusión de que la energía consumida en la operación del concentrador sería del orden de 25 Kwh/t y un grado de molienda en torno a K80 = 30 micras debía ser conseguido.

El consumo de pebbles (piedras) que constituyen las cargas molturantes de la segunda etapa de molienda fue estimada en 14 Kg/Kwh.

La segunda etapa de ensayos en Planta Piloto fue realizada en Portugal en la Planta Piloto de EDM en Aljustrel. Durante estos ensayos se estudió el proceso de flotación cuidadosamente y se obtuvieron resultados para el diseño de los circuitos de flotación y molienda.

La molienda fue efectuada con carga fraccionada, donde las dos fracciones, finos y gruesos, fueron mezclados en distintas proporciones. La fracción pebbles (piedras de tamaño intermedio) fue añadida en el molino secundario. Este tipo de molienda es comparable con la antes mencionada (APC- molienda).

Con estos ensayos se estableció un consumo de energía de 25 Kwh/t y un grado de molienda de K80 = 30 micras. El consumo de pebbles fue de 15 Kg/Kwh.

Los resultados de los ensayos de molienda en las dos Plantas Piloto, se correspondían muy bien los unos con los otros, con un alto nivel de fiabilidad en los resultados y una gran seguridad en los datos para el diseño.

La distribución de energía entre las etapas primaria y secundaria fue establecida, en función de los ensayos, en 14 y 9 Kwh/t respectivamente. Los ensayos de molienda también confirmaron la necesidad de una etapa de trituración fina, para la eliminación de la fracción crítica a la salida del primer grupo de molienda (tamaños entre 6 y 25 mm) y para eliminar el exceso de pebbles no consumidos por la segunda etapa de molienda.

En los trabajos de flotación efectuados en la planta de Aljustrel, se ensayó el proceso de flotación diferencial de Apirsa, con diversas variantes para optimizar las recuperaciones de plata en los circuitos de cobre y plomo y los de zinc en su propio circuito. Otro objetivo buscado en Ajustrel, fue la obtención de los parámetros de diseño para los circuitos de flotación de la futura planta industrial, ya que la molienda autógena presenta una serie de características diferenciales con respecto a la molienda convencional con barras y bolas, tales como una mayor velocidad de flotación (consecuencia de la disminución de hierro), necesidad de menores cantidades de reactivos, etc.

Los resultados obtenidos, permiten considerar un incremento de recuperaciones y leyes respecto al mineral de Aznalcóllar y muy especialmente en plata y zinc. Al mismo tiempo se puede obtener una notable disminución en los costes de tratamiento fundamentalmente en reactivos.

2.4. Recuperaciones metalúrgicas y leyes de concentrados

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y planta piloto con la pirita del yacimiento de Los Frailes, se pueden considerar como objetivos metalúrgicos a alcanzar en el proceso de flotación diferencial a escala industrial, los que se muestran en la Tabla 2.2.

		LEYES %				DISTRIBUCION %			
PRODUCTOS	**PESO%**	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ag ppm**	**Cu**	**Pb**	**Zn**	**Ag ppm**
Conc. Cu	0.753	20	6.5	2.5	1674	43	2.2	0.5	20
Conc. Pb	2.394	2	48	3.5	658	13.7	52	2.2	25
Conc. Zn	6.047	0.4	2	48	60	6.9	5.5	75	5.8
Rechazo	90.806	0.14	0.98	0.95	34	36.4	40.3	22.3	49.2
Aliment.	100	0.35	2.21	3.87	63	100	100	100	100

Tabla 2.2 Tabla de leyes y recuperaciones metálicas obtenidas

3. MUESTREO

La realización de un buen muestreo será de vital importancia a la hora de realizar un diseño de proceso. Para ello se realizará el muestreo siguiendo unos procedimientos específicos que nos permitan asegurar que la muestra enviada a laboratorio es representativa del yacimiento. Las características de la muestra dependerán del número y tipo de pruebas que se vayan a realizar.

La teoría de muestro es una disciplina muy bien estudiada donde interviene la estadística y en concreto la geoestadística. La diferencia principal del muestreo de minerales con el muestreo estadístico es que el muestreo de minerales contiene lotes estadísticos de diferentes pesos o dimensiones.

En todo muestreo, debe estar bien establecido lo siguiente:

- Objetivo del muestreo
- Población a muestrear
- Datos a recolectar
- Manera de recolectar los datos
- Grado de precisión deseado
- Método de medida.

Actualmente la teoría moderna de muestreo está basada en los estudios realizados por Pierre-Gy. Según sus estudios se han de establecer un principio fundamental. La muestra representativa, es por naturaleza equiprobable y de varianza pequeña, es decir existe la misma probabilidad de coger esa muestra independientemente del muestreo realizado y la muestra ha de tener precisión adecuada, es decir la varianza del error ha de ser pequeña.

La formula de Pierre-Gy proporciona, en el caso de material reducido en tamaño, la varianza relativa del error fundamental del muestreo (la varianza relativa corresponde a la varianza del error fundamental dividida por la ley media del lote elevada al cuadrado, luego es una varianza sin dimensión). La Teoría fue desarrollada por el Dr. Pierre Gy, Ingeniero Civil Químico francés

La varianza relativa del error fundamental de muestreo está relacionada por:

$$S^2 = K\, d^3 \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L}\right)$$

Donde:

M_L= masa de lote en gramos

M_S= masa de la muestra en gramos

d= diámetro máximo de partículas al 95%

K=c·g·f·l

c= factor de composición mineralógica (g/cm3)

g=factor de distribución de tamaño

f=factor de forma de las partículas

l=factor de liberación (0<l<1)

Con todo esto conviene dejar claro la importancia del muestreo adecuado para reducir la probabilidad de diseñar una planta sin las correctas características que permitan recuperar el metal valioso del mineral.

Para ello se diseñaran campañas de sondeos para recogida de muestra que permitan tener suficiente muestra representativa y con las características de tamaño, dureza, oxidación, etc. que el mineral que ha de ser enviado a la planta de tratamiento para su concentración o beneficio.

El material recogido ha de ser tratado con el siguiente procedimiento:

- Etiquetado de muestreo y cadena de custodia
- Pulverización, cuarteo y submuestreo
- Digestión y análisis de cabeza
- Preparación de composites

4. ENSAYOS PROPUESTOS

A continuación se detallan los ensayos propuestos, y la finalidad de cada uno de ellos.

4.1. Caracterización del Mineral

El objetivo de la caracterización de mineral es el de conocer la composición mineralógica del mineral así como sus propiedades físicas y químicas. Será necesario caracterizar todos los productos de entrada y salida de la planta de tratamiento, empezando por la alimentación, así como todos los rechazos y concentrados finales.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

4.1.1. Análisis Mineralógico

El conocimiento de las especies minerales y de la proporción de las mismas facilitara el diseño de proceso así como el dimensionamiento y selección de los equipos. Sera de vital importancia conocer el tamaño de liberación del sulfuro.

Es obvio que el desarrollo de la mineralogía avanzada y la evolución de la comprensión de las sustancias minerales naturales están relacionados muy estrechamente con el desarrollo de las nuevas técnicas analíticas y métodos modernos de investigación.

En la actualidad existe una cantidad enorme de técnicas analíticas que usan los mineralogistas en sus investigaciones. Al mismo tiempo se puede decir que todas estas técnicas se reducen sólo con algunos aspectos de la caracterización de minerales. En otras palabras, son los métodos y técnicas de la observación y determinación que permiten obtener la in formación objetiva y precisa sobre la composición química, estructura cristalina y diferentes propiedades de los minerales.

Así, por ejemplo, la microsonda electrónica, fluorescencia de rayos X, ICP de Masas, etc., presentan nuevas posibilidades para la determinación de la composición elemental de las sustancias minerales.

Prácticamente todos los métodos y las técnicas contemporáneas de la física y química del cuerpo sólido se utilizan actualmente en la mineralogía. Estos métodos permiten determinar y caracterizar cuantitativamente las particularidades cristaloquímicas y las propiedades de los minerales. Las primeras se caracterizan por la composición química (contenido de los elementos principales, fórmula cristaloquímica, impurezas y su naturaleza, isomorfismo, inclusiones, carácter de la distribución de los elementos, correlaciones, composición isotópica) y la estructura cristalina (grupo espacial, difractograma, parámetros de la celda elemental, número de las unidades formularías, tipo de la estructura, coordinados de los átomos, defectos estructurales).

Además, se consideran la morfología (dimensiones, aspecto, hábito, formas simples y su desarrollo relativo, relaciones entre los tamaños de las caras de diferentes formas simples, sistema y clase de simetría, simetría ideal y real, particularidades específicas de las caras, formas de crecimiento y destrucción) y la anatomía (zonalidad, estructuras

sectoriales, inclusiones, estructuras de la alteración, metamorfismo) de los individuos minerales.

Entre las propiedades de los minerales para el estudio detallado son más importantes las siguientes: físico-químicas (solubilidad, reacciones, propiedades electroquímicas, etc.), gravitacionales (densidad, porosidad, peso volumétrico), térmicas (conductividad, termo magnéticas y termoeléctricas, cambios en diferentes condiciones), eléctricas (conductividad, piro y piezoeléctricos, fotoeléctricos), magnéticas (permeabilidad, susceptibilidad, efectos magneto térmicos), ópticas (reflexión, transmisión, color, refracción, polarización, luminiscencia), electrónicas (resonancia paramagnética electrónica, resonancia nuclear magnética, resonancia gamma nuclear), y otras (radioactividad, interacción con la radiación de rayos X, electromagnética, láser, etc.)

Actualmente existe alrededor de 10 técnicas analíticas principales que permiten caracterizar la composición química de los minerales, rocas y otras muestras geológicas. Todas las técnicas se diferencian por la señal analítica, método de excitación y aparatos que detectan las señales analíticas correspondientes.

4.1.2. Análisis Elemental

Es necesario conocer la composición de todas las corrientes de material, para obtener las leyes de los productos, y para analizar la presencia de elementos penalizadores en la venta de concentrados. Un aspecto importante a tener en cuenta será el grado de precisión necesaria para el análisis elemental, siendo el método analítico elegido clave para asegurar la precisión de las medidas.

Para emplear una técnica analítica de forma adecuada y eficiente es fundamental conocer sus características analíticas, especialmente los mecanismos de excitación y la respuesta del sistema de detección. Muchas de las técnicas de estudio de minerales emplean una amplia variedad de fenómenos físicos. Estas técnicas se basan en principios diferentes, pero tienen un objetivo común: producir una señal que se pueda medir y esté relacionada con la concentración de sus constituyentes. A continuación se describen brevemente sólo las principales técnicas analíticas de una enorme cantidad de las distintas técnicas empleadas actualmente en el estudio y caracterización de minerales. Entre ellas se puede señalar las siguientes:

Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), Método de microsonda electrónica (EPMA microanálisis), Análisis de absorción atómica (AAA), Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS: inductively coupled plasma mass spectrometry); ICP-OES (plasma de acoplamiento inductivo con espectrofotómetro de emisión óptico).

Dependiendo de la técnica analítica a emplear la muestra será debidamente preparada para su posterior análisis creando un compuesto líquido o sólido según la técnica analítica.

4.1.3. Granulometría

Permitirá conocer la distribución de tamaños en cada corriente, dato fundamental en los equipos de clasificación y dimensionamiento de tuberías.

De los distintos métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, quizá el más utilizado sea la tamización con tamices acoplados en cascada. Para realizarlo se coloca

un juego de tamices en cascada, es decir, ordenados de arriba abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla. El producto a analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete el conjunto a un movimiento vibratorio.

El producto a analizar o producto bruto, B, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose: RECHAZO: (Producto que queda sobre el tamiz). CERNIDO: (Producto que atraviesa el tamiz)

Además un análisis mineralógico-elemental de las diversas fracciones granulométricas nos permitiría conocer con exactitud el tamaño de liberación de los minerales de valor.

4.1.4. Densidad real y densidad aparente

Las rocas como todo cuerpo poroso tienen dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad real será utilizada básicamente en el dimensionamiento de equipos. La densidad aparente se utilizará para el dimensionamiento de tolvas, acopios, silos, etc.

4.1.5. Angulo de reposo en pila

Se denomina ángulo de reposo de un montículo de granel sólido al ángulo formado entre el copete y la horizontal de la base, cuando el material se estabiliza por sí mismo. Al acumular granel sólido sobre un plano, éste queda apilado en forma de cono. El ángulo formado entre la generatriz del cono y su base se denomina ángulo de reposo. El mismo concepto se aplica en movimiento de suelos y otros trabajos o infraestructuras que estén relacionadas a la mecánica de suelos, dado que el ángulo de reposo determina el talud natural del terreno.

4.1.6. Ensayo de fricción en bandas

El ángulo de rozamiento interno interviene en el diseño de equipos para el procesado de partículas sólidas. Por ejemplo, se puede usar para diseñar un silo de almacenaje o el dimensionado de una cinta transportadora para materiales granulares. Permitirá entre otras cosas, conocer el máximo ángulo de las cintas transportadoras.

4.1.7. Límite de humedad en transporte (LHT)

Las cargas sólidas a granel que corren el riesgo de licuarse son aquellas que contienen partículas finas y cierta humedad entre las partículas aunque ésta aparentemente no se aprecie a simple vista. Las más conocidas son los concentrados de minerales, pero también hay otras cargas sólidas como el espatoflúor, carbón, piritas, finos de mineral de hierro, mineral de níquel, etc., que tienen el mismo riesgo.

En el momento del embarque estas cargas están en estado sólido habiendo contacto directo entre las diferentes partículas, que se mantienen unidas entre sí debido a la fricción y la cohesión, mientras que los espacios libres entre las partículas están ocupados por aire y agua. Durante la navegación debido a los movimientos del buque, así como a las vibraciones y el impacto de las olas sobre el casco la carga se va asentando y compactando expulsando el aire de esos espacios y consecuentemente el espacio libre entre las

partículas se reduce. Si la compactación es tal que hay más agua en la carga que espacio libre entre las partículas, entonces el agua es sometida a una fuerza de compresión tal que su presión se eleva hasta eliminar las fuerzas que mantienen a las partículas unidas y hace que se separen eliminando el contacto directo entre las mismas. Si la carga tiene un grado de humedad adecuado, esta reducción de la fricción entre las partículas puede ser suficiente como para que la carga se licue y por tanto se comporte como un líquido. La licuefacción no se producirá si el contenido de humedad de la carga es lo suficientemente bajo y el espacio libre ocupado por el aire es lo suficientemente alto, tal que a pesar de la compactación, existe bastante espacio libre entre las partículas para alojar toda la humedad y por tanto no se ocasiona un aumento de la presión del agua. De ahí la importancia de determinar el punto de fluidización por humedad de la carga antes del embarque, o sea, el contenido de humedad al que puede licuarse.

4.2. Molienda

El tamaño de molienda en el proceso será un punto crítico para el óptimo funcionamiento de este. El correcto diseño y dimensionamiento de esta área permitirá alcanzar buenos rendimientos en el proceso.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

4.2.1. Resistencia Compresiva Uniaxial (UCS)

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple (σc). Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. El ensayo trata de la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura. Los datos obtenidos son: σ1 obtenido del ensayo, σ2, σ3. Con estos datos se puede obtener σc (resistencia a la compresión simple).

4.2.2. Indice Abrasion Bond-Allis Chalmers

La prueba de abrasión Bond determina el índice de abrasión, que se usa para determinar el desgaste de las tuberías y los medios de acero en trituradores, molinos de barras y de bolas. Bond desarrolló correlaciones basadas en el índice de libras de desgaste de metal/kWh de energía utilizada en el proceso de trituración. La prueba de abrasión fue desarrollada por Allis-Chalmers mediante un método y un aparato utilizados por la Pennsylvania Crusher Division de Bath Iron Works Corp. El equipo consta de un tambor giratorio en el que se colocan las muestras de mineral seco, con una paleta de impactos montada en un eje central que gira a una velocidad superior a la del tambor. La paleta está hecha de aleación de acero endurecido estándar a 500 Brinell. El índice de abrasión se determina a partir de la pérdida de peso de la paleta en condiciones de funcionamiento normal.

4.2.3. Índice Bond Impacto baja energía.

El índice de trabajo Wi, es un parámetro que depende del material y del equipo de conminución, por lo que es conveniente que en su obtención se utilice un mecanismo de

ruptura similar al de la máquina para la cual se efectúa la determinación. En este caso se hacen ensayos de impacto (simulando etapas de trituración del material).

4.2.4. Ensayo de Bond

De la realización de este ensayo se obtiene la energía necesaria para la reducción de tamaño de una unidad de mineral hasta el tamaño de partícula necesario. Permite un dimensionamiento correcto de los equipos de molienda. Es recomendable la realización de un ensayo por cada tipo de molino y/o trituradora.

Normalmente se suelen hacer el Ensayo de Bond para molino bolas (BWI) y el Ensayo de Bond para molinos de barras (RWI). Se miden en kWh/t

El BWI se utiliza en el diseño y análisis de circuitos de molienda con molinos de bolas, incluso con molinos primarios tipa AG/SAG. Las ventajas del BWI están en la repetibilidad y fiabilidad del ensayo.

El RWI tiene su utilidad en el cálculo de la potencia necesaria para moler una fracción intermedia por ejemplo desde 12,5 mm a 1mm.

4.2.5. Ensayo de molienda autógena (JK Drop-weight Test) y SAG (SMC test)

Se trata de dos ensayos específicos para molienda en equipos autógenos o semiautógenos.

El JK Tech Drop-weight test está dividido en tres fases. Primeramente, el ensayo mide la resistencia a la rotura por impacto de las partículas más gruesas en el rango de 63mm a 13.2 mm en 5 fracciones. Segundo, evalúa la resistencia de la rotura por abrasión de las partículas comprendidas entre 53 y 37.5 mm. Finalmente se mide la densidad de 30 partículas para asegurar la densidad media y la dispersión de los datos.

El ensayo SMC es un método abreviado del JK Drop-weight, el cual puede ser realizado a menor coste y con rocas de menor tamaño.

4.3. Simulación de proceso

La simulación del proceso de tratamiento requerirá de tres etapas principales de ensayos. La primera de ellas a escala de laboratorio y en circuito abierto. Esta nos dará los parámetros básicos del tratamiento y los datos necesarios para diseñar la segunda etapa, a escala laboratorio y en circuito cerrado. La tercera etapa consistirá en el tratamiento a escala piloto. En esta tercera etapa se simula de forma semi-industrial el método de tratamiento de la planta, recirculando productos a cabeza de tratamiento, y obteniendo muestras de todas las corrientes. Finalmente será necesario una vez definidos los parámetros de flotación el realizar los ensayos de variabilidad del yacimiento para ver la eficiencia global del mismo.

Una vez definidos los diagramas de flujo definitivos será necesario simular y modelizar mediante software informáticos todo el proceso para cerrar los balances de material, agua y si fuese necesario el balance térmico del proceso. Se recomienda softwares como el

METSIM, SYSCAD, HSC, etc. que permitan realizar simulaciones dinámicas para validar el proceso elegido.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

4.3.1. Ensayos de Flotación Simples

Los objetivos de los ensayos de flotación serán:

- Optimizar el tamaño de liberación del mineral para la pulpa de alimentación a la flotación
- Optimizar los tiempos de residencia en las celdas para dimensionar los volúmenes de celda
- Optimizar las fases de la flotación para maximizar la recuperación y la ley de concentrado final.
- Seleccionar los reactivos a utilizar y optimizar su dosificación.

En el caso de la optimización del tamaño de molienda, este es crítico para el consumo de energía en relación con el tamaño de liberación del sulfuro, y permitirá optimizar los costes energéticos del proceso.

Los tiempos de residencia en celdas de flotación nos permitirán calcular los tamaños de celda y ver la distribución de las mismas en bancos para diseñar las fases de flotación más adecuadas para conseguir un concentrado vendible y reducir las pérdidas de metal en los estériles.

En el caso de reactivos de flotación, han de efectuarse la siguiente serie de pruebas para cada etapa de flotación:

- Selección del colector y dosis
- Selección del espumante y dosis
- Selección de depresores y dosis
- Selección de activadores y dosis
- Selección del pH adecuado de trabajo y modificadores del pH adecuados

Será necesario un esquema de pruebas de flotación que se definirá a partir de los datos obtenidos en ensayos anteriores.

4.4. Caracterización de los productos

Uno de los puntos críticos en todo proyecto minero es el manejo y almacenamiento de estériles y concentrados, para un correcto diseño del plan de explotación, así como para la concesión de permisos por las autoridades competentes, y además para una correcta gestión del balance de aguas del mismo.

A continuación se muestran los ensayos requeridos:

4.4.1. ***Espesado***

Para una correcta gestión de las aguas es necesario determinar las características del espesado de los concentrados y de los estériles. La deposición seca de estériles, así como el espesado de concentrados requerirá de una fase de espesado del producto. Para el correcto dimensionamiento y diseño de los espesadores, es necesario conocer su dinámica de sedimentación. Para ello se realizarán diferentes pruebas con floculantes así como la optimización de la dosificación de los mismos, obteniendo datos suficientes para las etapas posteriores de ingeniería.

4.4.2. ***Ensayos de filtración***

Este ensayo permitirá conocer las características y parámetros fundamentales de la filtración de los productos finales del proceso. A partir de los datos obtenidos se realizará la elección de equipos de filtrado y el dimensionamiento de los mismos.

4.4.3. ***Análisis Mineralógico***

El conocimiento de las especies minerales y de la proporción de las permitirá conocer el rendimiento del proceso y la calidad de los productos finales.

5. PRESUPUESTO

Orden	Ud	Descripción	Medición	Precio/Ud.	Importe
1		PREPARACION DE MUESTRAS			71.749,26 €
1.1	***uds.***	***Etiquetado de muestreo y cadena de custodia***	***1***	***1.827 €***	***1.827 €***
1.2	***uds.***	***Trituración y sub muestreo***	***25***	***228 €***	***5.711 €***
1.3	***uds.***	***Análisis de cabeza***	***25***	***330 €***	***8.249 €***
1.4	***uds.***	***Granulometrías***	***25***	***761 €***	***19.035 €***
1.5	***uds.***	***Análisis de series granulométricas***	***25***	***1.066 €***	***26.649 €***
1.6	***uds.***	***Preparación de composites***	***30***	***343 €***	***10.279 €***
2	uds.	MINERALOGIA	3	7.170 €	21.510 €
3		TRITURACION Y MOLIENDA			**19.587 €**
3.1	***uds.***	***UCS***	***3***	***533 €***	***1.599 €***
3.2	***uds.***	***Índice Abrasión Bond***	***3***	***286 €***	***857 €***
3.3	***uds.***	***Índice Bond Trituración Impacto***	***3***	***349 €***	***1.047 €***
3.4	***uds.***	***Índice Bond molino Barras***	***3***	***698 €***	***2.094 €***
3.5	***uds.***	***Índice Bond Molino Bolas***	***3***	***730 €***	***2.189 €***
3.6	***uds.***	***SMC***	***3***	***952 €***	***2.855 €***
3.7	***uds.***	***JK drope AG/SAG***	***3***	***2.982 €***	***8.946 €***
4		MANUTENCION			23.737 €
4.1	***uds.***	***Densidad aparente***	***3***	***152 €***	***457 €***
4.2	***uds.***	***Densidad real***	***3***	***44 €***	***133 €***
4.3	***uds.***	***Angulo reposo Pila***	***3***	***178 €***	***533 €***
4.4	***uds.***	***Ensayo de fricción***	***3***	***4.112 €***	***12.335 €***
4.5	***uds.***	***Angulo de reposo banda***	***3***	***914 €***	***2.741 €***
4.6	***uds.***	***Limite humedad Transp. (LHT)***	***3***	***2.513 €***	***7.538 €***
5	uds.	FLOTACION BATCH Y CYCLE	120	169 €	20.280 €
6	uds.	SEPARACION SOLIDO LIQUIDO	18	533 €	9.594 €
7	uds.	ENSAYOS VENDOR	10	317 €	3.173 €
8	uds.	GESTION RESIDUOS Y NEUTRALIZACION	1	6.000 €	6.000 €
9	uds.	SUPERVISION E INFORMES (1.100h)	1	132.000 €	132.000 €
10	uds.	PILOTAJE DE PLANTA	1	330.000 €	330.000 €
11	uds.	VARIABILIDAD	30	150 €	4.500 €
12	uds.	CONTINGENCIA (@15%)	1	43.777 €	43.777 €
Total:					**659.896 €**

TOMO Nº 1: PLAN DE INVESTIGACIÓN

ANEJO 1.2: ENSAYOS REOLÓGICOS DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE MINERAL

CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA RESERVA MINERA DE AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Código proyecto:	PE_AZN	**Fecha:**	Diciembre 2014
Ingeniería	**Autor**		**Titular**
MAGTEL – GRUPO MÉXICO	GOLDER ASSOCIATES		MINORBIS S.L.U. – GRUPO MÉXICO

ANEJO 1.2: ENSAYOS REOLÓGICOS DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE

CONTROL DE LA DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE CALIDAD

TITULO DEL DOCUMENTO: ENSAYOS REOLÓGICOS DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE MINERAL.

CODIGO PROYECTO: PE_LFR

CODIGO DOCUMENTO: PE_LFR_A_1.2_Rev00

Fichero: PE_LFR_ A_1.2_Rev00.doc

	Fecha	Nombre
Realizado	18/11/2014	GOLDE ASSOCIATES
Revisado	28/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Aprobado	01/12/14	GRUPO MÉXICO-MINORBIS

TABLA DE CONTENIDOS

FIGURAS 2
GLOSARIO 3
1. OBJETIVO Y ALCANCE 4
2. PROGRAMA DE ENSAYOS 5
2.1. COMPOSICIÓN DEL MATERIAL 5
2.1.1. Composición Mineralúrgica 5
2.1.2. Composición Química 6
2.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA 7
2.2.1. Peso específico de las partículas 7
2.2.2. Granulometrías 7
2.2.3. Plasticidad 8
2.2.4. Permeabilidad 8
2.2.5. Consolidación (Ensayos Edométricos) 8
2.2.6. Ensayos de Resistencia 9
2.3. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA 12
2.3.1. Segregación de agua «Bleeding» 12
2.3.2. Densidad aparente y % sólidos en peso 12
2.3.3. Ensayos de porcentaje de abatimiento (SLUMP) 13
2.3.4. Ensayos de canaleta 13
2.3.5. Determinación del límite de fluencia «Yield Stress» 14
2.3.6. Otros Ensayos 15
2.3.6.1. Ensayos de Asentamiento 15
2.3.6.2. Ensayos de Sangrado 15
2.3.6.3. Ensayos de Fluencia Dinámica 16
2.3.6.4. Ensayos «Plug» 16
2.3.6.5. Ensayos de Floculación 17
3. PRESUPUESTO 19
4. BIBLIOGRAFÍA 20

FIGURAS

Figura 1-1 Análisis de composición química - Óxidos. (Fuente: Golder Associates) 5
Figura 1-2 Análisis de composición mineralúrgica. (Fuente: Golder Associates) 6
Figura 1-3 Análisis de composición Química elemental. (Fuente: Golder Associates) 6
Figura 1-4 Ejemplo de curva granulométrica. (Fuente: Golder Associates) 7
Figura 1-5 Resultados en los ensayos de permeabilidad. (Fuente: Golder Associates) 8
Figura 1-6 Resultados de ensayos edométricos. (Fuente: Golder Associates) 9
Figura 1-7 Resultados de ensayos triaxiales. (Fuente: Golder Associates) 10
Figura 1-8 Representación de tensiones. Círculos de Mohr. (Fuente: Golder Associates).... 10
Figura 1-9 Curvas de los ensayos triaxiales para cambio de volumen y rotura. (Fuente: Golder Associates) 11
Figura 1-10 Probeta de Pasta cementada para realización de ensayos de compresión. (Fuente: Golder Associates) 12
Figura 1-11 Realización de ensayo de abatimiento. (Fuente: Golder Associates) 13
Figura 1-12: Procedimiento de ensayos de canaleta. (Fuente: Golder Associates)..... 14
Figura 1-13 Instrumental para la determinación del límite de fluencia. (Fuente: Golder Associates) 14
Figura 1-14 Resultados del ensayo de límite de fluencia. 15
Figura 1-15 Estudio para la determinación del asiento con resultados esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates) 15
Figura 1-16 Curva de estudio de sangrado con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates) 16
Figura 1-17 Ensayo de fluencia dinámica con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates) 16
Figura 1-18 Curva de ensayo 'Plug' con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates) 17
Figura 1-19 Curva y gráfica de ensayo de floculación. (Fuente: Golder Associates)..... 18

GLOSARIO

Límite de Atterberg: o límites de consistencia son una serie de ensayos que se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.

Ensayo «Bleeding»: o de segregación de agua son ensayos para la determinación de los tiempos y porcentajes de expulsión del agua, tanto por el sangrado inicial, como por consolidación de la propia pasta.

Ensayos de canaleta: Ensayos para determinar los ángulos de deposición del material para los diferentes porcentajes de sólidos en peso. De esta forma, se puede hacer un estudio para la deposición, co-disposición (junto a otros materiales de diferente naturaleza) o almacenamiento del material bajo estudio.

Círculo de Mohr: Técnica de ingeniería y geofísica para representar gráficamente un tensor simétrico y calcular con ella momentos de inercia, deformaciones y tensiones.

Reología: Es la rama de la Física de medios continuos que se dedica al estudio de la deformación y el fluir de la materia.

Ensayos SLUMP: o de porcentaje de abatimiento son ensayos para cuantificar la consistencia del material.

Ensayos para determinar el «Yield Stress»: o límite de fluencia. El límite de fluencia es la fuerza necesaria a aplicar sobre un material para que comience a fluir, la pasta en este caso. Las mediciones del límite de fluencia para diferentes porcentajes de solido en peso nos permiten interpretar un modelo de comportamiento para el lodo o la pasta en unas determinadas circunstancias

1.OBJETIVO Y ALCANCE

Para la caracterización geotécnica y reológica de los residuos que se obtienen como subproducto del proceso de tratamiento de mineral y con objeto de identificar diferentes alternativas para su utilización, se ha diseñado un programa de ensayos, que de forma global, cubra gran parte de las necesidades que se puedan plantear en la Panta de Pastas.

Para una definición más específica del programa de ensayos, se requerirá documentación de referencia concreta sobre las necesidades del estudio y características concretas de los materiales.

Se ha planteado un análisis centrado en la obtención de los parámetros resistentes, así como de datos intrínsecos y de comportamiento del propio material.

2. PROGRAMA DE ENSAYOS

2.1. COMPOSICIÓN DEL MATERIAL

Para la determinación de la composición del material, se somete a los materiales a distintas pruebas, entre las que destacan los ensayos de composición mineralúrgica y composición química.

2.1.1. Composición Mineralúrgica

En las Figura 2-1 y Figura 2-2 se presentan gráficos asociados a resultados del estudio de la composición química de una muestra. Estas muestras no corresponden con material del yacimiento Los Frailes pero resultan ilustrativas para visualizar el objetivo de estos ensayos.

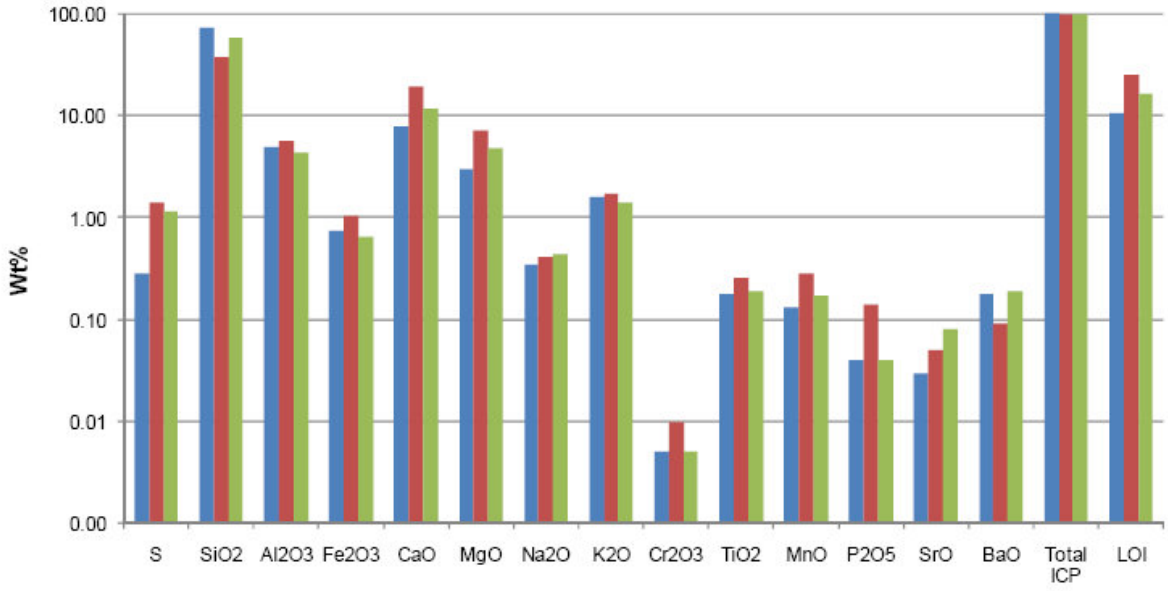


Figura 2-1 Análisis de composición química - Óxidos. (Fuente: Golder Associates)

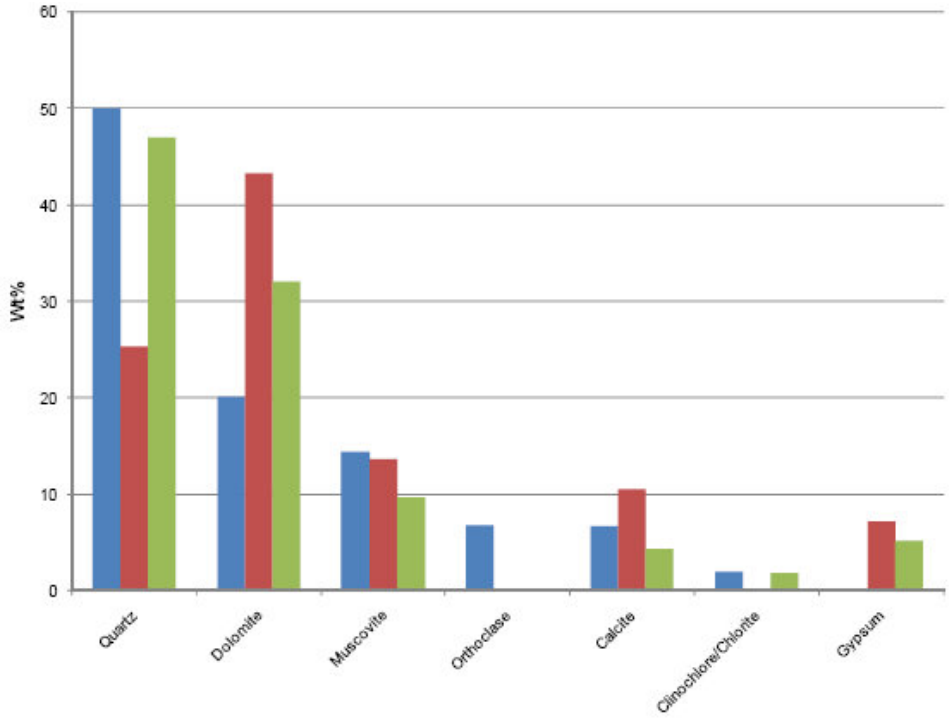


Figura 2-2 Análisis de composición mineralúrgica. (Fuente: Golder Associates)

2.1.2. Composición Química

El gráfico de la Figura 2-3 representa la composición elemental de una muestra. El fin de esta figura, como sucedía en el apartado anterior, es visualizar lo que se podrá obtener con estos ensayos.

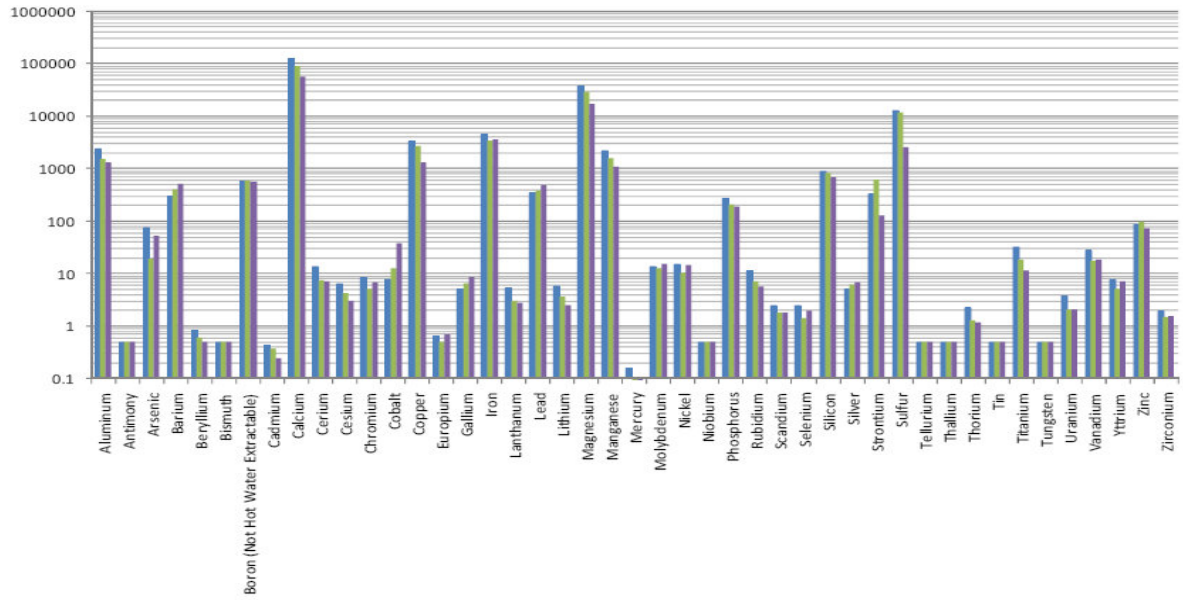


Figura 2-3 Análisis de composición Química elemental. (Fuente: Golder Associates)

2.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Para la determinación de las propiedades físicas del material, se propone, en primer lugar, la realización de una serie de ensayos de caracterización geotécnica de materiales. Con ello se busca clasificar el material en cuanto a resistencia y uso.

Los ensayos que se van a considerar en este programa de caracterización geomecánica son: Peso específico de las partículas, granulometrías, plasticidad, permeabilidad, consolidación y resistencia.

2.2.1. Peso específico de las partículas

Se trata de un parámetro intrínseco del material, que condiciona el resto de propiedades.

Para la obtención del mismo, será necesario realizar el ensayo a varias series de muestras para la determinación del peso específico de las partículas mediante el uso del picnómetro.

2.2.2. Granulometrías

Se precisará de la obtención de las distribuciones granulométricas de los lodos a la salida del espesador. Para ello, se requiere la realización de análisis granulométricos completos mediante tamizado y sedimentación de las muestras. Como ejemplo de resultados de este tipo de ensayos, la Figura 2-4.

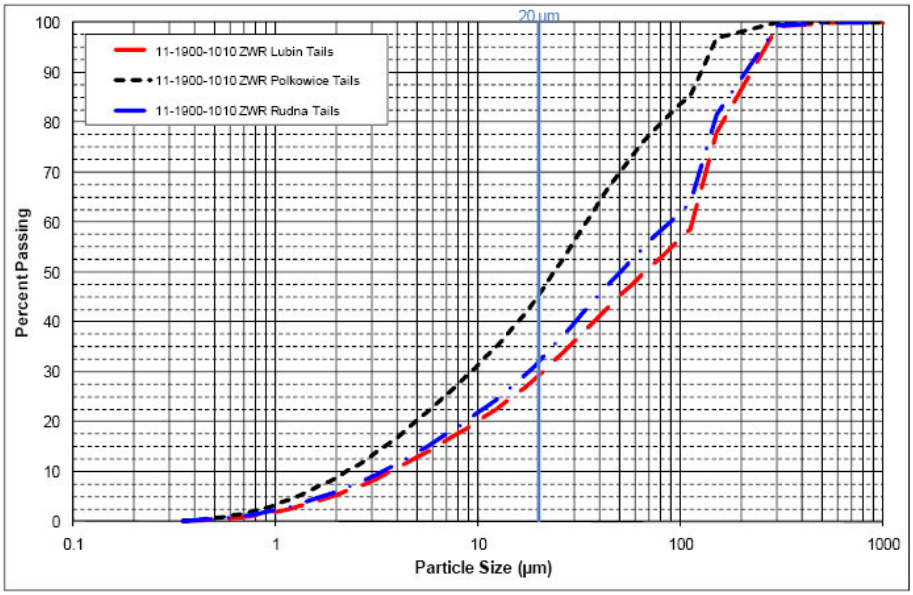


Figura 2-4 Ejemplo de curva granulométrica. (Fuente: Golder Associates)

2.2.3. ***Plasticidad***

Para la determinación del rango de plasticidad del material, será precisa la determinación de los límites líquido y plástico de los materiales mediante la realización del ensayo de los Límites de Atterberg.

2.2.4. ***Permeabilidad***

La conductividad hidráulica o «permeabilidad» del lodo, aportará información sobre cómo serán las condiciones de drenaje y consolidación del material. Será también un indicador de las necesidades de cemento o aditivos en caso de ser precisa la impermeabilización del mismo en alguno de sus usos.

La obtención de este parámetro se puede obtener en las células triaxiales durante los ensayos de resistencia, obteniéndose curvas como la que se presenta en la Figura 2-5. A pesar de que la muestra de esta figura no pertenece al yacimiento Los Frailes, se espera que los resultados para Los Frailes sean semejantes.

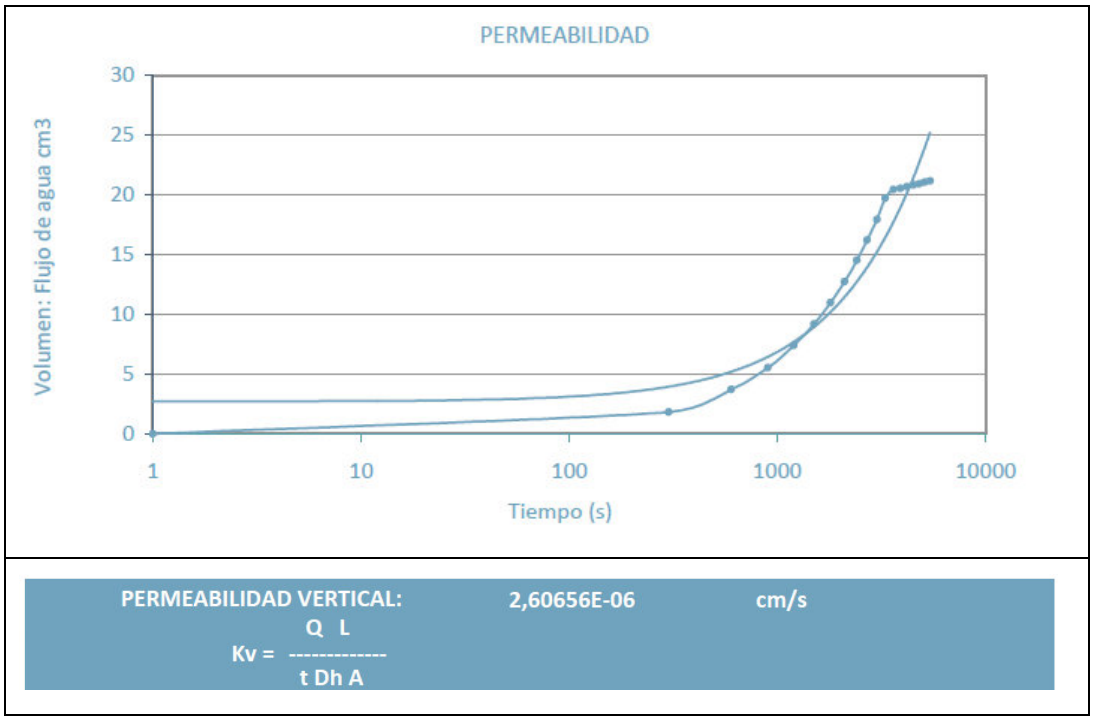


Figura 2-5 Resultados en los ensayos de permeabilidad. (Fuente: Golder Associates)

2.2.5. ***Consolidación (Ensayos Edométricos)***

Para el estudio de consolidación de la pasta y de la disipación de sobrepresiones, es necesaria la obtención de varios parámetros de cálculo relacionados con este proceso. Se propone la realización de ensayos edométricos y la interpretación de sus resultados. A

continuación, en la Figura 2-6, se incluye un ejemplo de los resultados obtenidos en este ensayo para muestras de pastas semejantes a las que se espera obtener en el yacimiento Los Frailes.

TIPO DE MUESTRA	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)	Densidad Aparente (gr/cm^3)	Densidad Seca (gr/cm^3)
INALTERADA	13,69	11,67	3,14	2,76

	EDO 1
Cs	0,015
Cc	0,098
eo	0,607

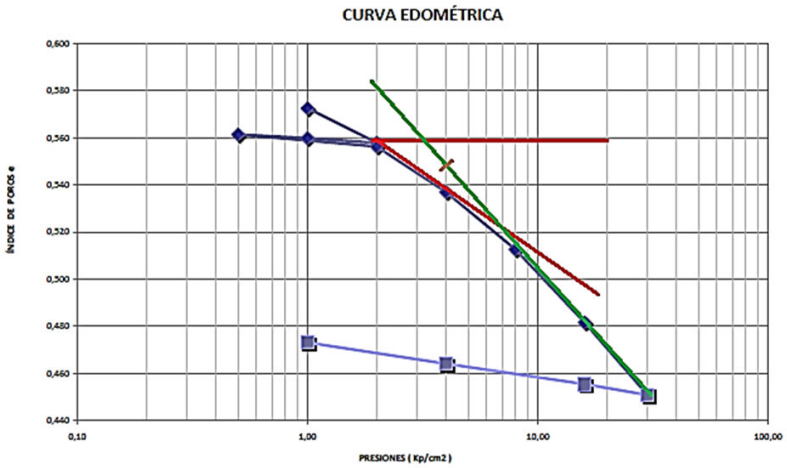


Figura 2-6 Resultados de ensayos edométricos. (Fuente: Golder Associates)

2.2.6. Ensayos de Resistencia

Con objeto de obtener las características de esfuerzo-deformación y los parámetros resistentes de los materiales (cohesión y fricción) sometidos a diferentes situaciones de esfuerzo, se requerirá la realización e interpretación de ensayos triaxiales o ensayos de corte directo.

La Figura 2-7,Figura 2-8 y Figura 2-9 representan los resultados que se pueden obtener de estos ensayos. Todos ellos presentan comportamientos esperables para muestras del yacimiento Los Frailes.

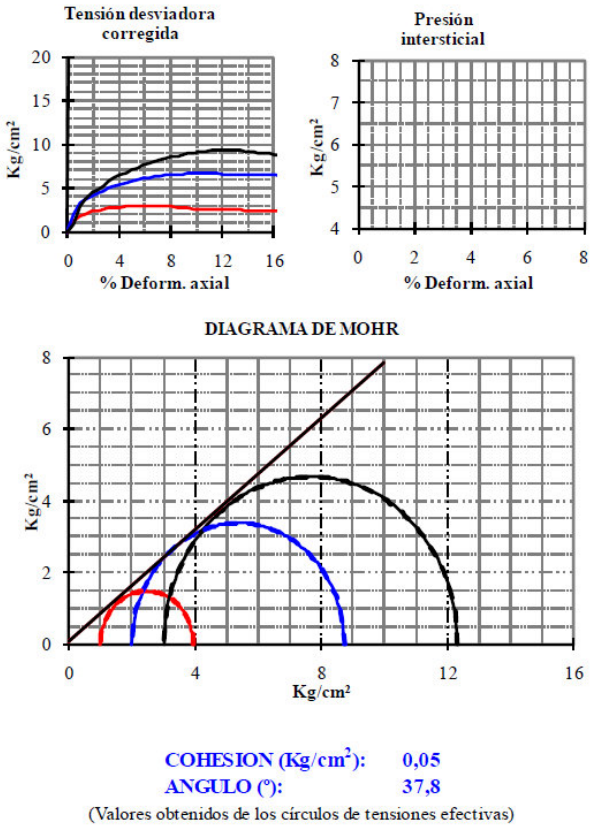


Figura 2-7 Resultados de ensayos triaxiales. (Fuente: Golder Associates)

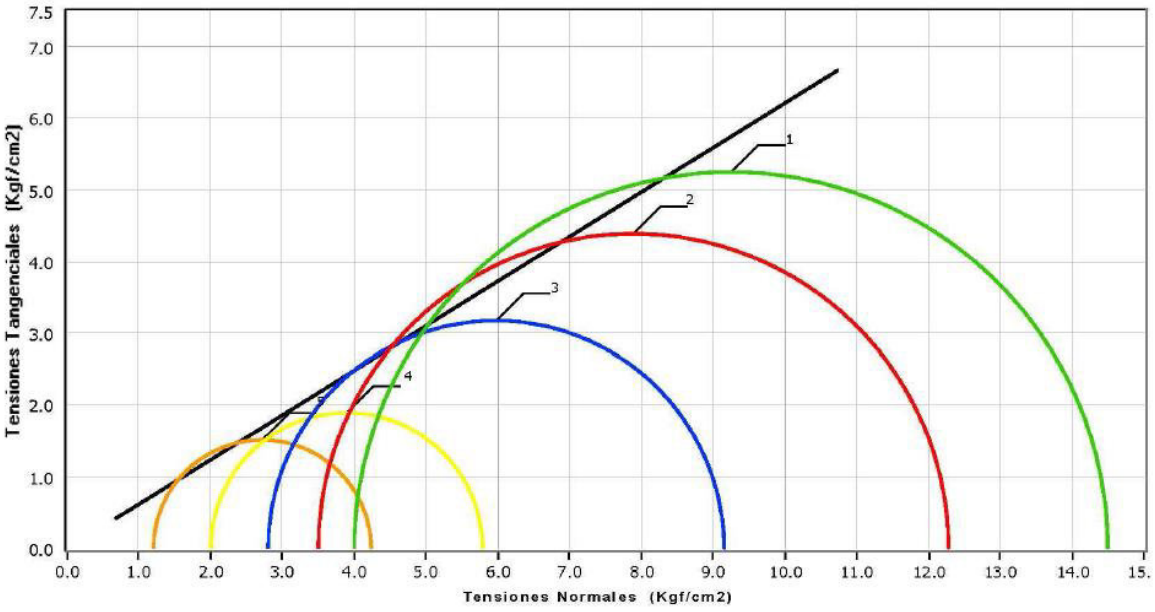


Figura 2-8 Representación de tensiones. Círculos de Mohr. (Fuente: Golder Associates)

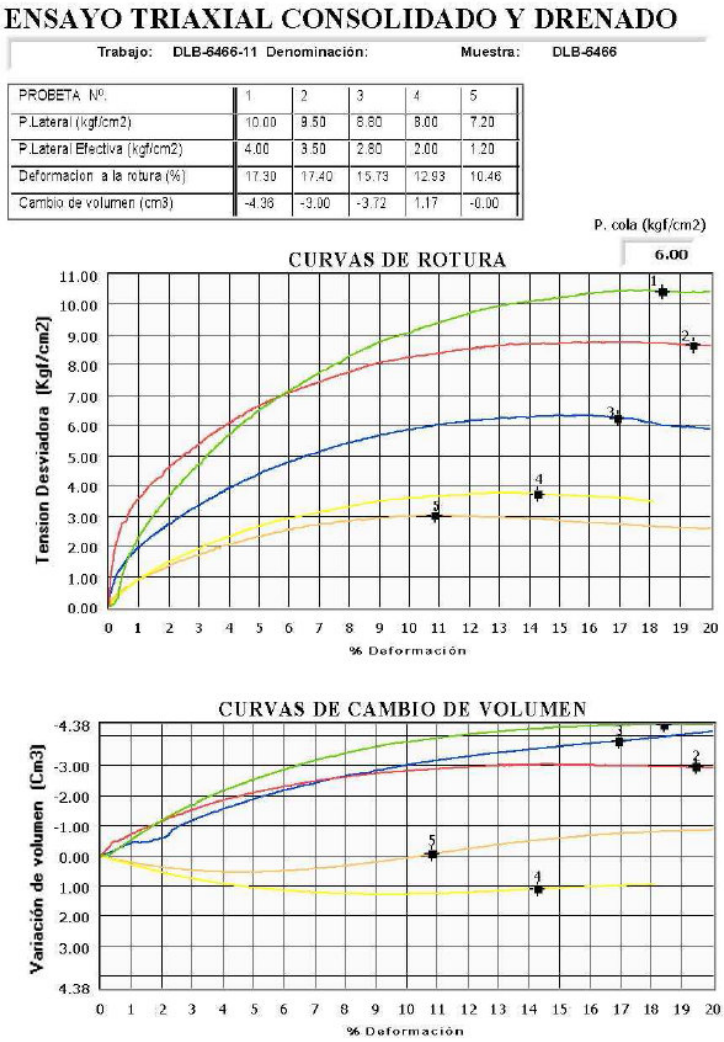


Figura 2-9 Curvas de los ensayos triaxiales para cambio de volumen y rotura. (Fuente: Golder Associates)

La Figura 2-10 muestra una probeta de Pasta cementada. Esta probeta, semejante a las que se dispondrán en Los Frailes, es utilizada para la realización de ensayos triaxiales y de compresión simple.



Figura 2-10 Probeta de Pasta cementada para realización de ensayos de compresión. (Fuente: Golder Associates)

2.3. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA

Mediante la caracterización reológica de la pasta se obtiene información sobre el comportamiento de la pasta a corto plazo, es decir, durante su transporte por tubería, mientras fluye una vez llega al destino de deposición o tras alcanzar el índice de fluencia a partir del cual deja de fluir y se comporta como un sólido.

Para esta caracterización, se proyectan los siguientes ensayos: Segregación «Bleeding», densidad aparente y % sólidos en peso, ensayo «SLUMP», ensayo de canaleta, límite de fluencia «Yield Stress» y otros ensayos menos relevantes pero que también aportan información necesaria para la caracterización reológica de la pasta.

2.3.1. Segregación de agua «Bleeding»

Para la determinación de los tiempos y porcentajes de expulsión del agua, tanto por el sangrado inicial, como por consolidación de la propia pasta, se realiza el ensayo de segregación o «Bleeding».

2.3.2. Densidad aparente y % sólidos en peso

El porcentaje de sólidos en peso en un dato que variará durante la realización de los ensayos y que permite la interpretación de muchos de los resultados.

A partir del porcentaje de sólidos en peso a la salida del espesador, se clasificará el material según su consistencia dentro de uno de los tres grupos de estériles de tratamiento nombrados a continuación:

- 50-60% lodos convencionales
- 60-70% lodo de alta densidad

- >70% pasta

Para determinar el porcentaje de sólidos en peso, se realizan ensayos de densidad volumétrica y se comparan resultados con las características intrínsecas del material.

2.3.3. Ensayos de porcentaje de abatimiento (SLUMP)

Este ensayo se realiza para cuantificar la consistencia del material a la salida del espesador, tras un periodo de secado o tras mezclarla con otros componentes. La Figura 2-11 muestra de una forma esquemática el procedimiento a seguir en este tipo de ensayo.

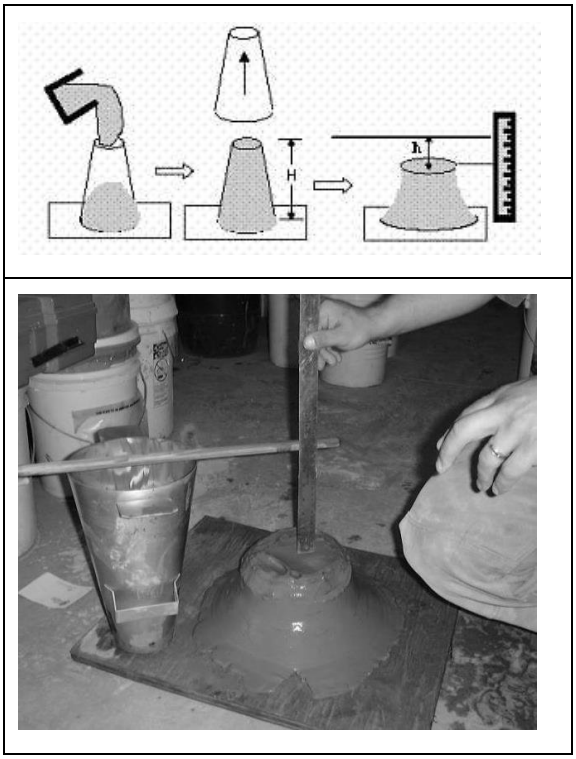


Figura 2-11 Realización de ensayo de abatimiento. (Fuente: Golder Associates)

2.3.4. Ensayos de canaleta

Nos aportan información sobre los ángulos de deposición del material para los diferentes porcentajes de sólidos en peso. De esta forma, se puede hacer un estudio para la deposición, co-disposición (junto a otros materiales de diferente naturaleza) o almacenamiento del material bajo estudio.

En la Figura 2-12 se representan los elementos necesarios para la realización de los ensayos de canaleta.

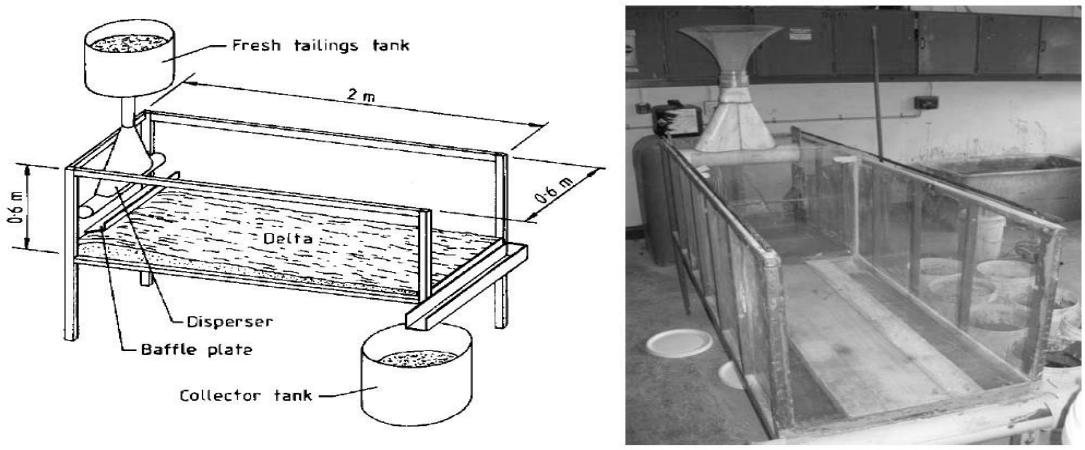


Figura 2-12: Procedimiento de ensayos de canaleta. (Fuente: Golder Associates)

2.3.5. Determinación del límite de fluencia «Yield Stress»

El límite de fluencia es la fuerza necesaria a aplicar sobre un material para que comience a fluir, la pasta en este caso. Las mediciones del límite de fluencia para diferentes porcentajes de solido en peso nos permiten interpretar un modelo de comportamiento para el lodo o la pasta en unas determinadas circunstancias.

Los ensayos se realizan con el instrumental mostrado en la Figura 2-13 y la gráfica expuesta en la Figura 2-14 da una idea del tipo de resultados que podemos esperar de estos ensayos.



Figura 2-13 Instrumental para la determinación del límite de fluencia.
(Fuente: Golder Associates)

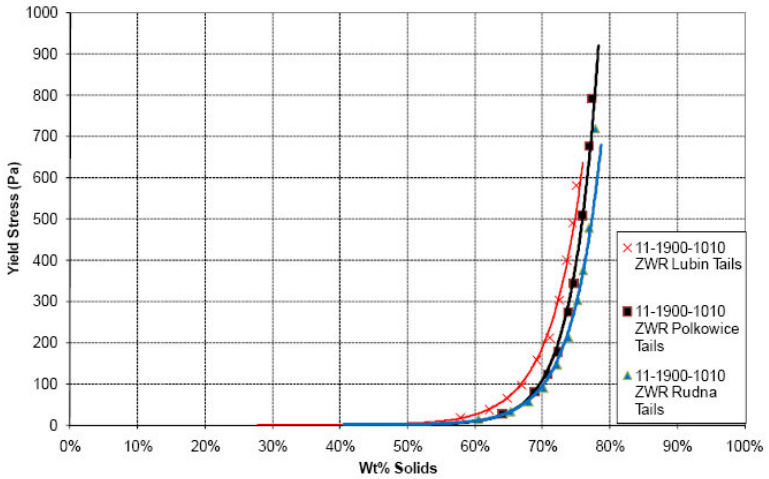


Figura 2-14 Resultados del ensayo de límite de fluencia. (Fuente: Golder Associates)

2.3.6. Otros Ensayos

2.3.6.1. Ensayos de Asentamiento

La Figura 2-15 muestra un estudio para la determinación del asiento con resultados esperables del yacimiento Los Frailes.

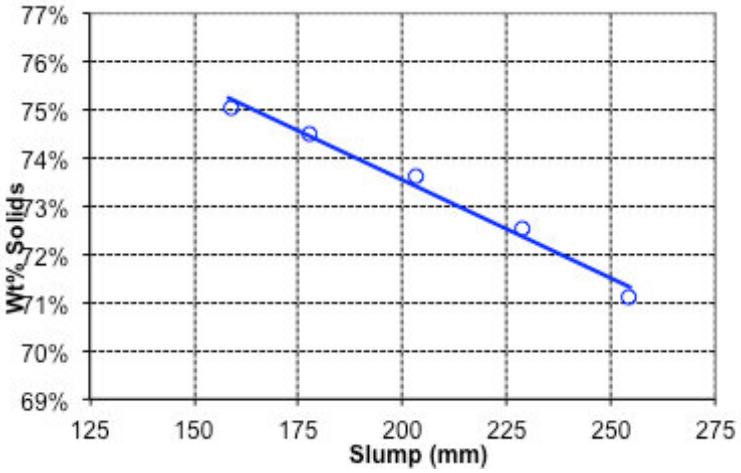


Figura 2-15 Estudio para la determinación del asiento con resultados esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates)

2.3.6.2. Ensayos de Sangrado

La Figura 2-16 muestra la curva de estudio de sangrado para una muestra con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes.

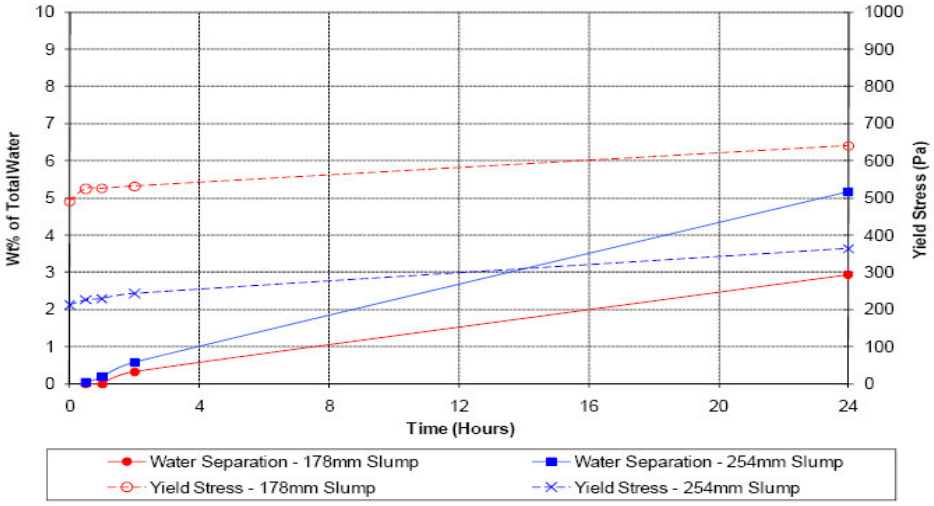


Figura 2-16 Curva de estudio de sangrado con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates)

2.3.6.3. Ensayos de Fluencia Dinámica

La Figura 2-17 muestra los resultados de un ensayo de fluencia dinámica con resultados semejantes a los esperables para el yacimiento Los Frailes.

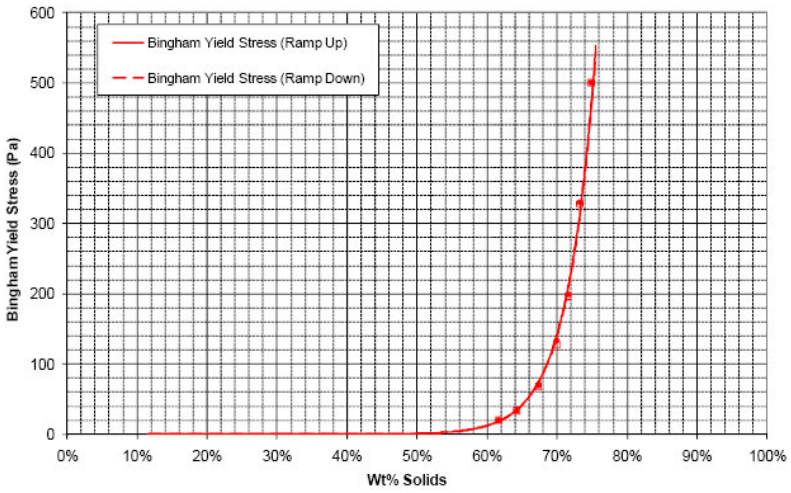


Figura 2-17 Ensayo de fluencia dinámica con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates)

2.3.6.4. Ensayos «Plug»

La Figura 2-18 muestra una curva de ensayo «Plug» para una muestra con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes.

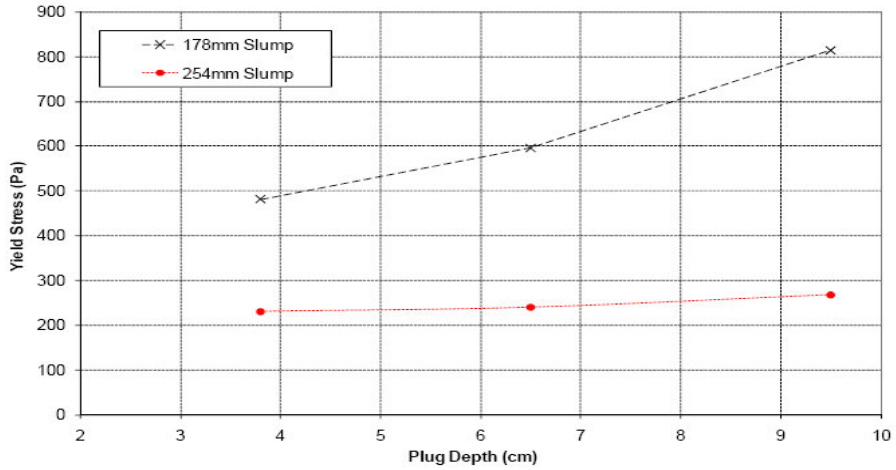
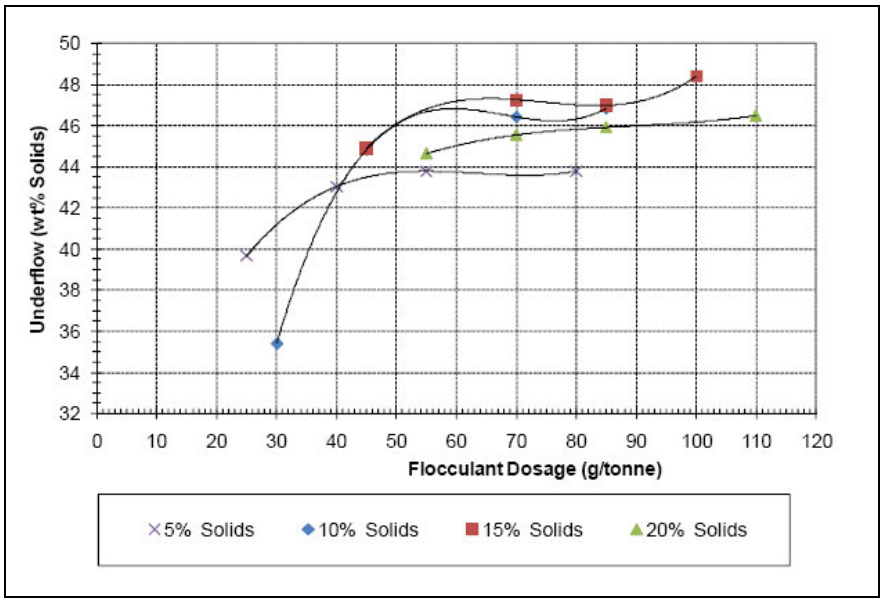


Figura 2-18 Curva de ensayo 'Plug' con resultados semejantes a los esperables del yacimiento Los Frailes. (Fuente: Golder Associates)

2.3.6.5. Ensayos de Floculación

La Figura 2-19 muestra la curva y la gráfica asociados a un ensayo de floculación.



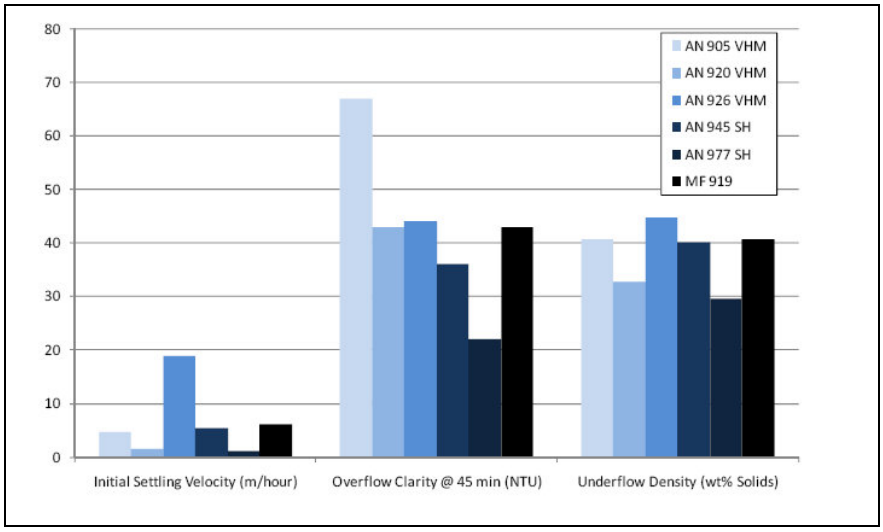


Figura 2-19 Curva y gráfica de ensayo de floculación. (Fuente: Golder Associates)

3. PRESUPUESTO

En la Tabla 3-1 se presenta una valoración preliminar de los ensayos a realizar para la caracterización de los estériles del proceso y la pasta de conformación.

Orden	Descripción	Cantidades (Uds)	Precio/Ud.	Importe
0	PREPARACION DE MUESTRAS			2,805.00 €
0.1	***Muestreo***	***1***	***1,805 €***	***1,805 €***
0.2	***Etiquetado de muestreo y cadena de custodia***	***1***	***350 €***	***350 €***
0.3	***Transporte y Envío***	***1***	***650 €***	***650 €***
1	IDENTIFICACIÓN			2,955.00 €
1.1	***Humedad (secado en estufa)***	***15***	***10 €***	***150 €***
1.2	***pH***	***15***	***32 €***	***480 €***
1.3	***Granulometrias (PSD Laser)***	***15***	***55 €***	***825 €***
1.4	***Columna de Sedimentación***	***15***	***75 €***	***1,125 €***
1.5	***Densidad Aparente***	***15***	***25 €***	***375 €***
2	COMPOSICIÓN MINERALOGICA			3,900 €
2.1	***Microscopía rayos x***	***3***	***950 €***	***2,850 €***
2.2	***Composición química***	***3***	***350 €***	***1,050 €***
4	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA			11,905 €
4.1	***Límites Atterberg (Plasticidad)***	***10***	***75 €***	***750 €***
4.2	***Edómetro***	***5***	***410 €***	***2,050 €***
4.3	***Compresión Simple (UCS)***	***15***	***95 €***	***1,425 €***
4.4	***Triaxial (CSL_3CIU+3CID)***	***10***	***325 €***	***3,250 €***
4.5	***Corte Directo UU (Sin consolidar y sin drenar)***	***10***	***75 €***	***750 €***
4.6	***Corte Directo CD (Consolidado Drenado)***	***10***	***118 €***	***1,180 €***
4.7	***Permeabilidad***	***10***	***250 €***	***2,500 €***
3	CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA			45,425 €
3.1	***Floculación***	***5***	***980 €***	***4,900 €***
3.2	***Fluencia***	***10***	***690 €***	***6,900 €***
3.3	***Viscosidad***	***10***	***370 €***	***3,700 €***
3.4	***Segregación 'Bleeding'***	***15***	***240 €***	***3,600 €***
3.5	***Abatimiento 'SLUMP'***	***15***	***225 €***	***3,375 €***
3.6	***Yield Stress***	***5***	***370 €***	***1,850 €***
3.7	***Flow Loop***	***1***	***14,100 €***	***14,100 €***
3.8	***Filtración***	***5***	***1,400 €***	***7,000 €***
Total:				**66,990 €**

Tabla 3-1 Valoración preliminar de los ensayos a realizar para la caracterización de los estériles del proceso y la pasta de conformación

Debe considerarse, que la realización de los mismos está sujeta a la disponibilidad de material para su realización.

4. BIBLIOGRAFÍA

- PASTE AND THICKENING TAILINGS- A GUIDE. Second Edition - Australian Centre for Geomechanics
- HANDBOOK ON MINE FILL Australian Centre for Geomechanics
- PASTE FILL- Deeep and High Stress Mining 2006. A.Henderson ; M.B Revell, D. Landriault & J. Coxon.
- PASTE AND THICKENED TAILINGS TECHNOLOGY- Maggyes. Federal Institue for material Research and testing, BAM
- EL YACIMIENTO DE "LOS FRAILES". UNA NUEVA MINA EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA. *Pons, J.M., Maestre, A.J. y Carrero, J.A.*
- INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE MINERALES. Errol G. Kelly y David J. Spottiswood. NORIEGA Editores, México, 1990
- SME MINERAL PROCESSING HANDBOOK. Volúmen 1 y 2. Norman L. Weiss, Editor. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 1985
- EL BENEFICIO DE LOS MINERALES. Pierre Blazy. Rocas y Minerales, 1977
- FLOTACIÓN. A. M. Gaudin. Memorial Volume. M. C. Fuerstenau, Editor. Volumen 1 y 2. American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 1976
- FUNDAMENTO DE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA DE EMPLEO DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN. S.V Dudenhov, L.Y. Shubov, L.A. Glazumov y otros. Editorial MIR, 1980
- FLOTATION: AGENTS AND PROCESES. Technology and Applications. Chemical Technology Review, nº172. Editado por M.W. Ranney. NOYES DATA CORPORATION. New Jersey, USA, 1980
- FLOTATION: THEORY, REAGENTS AND ORE TESTING. Editorial Pergamon Press, Oxford, 1992
- COLUMN FLOTATION, Editorial Pergamon Press, Oxford, 1990

TOMO 1: PLAN DE INVESTIGACIÓN

ANEJO 1.3: PLAN DE RESTAURACIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA RESERVA MINERA DE AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Código proyecto:	PE_LFR	**Fecha:**	Diciembre 2014
Ingeniería	**Autor**		**Titular**
MAGTEL – GRUPO MÉXICO	CRS INGENIERÍA		MINORBIS S.L.U. – GRUPO MÉXICO

ANEJO 1.3: PLAN DE RESTAURACIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

CONTROL DE LA DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE CALIDAD

TITULO DEL DOCUMENTO: PLAN DE RESTAURACIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN.

CODIGO PROYECTO: PE_LFR

CODIGO DOCUMENTO: PE_LFR_A_1.3_Rev00

Fichero: PE_LFR_A_1.3.Re00.docx

	Fecha	Nombre
Realizado	18/11/2014	CRS INGENIERÍA
Revisado	28/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Aprobado	01/12/2014	MINORBIS - GRUPO MÉXICO

TABLA DE CONTENIDOS

FIGURAS 5
TABLAS 7
FOTOGRAFÍAS 8
GLOSARIO 9
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 10
NORMATIVA APLICABLE 11
Normativa comunitaria 11
Normativa estatal 11
Normativa autonómica 13
Normas UNE 14
1. PARTE I: DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL ENTORNO PREVISTO PARA DESARROLLAR LAS LABORES MINERAS 16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO 16
1.1.1. Localización y emplazamiento 16
1.1.2. Geología 16
1.1.2.1. Geología regional 16
1.1.2.2. Geología de detalle del distrito minero de Aznalcóllar 34
1.1.2.3. Modelo geológico de Los Frailes 54
1.1.3. Geomorfología y relieve 60
1.1.4. Hidrología e hidrogeología 61
1.1.4.1. Red hidrográfica superficial 61
1.1.4.2. Hidrogeología y aguas subterráneas 61
1.1.5. Edafología 63
1.1.6. Climatología 64
1.1.7. Vegetación 66
1.1.7.1. Vegetación potencial 66
1.1.7.2. Vegetación real 66
1.1.8. Fauna 71
1.1.8.1. Reptiles 73
1.1.8.2. Aves 73
1.1.8.3. Mamíferos 73

1.1.8.4. Peces 74
1.1.9. Paisaje 74
1.1.9.1. Componentes y elementos del paisaje: Forma 74
1.1.9.2. Componentes y elementos del paisaje: Línea 74
1.1.9.3. Componentes y elementos del paisaje: Color 74
1.1.9.4. Componentes y elementos del paisaje: Textura 75
1.1.9.5. Componentes y elementos del paisaje: Espacio 75
1.2. DEFINICIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO 75
1.2.1. Aprovechamientos preexistentes 75
1.2.2. Situación geográfica 76
1.2.3. Usos del suelo 76
1.2.4. Demografía 76
1.2.4.1. Población 76
1.2.4.2. Demografía 78
1.2.4.3. Estructura de la población por edad y sexo 78
1.2.5. Empleo 79
1.2.6. Infraestructuras 79
1.2.6.1. Infraestructuras viarias 80
1.2.6.2. Infraestructuras hidráulicas 80
1.2.6.3. Infraestructuras energéticas 80
1.2.7. Espacios de interés histórico, arqueológico y paleontológico 81
1.2.7.1. Elementos patrimoniales catalogados 81
1.2.8. Puntos de interés 81
1.2.8.1. Vías pecuarias 81
1.2.8.2. Espacios naturales protegidos: Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía 82
1.2.8.3. Red Natura 2000 82
1.2.8.4. Plan Especial de Protección del Medio Físico de Sevilla 83
1.2.8.5. Montes públicos 83
1.2.9. Lugares del proyecto 83
1.2.10. Accesos 84
1.2.11. Instalaciones 84
1.3. Epítome de las características del aprovechamiento del recurso 85

1.3.1. Prospección geológica 85
1.3.1.1. Prospección directa....86
1.3.1.2. Prospección geológica indirecta....86
1.3.2. Teledetección....86
1.3.3. Prospección geoquímica....87
1.3.3.1. Recopilación de la información y preparación de la campaña....87
1.3.3.2. Recogida de muestras de sedimentos de corriente....87
1.3.3.3. Preparación, análisis multielemental e interpretación....87
1.3.3.4. Técnica del Ion Metálico Movil (MMI)....88
1.3.4. Sondeos mecánicos....89
1.3.4.1. Wireline....89
1.3.4.2. Lodos de perforación....90
1.3.4.3. Impacto de la perforación....90
1.3.5. Prospección geofísica....90
1.3.5.1. Medidas de resistividad: Registros TEM en sondeos....90
1.3.5.2. Gravimetría....93
1.3.5.3. Estudio mediante SEDT en la Zona Sur....93
1.3.5.4. Estudios mediante el método Puesta a Masa....97
1.3.5.5. Sísmica de reflexión 2D en la zona sur....98
2. PARTE II: MEDIDAS PREVISTAS PARA LA REHABILITACIÓN DEL ESPACIO NATURAL AFECTADO POR LA INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES....100
2.1. ALTERACIONES PREVISTAS....100
2.2. REMODELADO DEL TERRENO....101
2.3. PROCESOS DE REVEGETACIÓN....101
2.4. DESCRIPCIÓN DE OTRAS POSIBLES ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN 101
2.4.1. Rehabilitación de pistas mineras, accesos y entorno afectado....101
2.4.2. Rellenos superficiales....101
2.4.3. Medidas para evitar la posible erosión....101
2.4.4. Protección del suelo....101
2.4.5. Protección de las aguas superficiales y subterráneas....102
2.4.6. Protección del paisaje....102
2.4.7. Protección de la calidad del aire....102

2.4.8. Protección de vegetación y fauna....103
2.4.9. Protección de espacios naturales protegidos. 104
2.4.10. Gestión de residuos no mineros 104
2.4.11. Protección del patrimonio 105
2.4.12. Vallado y cerramiento 105
3. PARTE III: MEDIDAS PREVISTAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LOS SERVICIOS E INSTALACIONES ANEJOS A LA INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES. 106
3.1. INSTALACIONES Y SERVICIOS AUXILIARES 106
3.1.1. Desmantelamiento y rehabilitación de zonas en las que se sitúen las instalaciones de preparación, plantas de concentración y plantas de beneficio de la explotación 106
3.1.2. Desmantelamiento y rehabilitación de zonas de instalaciones auxiliares 106
3.2. Instalaciones de residuos mineros 106
4. PARTE IV: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS 108
4.1. OBJETIVOS DEL PRESENTE PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS 108
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS 108
4.3. CLASIFICACIÓN PROPUESTA PARA LAS INSTALACIONES DE RESIDUOS MINEROS 109
4.4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD QUE GENERA LOS RESIDUOS MINEROS Y DE CUALQUIER TRATAMIENTO POSTERIOR AL QUE ÉSTOS SE SOMETAN 109
4.5. DESCRIPCIÓN DE LA FORMA EN QUE EL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA PUEDAN VERSE AFECTADOS NEGATIVAMENTE POR EL DEPÓSITO DE RESIDUOS MINEROS Y MEDIDAS PREVENTIVAS 109
4.6. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO 109
5. PARTE V: CALENDARIO DE EJECUCIÓN Y COSTE ESTIMADO DE LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN....110
5.1. CALENDARIO DE EJECUCIÓN....110
5.2. Coste estimado de los trabajos de rehabilitación....110
5.2.1. Justificación de precios 110
5.2.2. Resumen del presupuesto 112
PLANOS Y CARTOGRAFÍA....113

FIGURAS

Figura 1.1 – Situación de la Faja Pirítica Ibérica dentro de la subdivisión del Macizo Hercínico Ibérico. (Fuente: Julivert et Al, 1972). 17

Figura 1.2 – Esquema geológico de la zona Sudportuguesa. (Basado en Oliveira, 1990) 18

Figura 1.3 – Esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. . (Palero Fernández, F.J.- Geología y Metalogenia) 19

Figura 1.4 – Columnas estratigráficas en algunas áreas con mineralizaciones de sulfuros masivos (Fuente: IGME, 1982b) 25

Figura 1.5 – Esquema evolutivo durante la deformación progresiva de la 1ª fase Hercínica en la parte norte de la Faja Pirítica Ibérica. (Silva et al. 1990) 26

Figura 1.6 – Estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Fuente: Quesada, 1996) 29

Figura 1.7 – Situación tipológica de las mineralizaciones en la FPI en función de sus contenidos en Cu, Pb y Zn. (Fuente: Sáez et al, 1999, modificado por CRS Ingeniería.) 33

Figura 1.8 – Variaciones relativas de contenidos medios en CU, Pb, Ag y Au de yacimientos significativos de la FPI. . (Fuente: Revista Metalogenia; mineralizaciones de la zona Sudportuguesa) 34

Figura 1.9 – Mapa geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961) Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía) 35

Figura 1.10 – Perfil geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961). (Fuente: Junta de Andalucía) 36

Figura 1.11 – Columna estratigráfica tipo del primer episodio de vulcanismo ácido, levantada a lo largo del río Crispinejo. (Modificada de Coullaut, J.L. et al., 1975) 39

Figura 1.12 – Mapa sintético de las Unidades Tectonoestratigráficas en la Hoja 961 de la Junta de Andalucía. Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía). 40

Figura 1.13 – Estereograma 1. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000) 41

Figura 1.14 – Estereograma 2. (Fuente: IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000) 43

Figura 1.15 – Mapa geológico de los yacimientos Aznalcóllar y Los Frailes. (Fuente: Elaboración propia) 44

Figura 1.16 – Mapa de isopacas del Mioceno realizado en Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973. 45

Figura 1.17 – Localización del yacimiento en el esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. (Fuente: Revista Sociedad Española de Mineralogía, Macla nº10 – Tornos Arroyo, F. 2008) 48

Figura 1.18 – Localización de las masas minerales y las antiguas labores (Pinedo, 1963) ..49

Figura 1.19 – Mapa de anomalía residual en el entorno de Aznalcóllar, en los ensayos gravimétricos. Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973. 52

Figura 1.20 – Perfil geológico (4750) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990) 57

Figura 1.21 – Perfil estructural (4760) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990) 59

Figura 1.22 – Pirámide de población de Aznalcóllar. (Fuente: INE, 2013) 78

Figura 1.23 – Pirámide de población de Sanlúcar La Mayor. (Fuente: INE, 2013) 79

Figura 1.24 – Diagrama de flujo del abastecimiento de agua y circulación de lodos en los sondeos. (Fuente: elaboración propia) 85

Figura 1.25 – Mapa del número de sondeos propuestos por cuadrícula minera. (Fuente: Elaboración propia) 89

Figura 1.26 – Programa de trabajo para las medidas mediante SEDT destinadas a determinar el espesor del recubrimiento Terciario. (Fuente: elaboración propia) 97

Figura 1.27 – Perfiles sísmicos propuestos. (Fuente: elaboración propia) 99

TABLAS

Tabla 1.1 – Coordenadas geográficas de las cuadrículas solicitadas. Reserva Minera asociada al Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: elaboración propia) 16

Tabla 1.2 – Producción en toneladas de los filones entre los años 1904-1917 (Pinedo, 1963) 49

Tabla 1.3 – Inventario de especies de reptiles potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia) 73

Tabla 1.4 – Inventario de especies de aves potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia).....73

Tabla 1.5 – Inventario de especies de mamíferos potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia) 74

Tabla 1.6 – Inventario de especies de mamíferos potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia) 74

Tabla 1.7 – Población de Aznalcóllar por sexo y edad. (Fuente: INE, 2013).....77

Tabla 1.8 – Población de Sanlúcar La Mayor por sexo y edad. (Fuente: INE, 2013) 78

Tabla 1.9 – Datos Instituto de estadística y Cartografía de Andalucía (Fuente: elaboración propia).....79

Tabla 1.10 – Carreteras del entorno del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: elaboración propia) 80

Tabla 1.11 – Infraestructuras hidráulicas en el entorno del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: elaboración propia).....80

Tabla 1.12 – Vías pecuarias del entorno del Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia).....82

Tabla 1.13 – Espacios naturales (RENPA) cercanos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia).....82

Tabla 1.14 – Espacios naturales de la Red Natura 2000 cercanos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia) 83

Tabla 1.15 – Espacios del Plan Especial de Protección del Medio Físico de Sevilla próximos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia).....83

Tabla 1.16 – Coordenadas área de investigación proyectada. (Fuente: elaboración propia) 84

Tabla 5.1 – Cronograma de actuaciones. (Fuente: elaboración propia).....110

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 – Zona de bosque mediterráneo al Norte del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: Elaboración propia) 68

Fotografía 1.2 – Zona de dehesa con arbolado disperso, al Norte del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: Elaboración propia) 69

Fotografía 1.3 – Zona de matorral monte bajo al Norte del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: Elaboración propia) 70

Fotografía 1.4 – Ejemplar de Cistus ladanifer al norte del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: Elaboración propia) 70

Fotografía 1.5 – Zona de pastizal al Norte del Proyecto “Los Frailes”. (Fuente: Elaboración propia).....71

GLOSARIO

AZN: Aznalcóllar

EM: Electro-magnético

LFR: Los Frailes

MMI: Ion metálico móvil

SEDT: Sondeo eléctrico en dominio de tiempos

TEM: Electro-magnético en dominio de tiempos

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente plan de restauración se redacta por el equipo técnico de la mercantil Consultores en Recursos del Subsuelo, S.A. (CRS, S.A.), en servicio del Consorcio de empresas Minorbis-Grupo México, como aspirantes a la adjudicación de las actividades extractivas de explotación de los recursos existentes en las 72 cuadrículas mineras que componen la reserva contenida en el marco del Proyecto Los Frailes, en la Provincia de Sevilla.

El documento que se redacta, tiene la finalidad de analizar las actuaciones que deben llevarse a cabo desde el punto de vista de la restauración del espacio natural afectado por las labores de investigación minera proyectadas en la documentación a la que acompaña el presente documento.

Asimismo, se definirán posteriormente las actuaciones que deben acometerse para compatibilizar el proyecto de investigación con el cumplimiento de la normativa existente, con especial incidencia en la legislación de índole ambiental.

Todas las actuaciones necesarias para llevar a cabo los trabajos definidos en el Proyecto de Investigación, y por extensión las incluidas en el presente Plan de Restauración, se acometerán bajo el compromiso y la política del peticionario ,de hacer partícipes a la población del entorno mediante la contratación del personal no cualificado (Compromiso Social) y adquisición de medios y materiales necesarios en la investigación y restauración posterior en proveedores del entorno (Compromiso Medioambiental).

Con el trabajo, se pretenden poner de manifiesto aquellas actuaciones previsibles no definidas en la documentación técnica de la investigación, a la que acompaña el presente documento, en relación a la adecuación de la actuación objeto a lo dispuesto en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras, y su modificación posterior mediante el Real Decreto 777/2010, de 4 de mayo.

Por lo tanto, el presente documento pretende adoptar la estructura clásica de los planes de restauración mineros, repasando todos los puntos y conceptos definidos en el Real Decreto 975/2009 y Real Decreto 777/2012, pero en referencia específica a las labores de investigación propuestas y que nos ocupan.

NORMATIVA APLICABLE

Normativa comunitaria

- Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE.
- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.
- Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

Normativa estatal

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Ley 3/1995, de 23 de marzo, de vías pecuarias.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

- Real Decreto 1890/2008 de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones Técnicas complementarias, de EA-01 a EA-07
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el RD 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del dominio público hidráulico.
- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.
- Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.
- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 833/1988 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.
- Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo, por la que se modifica la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.
- Orden ARM/1312/2009, de 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo.
- Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I,IV,V,VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto de Aguas.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

Normativa autonómica

- Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía.
- Ley 14/2007, de 26 de noviembre, del Patrimonio Histórico de Andalucía.
- Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la flora y la fauna silvestres.
- Decreto 163/2013, de 8 de octubre, por el que se modifica el Decreto 342/2012, de 31 de julio, por el que se regula la organización territorial provincial de la Administración de la Junta de Andalucía.
- Decreto 334/2012, de 17 de julio, por el que se regulan las entidades colaboradoras en materia de Calidad Ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía.
- Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.

- Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía.
- Decreto 105/2011, de 19 de abril, por el que se establece la estructura orgánica de la Consejería de Medio Ambiente.
- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.
- Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.
- Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la autorización ambiental unificada, se establece el régimen de organización y funcionamiento del registro de autorizaciones de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental, de las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y de las instalaciones que emiten compuestos orgánicos volátiles, y se modifica el contenido del Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Decreto 178/2006, de 10 de octubre, por el que se establecen normas de protección de la avifauna para las instalaciones eléctricas de alta tensión.
- Decreto 151/2006, de 25 de julio, por el que se establecen los valores límite y la metodología a aplicar en el control de las emisiones no canalizadas de partículas por las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera.
- Decreto 155/1998, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Vías Pecuarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Decreto 74/1996, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Calidad del Aire.
- Decreto 19/1995, de 7 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección y Fomento del Patrimonio Histórico de Andalucía.
- Decreto 04/1994, de 10 de mayo, por el que se establece el Catálogo Andaluz de Especies de la Flora Silvestre Amenazada.
- Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección de medio ambiente atmosférico.
- Orden de 19 de abril de 2012, por la que se aprueban instrucciones técnicas en materia de vigilancia y control de las emisiones atmosféricas.

Normas UNE

- UNE-EN ISO/IEC 17020:2012. Evaluación de la conformidad. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección. (ISO/IEC 17020:2012).

- UNE-EN 12464-2:2008. Iluminación. Iluminación de lugares de trabajo. Parte 2: Lugares de trabajo exteriores.
- UNE-EN 858-1:2002/A1:2005. Sistemas separadores para líquidos ligeros (por ejemplo aceite y petróleo). Parte 1: Principios de diseño de producto, características y ensayo, marcado y control de calidad.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

1. PARTE I: DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL ENTORNO PREVISTO PARA DESARROLLAR LAS LABORES MINERAS

1.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

1.1.1. Localización y emplazamiento

Las labores de investigación propuestas se localizarán en la Provincia de Sevilla, en terrenos de los términos municipales de Aznalcóllar y Sanlúcar La Mayor. (Ver Plano Nº 1.2. Situación).

Se propone un área de investigación con unas 2.180 ha situada a unos 3.500 metros al Este del núcleo urbano de Aznalcóllar.

El área de investigación ocupa 72 Cuadrículas Mineras de la Reserva Minera asociada al Proyecto "Los Frailes", quedando delimitada bajo la poligonal definida por las siguientes coordenadas geográficas (Tabla 1.1):

Punto	Latitud (N)	Longitud (W)
1	37º 32' 00"	6º 15' 40"
2	37º 32' 00"	6º 13' 00"
3	37º 29' 00"	6º 13' 00"
4	37º 29' 00"	6º 15' 40"

Tabla 1.1 – Coordenadas geográficas de las cuadrículas solicitadas. Reserva Minera asociada al Proyecto "Los Frailes". (Fuente: elaboración propia)

El acceso a la zona de investigación, que abarca unas 2.180 ha, se realiza a través de la red de caminos del entorno, que parten a su vez de sendas carreteras secundarias así como la propia superficie alterada en la antigua explotación minera.

La carretera de la red intercomarcal A-477, que conecta el núcleo urbano de Aznalcóllar con el núcleo de Gerena, atraviesa el entorno del Proyecto de Investigación de Este a Oeste, y es el acceso principal a las instalaciones de la antigua explotación minera.

1.1.2. Geología

1.1.2.1. Geología regional

El área de interés se sitúa en el extremo oriental de la Faja Pirítica Ibérica, situada en el SO de la Península y dentro de la denominada "Zona Sudportuguesa", división establecida por Lotze en 1945 para el Macizo Hercínico Ibérico. La Faja Pirítica Ibérica queda limitada al Norte por el Dominio Pulo do Lobo y al Sur por el Dominio SO Portugués. Ocupa una franja de aproximadamente 230 km de largo por 40-60 Km de ancho, prolongándose desde la provincia de Sevilla hasta la costa oeste de Portugal y constituyendo una de las más importantes provincias metalogénicas mundiales (Figura 1.1):

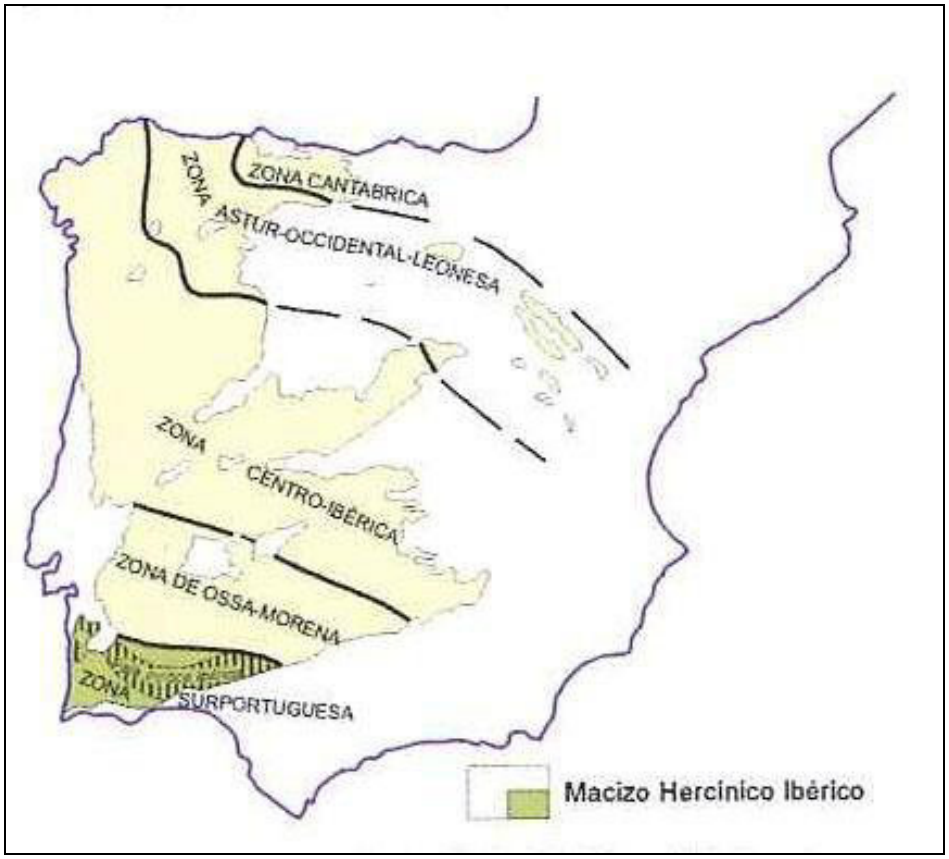


Figura 1.1 – Situación de la Faja Pirítica Ibérica dentro de la subdivisión del Macizo Hercínico Ibérico. (Fuente: Julivert et Al, 1972).

Geográficamente situada entre las estribaciones meridionales de Sierra Morena y la depresión terciaria del Guadalquivir, constituye una unidad geomorfológica bien diferenciada pues, a excepción de algunas sierras en la parte norte, puede considerarse en general como una penillanura inclinada hacia el Sur y en actual proceso de rejuvenecimiento.

Zona Sudportuguesa

La Zona Sudportuguesa se subdivide en cinco dominios que, siguiendo la descripción de Oliveira (1990), serían de Norte a Sur los detallados a continuación (Figura 1.2):

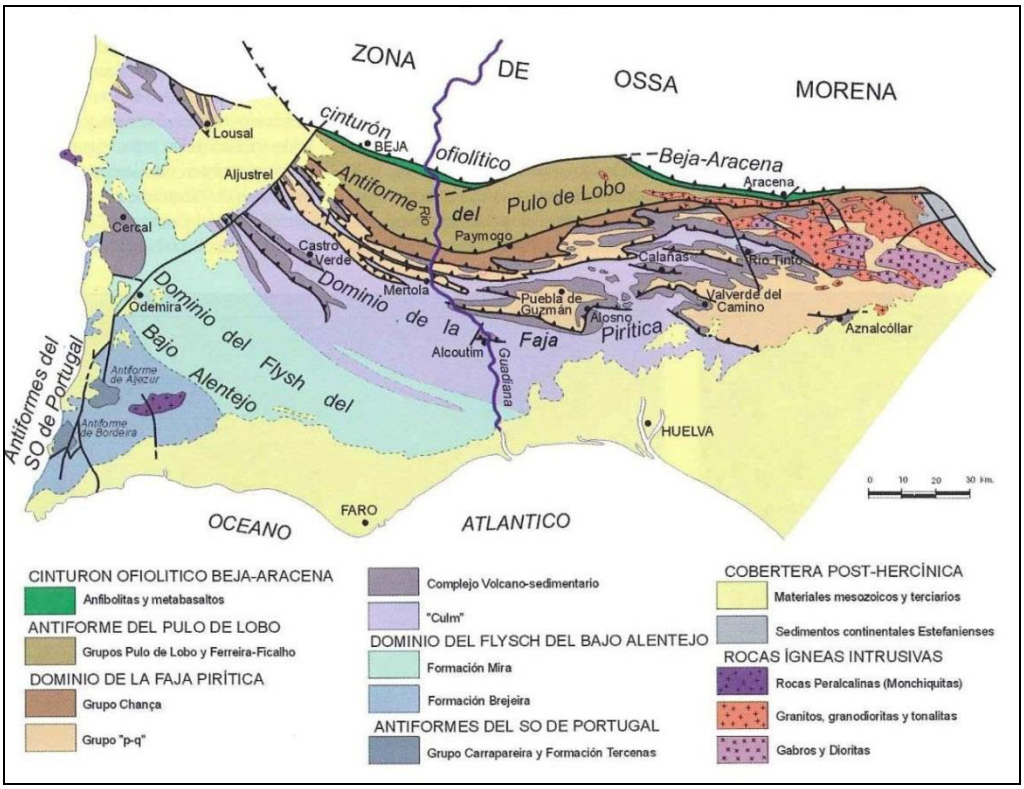


Figura 1.2 – Esquema geológico de la zona Sudportuguesa. (Basado en Oliveira, 1990)

Cinturón ofiolítico Beja-Acebuche: Sirve como límite Norte con la Zona de Ossa Morena. Está constituido principalmente por anfibolitas, metagabros, anfibolitas y serpentinas, rocas atravesadas por una red de diques de metabasaltos.

Los datos geoquímicos han determinado su interpretación ofiolítica, como materiales obducidos respecto a la corteza continental de la Zona de Ossa-Morena. Esto concuerda con su disposición estructural general, si bien hacia el Este tiene lugar una inversión de la serie, con materiales de la Zona Ossa-Morena sobre las ofiolitas, causada por una deformación posterior. Su edad es un tanto discutida pero se puede situar entre el Silúrico y Devónico medio. Con certeza es más antigua que el Fameniense.

Antiforme del Pulo do Lobo: Limitado al Norte por una gran falla y al Sur por un importante cabalgamiento, está integrado por un monótono conjunto de pizarras negras, filitas, grauvacas y cuarcitas, con algunos matabasaltos en su parte basal. Estas rocas presentan una intensa deformación tectónica y han sido interpretadas como un prisma de acreción de una zona de subducción, con edad Devónico inferior-medio.

Faja Pirítica Ibérica: Limitada al Norte por el cabalgamiento del Pulo do Lobo, por el Sur acaba mediante un contacto normal con las rocas del dominio siguiente. El dominio, con edad Devónico medio-Carbonífero superior, comprende materiales que abarcan desde la situación preorogénica hasta la etapa sinorogénica de la evolución varisca. Constituido por una superposición de unidades cabalgantes alóctonas, integradas por tres conjuntos litoestratigráficos bien diferenciados, que de abajo a arriba son; Dominio PQ, Complejo Vulcano-Sedimentario y Culm.

Flysch del Bajo Alentejo: constituye el autóctono relativo de las unidades alóctonas de la Faja Pirítica Ibérica. Está integrado por dos conjuntos litoestratigráficos, uno basal pizarroso denominado "Formación Minera" que se apoya concordante sobre el "Culm" y que tiene una edad Viseiense teminal-Namuriense, y otro a techo más arenoso conocido como "Formación Brejeira" con una edad Namuriense medio-Westfaliense inferior.

Estratigrafía de la Faja Pirítica Ibérica

La columna estratigráfica tipo abarca materiales Paleozoicos (Devónico superior-Carbonífero), que reflejan los episodios de la cuenca sudportuguesa durante los estadios preorogénico y sinorogénico de la evolución varisca. Los tres conjuntos litoestratigráficos fueron definidos por Strauss (1970) en Lousal (Portugal) y se han mantenido sin modificaciones fundamentales hasta nuestros días (Figura 1.3):

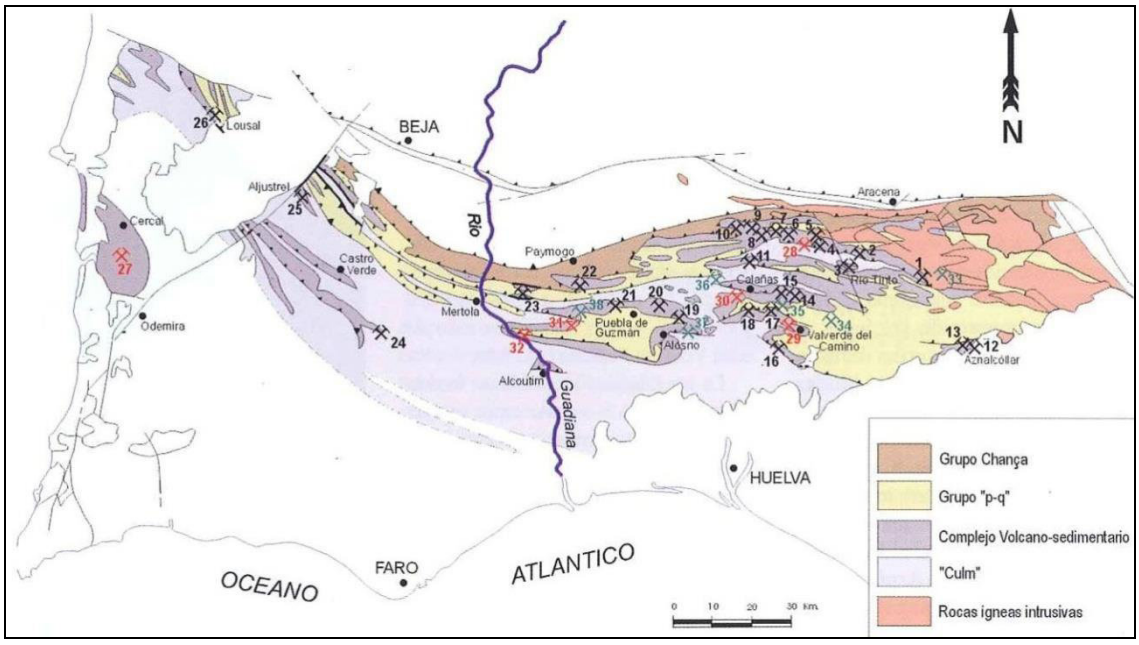


Figura 1.3 – Esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. . (Palero Fernández, F.J.-Geología y Metalogenia)

A continuación se definen de muro a techo las unidades principales:

Grupo PQ

Siglas procedentes del término en inglés "phyllites and quarzites" haciendo referencia a su litología. De muro desconocido, está constituido por una monótona alternancia de pizarras negras con intercalaciones de areniscas cuarzosas, presentando en ocasiones tramos lutítico-arenosos intercalados, propias de un medio sedimentario de plataforma marina somera de baja energía. Hacia techo aumenta el porcentaje de las intercalaciones de areniscas cuarzosas, interpretadas como depósitos de barras litorales resultado del oleaje, y aparecen lentejones areniscos arrecifales que indican la somerización de la cuenca. Lateralmente a estos depósitos aparecen facies de avenidas, asociadas a los episodios de fragmentación y compartimentación de la cuenca. Es de edad Fameniense medio-superior, correspondiente a sedimentación predominantemente marino-somera en un estadio preorogénico.

Complejo Vulcano-Sedimentario (CVS)

Supone una importante acumulación de rocas volcánicas debidas a una intensa actividad eruptiva correspondiente a la fase sinorogénica temprana, con frecuentes episodios catastróficos, durante el Struniense-Viseiense (Devónico superior-Carbonífero inferior). Este conjunto tiene una especial relevancia en la Faja Pirítica Ibérica por ser en él donde se hallan los clásicos y famosos yacimientos de sulfuros masivos y de manganeso. Este vulcanismo responde a características de la asociación espilita-queratófido, típicamente submarino, con amplio predominio de los términos ácidos (riolitas y dacitas) sobre los básicos (basaltos). De forma generalizada las rocas volcánicas tienen una intensa alteración espilítica e hidrotermal que enmascara su petrología original. Las variaciones de potencia y de facies son constantes en el conjunto, lo que plantea grandes problemas cartográficos. Se puede estimar que la potencia varía entre 100 m y 1.000 m, pero pese a esta gran variabilidad hay que indicar que está extendido por toda la Faja Pirítica Ibérica.

La acumulación de materiales volcánicos se produjo en varios ciclos efusivos, pero se discute sobre su número y equivalencia entre diversas zonas. A pesar de su gran heterogeneidad, en sentido vertical, y de sus grandes variaciones en el lateral, se ha establecido una columna sintética a escala regional. Este modelo litoestratigráfico, establecido en los años 1980-1990, esencialmente a partir de las observaciones realizadas en la región de Pomarao (Portugal) y en el anticlinorio de Puebla de Guzmán (Strauss y Madel, 1984), se fundamenta la diferenciación, en el CVS, de tres ciclos volcánicos ácidos:

- Primer vulcanismo ácido inicial o V1, al cual se asocia la mayoría de las mineralizaciones de sulfuros masivos. Contiene tramos de rocas volcánicas ácidas (riolitas a dacitas, localmente rocas andesíticas), rocas sedimentarias y epiclásticas y, ocasionalmente, de rocas básicas.

- Segundo vulcanismo ácido V2 (intermedio, también denominado Fm Manganesífera), al cual se asocian las mineralizaciones vulcanogénicas de manganeso. En conjunto, es de carácter más piroclástico que el anterior e incluye una mayor presencia de materiales sedimentarios que aquél. Puede incluir también rocas volcánicas básicas e importantes pasadas de rocas sedimentarias y epiclásticas. Contiene, en sus tramos superiores, niveles de cherts y de jaspes. A techo, aparece un estrecho nivel de pizarras o cineritas moradas que constituye el único nivel guía válido en la mayor parte de la FPI.

- Tercer vulcanismo ácido o vulcanismo final, formado mayoritariamente por rocas piroclásticas, sedimentarias y epiclásticas. A techo pasa a pizarras negras que constituyen la serie basal de flysch de las facies Culm.

Grupo Culm

Importante alternancia de pizarras y grauvacas, de edad Viseiense inferior a superior (Devónico-Carbonífero). Corresponde a una serie turbidítica tipo flysch asociada a la fase sinorogénica posterior comprendiendo materiales sedimentarios postvolcánicos e incluyendo tres unidades que se describen a continuación:

- Serie Pizarrosa Basal; secuencia volcanodetrítica y pizarrosa que incluye las epiclastitas de techo del tercer episodio volcánico ácido y las pizarras del muro de

la formación turbidítica. Tiene una potencia media de 50 m y una edad Viseiense superior.

Formación turbidítica de facies Culm s.s.; es una secuencia turbidítica de pizarras, litarenitas y escasos conglomerados. Litológicamente resulta un conjunto muy homogéneo, sin apenas cambios, y las únicas variaciones de facies reconocibles son el predominio arenoso sobre el pizarroso o viceversa. Como siempre, hay excepciones: en una banda central, que se extiende entre la Rivera del Chanza y la población de El Cerro de Andévalo, aparece un "Culm" un tanto peculiar, constituido esencialmente por pizarras que tiene intercalados bloques de cuarcitas aislados. Esas cuarcitas se asemejan mucho a algunas que hay en el "PQ" y casi se puede asegurar que son las mismas. Por esa razón se interpreta que son bloques olistostrómicos, los cuales serían el reflejo de un frente de cabalgamiento activo durante la sedimentación del "Culm".

- El espesor del conjunto litoestratigráfico es grande, alcanzando seguramente más de 1.000 m. El medio de sedimentación se corresponde con una plataforma marina profunda con fuerte subsidencia, con aportes turbidíticos y violenta avenidas. Hay evidencias de movimientos tectónicos sincrónicos con la sedimentación que causan inestabilidades del fondo de la cuenca. Está datado como Viseiense superior.
- Unidad arenosa de plataforma somera, formada por pizarras y areniscas cuarzosas procedentes de la erosión del CVS en medios marinos de plataforma somera y litoral.

En la ZSP se encuentran también manifestaciones de magmatismo plutónico/subvolcánico que aparecen en forma intrusiva en las zonas nororiental y suroriental. Constituyen el Batolito de la Sierra Norte de Sevilla. Éste se dispone en la alineación Castilblanco-Almonaster la Real, en la cual se diferencian una banda norte, de carácter predominantemente ácido (granodioritas, granitos, tonalitas y granitoides trondh-jemíticos), y una banda sur, mayoritariamente básica (gabros, dioritas e incluso rocas ultrabásicas). Por su edad (en torno a los 350 Ma para las rocas ácidas y a los 340 Ma para las básicas) y quimismo, representan probablemente la manifestación subvolcánica/plutónica del magmatismo efusivo de la ZSP. Existen también algunos otros pequeños stocks intrusivos en la alineación de Gerena-Guillena, en el SE, y algunos stocks tonalíticos aislados.

Sobre los materiales devónicos y carboníferos de la Faja Pirítica Ibérica aparece una cobertera del Mesozoico y Terciario. Los materiales mesozoicos quedan restringidos a la parte más meridional, especialmente a la zona de Ayamonte-Faro, pertenecen al Triásico y son margas, areniscas, conglomerados, dolomías y basaltos. Los materiales terciarios cubren amplias extensiones y su presencia causa la desaparición de los afloramientos paleozoicos al Sur y al Este bajo la cuenca del Guadalquivir, así como al Norte bajo la cuenca del Alentejo. Se trata de areniscas, conglomerados, lutitas y margas de edad miocena. Por debajo de los materiales terciarios continúan las rocas de la Faja Pirítica Ibérica (Figura 1.4):

COLUMNA DE AZNALCOLLAR

X = 374.850

Y = 326.750



Lavas básicas espilíticas.

Tobas abigarradas de tonos violáceos y verdes con cineritas silíceas.

Brecha piroclástica con clastos de riolita albitizada en matriz porfídica.

Pizarras negras con intercalaciones de cineritas silíceas y de lentejones de jaspes.

Lavas riolíticas.

Tobas ácidas con intercalaciones de riolitas microcristalinas y de pizarras.

Tobas ácidos y cineritas con intercalaciones de lavas riolíticas microcristalinas.

Pizarras negras con intercalaciones de tobas.

Riolitas albitizadas.

Pizarras negras con niveles de tobas.

Tobas ácidas con alteración cloritica y sericítica e intercalaciones de lavas riolíticas.

Tobas ácidas con alteración clorítica-sericítica, niveles sedimentarios de pirita-calcopirita y removilizaciones de calcopirita en planos de esquistosidad y fracturas (-piroclasto cuprífero-).

Sulfuros masivos.

Pizarras negras.

Tobas ácidas con alteración clorítica-sericítica.

Sulfuros masivos.

Pizarras negras con intercalaciones de tobas y tobas ácidas con alteración sericítica-clorítica.

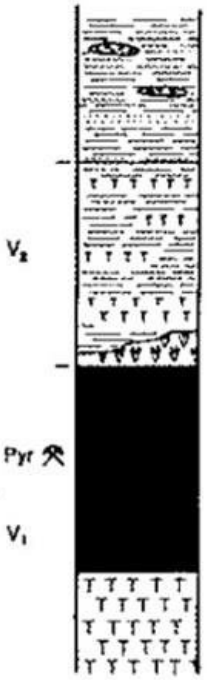
Brecha piroclástica con clastos de riolitas porfídicas en matriz tobácea.

Pizarras negras con clastos de rocas volcánicas a techo.

Escala 1/4.000

COLUMNA DE SAN TELMO

X = 311.300 Y = 361.150



Pizarras arcillosas y tufitas grises con intercalaciones de grauvacas grano grueso.

Pizarras y tufitas grises con tobas de grano fino interestratificadas.

Tobas abigarradas con pirita diseminada.

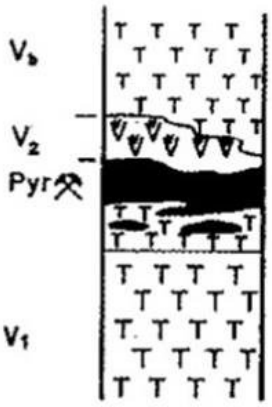
Tobas de grano medio a grueso, blanquecinas, muy silíceas, a techo sitúa la masa pirítica.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE LOMERO-POYATOS

X = 314.800

Y = 361.800



Tobas básicas grises.

Tobas abigarradas cloritizadas.

Toba fina y masa pirítica.

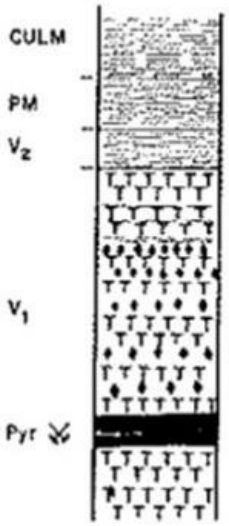
Tobas ácidas-intermedias, verdes.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE CUEVA DE LA MORA

X = 324.100

Y = 358.950



Pizarras negras.

Pizarras moradas.

Pizarras verdes y grises, con pátinas de óxidos de manganeso.

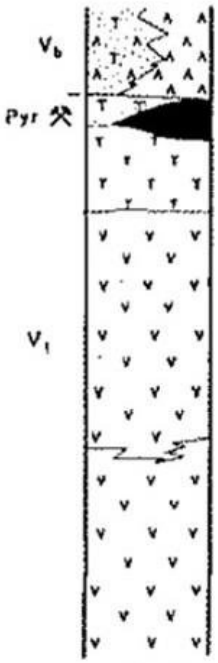
Toba de grano medio a grueso, blanquecina, ácida, porfídica, muy alterada (caolinizada) y con diseminaciones de pirita. Masa de sulfuros complejos.

Escala 1/2.000

COLUMNA DE LA JOYA

X = 306.350

Y = 357.425



Lavas y tobas básico-intermedias abigarradas.

Lavas básicas (basaltos y espilitas).

Tobas ácidas abigarradas.
Pirita masiva.

Toba ácida cristalina (fenocristales de cuarzo).

Lava dacítica fina.

Lavas intermedias (dacita anfibólica), cristalinas de grano grues

Escala 1/2.000

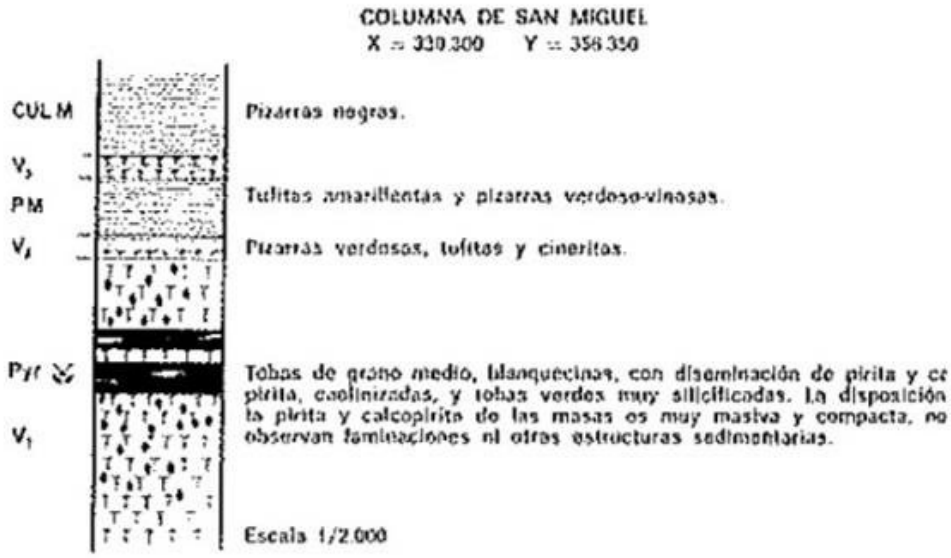


Figura 1.4 – Columnas estratigráficas en algunas áreas con mineralizaciones de sulfuros masivos (Fuente: IGME, 1982b)

Tectónica de la Faja Pirítica

La compleja configuración geológica actual de la Faja Pirítica ha sido generada por un intenso plegamiento durante la Orogenia Hercínica (Carbonífero) a la que hay que añadir una posterior tectónica de bloques alpina que ha sido la causante de las cuencas del Mesozoico-Terciario.

La estructura general Hercínica tiene forma arqueada y es el resultado de una deformación progresiva que ha avanzado de Norte a Sur en el lado español, y de Noreste a Suroeste en lado portugués. Tomando como referencia los planos de esquistosidad (S1) se diferencian cuatro estadios con tres fases de deformación (Figura 1.5):

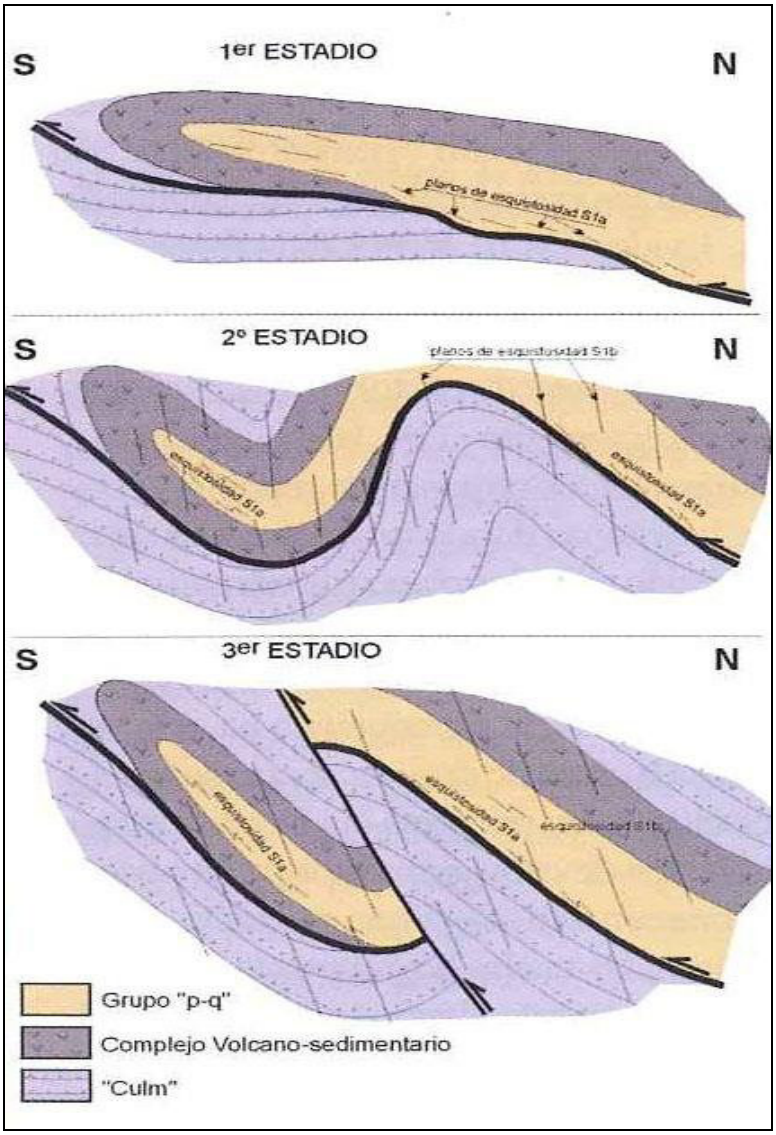


Figura 1.5 – Esquema evolutivo durante la deformación progresiva de la 1ª fase Hercínica en la parte norte de la Faja Pirítica Ibérica. (Silva et al. 1990)

Los movimientos pre-S1 incluyen inestabilidades claramente sinsedimentarias, basculamientos y deslizamientos de parte de los sedimentos ya consolidados, y la aparición de los primeros cabalgamientos.

La 1ª fase de deformación (F-1) es la que genera las primeras estructuras a escala regional, así como el primer plano de foliación tectónica: la esquistosidad (S1). Es la principal etapa deformativa en la región y se la reconoce de forma generalizada afectando a toda la secuencia litoestratigráfica paleozoica. Se produce como consecuencia de un acortamiento que varía de casi N-S en España, a NE-SO en Portugal. Las principales macroestructuras que genera son cabalgamientos y, a escala de afloramiento, la esquistosidad (S1). La superposición de cabalgamientos da lugar a una estructura acusadamente vergente al Sur, con polaridad tectónica predominante y casi continua de flanco normal y sinclinal al Norte.

A media y pequeña escala, aparte de la esquistosidad, la F-1 genera escamación generalizada y pliegues vergentes al Sur, con flanco meridional corto y verticalizado y flanco septentrional largo y con buzamiento suave. La esquistosidad (S1) es un clivaje pizarroso y, aunque a grandes rasgos se puede considerar como de plano axial, no es verdaderamente tal, sino que es transecta a ambos flancos de los pliegues, hecho sobre todo evidente en pliegues menores. Esto refleja que hay una variación rotacional del campo de esfuerzos durante el acortamiento de esta fase deformativa.

La 2ª fase de deformación (F-2) se produce como consecuencia de un nuevo acortamiento N-S. Tiene mucha menor intensidad que el que ha generado F-1, dando lugar a un aplastamiento tenue de irregular representación en el campo. Las estructuras más comunes de esta fase son pliegues suaves y abiertos de plano axial subvertical. Como estructura menor más significativa se forma una nueva esquistosidad (S2). Se trata de una esquistosidad de crenulación, poco penetrativa y de irregular distribución.

La 3ª fase de deformación (F-3) es consecuencia de un acortamiento E-O. Tiene una escasa importancia y da lugar a estructuras poco relevantes. Se trata de arqueamientos de rumbo N-S que originan cambios en el cabeceo de las estructuras lineales de fases anteriores. Localmente también se forma una esquistosidad de fractura (S3).

La primera fase o fase principal da lugar a estructuras anticlinales y sinclinales generalmente muy apretadas, de vergencia al Sur y dirección ONO-ESE en España y NO-SE en Portugal, desarrollando una esquistosidad de plano axial asociada muy penetrativa. En esta fase los materiales quedan afectados por un metamorfismo regional de bajo grado.

La segunda y tercera fase, subparalela y ortogonal, respectivamente, a la primera, son menos importantes y desarrollan estructuras en general laxas y poco penetrativas.

En esta orogenia, pues, queda la cadena montañosa prácticamente configurada, actuando como bloque rígido durante el resto de la historia geológica. En la Orogenia Alpina tuvieron lugar roturas y basculamientos que favorecieron las transgresiones mesozoicas y miocenas del Sur de la zona.

Al margen de su carácter autóctono o alóctono, se relacionan a continuación las principales estructuras que aparecen en la FPI (IGME, 1982b):

- Anticlinorio de Puebla de Guzmán:
  - Anticlinal de Herrerías
  - Anticlinal de Tharsis
  - Anticlinal de Alosno
- Anticlinorio de San Telmo-Campofrío (desde la mina de El Carpio a Campofrío).
- Anticlinorio de Valverde del Camino:
  - Anticlinal de Calañas
  - Anticlinal de Sotiel
  - Anticlinal de Campanario
- Sinclinorio Montes de San Benito-Sur de La Zarza

- Anticlinorio de Zalamea La Real

- Sinclinorio de Riotinto

Es interesante señalar que se ha postulado el probable control de la localización de los centros volcánicos por discontinuidades corticales de dirección WNW-ESE, acordes con la tendencia de distribución de las rocas volcánicas del CVS. Se han reconocido, en una primera aproximación, tres grandes alineaciones volcánicas y de yacimientos de sulfuros masivos, Norte, Centro y Sur, observándose en ellas sensibles diferencias en los rasgos de los yacimientos asociados. Más recientemente (Quesada, 1996), se ha propuesto una nueva estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Figura 1.6), reflejo de la fuerte compartimentación de la cuenca, con predominio de las direcciones N100-110-E (fallas y cabalgamientos) y N40-55 (fallas formadas sincrónicamente con las de la primera, rampas de cabalgamientos). Estas estructuras, profundas y antiguas se reactivaron progresivamente desde el W hacia el E en la fase de colisión oblicua (Castroviejo, 2010). En este análisis de la ZSP, ésta se subdivide en tres grandes bloques en los cuales se diferencian los mantos y las escamas que los integran, mostrando el carácter alóctono de gran parte de los materiales de la ZSP.

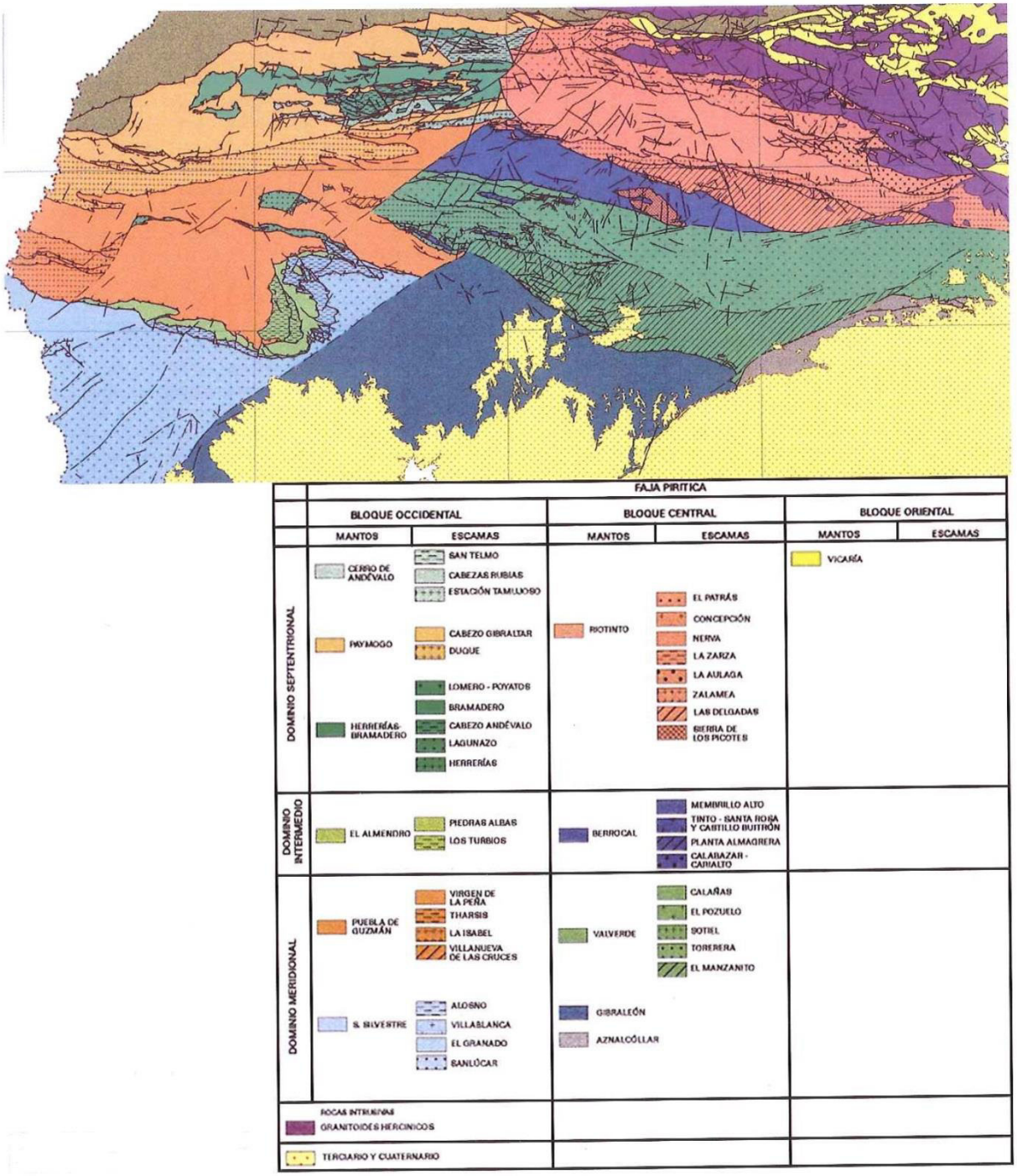


Figura 1.6 – Estructura de la Faja Pirítica Ibérica (Fuente: Quesada, 1996)

Metalogenia

Los yacimientos de sulfuros masivos de la Faja Pirítica son singenéticos, hecho manifestado por la relación que existe entre las mineralizaciones y la roca de caja, y se han formado por procesos exhalativos-sedimentarios, debido a la estrecha asociación de las masas minerales con las rocas efusivas de la región.

Los yacimientos parecen distribuirse en dos bandas (Routhier et al., 1980; Sáez et al., 1999) una Norte con predominio de las facies volcánicas, con depósitos de tamaño

pequeño–medio y una banda Sur con facies predominantemente sedimentarias y menor número de depósitos, pero de mayores dimensiones. Esta distribución parece estar asociada con la geología estructural de la cuenca, en concreto con las fracturas E-O y NE-SO.

Los yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos pueden contener, estructurados en el conjunto de un sistema, varios tipos de mineralización, con peculiaridades morfológicas, mineralógicas, geoquímicas, con diferentes relaciones con las rocas encajantes, y con una más o menos neta zonación espacial. Pueden encontrarse, asociados, los siguientes tipos o facies de mineralización:

- Mineralizaciones de sulfuros masivos, con morfología estratiforme a lentejonar. Dentro del conjunto de la pila de sulfuros masivos sedimentarios se pueden diferenciar, según los casos, zonaciones mineralógicas y geoquímicas o texturales: minerales bandeados o no, mineralizaciones ricas en Zn-Pb, con bairitina, etc., en las zonas extensas de dicha acumulación de sulfuros, y de pirita-calcopirita, y sulfuros y óxidos de Fe (magnetita, pirrotina), en las zonas centrales y basales.

- Mineralizaciones en stockworks, que se sitúan a muro de los sulfuros masivos y que suelen estar enriquecidas en Cu y Au (eventualmente Co, Bi u otros metales) y encajan en rocas con intensa alteración hidrotermal. Consisten en una estructuración de venas de cuarzo (mayoritariamente pirita y calcopirita, en proporciones variables) entrecruzadas, encajando en las rocas volcánicas y piroclásticas o, en algunos casos, sedimentarias, con intensa alteración hidrotermal (silificación, sericitización, cloritización)

- Azufrones, en zonas alejadas del foco exhalativo en las terminaciones de la masa de sulfuros en continuidad de ellas o algo alejadas, con tasas de precipitación de sulfuros menos importantes con respecto a las de sedimentos o materiales piroclásticos finos (diseminación de sulfuros de Fe y/o Cu en una matriz abundante de carácter pelítico-arenoso o tobáceo, a veces con alteración hidrotermal como silificación y/o cloritización)

- Gossans o monteras ferruginosas, formando depósitos lenticulares o estratoides de óxidos e hidróxidos de Fe (con posibles enriquecimientos en Au y Ag) a techo de las masas de sulfuros y/o stockworks originados por la oxidación y alteración supergénica de éstos.

- Pizarras Cobrizas. En sistemas encajados por pizarras negras, pueden aparecer concentraciones de minerales de Cu ya sea en forma de sulfuros de Cu diseminados y asociados a la matriz pelítica y clorítica (con una posible relación con canales de alimentación hidrotermal, es decir transicionales a los stockworks), ya sea en forma de carbonatos, óxidos de Cu y calcosina-covellina, dispersos en las pizarras, por fijación del Cu lixiviado de las masas de sulfuros por las aguas (cementación). De éstas hay buenos ejemplos en Santa Bárbara (Herrerías), Angelita o Esperanza (Tharsis).

En relación con los centros volcánicos de las mineralizaciones pueden aparecer en varias situaciones, proximales (enraizados a través de los stockworks o canales de

alimentación en el domo volcánico), transicionales (en pequeñas cuencas anóxicas en zonas laterales de los domos) o en cuencas más alejadas o distales, por acumulaciones mecánicas de sulfuros resedimentados, retrabajados y/p sedimentados a partir de fluidos de la parte externa de la pluma hidrotermal. Es importante señalar que los centros de emisión de fluidos hidrotermales no siempre están ligados a centros volcánicos y que el proceso hidrotermal puede ser precoz con respecto a la emisión de rocas volcánicas. Varios yacimientos de la FPI se originan a partir de hidrotermalismo inicial que altera y atraviesa (stockworks) a sedimentos más antiguos en cuencas anóxicas (pizarras negras). Tal es el caso, como se verá más adelante, de mineralizaciones como las de Tharsis o Aznalcóllar.

Las mineralizaciones de sulfuros masivos (como las de Mn) muestran, en general, rasgos de una muy intensa deformación. Están situadas sobre las fracturas profundas (o en su proximidad) que han constituido vías de ascenso de fluidos hidrotermales y, en muchas ocasiones, de las rocas volcánicas asociadas, y que se han reactivado en mayor o menos medida en la fase tectónica comprensiva. Por sus características físicas, las masas de sulfuros tienden a canalizar la deformación, asociándose a planos de cabalgamiento y mostrando rasgos de deformaciones frágiles y/o dúctiles. Muchas de las mineralizaciones aparecen plegadas, fracturadas o afectadas por cabalgamientos.

A esta especial relación con las estructuras deformativas da lugar a que las facies de mineralización que se han mencionado como constitutivas del modelo no aparezcan frecuentemente con sus relaciones originales, al haber sido truncadas y/o desplazadas por fracturas o cabalgamientos. En ocasiones los stockworks son desmembrados de los sulfuros o bien éstos aparecen con espesores superiores a los de la mineralización original, por apilamiento de escamas imbricadas de estructuras de cabalgamiento.

Desde el punto de vista minero los recursos o menas de las mineralizaciones de sulfuros masivos de la FPI se clasifican tradicionalmente como (DGM, 1990):

- Piríticas (producción de pirita cruda, con contenidos elevados en A y Fe y subeconómicos en otros metales), utilizadas tradicionalmente para la fabricación de ácido sulfúrico y de cuyas cenizas pueden recuperarse los metales base contenidos.

- Cupríferas o cobrizas, son menas de cobre (con contenidos apreciables y económicos en Cu), con leyes mínimas en Cu de 0,6-0,75% y que pueden llegar a 2%, siendo excepcionalmente bastante superiores.

- Sulfuros polimetálicos, sulfuros complejos o pirita compleja, que generalmente se encuentran a techo de las masas de sulfuros o asociadas a zonas de fuerte deformación en el seno de éstas. Suelen clasificarse así los minerales con contenidos de Cu+Pb+Zn superiores al 5%. SU aprovechamiento ha constituido uno de los problemas de la minería de la FPI por su frecuentemente difícil recuperación, debida a su pequeño tamaño de grano y las dificultades y altos costes de molienda que implica su separación. Diversas empresas los han beneficiado por procesos mineralúrgicos de flotación y flotación diferencial (minas de Sotiel, Aznalcóllar y Los Frailes, por ejemplo).

- Minerales con diseminaciones de pirita y cobre en roca de caja de las mineralizaciones (azufrones, s.l., stockworks), o en partes internas de éstas, que se han aprovechado cuando poseen leyes altas en Cu (ejemplos, las cloritas de Alfredo, en Riotinto, o el mineral silicatado en La Zarza). Coinciden en alguna medida con los a veces denominados minerales cupríferos, formados por menas con baja ley en Cu, como son las que forman algunos stockworks, como es el caso del pórfido de Cerro Colorado en Riotinto o el "piroclasto de Aznalcóllar". Los sulfuros de hierro, cobre y, a veces, de Zn, aparecen diseminados en pizarras y rocas volcánicas alteradas, con contenidos en la banda de 0,4-0,7 % de Cu y de una 10% de S.

- Minerales estanníferos y auríferos. Los extraordinarios tonelajes y leyes de estaño existentes en el yacimiento portugués de Neves Corvo (la casiterita y la estannita, minerales esenciales en el mineral rubanné y minerales importantes explotados juntos con los sulfuros de cobre en el sulfuro masivo) han despertado un interés por las posibilidades en otros depósitos similares a la FPI. Aunque en los depósitos de la FPI se conoce hace tiempo la presencia, como minerales accesorios, de casiterita y estannina en sus menas, no se conoce noticia de leyes que los hagan económicos. Únicamente se citan (DGM, 1990) contenidos, en puntos aislados de la Masa Valverde, de 1,1 kg/t

  Bien diferente es el caso de los minerales auríferos en las mineralizaciones de la FP Española. Aun cuando los contenidos medios de oro en las masas de sulfuros españolas se sitúan en torno a 0,5-1 g/t, existen algunas mineralizaciones con contenidos más elevados e interesantes que motivan investigaciones al respecto (actualmente, por ejemplo, Lomero Poyatos). Al margen del potencial aurífero de los yacimientos en su conjunto, el Au tiende a concentrarse en algunas partes del yacimiento o en tipos de mineral específicos dentro de ellos. En general, las producciones de Au (y Ag) que se obtienen de los sulfuros masivos provienen de gossans o monteras ferruginosas asociadas a ellos y corresponden a concentraciones supergénicas, siendo el ejemplo más importante Cerro Colorado (Riotinto) responsable en los años 1980-1990 de gran parte de la producción española de oro (casi 5 t/año de Au). Otro tipo de menas en la que se concentra el oro, en el algunos stockworks (Tharsis, Filón Norte) o en los minerales bandeados polimetálicos. Asimismo, se encuentran concentraciones de mucho interés en las partes intensamente deformadas dentro de los cuerpos de sulfuros, como en la mina de La Zarza o Lomero Poyatos (Strauss y Beck, 1990).

  Dada la zonalidad, ya mencionada, existente en los yacimientos en cuanto a tipo de menas, pueden encontrarse en ellos recursos de los diferentes tipos, piríticos, cobrizos y/o complejos, si bien es cierto que, según los yacimientos, varían mucho sus proporciones relativas. Además de los elementos químicos de interés económico (S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag), los yacimientos vulcanogénicos presentan concentraciones de otros elementos como son Ni, Co, As, Hg, Cd, Bi, Ba, In, Ge, Ga, Te, Se, Tl.

En la Figura 1.7 se representan, en un diagrama ternario, las leyes en Cu, Pb, Zn de una serie de yacimientos, pudiéndose observar su posición con respecto a los campos que caracterizan a diferentes holotipos de yacimientos de tipo VMS en el mundo. La mayoría se localiza en el campo de la asociación Cu-Pb-Zn, aunque algunos (La Zarza La Joya, Herrerías y Aguas Teñidas) lo hacen en el de Cu-Pb y otros (Confesionario) en la de Cu o en la de Cu-Zn (San Platón, San Telmo). Estas separaciones deben ser consideradas con precaución, pues los datos de que se dispone son de diversas procedencias y consideran a veces tipos específicos de menas y no medias del yacimiento. En cualquier caso, la mayoría de ellos tienen una signatura Cu-Pb-Zn que coincide con la establecida para el modelo Ibérico de VMS (Sáez et al., 1999) o al modelo de yacimientos VMS bimodales-félsicos de Galley (2007).

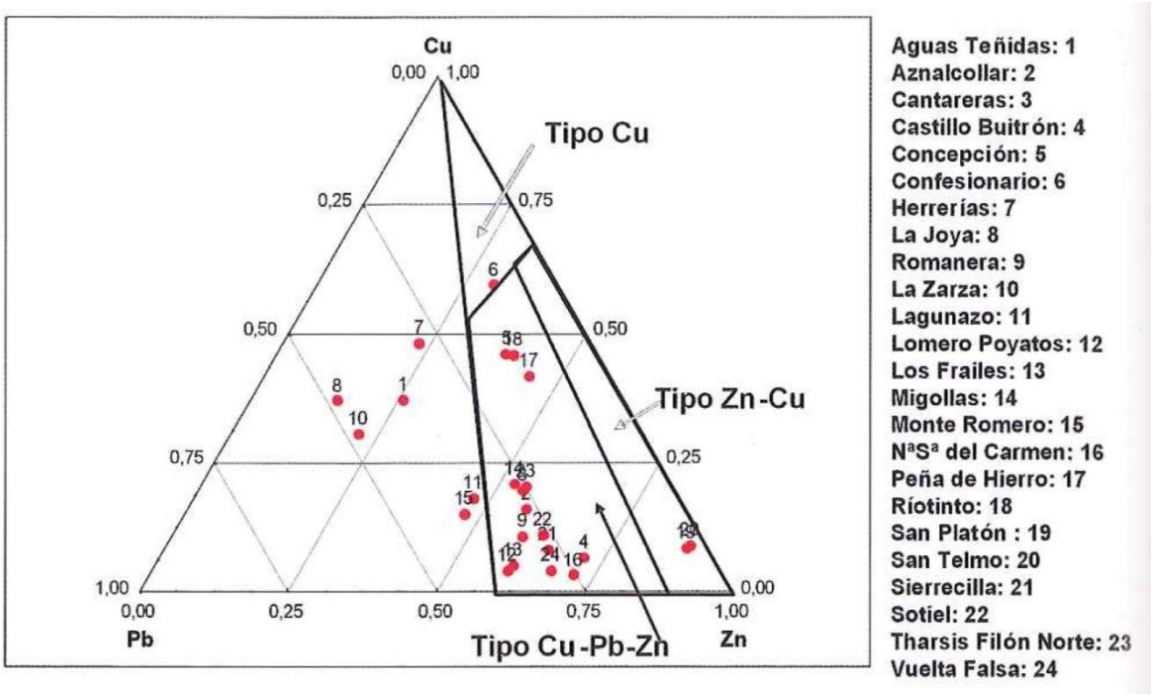


Figura 1.7 – Situación tipológica de las mineralizaciones en la FPI en función de sus contenidos en Cu, Pb y Zn. (Fuente: Sáez et al, 1999, modificado por CRS Ingeniería.)

En la Figura 1.8, y con los mismos datos de partida de la Figura 1.7 se puede hacer una comparación de los contenidos medios relativos en Cu, Pb, Zn, Au y Ag en la mayor parte de los yacimientos más significativos de la FP. Obsérvese la correlación que parece existir entre los contenidos en Zn y Ag y la mayor concentración de Zn con respecto a los otros metales base, siendo las relaciones entre Cu y Pb mucho más variables.

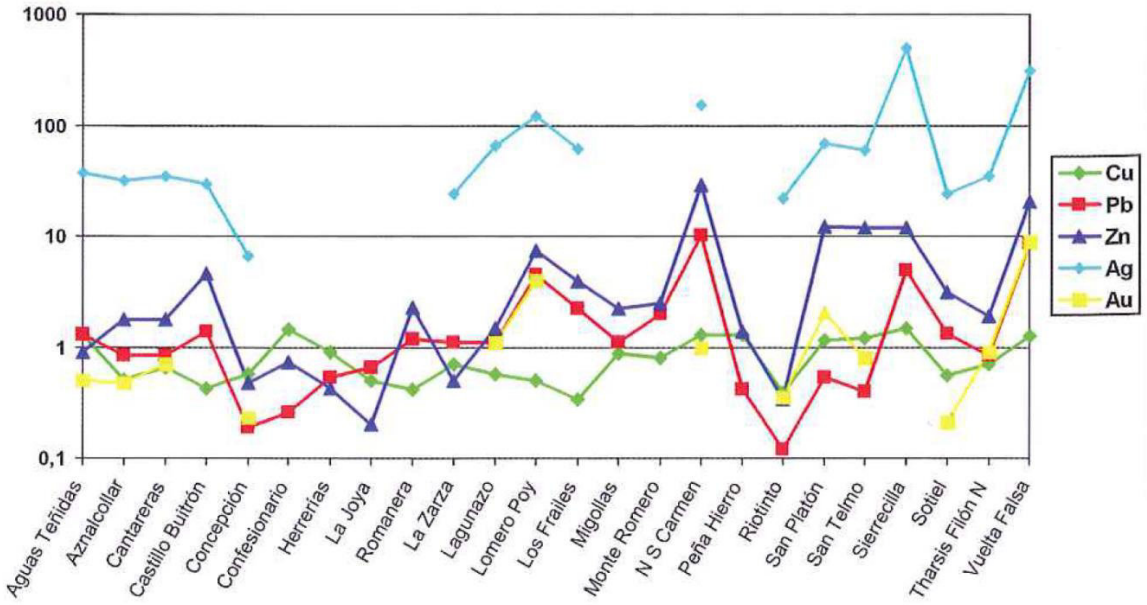


Figura 1.8 – Variaciones relativas de contenidos medios en CU, Pb, Ag y Au de yacimientos significativos de la FPI. . (Fuente: Revista Metalogenia; mineralizaciones de la zona Sudportuguesa)

Se han realizado varios estudios generales sobre la mineralogía de las mineralizaciones desde un punto de vista general (García de Miguel, 1990; Routhier et al., 1980). Las asociaciones minerales más comunes están formadas por pirita, calcopirita, esfalerita y galena como minerales principales en proporciones variables, y por arsenopirita, tetraedrita, enargita, barita, magnetita, pirrotina, hematíes, casiterita, estannita, bournonita, jamesonita, oro, bismuto, como accesorios más comunes. Covellina, calcosina, goethita, lepidocrocita, jarosita, escorodita, bornita, son minerales de origen supergénico que aparecen en la parte más superficial de los yacimientos o en sus monteras ferrufinosas. Más excepcionalmente se encuentran minerales de Bi (witichenita, bismutina, aikinita y kobellita), o de Sb (gudmuntita, boulangerita, memeghinita) y sulfoarseniuros (cobaltina)

1.1.2.2. Geología de detalle del distrito minero de Aznalcóllar

El distrito minero de Aznalcóllar se encuentra en la zona más meridional de la Faja Pirítica Ibérica, en su límite con los materiales Terciarios. Esta zona es de gran importancia, no sólo por sus dimensiones sino por las características específicas de sus masas minerales conocidas. (Figura 1.9):

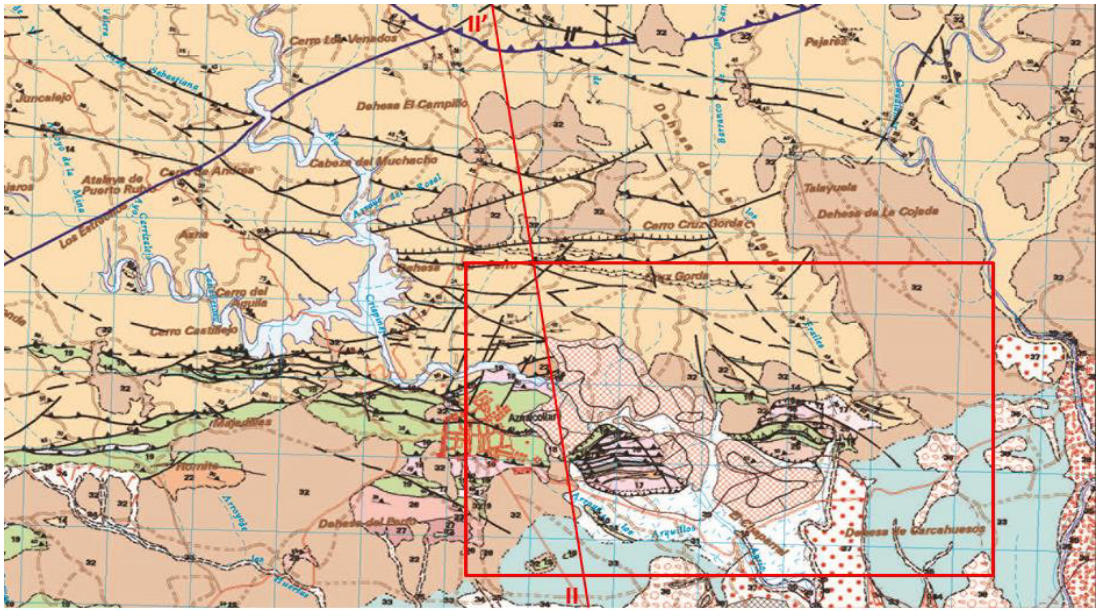


Figura 1.9 – Mapa geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961) Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía)

Geográficamente se encuentra situado en el término municipal de Aznalcóllar, perteneciente a la provincia de Sevilla, en el límite con Huelva. Queda a escasos kilómetros del pueblo con el mismo nombre y a unos 40 km de Sanlúcar la Mayor y 38 km de Gerena. El puerto de Huelva dista unos 90 km.

Dentro del distrito minero de Aznalcóllar se han explotado dos yacimientos considerados como gigantes y otras mineralizaciones de menor entidad, pero también significativas. En este distrito se reconocen los siguientes yacimientos de sulfuros masivos: La Zarcita, Caridad, Aznalcóllar y Los Frailes.

Al norte del distrito minero tienen un amplio desarrollo los materiales devónico pizarrosos del Grupo PQ, quedando separados del Complejo Vulcano-Sedimentario, escenario de la mineralización, por un importante cabalgamiento a escala regional. Como se observa en el corte geológico de la Figura 1.10 los materiales paleozoicos se encuentran afectados por pliegues y cabalgamientos de vergencia Sur y dirección E-O. Inmediatamente al Sur, y aun recubriendo en algunas zonas el Complejo Vulcano-sedimentario, se desarrolla un Mioceno discordante resultado de un proceso de transgresión marina.

.

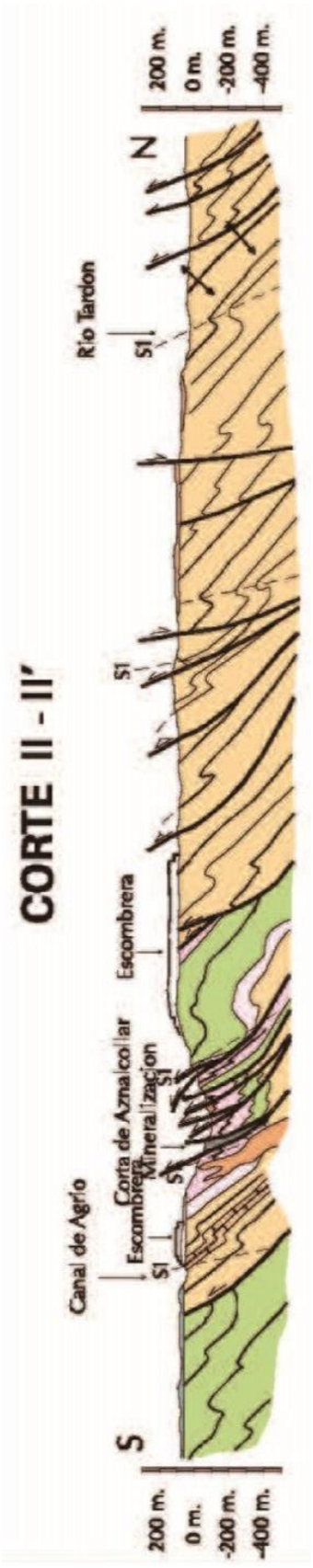


Figura 1.10 – Perfil geológico del Distrito minero de Aznalcóllar (Hoja 961). (Fuente: Junta de Andalucía)

Estratigrafía

En las inmediaciones del distrito minero de Aznalcóllar afloran materiales con edad Paleozoico y Mioceno.

Grupo PQ: esta unidad, de edad Devónico superior, aflora externamente al norte de los afloramientos del CVS en los que encajan las masas de sulfuros de Los Frailes y Aznalcóllar e inmediatamente al Sur del CVS, en una zona donde el Paleozoico está cubierto en su mayor parte por sedimentos miocenos y cuaternarios.

Componen el Grupo PQ una potente serie de pizarras, areniscas y grauvacas, con algunos lentejones de calizas y conglomerados.

Las pizarras son las rocas más abundantes de este conjunto. Generalmente son pizarras arcillosas de colores grises en roca fresca y rojizas cuando están alteradas. Son rocas de grano muy fino, que presentan una superficie de esquistosidad marcada. Están formadas por una matriz sericítica, en la que se aprecian a veces algunas fajitas milimétricas más silíceas, que son expresión de la primera estratificación.

Son también muy frecuentes niveles de pizarras arcillosas de color verde, de grano algo más grueso que las anteriores y con una esquistosidad menos penetrativa, por lo que presentan una disyunción en paquetes gruesos. Como en el caso anterior, delgadas bandas de material silíceo permiten apreciar las relaciones entre estratificación y esquistosidad.

Entre las pizarras arcillosas existen niveles de pizarras silíceas de color gris oscuro. Estas rocas están formadas por una matriz cuarzo-sericítica o silícea en la que se aprecian algunos granos de cuarzo. A veces presentan cubos o fajitas de pirita.

Las areniscas aparecen intercaladas entre pizarras en forma de lentejones y bancos con poca continuidad lateral. Son rocas de colores claros, grises o beiges, que presentan estructuras primarias tales como estratificación cruzada, “ripple marks” y sedimentación gradada, fundamentales para determinar la polaridad de la serie. Generalmente presentan una potencia de 5 a 20 cm, aunque excepcionalmente, como sucede en el río Crispinejo, 2 Km al norte de Aznalcóllar, pueden llegar a los 10 m con bancos de más de un metro de espesor.

Las grauvacas son rocas de color gris verdoso, que se presentan en bancos de algunos decímetros de potencia. Están formadas por granos de cuarzo y feldespato incluidos en una matriz arcillosa. A veces presentan cubos o fajas delgadas de pirita.

En el río Agrio o Crispinejo, afloran dos lentejones de calizas de pequeñas dimensiones. Son calizas grises, fétidas, con abundantes Crinoideos. Petrográficamente, son calcarenitas bioclásticas con granos subangulosos de cuarzo y matriz micrítica o microesparítica. Entre los bioclastos se reconocen fragmentos de Crinoides, restos de Algas referibles a Dvinella, Foraminíferos, próximos a Endothyra, y Fenestéllidos.

Por encima de las calizas, en este punto, aparecen 30 m de pizarras arcillosas grises, a las que sigue un banco de 10 m de potencia de lavas ácidas que se considera iniciación de Complejo vulcano-sedimentarios.

Este nivel de calizas, pese a no mostrar contenido fósil, se considera equivalente a los niveles carbonatados bioclásticos datados por conodontos como de edad Fameniense medio-superior (Pruvost, 1912; Boogard, 1963; Schermerhorn, 1971; Boogard y Schermerhorn, 1980,1981).

Complejo Vulcano-Sedimentario: de edad Devónico-Carbonífero (Struniense-Viseiense superior).

En la banda entre Aznalcóllar y Los Frailes, se han definido tres episodios eruptivos; dos ácidos y uno básico, que se describen a continuación:

- Vulcanismo ácido: adquiere una gran relevancia en la zona de Aznalcóllar, pudiendo diferenciarse dos etapas de vulcanismo ácido; una predominantemente riolítica y la segunda riodacítica. A lo largo del río Crispinejo, de sur a norte (X= 374.850; Y=4.326.750) se levantó la columna estratigráfica tipo (Figura 1.11) de esta fase eruptiva, la cual se detalla a continuación de muro a techo:

  - V1-V2: banco riolítico de 10-12 m de espesor, seguido por pizarras grises y negras de 400m de potencia. A techo aparece un banco de 20 m de potencia de riolitas masivas que se acuña lateralmente.
  - V3-V4: es un tramo principalmente pizarroso, con pizarras grafitosas de color negro que, al alterarse, adquieren coloraciones blancas. Su potencia es de 15 m. Hacia arriba y en tránsito gradual aparece un conjunto mineralizado fundamentalmente pizarroso en la base y piroclástico (con tobas y brechas) a techo. SU espesor total es de 110 m. La masa de pirita parece estar íntimamente ligada a las pizarras grafitosas, y en la parte superior, piroclástica, hay mineralizaciones de cobre como relleno en los planos de S1.
  - V5: Tramo pirocástico (brechas y aglomerados) con unos 80 m de potencia y algunos lentejones de pirita e intercalaciones de pizarras negras.
  - V6-V8: riolitas y riodacitas porfiroides esquistosadas que adquieren un gran desarrollo hacia el Oeste, sustituyendo a los niveles piroclásticos de brechas y aglomerados que aparecen a techo, con mayor desarrollo al Este. Encima aparece un horizonte pizarroso de gran continuidad en el afloramiento.
  - V9: brechas y aglomerados de cantos y matriz dacítica.
  - V10: delgado nivel de cinerítas silíceas de tonos violáceos y verdosos que marcan el paso al volcanismo básico.

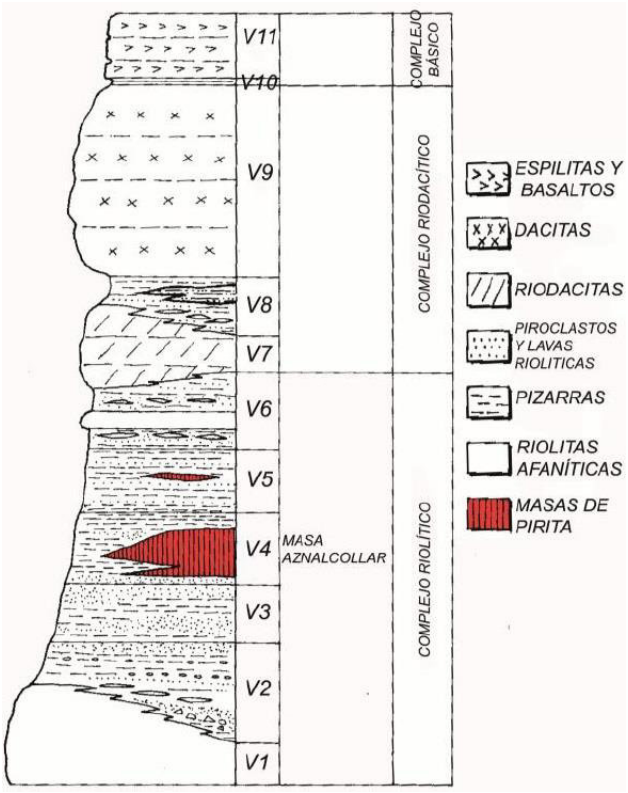


Figura 1.11 – Columna estratigráfica tipo del primer episodio de vulcanismo ácido, levantada a lo largo del río Crispinejo. (Modificada de Coullaut, J.L. et al., 1975)

- Vulcanismo básico: formado por basaltos y espilitas, aparece poco representado en las inmediaciones del yacimiento de Aznalcóllar, relegándose su aparición al núcleo de la estructura sinclinal de Aznalcóllar, constituyendo el techo de la serie estratigráfica local. (V11 de la Figura 1.11)

Rocas Intrusivas: asociados a la orogenia Hercínica afloran batolitos de extensión variable (granodioritas y tonalitas) y numerosos diques de cuarzo, porfídicos intermedios y básicos.

Tectónica

La faja Pirítica ha sido dividida en una serie de Unidades Tectonoestratigráficas, con características estratigráficas y estructurales propias, basadas en las variaciones de los materiales del CVS en relación con los rasgos estructurales. El distrito minero de Aznalcóllar se encuentra dentro de la Unidad de Aznalcóllar, con límites tectónicos con la Unidad de Zalamea-Berrocal y la Unidad Calañas-Valverde del Camino al Norte y Oeste; mientras que al Este y Sur, la Unidad Aznalcóllar desaparece bajo los materiales cenozoicos de la Cuenca del Guadalquivir. La Unidad Aznalcóllar queda dividida en tres subunidades de carácter sinclinal, más o menos falladas, separadas por cabalgamientos: Subunidad Caridad, Subunidad Aznalcóllar, Subunidad Hornitos (Figura 1.12).

Los contactos entre estas subunidades son accidentes cabalgantes de Fase F1, que han sido reactivados en la Fase F2

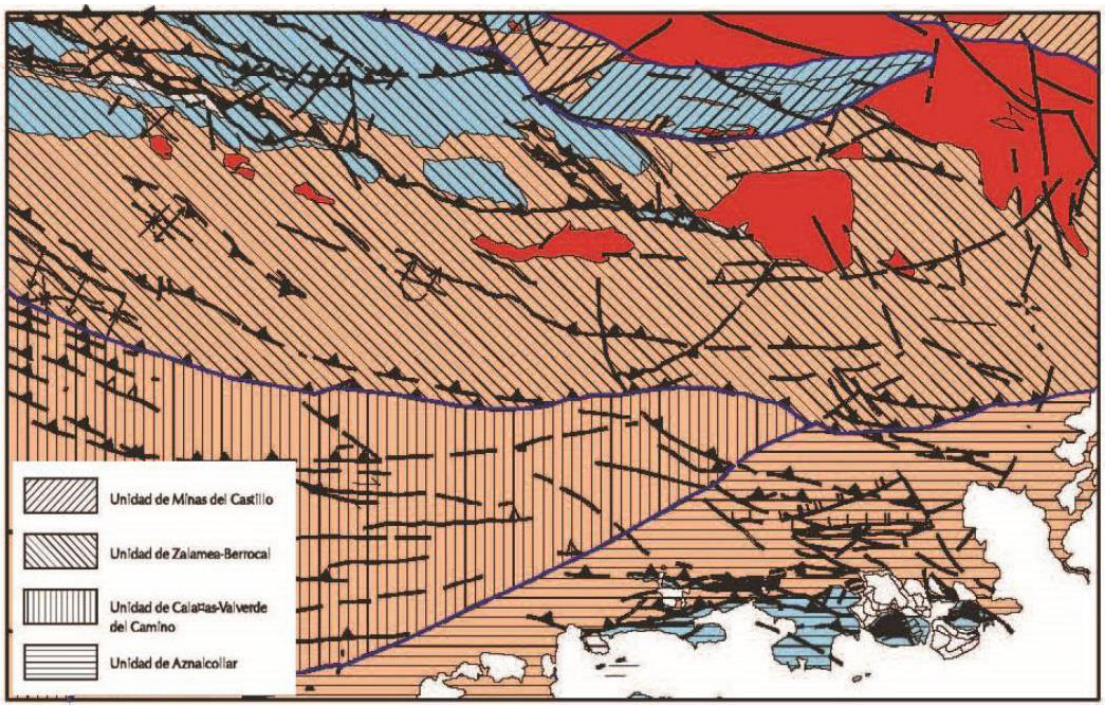


Figura 1.12 – Mapa sintético de las Unidades Tectonoestratigráficas en la Hoja 961 de la Junta de Andalucía. Escala 1:50.000. UTM-Huso 29. (Fuente: Junta de Andalucía).

Desde el punto de vista estructural la Unidad Tectónica de Aznalcóllar, se caracteriza por una serie de pliegues asimétricos, cerrados con dirección axial E-O y vergencia Sur, formados por deformación muy intensa en condiciones frágil-dúctil. Estas estructuras acompañadas de esquistosidad de plano axial, coincidente con la esquistosidad regional, desarrolla fallas inversas y cabalgamientos en el flanco sur de los pliegues, resultado de la deformación multifásica Hercínica que se describe a continuación.

En toda Faja Pirítica Ibérica, la primera fase de la deformación (F-1) de edad Wesfaliense medio, es la fase de deformación mayor para la región y la que le da su estructura casi definitiva. Durante esta fase se desarrollan pliegues de dirección general E-O, de vergencia Sur, acompañados de una esquistosidad S1 de plano axial, a menudo muy intensa, que buza al N (estereograma 1). Los anticlinales mayores son frecuentemente cabalgantes hacia el Sur.

La superficie de estratificación S0 forman pliegues que varían de la escala, milimétrica a kilométrica. Los pliegues menores son siempre isoclinales, pero a escalas mayores se observan algunos que no lo son. Se trata de pliegues bien desarrollados, con flancos normal e inverso generalmente conservados y de clara vergencia Sur.

Los ejes de éstos no son rectilíneos, presentando frecuentes cambios de dirección y buzamiento; de todas maneras están siempre comprendidos dentro del plano axial del pliegue, sin que esté presente deformación alguna. Con este tipo de geometría pueden obtenerse pliegues de direcciones perpendiculares entre sí, sin que ello implique la existencia de varias fases tectónicas. Este hecho se pone muy claramente de manifiesto en el estereograma número 1 (al N de la Zarcita), en el que se han representado 101 ejes y lineaciones L1, intersecciones de S0 y S1. Se observa claramente que la dispersión de éstos se realiza sobre la traza de los planos de esquistosidad. (Figura 1.13).

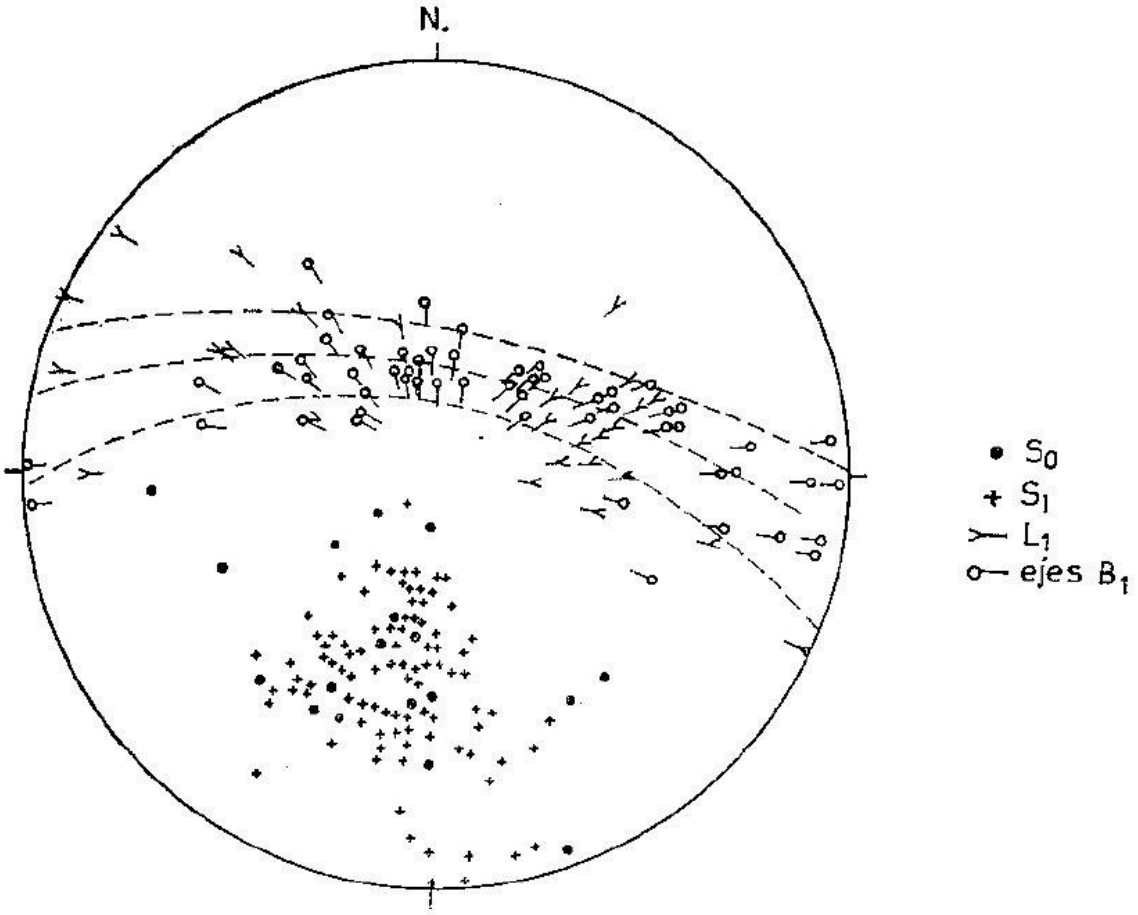


Figura 1.13 – Estereograma 1. (IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000)

SI en vez de considerar las superficies S0, consideramos el conjunto de capas plegadas, existen diferentes tipos de pliegues en Aznalcóllar. Cuando los pliegues afectan a materiales competentes en bancos potentes (cuarcitas, sobre todo) pueden originarse pliegues de tipo concéntrico. Cuando el espesor de la capa disminuye o el material es más incompetente, se pasa a pliegues en los que no se conserva el espesor de las capas, fenómeno que ocurre en la inmensa mayoría de los pliegues visibles en la zona. El caso extremo lo encontramos en las pizarras con lechos delgados de elementos volcánicos, en las que se desarrollan pliegues en los que las capas han aumentado notablemente de espesor en la charnela, presentando flancos a menudo laminados o inexistentes.

Frecuentemente los flancos sur de los anticlinales, o los contactos litológicos mayores han actuado como niveles de despegue con magnitudes de desplazamiento de mayor o menos importancia. El fenómeno puede variar desde el grado de simple despegue (contacto sur de la serie volcánica ácida con las pizarras en el río Crispinejo) hasta accidentes de envergadura.

Los pliegues van acompañados de una esquistosidad de plano axial muy desarrollada, de orientación general E-O y buzamiento N, que afecta a todos los materiales presentes en la zona, excepto a las rocas volcánicas muy compactas. La pirita masiva parece estar poco afectada, pero en ciertas zonas lo está la mena fajeada. Los granitos no están afectados por su carácter tardio-tectónico.

Esta esquistosidad es plana, paralela y penetrativa en las pizarras, y anastomosada en las rocas lávicas y grauvacas. En alguna de estas rocas particularmente duras, puede tomar el aspecto de una fracturación orientada. En general es muy intensa, enmascarando fuertemente a la estratificación, en particular en las rocas del complejo volcánico-sedimentario des sector de Aznalcóllar, donde ésta es francamente difícil de observar.

A escala de los elementos componentes de la roca, la deformación se manifiesta de varias maneras. En general éstos se encuentran estirados en la dirección de la máxima pendiente del plano de esquistosidad y acortados perpendicularmente a ella. Esto se manifiesta incluso a nivel de los granos de pirita, que en algunos casos aparecen rotos y disgregados incluidos en un recrecimiento de cuarzo orientado del tipo “shadow pressure”. Todos estos fenómenos que acaban de ser descritos permiten interpretar la esquistosidad S1 como un verdadero “slaty cleavage”, desarrollado perpendicularmente a la dirección de compresión mayor.

El comportamiento del conjunto del material depende de la competencia o incompetencia de la roca. En las pizarras negras y en ciertas rocas volcánicas el material ha fluido plásticamente, y existen todos los pasos intermedios hasta el comportamiento semirrígido (cuarcitas y ciertas rocas volcánicas). Evidentemente, el tipo de pliegues existentes en cada una de las rocas está en relación con su distinto comportamiento ante los esfuerzos tectónicos. Así el tipo de pliegues con charnelas engrosadas se da en los materiales que ha sufrido fluencia plástica y pueden ser considerados como “flow folds” desde el punto de vista genético. En los casos en que el estiramiento no ha sido uniforme se obtienen los pliegues de eje no rectilíneos pero situado siempre dentro del plano axial. En el caso de materiales muy competentes con escasa deformación íntima se obtienen únicamente pliegues concéntricos.

A escala de yacimiento, la deformación F-1supone la repetición y apilamiento de unidades estratigráficas, perdiendo su disposición primaria y apareciendo en algunos casos unidades de stockwork por encima de las unidades de sulfuros masivos. Este apilamiento tectónico de escamas de stockwork sobre la unidad de sulfuros masivo puede llegar a repetirse hasta cinco veces, lo que indica la gran complejidad tectónica de la zona.

Durante la segunda fase de la deformación (F-2) de edad Estefaniense, se desarrollan estructuras de escala hectométrica. A las estructuras anteriores, que se reactivan, se les asocian pliegues menores con planos axiales subverticales y vergencia sur. Se desarrolla una segunda esquistosidad S2 con planos subverticales, manifestándose en algunos casos como un strain slip cleavage.

La tercera fase de deformación es debida a unos esfuerzos principales orientados diferentemente a los de la fase anterior. Debe, por tanto, haber existido una cierta interrupción tectónica entre las dos.

Se manifiesta por pliegues desarrollados sobre la esquistosidad S1, de dirección N-S, y escala centimétrica a decamétrica, que a veces van acompañados de una fracturación del plano axial subvertical, que muy localmente pasa a ser un verdadero “strain slip cleavage” (estereograma 3, Figura 1.14). Quizá pueden atribuirse a esta fase las ondulaciones visibles en la esquistosidad S1 a escala hectométrica y también de dirección N-S.

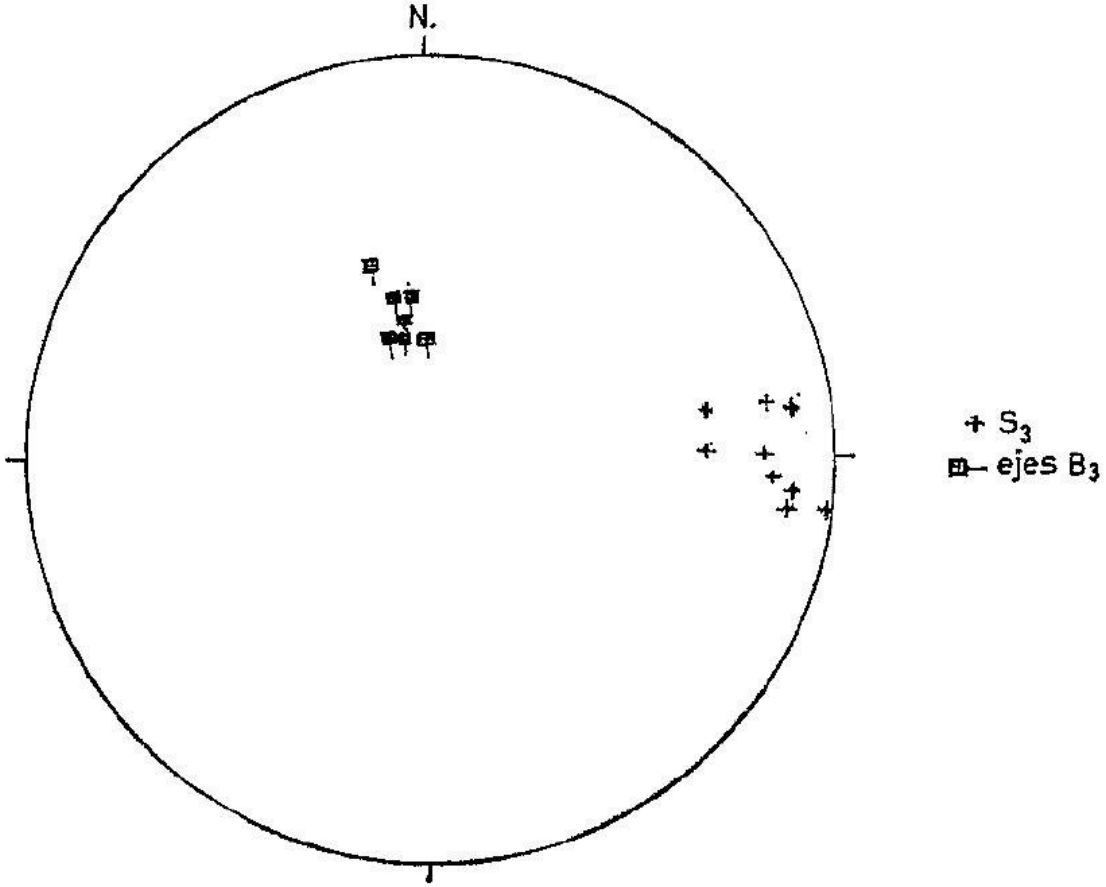


Figura 1.14 – Estereograma 2. (Fuente: IGME, Memoria Hoja MAGNA 961, Escala 1:50.000)

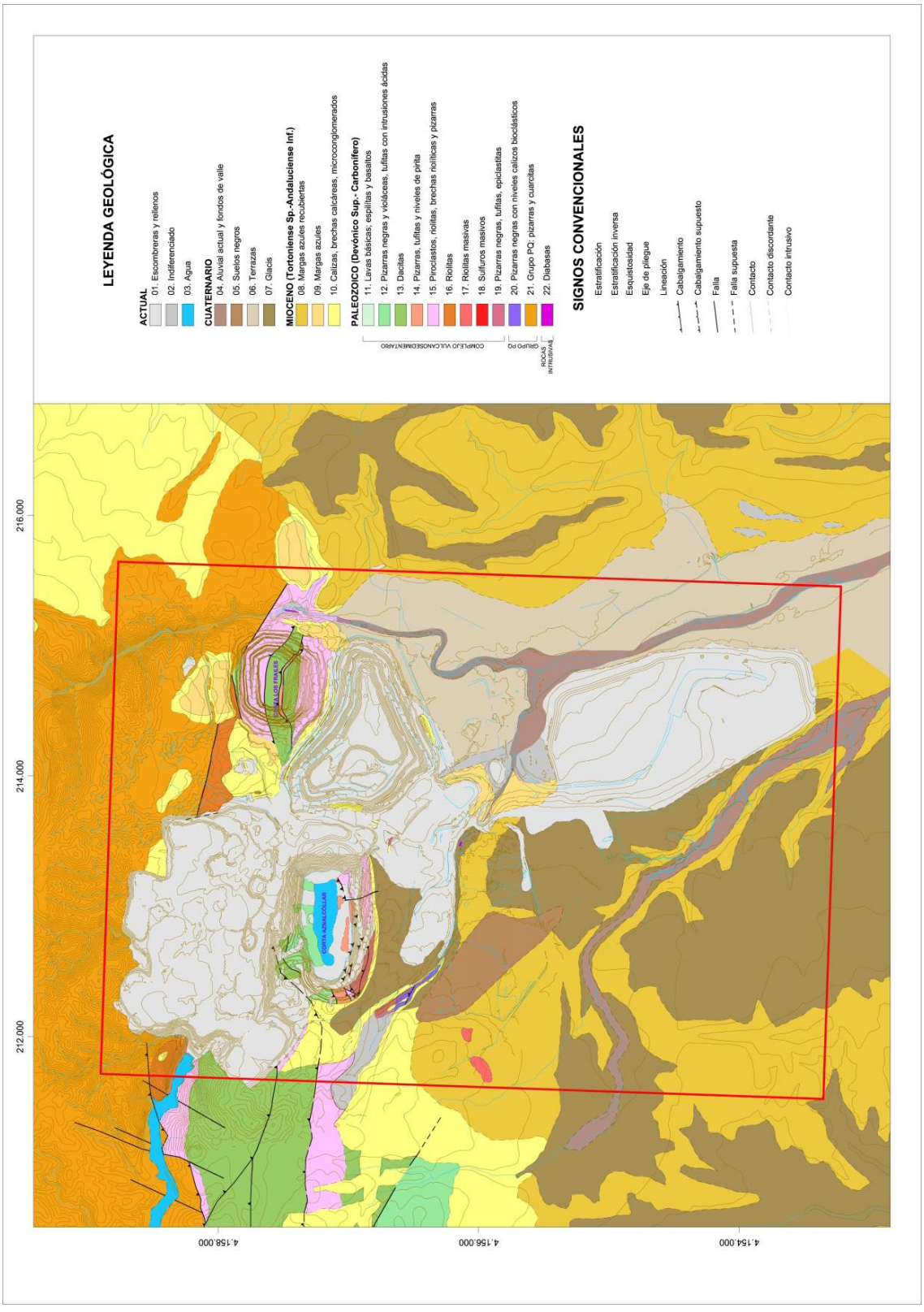


Figura 1.15 – Mapa geológico de los yacimientos Aznalcóllar y Los Frailes. (Fuente: Elaboración propia)

Mioceno

Los materiales vulcano-sedimentarios del distrito minero de Aznalcóllar se encuentran parcialmente recubiertos por materiales miocenos, aumentando progresivamente su espesor hacia el Sur, donde se inicia la Depresión del Guadalquivir. Estos materiales aparecen prácticamente subhorizontales, recubriendo de manera transgresiva y discordante los materiales paleozoicos, principalmente al Complejo Vulcano-Sedimentario.

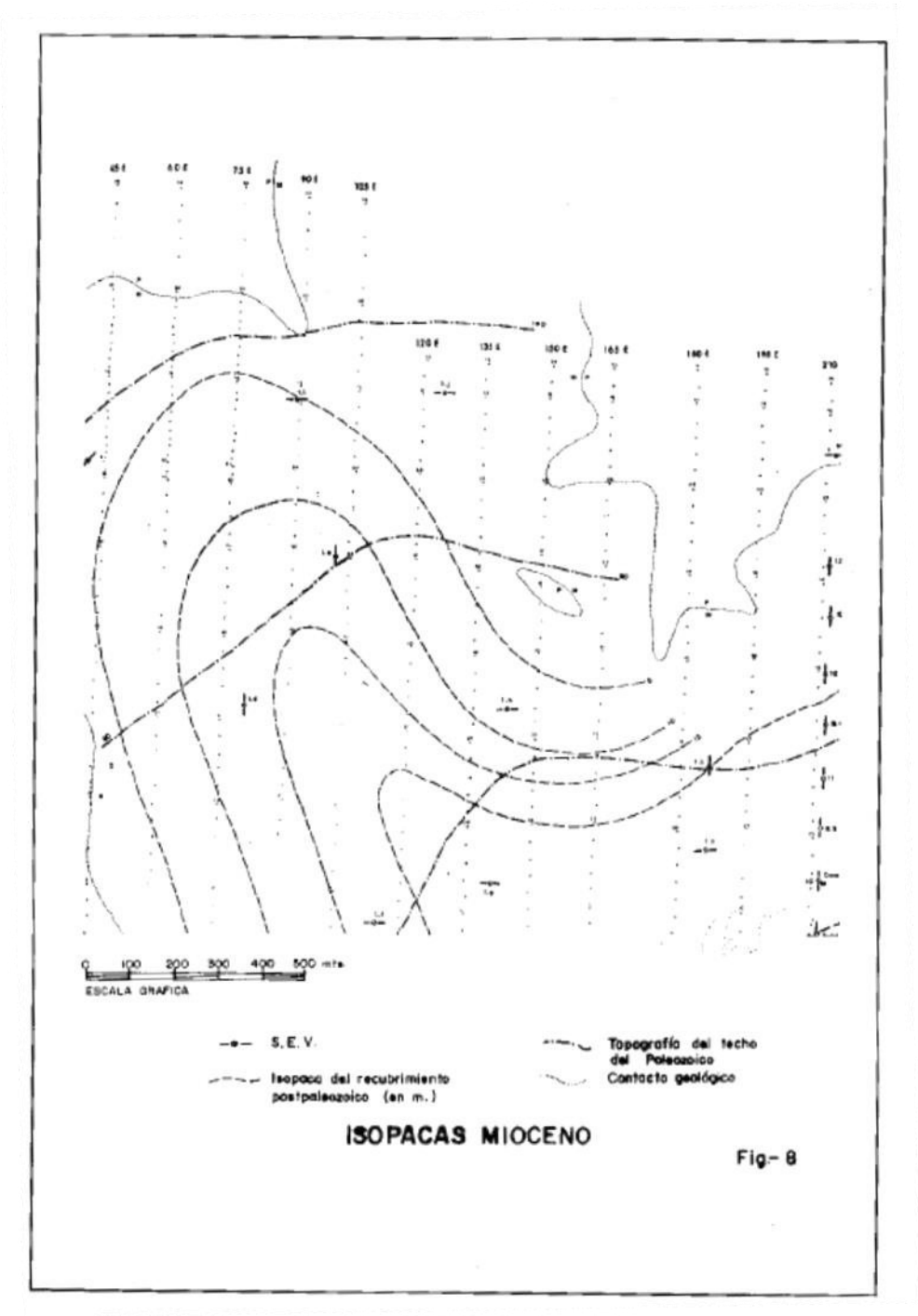


Figura 1.16 – Mapa de isopacas del Mioceno realizado en Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973.

Los materiales miocenos pueden dividirse en una unidad inferior de arenas, calizas conglomeráticas o brechoideas a conglomerados calcáreos considerada facies de borde, y una superior compuesta de margas gris-azuladas.

- Unidad Inferior o Fm. Niebla-Posadas: de edad Tortoniense superior, se compone por un conjunto de brechas calcáreas a conglomerados calizos, con cantos de pizarras, rocas volcánicas y cuarzo. Son frecuentes las intercalaciones de areniscas calcáreas microconglomeráticas y arenas, con presencia de microfósiles y macrofauna. Esta unidad corresponde al acuífero Niebla-Posadas, que descansa sobre un paleorelieve paleozoico, presentando una potencia variable, mayor en la zona central, donde puede llegar a 80 m, en contraposición de las potencias que alcanza hacia los extremos, oscilando entre 30-40 m, hasta acuñarse y desaparecer. En la zona del entorno de las mineralizaciones tiene una potencia máxima comprendida entre 10-20 m. El acuífero de Niebla-Posadas puede asimilarse como un cuerpo tabular con un buzamiento aproximado de 2º SE.

  Litológicamente se compone de dos conjuntos distintos, el inferior de carácter continental y el superior marino.

  Tramo inferior continental: comienza el tramo con conglomerados poligénicos con cantos heterométricos de pizarras, rocas volcánicas diversas, cuarzo, etc… con representación de todos los materiales paleozoicos. El cemento es arenoso, con escaso contenido en arcillas. Intercalados con los conglomerados aparecen niveles de microconglomerados, arenas y limos. El techo del tramo suele estar constituido por niveles de arenas conglomeráticas que muestran estratificaciones cruzadas, en ocasiones con carácter bimodal. Las estructuras sedimentarias indican su depósito en un medio acuoso. No se conoce su datación exacta, pero dada su relación con los sedimentos suprayacentes se considera que pertenecen al piso Tortoniense, dentro del Mioceno superior. Por su disposición topográfica se encuentra rellenando un paleorrelieve acusado, de tal forma que antes de la erosión postmiocena estos depósitos pudieron alcanzar un espesor superior a los 100 m en los lugares más favorables (por ejemplo: NO Aznalcóllar y Cauce del río Agrio)

  Tramo superior marino: sobre el conjunto anterior se produjo una transgresión marina que dio lugar al depósito de niveles de caliza, conglomeráticas y arenosas, a veces lumaquélicas, parcialmente recristalizadas, que contienen abundantes fósiles de algas, equinodermos, moluscos, foraminíferos, etc. El contacto con el tramo infrayacente es normal.

  En la columna de Arroyo de los Frailes tiene una potencia de unos 22 m, estando representado por un conjunto de brechas calcáreas a conglomerados calizos que engloban cantos de pizarras, rocas volcánicas y cuarzo. Existen todos los pasos a calizas brechoideas, arenosas (biomicritas) ricas en Lithothamnium, Heterostegina cf. complanata spiralis PAPP u KUPPER, Heterostegina gomez-angulensis PERCONIG, Amphistegina, Spiroplectammina aff. wrighti (SILVESTRI), Ammonia, Elphidium, Otstreidos, Brionoarios y restos de Equinodermos.

Son muy frecuentes las intercalaciones de arenas y areniscas calcáreas microconglomeráticas, de tonos blanquecinos con pasadas más margosas. En estos niveles, y en la columna de Arroyo de las Huertas, no se han reconocido los siguientes microfósiles: Ammonia becarii beccarii (LINNEO), A. beccarii inflata (SEG.), A. punctato granosa (SEG.), Nonion bouenaum (D´ORB.), Elphideum crispum (LINNEO), E. cf. exoletum (COSTA), E. cf. complanatum (D´ORB.), E. cf. fichtellianum (D´ORB.), Cancris auriculus (FICHT y MOLL), Cibicides lobatulus (WALKER y JACOB), C. cf. bellincionii GIANINI y TAVANI, Bolivina cf. robusta BRADY, Guttulina communis D´ORB., Asterigina planorbis D´ORB. y numerosas especies de Ostrácodos no determinadas específicamente.

La macrofauna de estos tramos detríticos y brechoides es también muy abundante, siendo particularmente notables la presencia de grandes Ostrea crassissima LAMARCK, así como Clypeaster altus LAM., Pectem maximus (LINNEO), Natica, Phola, etc.

El tramo cartográfico se asigna al Tortoniense superior, por contener Heterostegina. Desgraciadamente no se han observado Foraminíferos planctónicos, debido, sin duda, al carácter litoral del depósito.

- Unidad Superior: de edad Tortoniense superior- Andaluciense inferior es una serie monótona de margas azuladas y gris-azuladas compactas, ricas y microfósiles, principalmente foraminíferos. Hacia la base presentan niveles arenosos y limosos. Su potencia aumenta hacia el Sur, de modo que se conocen espesores del orden de los 300 m al norte de Sanlúcar la Mayor y superiores a los 1.000 m al Sur de Sevilla.

  En la zona del proyecto ocupa las cotas topográficas más elevadas, por encima de la serie descrita más arriba.

Cuaternario

- Margas y Limos. Coluvial: de poca entidad, constituidos por margas y limos con cantos polimícticos dispersos, más o menos abundantes, de rocas volcánicas miocenas de Facies de borde principalmente.

- Gravas, arenas y limos. Coluvial-aluvial: al igual que la unidad anterior, son depósitos de poca entidad producto del retrabajado de materiales coluvionares, dando acumulaciones de materiales groseros heterométricos, granosoportados con incrementos locales de la matriz areno-limosa.

- Gravas, arenas y limos. Aluvial (Terrazas): corresponde a las terrazas fluviales correspondientes al río Guadiamar, reconociéndose hasta tres niveles. La terraza superior de 25 m de espesor corresponde a arcillas rojas y marrones, con arenas con acumulaciones de gravas y cantos cuarcíticos. Las dos terrazas inferiores de 10 m y 3-5 m respectivamente están constituidas por arenas de fracción limo-arcilla con lentejones gravas de menor proporción que la terraza superior.

- Cuaternario antrópico: corresponde a las escombreras de la corta de Aznalcóllar y los Frailes, así como las balsas de lodos de las minas. Por otra parte cabría

señalar las grandes extensiones con recubrimiento producido por los trabajos forestales de repoblación en áreas de materiales PQ.

Mineralización

El distrito minero de Aznalcóllar se considera un yacimiento de sulfuros masivos, al tener una mineralización formada por más de un 60% de sulfuros. Se encuentra compuesto por pirita masiva y cantidades variables de esfalerita, galena y calcopirita (Figura 1.17).

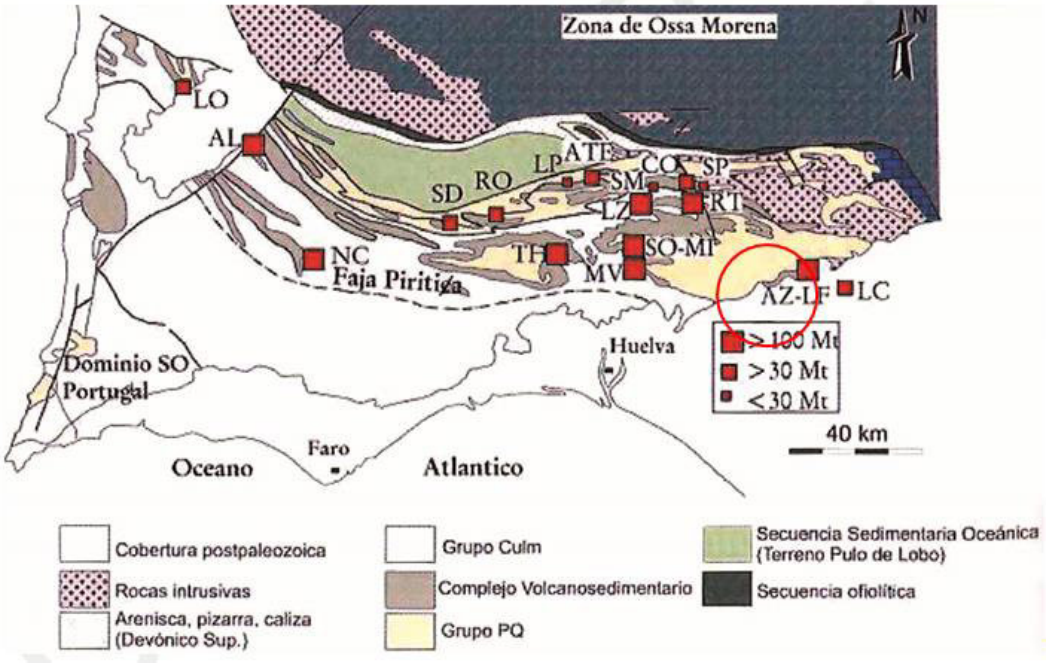


Figura 1.17 – Localización del yacimiento en el esquema geológico de la Faja Pirítica Ibérica. (Fuente: Revista Sociedad Española de Mineralogía, Macla nº10 – Tornos Arroyo, F. 2008)

Las mineralizaciones de esta zona fueron ya trabajadas por los romanos, recuperando su actividad en el siglo XIX. Entre los años 1876-1942 la Compañía Seville Sulphur and Copper comienza la explotación de una amplia corrida de lentejones de pirita, de 850 m de largo, 60 m de potencia acumulada y hasta 300 m de profundidad. Al principio sólo se explotaron los recursos superficialmente, hasta unos 100 m, para posteriormente explotar a cielo abierto y mediante minería de interior las masas Cuchichón, Pañoleta, Santiago, Higuereta, Silillos, Filón Medio y Filón Sur. Estos siete filones suelen agruparse como si se tratase sólo de tres criaderos; El Cuchichón que comprende los tres primeros, Silillos e Higuereta (Tabla 1.2)

Durante los años de la Guerra Civil y la Guerra Mundial, las labores se vieron prácticamente suspendidas con unos menguados ingresos de la venta de la cáscara de cobre, que se obtenía beneficiando por cementación las aguas de la mina y regando el mineral de la plaza, para su descobrización, por el clásico procedimiento del canaleo.

AÑO	CUCHICHÓN		SILILLOS		HIGUERETA		TOTAL GENERAL
	Mineral Cobre	Total	Mineral Cobre	Total	Mineral Cobre	Total	
1904	24.864	42.513	4.986	16.449	758	4.739	63.701
1905	27.581	35.925	10.426	22.493	3.606	3.982	62.400
1906	26.400	36.061	16.335	27.901	8.216	8.796	72.758
1907	29.349	37.448	12.768	23.683	8.075	12.390	73.521
1908	23.097	38.044	18.701	31.391	6.109	9.712	79.147
1909	24.772	39.098	11.442	27.610	8.240	15.252	81.960
1910	25.618	41.276	13.906	25.189	15.109	18.934	85.399
1911	28.200	42.283	4.701	7.651	8.540	18.719	68.653
1912	35.562	55.076	6.311	14.864	3.243	20.547	90.487
1913	38.979	66.001	5.801	19.622	3.285	18.585	104.208
1914	19.906	29.843	2.636	15.021	-	6.208	51.072
1915	13.233	36.779	-	11.344	-	29.263	77.386
1916	15.864	48.083	1.695	11.404	2.077	33.657	93.144
1917	6.259	19.242	557	889	2.743	17.989	38.120
SUMAS	339.684	567.672	110.265	255.511	70.001	218.773	1.041.956

Tabla 1.2 – Producción en toneladas de los filones entre los años 1904-1917 (Pinedo, 1963)

En 1954 Peñarroya, S.A. se hizo con la dirección de la explotación, interesados por las altas leyes de azufre, plomo y zinc existentes. En 1960, la compañía Andaluza de Piritas, S.A. (APIRSA) toma el mando de la actividad, con la explotación de la masa Cuchichón hasta 1970, cuando comenzó la explotación integral de todas las masas a cielo abierto con la conocida como la Mina Aznalcóllar. Durante esta etapa se llevaron a cabo numerosos estudios de investigación minera con el descubrimiento de la masa de Los Frailes, a escasa distancia de la de Aznalcóllar hacia el Este (Figura 1.18).

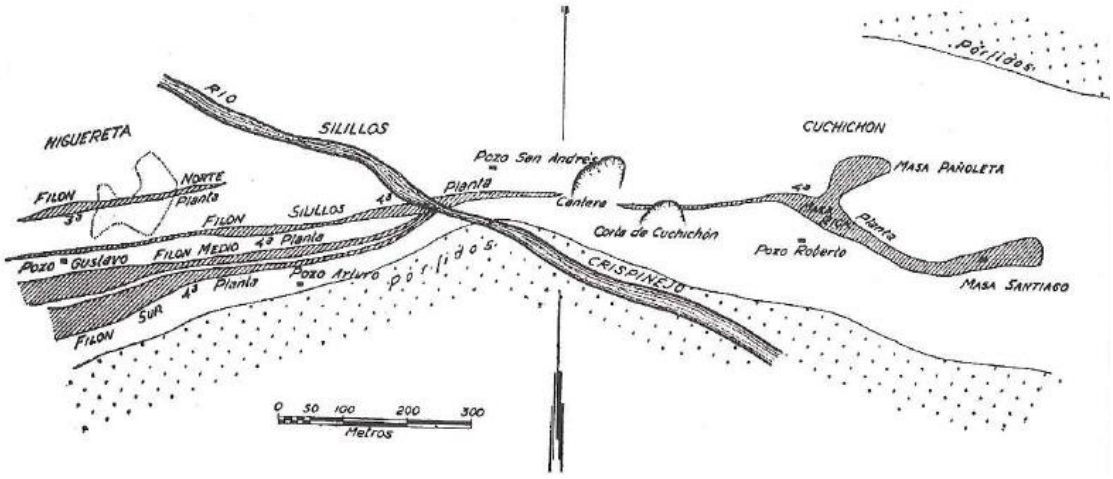


Figura 1.18 – Localización de las masas minerales y las antiguas labores (Pinedo, 1963)

Depósito de Aznalcóllar:

El depósito de Aznalcóllar se encuentra asociado a una estructura sinclinal de dirección E-O, con abundantes escamas de cabalgamiento de vergencia Sur, formado bajo condiciones hidrotermales posiblemente sincinemáticos. La roca encajante es predominantemente epiclástica o vulcanosedimentaria.

La corta de Aznalcóllar fue abierta sobre las mineralizaciones de El Cuchichón, Silillos e Higuereta, presentando una zona mineralizada de longitud próxima a los 1.500 m, con espesores máximos de 20 m, estrechándose hacia los bordes y buzando 45º al Norte. Estos depósitos de forma lenticular, presentaban en el caso de Cuchichón y Silillos monteras ferruginosas, muy silíceas y de espesor variable, tras las que aparecían los minerales cobrizos llegando a profundidades de 111 m en Cuchichón, 96 m en Pañoleta, 56 m en Silillos y 30 m en Higuereta, desde la base de la cobertera ferruginosa. Una vez explotados los criaderos secundarios cobrizos se explotaron los criaderos de pirita, con leyes de 46-49% S y del 0,4-0,5% Cu.

El tonelaje estimado (1993) para la masa de Aznalcóllar es de un total de 90 Mt de sulfuros con leyes: 0,51% de Cu, 0,85% de Pb, 1,8% de Zn, 37 g/t de Ag y 0,48 g/t de Au.

A continuación se detallan las características de las masas explotadas, descritas por Pinedo Vara, 1935:

Masa Cuchichón: es la más importante y se consideraba dividida en tres zonas Pañoleta, Cuchichón y Santiago. Las dos últimas se encuentran siguiendo una clásicia alineación herciniana, en cuya parte Oeste queda la de Cuchichón y la otra en el extremo Este. La zona Pañoleta era un saliente hacia el Norte en los niveles superiores. La masa Santiago se explotó a través de un pozo del mismo nombre de 205 m de profundidad.

Departamento de Silillos: en Silillos se engloban las mineralizaciones de Silillos y Filón Sur, que quedan entre los pozos San Guillermo y San Andrés. La extracción se hacía por los pozos San Andrés (73 m) y Arturo.

Departamento de Higuereta: En el sector de Higuereta está la otra parte de la masa de Silillos y del filón Sur, el filón Norte y el filón Intermedio. La extracción se hacía a través del pozo Gustavo (101 m).

Inicialmente las masas minerales se explotaron a través de pozos; pozo Santiago en el caso de parte de Cuchichón, pozo en el caso de Silillos y pozo Gustavo en Higuereta. Su explotación se prolongó entre los años 1975-1996.

Depósito Los Frailes:

El depósito de Los Frailes, situado a 1,5 km al NE de la masa de Aznalcóllar, se encuentra en la misma posición estratigráfica, asociado a una estructura anticlinal cerrada de dirección E-O, atravesada por una falla inversa que afecta a materiales de composición riodacítica-dacítica. Presenta dirección E-O con buzamientos variables de 30-50 º al Norte en el flanco normal. Tanto al Norte como Sur de estos materiales aparecen depósitos de hialoclástitas ácidas.

El depósito de Los Frailes, descubierto por APIRSA, en 1973 estuvo en explotación a cielo abierto entre los años 1996-2001, sin finalizar la explotación de sus recursos.

El tonelaje estimado (1995) para Los Frailes es de 70 Mt de sulfuros con 0,34% de Cu, 2,25% de Pb, 3,92% de Zn y 62 g/t de Ag. La masa mineralizada tiene unos espesores de unos 60 m y se localiza a profundidades de 250-300 m. El depósito queda abierto en profundidad y lateralmente

Boliden Apirsa, S.L. en su estudio Modelo de zonación de Cu, Pb, Zn y Ag en el yacimiento de sulfuros masivos polimetálicos “Los Frailes”. Su aplicación en la realización de un modelo bloques zonado. (Pons, J.M., Agmalm, G., Maestre, A.J.), destaca las siguientes conclusiones relacionadas con la mineralización del yacimiento de “Los Frailes”:

- Esfalerita y galena aparecen en bandas con continuidad lateral de varios metros, siendo un rasgo importante en el control de calidad de distribución de leyes en el yacimiento.
- El Cu se presenta de manera homogénea en el yacimiento, con la tetraedrita y la calcopirita como minerales más característicos.
- La relación Pb/Zn se mantiene con valores medios 0,6-0,7, y su índice de correlación estadística está en torno a 0,9.
- La relación Cu/Pb+Zn es inversa en todo el yacimiento, aumentando los valores de Cu cuando disminuyen los de Pb+Zn.
- Se han encontrado correlaciones estadísticas entre los elementos mayoritarios Zn y Pb y los elementos minoritarios Ag, Hg, Bi, Sb, Ti y As.

Depósito Caridad:

La mina Caridad se localiza a 1 km al N de Aznalcóllar, justo al norte del cabalgamiento que afecta al flanco norte del sinclinal de Aznalcóllar. Estratigráficamente se encuentra en la misma disposición que el yacimiento de Aznalcóllar, encajado entre pizarras negras y tufitas finas, situadas a techo de tobas del vulcanismo inicial ácido. La mineralización es estratiforme, con orientación N110 y buzamiento 35º N, con una longitud de 680 m y potencia de 8-12 m. La masa se encuentra cortada por fallas de dirección N145º-N130º.

Este yacimiento se explotó con minería de interior, desde mediados del siglo XIX hasta el año 1926, cuando SMMP puso fin a su actividad. APIRSA realizó dos sondeos 160 m al norte de la corrida mineral hasta 300 m sin cortar la masa en profundidad.

En total se estima que se extrajeron alrededor de 1 Mt, indicando unos recursos de 4 Mt. (Rubio, 1926), con unos contenidos de entre 2-2,5% Cu; 1,1% Pb, 1,45% Zn en el pozo Calderón y 7,08% Zn, 6,2% Pb en el pozo Dolores (Pinedo, 1963).

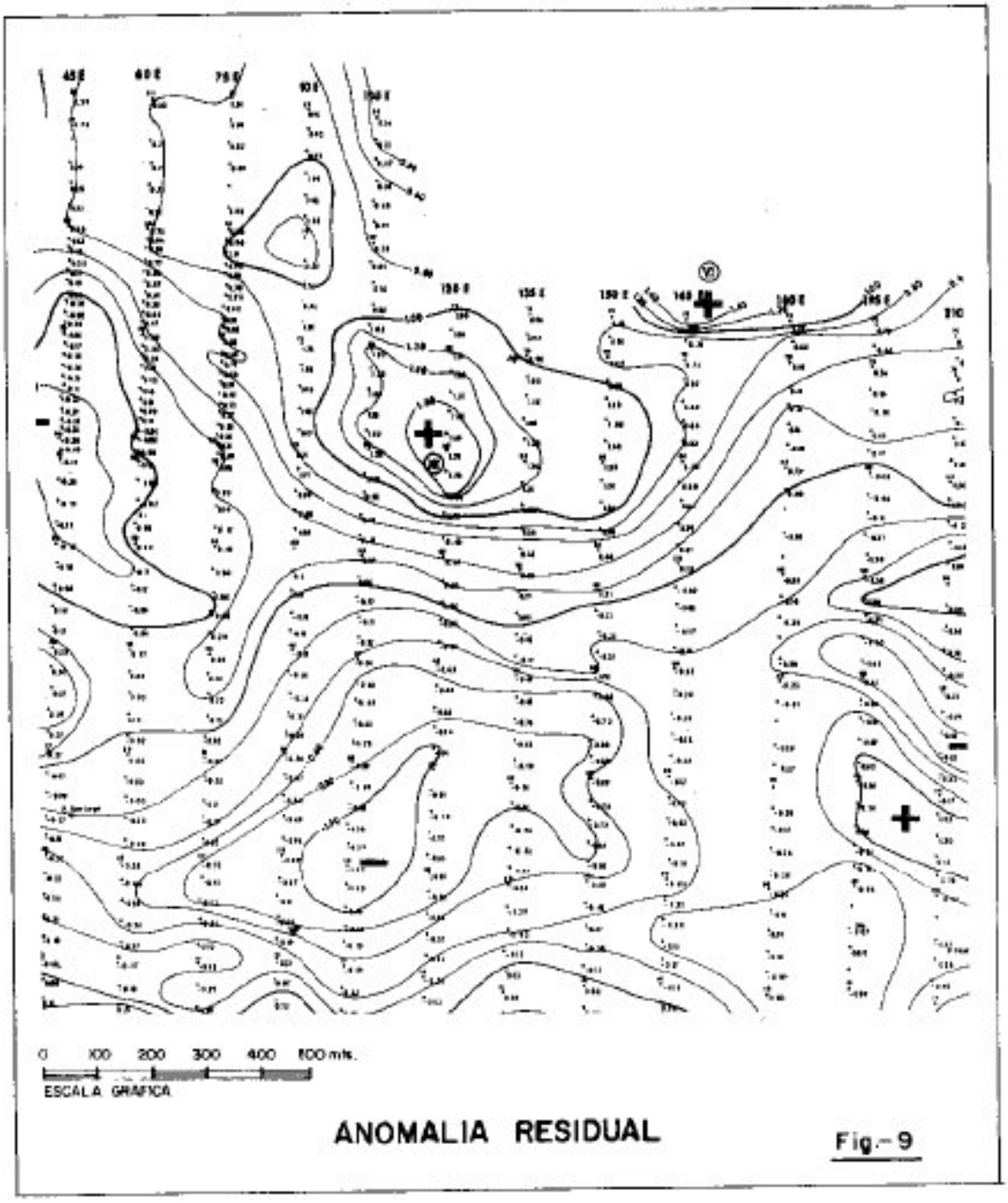


Figura 1.19 – Mapa de anomalía residual en el entorno de Aznalcóllar, en los ensayos gravimétricos. Investigación de Piritas y Sulfuros Complejos en la zona de Aznalcóllar (Coullaut, J.L., Soler, M, Antón, J.A.) en 1973.

Paragénesis

La paragénesis mineral de los yacimientos de Aznalcóllar y Los Frailes está constituida por pirita, esfalerita, galena y calcopirita como minerales principales. Como minerales accesorios puede encontrarse plata, bismuto, melnicovita, arsenopirita, marcasita, cobre grises, bournonita, meneghinita, ilmenita, bornita, covellina y calcosina. Como minerales de ganga destacan el cuarzo y la clorita, calcita, siderita, sericita en menor proporción.

A continuación se detallan las características principales de los minerales de mena principales:

- Pirita (FeS_2): es el mineral más abundante, disminuyendo su proporción hacia los bordes. La pirita aparece en diferentes formas;
  - Pirita idiomorfa: con diferente tamaño de cristales, con crecimiento cristalino durante el metamorfismo con inclusiones rellenas de calcopirita, pirrotina o galena. La ganga asociada es cuarzo fibroso y clorita.
  - Pirita masiva: muestra una textura zonada con bordes de zonación asociados a otro mineral, generalmente galena.
  - Pirita brechoide: asociada a zonas de fracturas.
  - Pirita geliforme: pirita primaria.
  - Pirita nodular: con forma de esférulos o framboideos.
- Esfalerita (ZnS): es el segundo mineral en importancia. La textura más típica con la que se presenta es coloidal, formando una pátina alrededor de la pirita y rellenando huecos.
- Calcopirita ($CuFeS_2$): se encuentra presente en todo el yacimiento, con variaciones en su proporción. Puede aparecer con formas porosas, coloidales, en inclusiones de pirita, en mosaico y en texturas de evolución.
- Galena (PbS): se presenta en masas alotrimorfas o rellenando huecos. Suele aparecer asociada a la esfalerita, presentando sus mismas texturas.
- Plata nativa (Ag): se presenta como inclusiones dentro de la galena y en los huecos dejados por la pirita.
- Bismuto nativo (Bi): aparece incluido en la galena.
- Melnicovita (pirita coloforme S_2Fe): es un sulfuro de hierro inestable que evoluciona constantemente a marcasita, pirita o una asociación de ambos.
- Arsenopirita (FeAsS): aparece como diseminado y en proporciones muy variables. Está asociado a la pirita. Las grietas que presenta se suelen rellenar de galena, calcopirita y minerales ganga.
- Marcasita (S_2Fe): se presenta como producto de descomposición de la pirrotina, singenéticamente con la pirita, recristalizada con la pirita y asociada a la ganga.
- Cobres grises (Cu): se incluyen todas las especies minerales químicamente heterogéneas, con contenido en cobre. Suelen mostrarse como inclusiones en la pirita, rellenando huecos dejados por la pirita, cementando fracturas, como películas intergranulares…
- Bournounita ($PbCuSbS_3$): asociado siempre a la galena, cobres grises, meneghinita.
- Meneghinita ($Pb_{13}CuSb_7S_{24}$): rellenando huecos de pirita o cementando fracturas.
- Ilmenita (TiO_2Fe): asociado a la ganga con morfología alotriomórfica, a veces reemplazado por goetita.

- Pirrotina (Fe1-xS): se presenta de manera constante aunque en proporciones pequeñas, asociado a la pirita.

  Rutilo (TiO_2): se presenta en dos texturas; como agujas y como granos redondeados. Es un mineral accesorio aunque de presencia constante

Alteraciones hidrotermales

Tanto el yacimiento de Aznalcóllar como el de Los Frailes se encuentran asociados a las pizarras negras del primer episodio de vulcanismo ácido, las cuales aportan al paso de los fluidos hidrotermales por los canales de alimentación (stockwork) el azufre necesario para la precipitación de sulfuros, en condiciones de restricción de oxígeno.

Debajo de las masas de sulfuros, se encontraba los cuerpos de stockwork, zona de ascenso de los fluidos hidrotermales. Se observa que el ascenso de fluidos tuvo lugar en tres fases diferentes, mostrando una zonación en los materiales según las alteraciones sufridas.

- 1ª Fase de alteración hidrotermal: silicificación.
- 2ª Fase de alteración hidrotermal: seritización, silicificación y piritización.
- 3ª Fase de alteración hidrotermal: cloritización. Es la más intensa, aunque la menos extensa. Esta última fase aporta un enriquecimiento en Cu, y otros metales minoritarios: Co, As, Bi.

1.1.2.3. Modelo geológico de Los Frailes

El modelo geológico actual se ha realizado a partir de la información existente de sondeos que datan de los años 1987-1998, realizados por Boliden Apirsa S.L.

El depósito de Los Frailes, situado a 1 km al NE de la mina de Aznalcóllar, en la Figura 1.15, presenta una zona mineralizada de hasta 90 m de potencia, entre los 250-350 m de profundidad. El yacimiento presenta zonas mineralizadas de baja y alta ley en Pb, Zn y Cu. La masa de pirita buza entre 30-50º, suavizándose el buzamiento en profundidad, donde se engrosa. Las mineralizaciones más enriquecidas se encuentran asociadas a la masa de pirita del bloque superior. La longitud conocida de la masa de pirita es superior a los 800 m.

Estratigrafía

Todo el yacimiento se encuentra afectado por fallas y una esquistosidad muy penetrativa, lo cual dificulta la identificación de las texturas primarias.

Los materiales del Complejo Vulcano-Sedimentario que aflora en esta área minera se encuentran cabalgados al Norte por materiales del Grupo PQ de edad devónica, desapareciendo al Sur bajo materiales miocenos, que van ganando potencia en esa dirección.

La parte menos conocida se corresponde con el bloque inferior del yacimiento, ya que pocos sondeos la han intersectado. Sin embargo se puede afirmar que la parte superior del bloque inferior se compone de pizarras negras y areniscas con intercalaciones de riolitas y dacitas, ligeramente porfídicas con una potencia de 20-30 m. Por debajo las rocas son volcánicas y progresivamente más porfídicas, con secciones similares a la dacita del bloque superior.

La secuencia del yacimiento de muro a techo, es la siguiente:

- Secuencia del bloque inferior: riolitas y dacitas ligeramente porfídicas con frecuentes intercalaciones de pizarras negras y areniscas de grano fino hacia el techo. Intersectado un máximo de 70 m en los sondeos.
- Mineralización: se han definido dos partes, una superior de sulfuros masivos y una inferior de reemplazamiento y de mineralización en venas.
- Dacita porfídica: unidad masiva de dacita porfídica de grano grueso, ocasionalmente brechificada. Potencia variable entre 50 y 120 m. La esquistosidad puede variar su textura localmente.
- Brechas riolíticas: paquete de 90 a 200 m de espesor de riolitas con diferentes texturas: brecha monomíctica y polimíctica, riolita coherente y brecha riolítica por sobreenfriamiento.
- Pizarras negras con lentejones de riolitas.
- Pizarras y areniscas en secuencia turbidítica.

Existen algunos niveles guías de referencia; unos pocos metros de limolitas negras y verdes con lentes hematíticas en el contacto entre la dacita porfídica y las brechas riolíticas y un nivel de pizarras negras, areniscas y conglomerados dentro de la unidad de brechas riolíticas, así como algunos metros de limolitas rojas y verdes en el bloque inferior.

Estructura

La estructura principal en el yacimiento consiste en una serie de pliegues isoclinales con plano axial buzando moderadamente hacia el norte, igual que la esquistosidad principal S1. Estos pliegues se encuentran truncados por zonas de cizalla y fractura buzando hacia el norte. Los pliegues tienen una longitud de onda de 500-800 m en dirección N-S y son asimétricos con un flanco normal largo buzando suavemente y un flanco inverso de buzamiento pronunciado, ambos hacia el norte. (Figura 1.20).

Localmente aparecen pliegues de segunda generación con presencia de clivaje de fracturación y kink-bands.

El principal pliegue de segunda generación observado es un sinclinal abierto, definido por la curvatura de la masa de sulfuros a los -100 m. Las fábricas parecen mostrar un plano axial buzando de moderada a fuertemente hacia el sur.

Al igual que ocurre regionalmente, en Los Frailes el flanco corto del anticlinal se encuentra afectado por un cabalgamiento dúctil, desplazando el flanco normal del anticlinal en el que se desarrolla el depósito hacia el sur.

Los sulfuros masivos que se han cortado en Los Frailes hasta los -120 m de profundidad se ha interpretado como la charnela de un anticlinal apretado, isoclinal, de acuerdo a la repetición de la estratigrafía a ambos lados del cuerpo, mientras que a profundidades mayores de -200 m se puede concluir que los sulfuros masivos tiene polaridad normal hacia el norte, correspondiente al flanco normal del anticlinal.

Los cabalgamientos y las fallas inversas que aparecen en el área de Los Frailes pertenecen a la fase de deformación F-1, en la subfase que da lugar a la formación de escamas por laminación de los flancos cortos de los pliegues (P1). La estratificación está frecuentemente enmascarada. Las superficies y los planos mejor identificados en muchos casos son las superficies de esquistosidad S1. Los cabalgamientos y fallas inversas, con dirección aproximada E-O muestran buzamientos que oscilan entre 30-40º, oscilando entre los 20 y 70º. Los planos de falla coinciden en muchos casos con la esquistosidad S1 (Pons et al, 1993).

Teniendo en cuenta el desarrollo de las zonas de cizalla y planos milonitizados no es posible pensar en desplazamientos superiores a la centena de metros para las fallas inversas asociadas a la mineralización. Sin embargo, con el mismo criterio los desplazamientos asociados a los cabalgamientos fuera de fase en los alrededores de Los Frailes serían de importancia. Las fallas inversas producen engrosamientos en los niveles mineralizados, sin llegar a producir el apilamiento de varias repeticiones, ni de situar niveles de stockwork por encima de los sulfuros masivos (Pons et al, 1993).

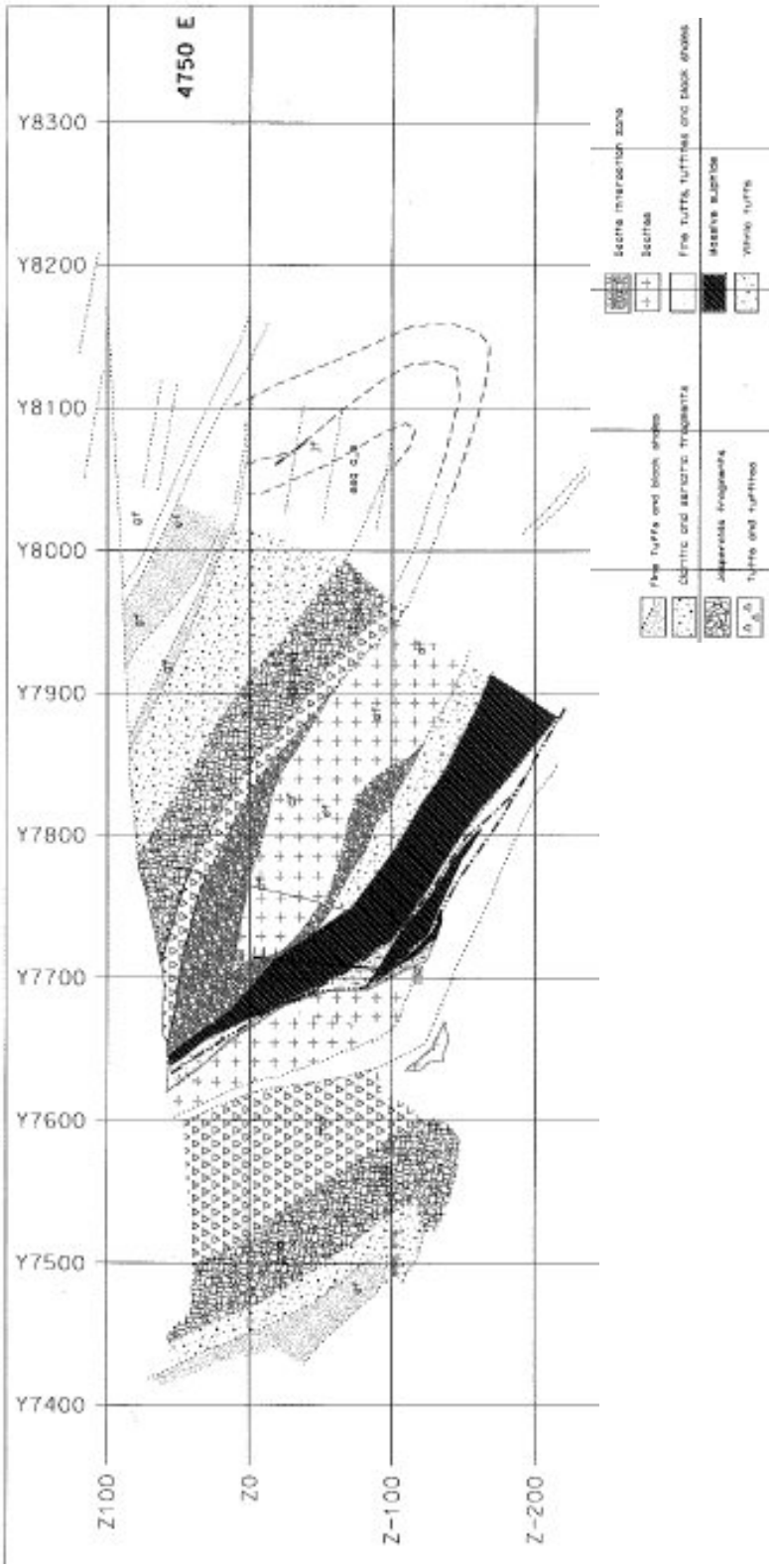


Figura 1.20 – Perfil geológico (4750) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990)

Se han definido tres fallas principales (S.J.Allen, 1997), que aparecen en el perfil estructural, correlacionables en diferentes secciones (Figura 1.21):

- TZ-10: zona de cabalgamiento de dirección ESE-OSO, buzando entre 25 y 30º norte, al menos hasta una profundidad de 100 m. Su posición y desarrollo hacia el este, oeste y en profundidad es incierto. Tiene un relleno de fractura delgado.
- A: plano con relleno de 0,5-1 m, principalmente en el bloque inferior con buzamiento 45º norte.
- MF: relleno de 1 a 5 m, con fracturación asociada en el cuerpo mineral y buzamiento de 60º norte.
- TZ5: cabalgamiento con dirección 55º/025º identificado al SE de la corta minera. Afecta a esquistos cloríticos y sericíticos.

Por otro lado se observan dos familias de esquistosidades, la primera S1 más penetrativa, presenta buzamientos de 40-70º norte, mientras que la segunda S2, muestra planos más espaciados y buzamientos más suaves, 25-35º norte. La falla TZ-10 y otras estructuras menores son paralelas a esta esquistosidad.

Se puede concluir que el cuerpo de sulfuros masivos de Los Frailes aparece asociado a un anticlinal cizallado, isoclinal de primera generación que ha sido cortado por dos o tres generaciones de fallas. El pliegue de segunda generación asociado a la masa de sulfuros es interpretado como un pliegue de propagación de falla.

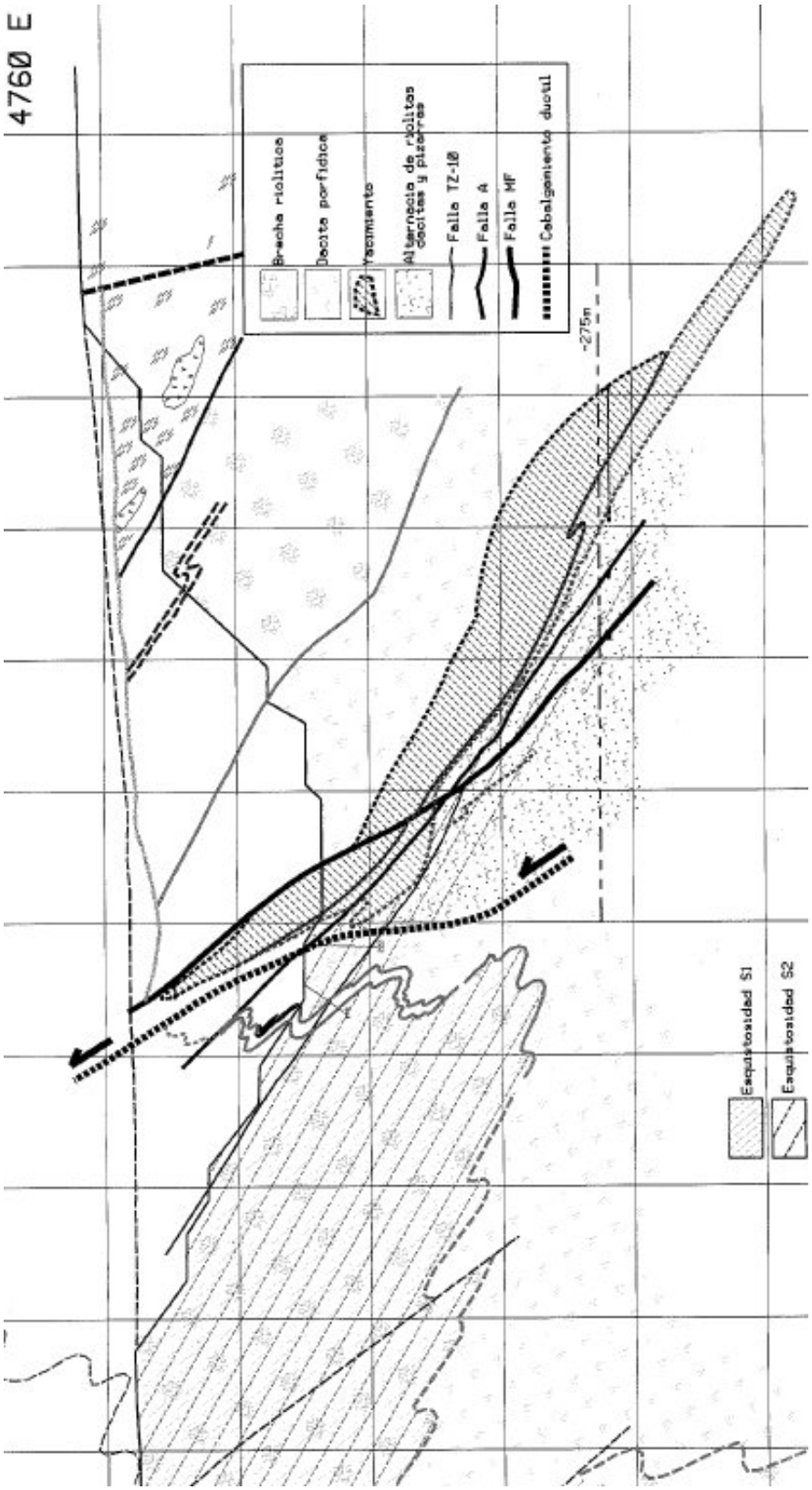


Figura 1.21 – Perfil estructural (4760) de dirección S-N del yacimiento de Los Frailes. (Fuente: Boliden-Apirsa 1990)

Mineralización

El yacimiento de los Frailes presenta dos tipo de mineralizaciones; sulfuros masivos y sulfuros diseminados, conocidos localmente como “piroclastos”, cuyo origen se determina en 1993 (Pons et al) como de tipo stockwork. Esta mineralización tiene poca importancia desde el punto de vista económico, hasta el momento.

Al igual que el resto de las mineralizaciones de la zona, se ubican en el mismo nivel estratigráfico, localizado a techo de las tobas vítreas y asociado a niveles tufíticos fuertemente cloritizados y pizarras negras con intercalación de niveles de piritas vulcano-sedimentarias de potencias centimétricas (Pons et al, 1993).

El mineral predominante es la pirita, y en menor proporción la esfalerita, galena, tetraedrita, arsenopirita, bournonita, casiterita, etc. La esfalerita, la galena y la tetraedrita aparecen asociadas en bandas sedimentarias con continuidad de varios metros. Esta continuidad es característica en el yacimiento y sólo se ve alterada por la presencia de fallas normales de dirección N-S y una serie de fallas inversas de dirección E-O, con superposición de diferentes escamas de sulfuros masivos.

La plata aparece asociada a la tetraedrita y la galena, pudiendo correlacionarse estadísticamente con el zinc y el plomo.

La calcopirita se encuentra asociada fundamentalmente a la mineralización Pirítica y la tetraedrita, a la mineralización bandeada. El cobre aparece en concentraciones muy homogéneas dentro del yacimiento, con valores de 0,2-0,4% Cu, pudiendo aparecer localmente valores de 0,8-2%Cu, en zonas de muro próximas al stockwork cobrizo.

El stockwork sólo ha sido cortado a poca profundidad en los sondeos mecánicos. Su composición se encuentra directamente relacionada con la roca encajante que lo envuelve.

1.1.3. Geomorfología y relieve

La zona del Proyecto Los Frailes se enclava en las primeras estribaciones de la comarca de la Sierra Norte de Sevilla. Se trata de una zona eminentemente rural, con una extensión de unos 3.748 km2. Posee esta comarca una altitud media de 398 m y unas suaves pendientes medias del 1-8%.

El entorno del Proyecto Los Frailes posee una pendiente media del 11,82% aproximadamente, con lo que se puede considerar, atendiendo a la clasificación USA de la Soil Survey Staff, como una pendiente moderada.

El paraje Dehesa del Perro, constituye la parte norte de la Reserva del Proyecto Los Frailes. Se trata de una zona de pendiente más fuerte del entorno considerado, con una altitud que ronda los 150 m y pendiente media fuerte del orden de 26,63%.

La superficie alterada por la actividad minera es bastante irregular, con superficies llanas y súbitos desniveles debido a escombreras y cortas mineras, ocupando la mayor parte de la Reserva del Proyecto, y contando con una cota media de 80-100 m y una pendiente media moderada del 16,01%.

La zona por la que discurre el Río Frailes, cuenta con una altitud media de unos 70 metros, y su pendiente es suave con una media del 5,93 %.

La zona suroeste de la Reserva, está conformada por los parajes Dehesa de Borrera-Cortijo del Gran Poder, que son terrenos agrícolas con altitud media de unos 80 metros y una pendiente suave del 4,97%.

1.1.4. Hidrología e hidrogeología

1.1.4.1. Red hidrográfica superficial

El perímetro seleccionado del Proyecto Los Frailes pertenece a la Demarcación Hidrográfica de la Cuenca del Río Guadalquivir, y conforma parte de la red de drenaje del Río Guadiamar.

Existen cuatro cursos de agua de entidad que atraviesan la Reserva Minera de Norte a Sur (Ver Plano Nº 1.32):

- Río Frailes, con unos 4.000 metros de cauce en el interior de nuestro Perímetro, que discurre de Norte a Sur en la parte Este de la Reserva del Proyecto Los Frailes, antes de unirse al cauce del Agrio.
- Río Agrio o Crispinejo, que discurre durante 7.400 metros de NO a NE en la superficie de la Reserva del Proyecto Los Frailes, uniéndose con el Río Los Frailes en el interior de nuestra zona.
- Arroyo de los Arquillos, tributario del Río Agrio, discurre íntegramente en nuestra Zona de Reserva Minera.
- Arroyo de la Isleta, con unos 3.240 metros en la parte Sur de nuestra zona de estudio, discurriendo de Norte a Sur.

1.1.4.2. Hidrogeología y aguas subterráneas

Prácticamente la totalidad del Perímetro seleccionado para la investigación del Proyecto “Los Frailes” se encuentra sobre la demarcación de la unidad hidrológica Nº 05.49 Niebla Posadas (Ver plano Nº 1.33: Aguas subterráneas).

Entre las litologías existentes en el entornó del área, sólo los aluviales y el Mioceno de Base (Unidad Niebla-posadas) pueden considerarse que forman acuíferos. Los primeros constituyen acuíferos de interés local adquiriendo una importancia mayor en el caso del Mioceno.

El Mioceno de Base es la única formación litológica existente en la zona estudiada calificada como “Unidad Hidrogeológica”. Se incluye en el mapa de Unidades Hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares, publicado por el MOPU e ITGE, con el nombre Unidad Hidrogeológica Niebla-Posadas.

El Mioceno de Base es un acuífero importante a partir del contacto del Paleozoico con el Terciario. Aflora en una franja, paralela a ese contacto y, hacia el sur, queda cubierto por las margas azules suprayacentes. Presenta una morfología tabular, con pendiente hacia el sur.

Los materiales paleozoicos pueden considerarse impermeables. En general la porosidad de las rocas paleozoicas es menor al 1 % y presenta poca interconexión entre los poros implicando bajas permeabilidades. Las mayores permeabilidades presentes en estas rocas están asociadas a la presencia de fracturación y alteración en el material. Las fracturas pueden dividirse en dos grandes grupos, en función de los productos de alteración que originan. Así en rocas muy silíceas, poco alteradas, las fracturas presentan cierta permeabilidad, mientras que en las rocas pizarrosas, en las que los productos de alteración son arcillosos, las fracturas, con el tiempo, prácticamente se impermeabilizan.

Aquellas fracturas que no están asociadas a fallas pronunciadas producen solo un pequeño incremento en la porosidad total de la roca. La permeabilidad de las fracturas en roca fresca situadas a profundidades inferiores a 100 m oscilan entre 10-8 y 10-9 m/s. Esta permeabilidad media decrece por debajo de dicho nivel debido a la tendencia que presentan las discontinuidades tales como fallas, y diaclasas a desaparecer en profundidad.

La caracterización hidrogeológica de la zona, se realiza consecuentemente en base a una serie de criterios y propiedades de los materiales que se exponen a continuación.

En primer lugar es necesario diferenciar los distintos conjuntos rocosos según la capacidad de almacenamiento de agua y por otro lado en función de la facilidad de circulación de la misma a través de ellos. Para su valoración se ha tenido en cuenta los factores que se describen a continuación.

En primer lugar la porosidad. En la zona de estudio se ha identificado fundamentalmente el conjunto paleozoico, formación que presenta en su conjunto valores de porosidad primaria baja, al igual que las litologías de origen ígneo descritas. Únicamente las facies de Bordes descritas dentro de la formación Terciaria que recubren los anteriores presentan valores de porosidad primaria altos.

La existencia de fracturas y grietas abundantes, y diaclasado en general, constituyen un factor a favor de la presencia de agua en el interior del macizo granítico, aunque estas sería muy limitada, dada la limitada interconexión que estas fracturas suelen presentar y estar condicionada por el desarrollo en profundidad de los mismos.

Por otro lado los factores a considerar para valorar la posibilidad de circulación de las aguas subterráneas son:

Principalmente la permeabilidad del macizo rocoso. El desarrollo de conductos subterráneos horizontales y verticales, y el grado de evolución del mismo determina la posibilidad de transmisión de esta agua almacenada en el interior. Sobre la roca estudiada el desarrollo e interconexión de estas estructuras es limitado, según la observación superficial de campo, presentando valores de permeabilidad muy bajos, ya que estas fracturas aparentan de carácter superficial.

El conjunto constituido por el Devónico, presentan igualmente valores de permeabilidad muy baja, constituyendo el sustrato impermeable sobre el que descasan los sedimentos terciarios. Finalmente los depósitos Terciarios, Facies de Borde, representan la única formación en la zona con valores de permeabilidad media-alta.

En lo referente al conjunto rocoso estudiado, se estima que la capacidad de almacenamiento es baja, y la capacidad de circulación del mismo es igualmente baja, quedando por lo tanto englobado dentro del grupo hidrogeológico XI.

Este grupo XI, incluye conjuntos rocosos con capacidad de almacenamiento muy baja y muy baja circulación de fluidos, aún a pesar del desarrollo superficial de fracturas y diaclasas. Este conjunto no entra a formar parte de ningún sistema acuífero.

Únicamente las arenas y areniscas intercaladas de las facies de borde o formaciones de borde presenta valores de óptimo comportamiento hidrogeológico, formando parte del acuífero "Niebla-Posadas", de sustrato paleozoico impermeable que constituye el basamento o muro y recarga desde este, así como la precipitación directa debido al agua de lluvia.

1.1.5. Edafología

El área seleccionada abarca fundamentalmente cinco tipos de suelos (Ver Plano Nº 1.34), definidos por la cartografía de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), siendo éstos:

- Unidad 2: Fluvisoles calcáricos. Suelos jóvenes, desarrollados a partir de materiales aluviales recientes. Están condicionados por la topografía, siendo sus perfiles de carácter deposicional más que edafogénico. Son suelos fértiles y de gran interés agrícola. Son calcáreos al menos entre 20 y 50 cm, carecen de un horizonte sulfúrico y de material sulfuroso dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie, carecen de propiedades sálicas y son permeables y bien drenados.

- Unidad 13: Regosoles calcáricos. Suelos poco desarrollados, condicionados por la topografía y formados a partir de materiales no consolidados con un perfil AC. Son suelos calcáreos al menos entre 20 y 50 cm y carecen propiedades gleicas en una profundidad de 50 cm.

- Unidad 23: Vertisoles crómicos, Cambisoles vérticos. Suelos en una etapa inicial de formación con un horizonte cámbico (color o estructura distinta al material originario) de porcentaje de saturación por bases (V) < 50% debajo de un ócrico (horizonte de superficie, sin estratificación y de colores claros). Tienen propiedades vérticas (contenido en arcillas expansibles que motivan la apertura de grietas durante la estación seca) y carecen de propiedades gléicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie.

- Unidad 31: Cambisoles eútricos, Regosoles eútricos. Suelos en una etapa inicial de formación con un horizonte B cámbico (color o estructura distinta al material originario) debajo de un ócrico (horizonte de superficie, sin estratificación y de colores claros). Son suelos condicionados por su edad limitada y con un porcentaje de saturación por bases superior al 50% al menos entre 20 y 50 cm, pero no calcáreos en esta profundidad. Carecen de propiedades vérticas; carecen de propiedades gleicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie y en el horizonte cámbico carecen también de propiedades ferrálicas (C.I.C< 24 cmol/kg de arcilla o menor de 4 cmol/kg de suelo al menos en algún subhorizonte del horizonte B cámbico). Los Regosoles eútricos son suelos poco desarrollados,

condicionados por la topografía y formados a partir de materiales no consolidados con un perfil AC. Estos suelos son ricos en bases, con un porcentaje de saturación superior al 50% al menos entre 20 y 50 cm, y son no calcáreos, careciendo de propiedades gleicas en una profundidad de 50 cm.

- Unidad 32: Cambisoles eútricos. Suelos en una etapa inicial de formación con un horizonte B cámbico (color o estructura distinta al material originario) debajo de un ócrico (horizonte de superficie, sin estratificación y de colores claros). Son suelos condicionados por su edad limitada y con un porcentaje de saturación por bases superior al 50% al menos entre 20 y 50 cm, pero no calcáreos en esta profundidad. Carecen de propiedades vérticas; carecen de propiedades gleicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie y en el horizonte cámbico carecen también de propiedades ferrálicas (C.I.C< 24 cmol/kg de arcilla o menor de 4 cmol/kg de suelo al menos en algún subhorizonte del horizonte B cámbico).

1.1.6. Climatología

La zona, registra una insolación superior a 3.000 horas de sol al año, con una distribución que muestra un mínimo en invierno (diciembre a febrero) y un máximo en verano (junio a agosto).

Los meses más calurosos son julio y agosto siendo enero el más frío, con unos veranos largos y cálidos, aunque con influencia oceánica, y unos inviernos suaves. La temperatura media anual es suave y se sitúa en los 17º C.

El invierno es la estación más lluviosa, seguida del otoño. La precipitación media anual es de 626,3 mm.

La oscilación pluviométrica es muy grande (91,7 mm entre valores mensuales medios extremos), así como la irregularidad de las lluvias, pudiendo ser nula la precipitación en los meses más lluviosos. La variación interanual también es muy acentuada.

Los días de tormenta oscilan entre 10-15 al año, siendo muy raras las nevadas y las heladas.

La sequía estival, propia del clima mediterráneo, se siente aquí de forma acusada entre los meses de mayo a septiembre. En estos cinco meses el balance hídrico resulta ser deficitario al superar en todos ellos la evapotranspiración potencial (ETPp) al volumen de las precipitaciones. El déficit hídrico llega a ser máximo en el mes de julio, siendo entonces del orden de 132,5 mm.

La fuerza de los vientos es ligeramente inferior a la media de las regiones templadas, sobre todo por la escasez de días de temporal y la relativa abundancia de días de calma que oscilan alrededor de un 35-40 %. Toda la cuenca es inferior a la isotaca de 2 m/s, incrementándose la velocidad hacia el Sur, hasta alcanzar la isotaca de 6 m/s.

Por su situación, está sometido a vientos de procedencia atlántica que ingresan a estas alturas por la ausencia casi total de formas de relieve destacadas en el territorio. El régimen de vientos de componente predominantemente Oeste-Suroeste o del tercer cuadrante, que son los que habitualmente traen las lluvias a la zona. Se considera, consiguientemente, que el potencial eólico de la zona es bajo.

1.1.7. Vegetación

1.1.7.1. Vegetación potencial

El área de estudio, atendiendo al Mapa de Series de Vegetación de España (Rivas Martínez, 1987), se localiza en un territorio principalmente dominado por la serie de vegetación 27 b (Ver Plano Nº 1.35: Vegetación potencial: Series de vegetación).

La Serie 27b, se corresponde con la Serie termomediterránea bético-algarviense seco-subhúmedo-húmeda basófila de Quercus rotundifolia o encina (Smilaci mauritanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum). VP, encinares. Dicha serie está muy representada en Andalucía, tanto en la Depresión del Guadalquivir, como en las sierras béticas.

La etapa climácica de esta serie esté constituida por bosques densos, donde la encina (*Quercus rotundifolia*) es el árbol dominante, pero en los que los acebuches (*Olea europaea var. sylvestris*) y los algarrobos (*Ceratonia siliqua*) también están bien representados, dado el carácter termófilo de dichas especies. Asimismo, se halla asociado un sotobosque más o menos denso de matorral mediterráneo.

De estas etapas maduras quedan escasos reductos debido al alto valor agrícola que poseen los suelos que ocupan, lo que ha supuesto casi su total sustitución por cultivos salvo en zonas de gran pendiente -como es el caso de parte de la zona que nos ocupa-, o bien se encuentra en estadíos de regresión mucho más degradados por la influencia antropozoógena.

1.1.7.2. Vegetación real

Como se ha comentado en varias ocasiones en el presente Plan de Restauración, la Reserva Minera del Proyecto Los Frailes se localiza en su mayor parte sobre las instalaciones de anterior actividad minera reciente.

Por tanto, la mayor parte de la superficie del entorno directo del Proyecto Los Frailes se encuentra sumamente alterada, con escasa o nula cobertura vegetal, salvo las puntuales actuaciones de restauración acometidas en los últimos años por la Administración.

Si contemplamos un enfoque más amplio, entendemos que la acción humana ha determinado la degradación de buena parte de las cubiertas arbóreas que potencialmente podrían ocupar la zona objeto de estudio. No obstante, en los términos municipales de Aznalcóllar y Sanlúcar La Mayor existen diferencias notables en el nivel de antropización de la cubierta vegetal entre las zonas sur y norte.

Las zonas sur, y más próximas a los núcleos principales de población, se caracterizan por un parcelario de terrenos destinados a cultivos herbáceos de secano, de regadío y árboles frutales, con manchas residuales de dehesa y encinar. Las zonas norte sin embargo, conservan extensiones notables de encinar y dehesa.

Realizando una aproximación de mayor detalle y circunscribiéndonos a la zona de estudio de nuestra Área de Reserva Minera, observamos cuatro áreas florísticas:

- Bosque Mediterráneo: Encinar
- Dehesa

- Matorral
- Pastizal

Bosque Mediterráneo. Encinar: si bien ha desaparecido prácticamente en el tercio sur de los términos afectados, se encuentra ocupando superficies más o menos extensas en el resto del territorio donde potencialmente se enclavaría en la serie silicícola de la encina.

Esta masa forestal se encuentra dominada ampliamente por la encina (*Quercus rotundifolia*), si bien los alcornoques (*Quercus suber*) y los acebuches (*Olea europaea subsp. sylvestris*) pueden aparecer formando parte del estrato arbóreo, en función del tipo de suelo de la zona en que se encuentran.

El bosque inicial ha sido adehesado en gran superficie, conformando estos espacios una fase de regresión del bosque mediterráneo. Definimos como bosque mediterráneo aquellos encinares que mantienen un componente arbustivo o subarbustivo importante en cuanto a cobertura frente al pastizal. La composición de especies de este estrato leñoso va a variar en función del grado de conservación del bosque y su proximidad a la situación clímax de la serie. Así pues, encontramos espacios muy bien conservados donde el sotobosque aparece constituido por numerosas especies características del matorral noble: lavanda (*Lavandula stoechas*), jara (*Cistus monspeliensis*), peral silvestre (*Pyrus bourgaeana*), torvisco (*Daphne gnidium*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), majuelo (*Crataegus monogyna*), palmito (*Chamaerops humilis*), esparraguera (*Asparagus albus*) y espino (*Rhamnus lycioides oleoides*).

Sin embargo, un abandono en el manejo del monte y la dehesa o los incendios forestales, entre otras causas, pueden dar lugar a la aparición de un matorral degradado, caracterizado por la presencia de un número menor de especies, y éstas, por lo general, oportunistas o pirófitas. Es el caso de la aparición de los jarales y jaguarzales con dominio de *Cistus ladanifer* y *Cistus salvifolius*, respectivamente.

Hay especies que nos marcan la diferencia entre el encinar silicícola y el calcícola como es el caso del mirto (*Myrtus communis*) y la coscoja (*Quercus coccifera*) para el matorral noble y la jara pringosa (*Cistus ladanifer*) y la retama (*Retama sphaerocarpa*) o el matagallo (*Phlomis purpurea*) para el matorral degradado.

El bosque mediterráneo constituye uno de los ecosistemas más característicos y representativos de la península siendo capaz de albergar una fauna peculiar, diversa y de gran riqueza. Constituye la unidad mejor conservada desde un punto de vista ecológico y que más se aproxima al clímax de la serie (Fotografía 1.1).



Fotografía 1.1 – Zona de bosque mediterráneo al Norte del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: Elaboración propia)

Dehesa: es una variación antrópica del ecosistema original que constituye el bosque mediterráneo, donde el matorral desaparece permitiéndose el desarrollo de los herbazales y el pastizal, que incluso puede verse acompañado o sustituido por la siembra de forrajeras. El objetivo es compatibilizar el aprovechamiento del fruto y la leña con el uso ganadero.

Las especies más características de esta unidad, en la que el arbolado está constituido, fundamentalmente, por individuos desarrollados y bien conservados de encina (*Quercus rotundifolia*), son: gamón (*Asphodelus ramosus*), *Urginea maritima*, jaguarzo (*Cistus salvifolius*), avena (*Avena* sp.) y acebuche (*Olea europaea subsp. sylvestris*).

Este ecosistema resultante, sobre todo si quedan reductos de matorral en linderos o en manchas aisladas, mantiene gran parte del interés ecológico y faunístico del bosque mediterráneo (Fotografía 1.2).



Fotografía 1.2 – Zona de dehesa con arbolado disperso, al Norte del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: Elaboración propia)

Matorral: Aparece sólo ocasionalmente, como consecuencia de la existencia de áreas donde las malas características edáficas o, las excesivas pendientes no han permitido el desarrollo de un componente arbóreo importante y además no son terrenos aptos para la conversión en agrícolas (Fotografía 1.3 y Fotografía 1.4).

Este matorral, no obstante, puede verse acompañado de elementos arbóreos o arbustivos aislados, sobre todo encinas, acebuches, coscojas o lentiscos. Aparece constituido básicamente por las siguientes especies: jara (*Cistus monspeliensis*), romero (*Rosmarinus officinalis*), aulaga (*Ulex sp.*) y agracejo (*Phillyrea angustifolla*).

Hay zonas donde los incendios forestales han producido su degradación y facilitado la colonización por especies primocolonizadoras, apareciendo de nuevo los jarales y jaguarzales.



Fotografía 1.3 – Zona de matorral monte bajo al Norte del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: Elaboración propia)



Fotografía 1.4 – Ejemplar de Cistus ladanifer al norte del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: Elaboración propia)

Pastizal: Existen zonas de terrenos, inicialmente adehesadas donde el componente arbóreo prácticamente ha desaparecido, siendo inexistente el estrato arbustivo y matorral. La introducción de una ganadería caprina y ovina favorece la formación de estos pastizales. Las especies más frecuentes que se desarrollan en esta unidad son: *Poa* sp., *Trifolium* sp., *Scorpiurus* sp., *Ornithopus* sp. y *Bromus* sp.

Esta unidad puede considerarse una variable de la dehesa, donde los elementos arbóreos han desaparecido o se encuentran muy dispersos (Fotografía 1.5).



Fotografía 1.5 – Zona de pastizal al Norte del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: Elaboración propia)

1.1.8. Fauna

Como veremos a lo largo del presente Plan de Restauración, la zona de estudio se encuentra cercana a espacios naturales protegidos, lo que permite obtener un cierto conocimiento pormenorizado y fiable del área en cuestión.

La relativamente común presencia de insectos en estos terrenos y la cercanía de cursos de agua permiten el mantenimiento de poblaciones de aves insectívoras. Buenos ejemplos de ello suponen los avistamientos de ejemplares de avión común (*Delichon urbica*), la golondrina (*Hirundo rustica*), lavandera (*Motacilla* sp.) y garcillas bueyeras (*Bubulcus ibis*).

La existencia de grano y semillas en abundancia en los cultivos cercanos, permite el asentamiento de numerosas poblaciones de aves granívoras como el gorrión común (Passer *domesticus*), cogujada (*Galerida cristata*), jilguero (*Carduelis carduelis*), o el verderón (*Carduelis chloris*).

Algunas de las citadas especies de aves, como el mirlo, gorrión, jilguero o avión común, están permanentemente presentes en el área de estudio, y pudieron ser reconocidas en visitas a la zona por el equipo redactor del presente estudio.

Este interés cinegético se centra también en algunas aves como la perdiz (*Alectoris rufa*), paloma bravía (*Columba livia*), paloma zurita (*Columba oenas*), zorzal (*Turdus philomelos*), estornino (*Sturnus unicolor*) o la tórtola (*Streptopelia turtur*).

Por encima de todas estas especies, y con territorios más amplios, encontramos los depredadores, algunos de los cuales encuentran en los cultivos y zonas de matorral cercanas, áreas de nidificación y caza. Así se puede encontrar cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), cernícalo primilla (*Falco naumanni*) o el milano negro (*Milvus migrans*).

Se observa en el área también al ratonero común (*Buteo buteo*), así como, posiblemente, algunas rapaces nocturnas tales como la lechuza (*Tyto alba*), mochuelo (*Athene noctua*) y el autillo (*Otus scops*).

Los reptiles más comunes que se suponen en la zona son la lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*), salamanquesa común (*Tarentola mauritanica*) y la lagartija cenicienta (*Psammodromus hispanicus*), aunque se han observado en el área también otras especies de mayor envergadura como el lagarto ocelado (*Timon lepidus*), único en la región, que suele ocupar antiguas madrigueras de conejos. En cuanto a ofidios, no se han observado, aunque éstos están presentes en la zona sin duda alguna debido al tipo de hábitat y la situación geográfica de la zona, como el caso de la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*), que es el mayor ofidio de nuestra herpetofauna, o la culebra viperina (*Natrix maura*). También citamos el galápago leproso (*Mauremys leprosa*) como especie que habita habitualmente en relación al cauce de ríos y arroyos.

Los mamíferos más frecuentes de las zonas de campiña son el ratón casero (*Mus musculus*), la rata común (*Rattus norvegicus*), topillo común (*Pitymys duodecimcostatus*).

Debido a que la mayor parte del territorio se considera zona de caza, algunas especies de interés cinegético como el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y la liebre (*Lepus granatensis*) están presentes en la zona, así como especies de interés para el hombre como es el ganado equino, cuyos ejemplares pueden ser observados en la zona.

Estas especies constituyen junto con algunos carnívoros como la gineta (*Genetta genetta*), el zorro (*Vulpes vulpes*), el tejón (*Meles meles*), garduña (*Martes foina*), turón (*Mustela putorius*), nutria (*Lutra lutra*), meloncillo (*Herpestes ichneumon*), gato montés (*Felis silvestris*) o lince ibérico (*Lynx pardinus*), el último eslabón de la cadena trófica que suelen darse tanto en la zona de campiña como en fincas cercanas dedicadas al aprovechamiento cinegético.

Entre los ungulados, destacamos el jabalí (*Sus scrofa*) y el ciervo (*Cervus elaphus*).

En cuanto a especies ictícolas, los cursos de agua del entorno suelen albergar ejemplares de barbo (*Barbus sclateri*), boga (*Chodrostoma willkommii*), perca sol (*Lepomis gibbosus*), gambusia (*Gambusia holbrooki*) y black bass (*Micropterus salmoides*).

Se muestra a continuación el inventario de la fauna citado en las distintas unidades de la zona de estudio y su entorno (Tabla 1.3, Tabla 1.4, Tabla 1.5 y Tabla 1.6).

1.1.8.1. Reptiles

Nombre Común	Nombre Científico	Estado de Conservación	Abundancia
Lagartija colilarga	*Psammodromus algirus*	No Amenazado	Poco frecuente
Salamanquesa común	*Tarentola mauritanica*	No Amenazado	Poco frecuente
Lagartija cenicienta	*Psammodromus hispanicus*	No Amenazado	Poco frecuente
Lagarto ocelado	*Timon lepidus*	No Amenazado	Poco frecuente
Culebra bastarda	*Malpolon monspessulanus*	No Amenazado	Poco frecuente
Galápago leproso	*Mauremys leprosa*	No Amenazado	Poco frecuente

Tabla 1.3 – Inventario de especies de reptiles potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia)

1.1.8.2. Aves

Nombre Común	Nombre Científico	Estado de Conservación	Abundancia
Avión común	*Delichon urbica*	No Amenazado	Abundante
Golondrina	*Hirundo rustica*	No Amenazado	Abundante
Lavandera	*Motacilla spp.*	No Amenazado	Poco frecuente
Garcilla bueyera	*Bubulcus ibis*	No Amenazado	Poco frecuente
Gorrión común	*Passer domesticus*	No Amenazado	Habitual
Cogujada	*Galerida cristata*	No Amenazado	Poco frecuente
Jilguero	*Carduelis carduelis*	No Amenazado	Habitual
Verderón	*Carduelis chloris*	No Amenazado	Habitual
Perdiz	*Alectoris rufa*	No Amenazado	Habitual
Paloma bravía	*Columba livia*	No Amenazado	Poco frecuente
Paloma zurita	*Columba oenas*	No Amenazado	Poco frecuente
Zorzal	*Turdus philomelos*	No Amenazado	Poco frecuente
Estornino	*Sturnus unicolor*	No Amenazado	Poco frecuente
Tórtola	*Streptopelia turtur*	Vulnerable	Poco frecuente
Cernícalo vulgar	*Falco tinnunculus*	No Amenazado	Poco frecuente
Cernícalo primilla	*Falco naumanni*	Casi amenazado	Poco frecuente
Milano negro	*Milvus migrans*	No Amenazado	Poco frecuente
Ratonero común	*Buteo buteo*	No Amenazado	Habitual
Lechuza	*Tyto alba*	No Amenazado	Poco frecuente
Mochuelo	*Athene noctua*	No Amenazado	Habitual
Autillo	*Otus scops*	Insuficientemente conocida	Habitual

Tabla 1.4 – Inventario de especies de aves potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia)

1.1.8.3. Mamíferos

Nombre Común	Nombre Científico	Estado de Conservación	Abundancia
Ratón casero	*Mus musculus*	No Amenazado	Poco frecuente
Rata común	*Rattus norvegicus*	No Amenazado	Poco frecuente
Topillo común	*Pitymys duodecimcostatus*	No Amenazado	Habitual
Conejo	*Oryctolagus cuniculus*	No Amenazado	Habitual
Liebre	*Lepus granatensis*	No Amenazado	Poco frecuente
Gato montés	*Felis silvestris*	No Amenazado	Poco frecuente
Lince ibérico	*Lynx pardinus*	En peligro de extinción	Escasa
Garduña	*Martes foina*	No Amenazado	Poco frecuente

Nombre Común	Nombre Científico	Estado de Conservación	Abundancia
Tejón	*Meles meles*	No Amenazado	Poco frecuente
Gineta	*Genetta genetta*	No Amenazado	Escasa
Meloncillo	*Herpestes ichneumon*	No Amenazado	Poco frecuente
Nutria	*Lutra lutra*	Vulnerable	Escasa
Ciervo	*Cervus elaphus*	Casi Amenazada	Habitual
Jabalí	*Sus scrofa*	No Amenazado	Poco frecuente
Zorro	*Vulpes vulpes*	No Amenazado	Habitual
Turón	*Mustela putorius*	No Amenazado	Poco frecuente

Tabla 1.5 – Inventario de especies de mamíferos potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia)

1.1.8.4. Peces

Nombre Común	Nombre Científico	Estado de Conservación	Abundancia
Barbo	*Barbus sclateri*	No Amenazado	Poco frecuente
Boga	*Chodrostoma willkommii*	No Amenazado	Poco frecuente
Perca sol	*Lepomis gibbosus*	No Amenazado	Poco frecuente
Gambusia	*Gambusia holbrooki*	No Amenazado	Poco frecuente
Black bass	*Micropterus salmoides*	No Amenazado	Poco frecuente

Tabla 1.6 – Inventario de especies de mamíferos potencialmente presentes en el entorno. (Fuente: elaboración propia)

1.1.9. Paisaje

1.1.9.1. Componentes y elementos del paisaje: Forma

Es la masa o volumen de un objeto que aparece unificado, tanto por la configuración que presenta en la superficie como por el emplazamiento sobre el paisaje.

Nuestra área de estudio, que quedaría enclavada en la Unidad Fisionómica de Sierra Morena Occidental, es una zona que se encuentra entre las cotas 160 m y 40 m y en la que encontramos formaciones antrópicas que se elevan por encima de los 90 m (escombreras) y cortas mineras, con excavaciones de hasta 275 m de profundidad.

1.1.9.2. Componentes y elementos del paisaje: Línea

La línea se puede definir como el camino real o imaginario que percibe el observador cuando existen espacios diferenciados por el color, la forma la textura, etc.

En este punto, se hace referencia a los posibles contrastes que llegan a establecerse entre las diferentes densidades arbóreas, las zonas elevadas cubiertas de vegetación y las que no presentan cubierta, los pastos, la presencia de la áreas de elevada pendiente con suelos sin cubierta vegetal y la presencia de láminas de agua.

Así, visualmente podemos detectar cómo efectivamente nuestra zona de estudio se encuadra, a escala puntual, dentro de un área en la que los elementos antrópicos, en casi 900 ha, son constantes, y contrastan con el relieve acentuado de las primeras estribaciones serranas al Norte, con la vegetación asociada al curso de agua de Los Frailes al Este, y los cultivos agrícolas de la parte Sur del entorno del Proyecto Los Frailes.

1.1.9.3. Componentes y elementos del paisaje: Color

Es la principal propiedad visual de una superficie, y se refiere a la luz reflejada o emitida por un objeto.

Este espacio, que de forma natural se podría calificar como pre-serrano o serrano, presenta tonalidades pardas y oscuras definidas por los restos de la actividad extractiva de anteriores años, y un contraste cromático con la vegetación y usos ganaderos, agrícolas y forestales del entorno inmediato a la zona alterada.

1.1.9.4. Componentes y elementos del paisaje: Textura

Identifica la agregación indiferenciada de formas o colores que se perciben como variaciones o irregularidades de una superficie continua.

La zona de estudio es de grano mayoritariamente grueso por la presencia de instalaciones y elementos antrópicos asociados a la actividad minera, con ausencia de estratos vegetales.

1.1.9.5. Componentes y elementos del paisaje: Espacio

Se trata de una cualidad determinada por la ordenación tridimensional de los objetos y huecos que forman la escena. En general, la composición de los elementos define un paisaje cerrado, ya que existen límites aparentes para la visión.

En definitiva, observamos un paisaje con incidencias visuales importantes, debido a la existencia de instalaciones y formaciones de origen antrópico como cortas, escombreras, acopios, instalaciones industriales, etc.

El campo visual dependerá de la situación y dirección en la que nos encontremos y miremos, pero es en general amplio, pero que desde numerosos puntos puede verse limitado por zonas elevadas.

A nivel local se trata de un paisaje homogéneo, que únicamente sale de la monotonía toda vez se alcanzan espacios con mayor grado de naturalidad al norte en la zona de sierra, o ya fuera del perímetro de estudio, en el curso del Río Frailes o Zonas de cultivos al Sureste.

Por todo ello, se considera una escena de paisaje con ciertos obstáculos para una visibilidad amplia, con una calidad baja debido a la fuerte antropización del entorno, poseyendo como elemento característico visual notable los espacios sobreelevados y la presencia elementos asociados a la actividad minera.

1.2. DEFINICIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO

1.2.1. Aprovechamientos preexistentes

En general, y sin tener en cuenta la superficie alterada por la anterior actividad minera, el entorno donde se asienta el Proyecto “Los Frailes” se trata de una comarca eminentemente rural, donde los aprovechamientos agrícolas y forestales predominan sobre el resto.

La superficie dedicada a los aprovechamientos agrícolas, es muy importante en los municipios afectados por el proyecto, constituyendo el 23% en Aznalcóllar (4.514 ha), y el 61% en Sanlúcar La Mayor (8.343 ha).

En cuanto al perímetro específico afectado por nuestro proyecto, el uso dominante es sin dudas la actividad minera que tuvo lugar hasta el año 2001.

Encontramos unas 1.150 ha (un 52,75 % de la superficie incluida en la Reserva Minera del Proyecto “Los Frailes”) correspondientes a antiguas instalaciones industriales, cortas mineras, escombreras y acopios, áreas alteradas, etc.

Asimismo, encontramos otros usos con menor superficie representados bajo el Proyecto de Investigación:

Espacios de vegetación arbustiva, tipo matorral esclerófilo, de alta espesura en ciertas zonas, y pastizales naturales (unas 227 ha; al norte de la zona de investigación, acumulando un 10,41% aproximadamente).

Sistemas agroforestales: Áreas de pastizales, prados, olivar, praderas y cultivos agrícolas con arbolado adehesado (unas 130 ha, al sur del perímetro del Proyecto; 5,96%).

Tierras de labor en secano: unas 496 ha (22,75%).

1.2.2. Situación geográfica

La zona de emplazamiento del Proyecto Minero “Los Frailes”, se sitúa en la provincia de Sevilla, a unos 32 kilómetros al Noroeste de la capital. Se trata de una zona ubicada en los Términos Municipales de Aznalcóllar (81,56% de la superficie del Proyecto) y Sanlúcar La Mayor (18,44%), situándose a unos 40-169 metros sobre el nivel del mar.

Los límites geográficos del perímetro solicitado son:

- Al Norte, el perímetro solicitado se emplaza sobre Aznalcóllar y parte de Sanlúcar La Mayor
- Al Oeste, con el municipio de Aznalcóllar.
- Al Sur, mayoritariamente en terrenos de Aznalcóllar, y una parte en Sanlúcar La Mayor.
- Al Este, en terrenos de Sanlúcar La Mayor, paralelo al eje del Río Los Frailes.

La zona se encuentra integrada plenamente en los comienzos de la comarca conocida como La Sierra Norte de Sevilla.

1.2.3. Usos del suelo

Como se hizo referencia en el anterior capítulo 1.1.7, la zona de análisis constituye una amplia superficie de unas 2.180 ha dominada por el uso minero, donde se observan reducidas áreas con explotaciones agrícolas (labor secano), ganaderas (pastos y dehesa) y cinegéticas.

El perímetro de investigación también se encuentra surcado por cauces que, junto a las pendientes y relieve del terreno, y dejando a un lado la predominancia minera, conforman una escena particular de carácter típicamente rural.

1.2.4. Demografía

1.2.4.1. Población

El área de estudio pertenece administrativamente a los términos municipales de Aznalcóllar y Sanlúcar La Mayor, ambos en la Provincia de Sevilla.

En su conjunto, se reparte un total de 19.298 habitantes, lo que supone una densidad poblacional para el conjunto de los municipios de unos 57 habitantes por kilómetro cuadrado.

Se trata de una población que presenta una economía fundamentada hasta principios del siglo XXI en la minería, y en la que posteriormente la Construcción desempeñó un papel destacado como generadora de empleo, seguida del sector comercial, agricultura y hostelería (Tabla 1.7 y Tabla 1.8).

EDAD	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
0-4	178	169	347
05-sep	176	191	367
oct-14	190	159	349
15-19	161	183	344
20-24	230	174	404
25-29	259	247	506
30-34	263	235	498
35-39	251	235	486
40-44	228	215	443
45-49	245	242	487
50-54	217	200	417
55-59	212	165	377
60-64	187	146	333
65-69	126	118	244
70-74	81	85	166
75-79	80	119	199
80-84	44	83	127
85-	35	71	106
TOTAL	3.163	3.037	6.200

Tabla 1.7 – Población de Aznalcóllar por sexo y edad. (Fuente: INE, 2013)

EDAD	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
0-4	425	402	827
05-sep	450	414	864
oct-14	438	372	810
15-19	401	373	774
20-24	363	377	740
25-29	468	432	900
30-34	607	611	1.218
35-39	651	618	1.269
40-44	584	583	1.167
45-49	499	507	1.006
50-54	413	444	857
55-59	365	364	729
60-64	271	280	551
65-69	274	282	556
70-74	176	203	379
75-79	168	211	379

EDAD	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
80-84	95	181	276
85-	43	153	196
TOTAL	6.691	6.807	13.498

Tabla 1.8 – Población de Sanlúcar La Mayor por sexo y edad. (Fuente: INE, 2013)

1.2.4.2. Demografía

El devenir demográfico de la zona está fuertemente condicionado en los últimos años por su proximidad a la Metrópolis hispalense y las necesidades de viviendas a precios más económicos. Sin duda, la saturación de ámbitos metropolitanos como el Aljarafe ha provocado que los municipios que discurren por la Ruta de la Plata supongan una buena opción.

La población de la zona de estudio, según se ha mencionado anteriormente, 1 de enero del 2011 era de 19.298 habitantes, con una distribución de la misma por sexo casi equitativa: 9.704 hombres y 9.504 mujeres.

1.2.4.3. Estructura de la población por edad y sexo

La concentración de la población por procesos como el desarrollo industrial y los avances tecnológicos que este ha propiciado en las actividades agropecuarias ha originado grandes transformaciones en las estructuras de población.

Es bien sabido que la concentración de la población en los centros urbanos ha causado importantes modificaciones espaciales en la distribución de la población por edades. En términos generales, y sin olvidar las consecuencias generales del alargamiento de la esperanza de vida y el descenso de la natalidad, el medio rural ha experimentado un envejecimiento más o menos agudo debido al éxodo de los jóvenes durante los años sesenta y setenta (Figura 1.22 y Figura 1.23):

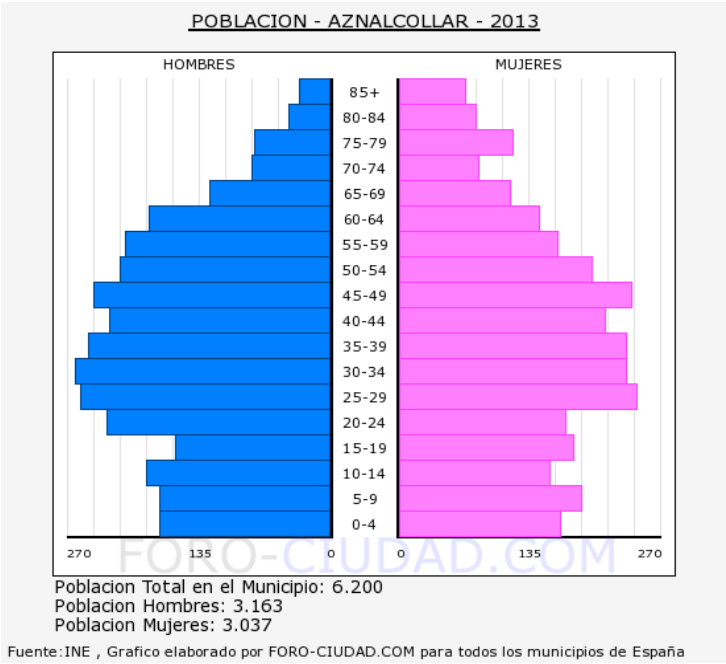


Figura 1.22 – Pirámide de población de Aznalcóllar. (Fuente: INE, 2013)

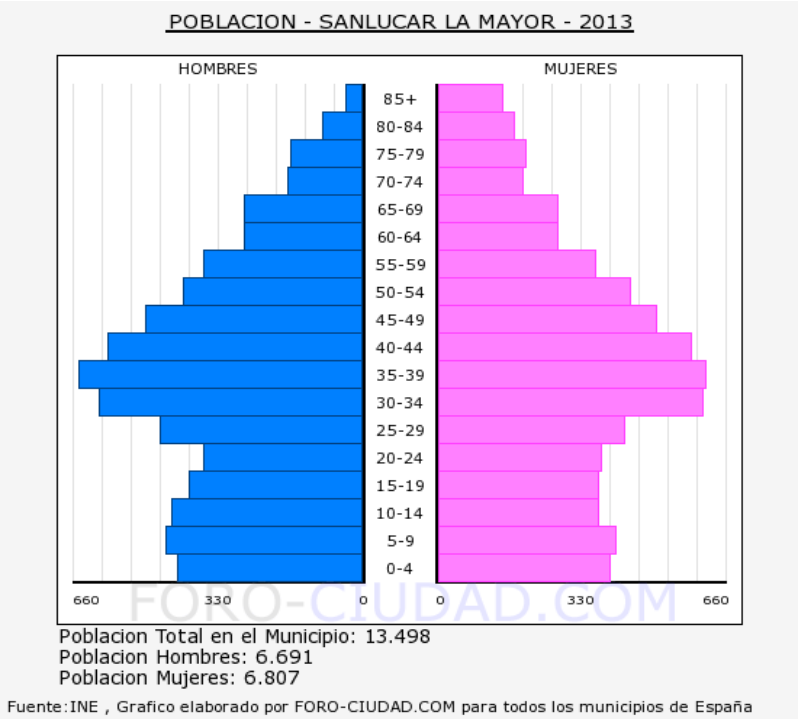


Figura 1.23 – Pirámide de población de Sanlúcar La Mayor. (Fuente: INE, 2013)

Las dos pirámides indican que en los próximos años se producirá un doble proceso de envejecimiento, por un lado estrechamiento de la base (reducción de la natalidad) y por otro aumento de la proporción de individuos mayores de 64 años sobre el total.

1.2.5. Empleo

De los datos obtenidos del Instituto de Estadística de Andalucía, se obtiene que la tasa de paro media en el entorno considerado es de 23,43% de la población activa.

Esto quiere decir que se sitúa la media algo por debajo de la media provincial, que según el Instituto Nacional de Estadística, para la provincia de Sevilla en el Año 2012, le corresponde una tasa de paro de 32,56 % (35,86 para el total de Andalucía y 26,02 para el caso nacional, Tabla 1.9).

	Población Total (2013)	Población Activa (2013)	Población parada (2013)	Tasa de paro (2013)
Aznalcóllar	6.200	4.295	989	23,03
Sanlúcar La Mayor	13.498	9.211	2.055	22,31

Tabla 1.9 – Datos Instituto de estadística y Cartografía de Andalucía (Fuente: elaboración propia)

1.2.6. Infraestructuras

Como ya se ha comentado anteriormente, la zona de estudio es el área minera explotada hace unos 15 años, y que cuenta con relevantes infraestructuras.

Analizaremos desde varios puntos de vista las principales infraestructuras existentes en el perímetro considerado:

1.2.6.1. Infraestructuras viarias

La principal vía de comunicación la conforma la carretera A-477, que atraviesa la Reserva Minera de Oeste a Este, uniendo los núcleos urbanos de Aznalcóllar (a 1 km) y Gerena (a 6,5 km).

Esta misma carretera, la A-477, traza a través del perímetro considerado en la zona suroeste, en la comunicación del núcleo de Aznalcóllar con el de Sanlúcar la Mayor.

El resto de vías cercanas quedan fuera de la influencia de los terrenos solicitados:

Matrícula	Conexión	Localización	Tipo
A-66	Sevilla – Las Pajanosas	12,5 km E	Autovía
N-630	Sevilla – Las Pajanosas	15 km E	Carretera de la red de interés general del Estado (RIGE)
SE-535	Gerena – El Garrobo	7,2 km NE	Carretera de la red secundaria

Tabla 1.10 – Carreteras del entorno del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: elaboración propia)

1.2.6.2. Infraestructuras hidráulicas

El entorno, posee infraestructuras hidráulicas de entidad, al localizarse en el interior de la superficie correspondiente a la Reserva Minera el Contraembalse del Agrio, así como el túnel de soterramiento del cauce del Agrio, a su paso por las antiguas instalaciones mineras.

Estos y otras represas y pequeños azudes que se identifican en el entorno son (Tabla 1.11):

Elemento	Localización	Identificación
Embalse	Interior de la Reserva Minera	Contraembalse del Río Agrio
Embalse	5.500 m NO	Embalse del Agrio, en las inmediaciones, al norte, del núcleo urbano de Aznalcóllar
Embalse	12.000 m NE	Embalse del Esparragal, entre Gerena y Guillena
Conducción	7.700 m E	Conducción procedente del embalse de El Gergal (Guillena) que transporta agua hacia el núcleo urbano de Gerena-Sevilla
Canal	Interior de la Reserva Minera	Conducción de agua que bordea la Corta Aznalcóllar desde el Contraembalse del Agrio, en el Complejo Minero de Aznalcóllar

Tabla 1.11 – Infraestructuras hidráulicas en el entorno del Proyecto "Los Frailes". (Fuente: elaboración propia)

1.2.6.3. Infraestructuras energéticas

El perímetro de actuación posee elementos de infraestructuras energéticas. Las principales y más cercanas:

- Red eléctrica: 2 líneas de 132 KV, que parten de instalaciones de la propia Reserva Minera.
- Subestaciones eléctricas: Subestación "Aznalcóllar", en el interior de la Reserva Minera del Proyecto "Los Frailes", en el antiguo complejo minero.
- Gasoducto: a 19 km SE.
- Oleoducto: a 27 km S.

1.2.7. Espacios de interés histórico, arqueológico y paleontológico

1.2.7.1. Elementos patrimoniales catalogados

Realizada una consulta al Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, dependiente de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, el área solicitada de Proyecto “Los Frailes” acoge varios elementos de interés arqueológico o histórico catalogados.

Son elementos pertenecientes a las actividades extractivas que desde la prehistoria, y pasando por diferentes épocas y civilizaciones se han dado en zona (Ver plano Nº 1.38):

- Castrejones (asentamiento con fortificaciones, de interés arqueológico, de la edad protohistórica, con código 41013003).
- Zona de minería antigua (Minas y complejos extractivos, de interés arqueológico, de diferentes edades desde la protohistoria a la edad contemporánea pasando por la Edad del Cobre, con código 410130005).
- Cista (cistas y construcciones funerarias, de interés arqueológico, de la edad del Bronce Medio, con código 410130006).
- Escorial de Mina (escoriales y vertederos mineros, de interés arqueológico, de la edad romana, con código 410130008).
- Canales de cementación (estructuras metalúrgicas, de interés arqueológico, de edad contemporánea, con código 410130009).
- Poblado de Las Mesas (asentamiento, de interés arqueológico, de diferentes edades desde la protohistoria a la edad moderna pasando por la prehistoria reciente, con código 410130010).
- Necrópolis de Las Mesas (construcciones funerarias, de interés arqueológico, de edad romana, con código 410130011).
- Escorial del Río (escoriales y vertederos mineros, de interés arqueológico, de la edad romana, con código 410130012).
- Eucaliptal (De interés arqueológico, de la edad romana, con código 410130021).
- Minas de la Caridad (Complejos extractivos, de interés etnológico, con código 410130050).

1.2.8. Puntos de interés

1.2.8.1. Vías pecuarias

El perímetro definido para la investigación en el Proyecto Minero “Los Frailes” se encuentra afectado por 4 vías pecuarias (Ver Plano Nº 1.36: Vías pecuarias).

Se trata de una zona alterada por la actividad minera, que es atravesado por los siguientes caminos (Tabla 1.12):

Nombre	Localización en "Los Frailes"	Tipo	Anchura legal	Término Municipal
Cañada Real de Niebla a Escacena	Zona Este	Cañada Real	75 m	Sanlúcar La Mayor
Cordel de Escacena a Niebla	Zona Central - Oeste	Cordel	37,50 m	Aznalcóllar
Cañada Real del Vicario a Villamanrique	Zona SE	Cañada Real	75 m	Sanlúcar La Mayor
Colada del Gamonitar	Zona Central-Sur	Colada	--	Aznalcóllar

Tabla 1.12 – Vías pecuarias del entorno del Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia)

El Cordel de Escacena a Niebla cruza de oeste a este el perímetro de estudio de Los Frailes, pasando a categoría de Cañada Real en el Término Municipal de Sanlúcar La Mayor. Esta vía pecuaria fue modificada en su trazado en el año 2008, reconfigurándose el tramo situado en la zona correspondiente a las antiguas instalaciones de la planta de tratamiento de la mina.

1.2.8.2. Espacios naturales protegidos: Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía

La superficie propuesta para realizar la investigación de los recursos mineros en el Proyecto "Los Frailes" incluye una fracción de terreno catalogada en la Red Andaluza de Espacios Naturales Protegidos (Ver Plano Nº1.37).

La zona de inclusión es la parte Este, donde se localiza el Paisaje Protegido del corredor Verde del Guadiamar y el ZEC/LIC Corredor Ecológico del Guadiamar (ES6180005), y Noreste, con la presencia del ZEC/LIC Corredor Ecológico del Guadiamar.

Quedan fuera de las cuadrículas mineras consideradas por la Reserva del Proyecto "Los Frailes" los siguientes espacios (más cercanos) (Tabla 1.13):

Nombre	Distancia al Proyecto "Los Frailes"	Figura de protección	Término Municipal
Sierra de Aracena y Picos de Aroche	28.460 m - N	Parque natural	Zufre
El Gergal	17.450 m - NE	Parque periurbano	Guillena
Rio Tinto	20.130 m - NO	Paisaje protegido	Berrocal

Tabla 1.13 – Espacios naturales (RENPA) cercanos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia)

1.2.8.3. Red Natura 2000

La demarcación de las cuadrículas propuestas afectará, en las 4 cuadrículas del extremo norte, y las 11 del extremo oriental de la Reserva Minera del Proyecto "Los Frailes", a la Zona de Especial Conservación (LIC/ZEC) Corredor Ecológico del Río Guadiamar, ES6180005, en terrenos de los Términos Municipales de Aznalcóllar y Sanlúcar La Mayor.

Del resto de espacios definidos por la Red Natura 2000 (Zonas de Especial Conservación o Zonas de Especial Protección para las Aves), no se aprecia afección (Ver Plano Nº 1.37). Además del mencionado Corredor Ecológico del Río Guadiamar, los espacios que se sitúan más próximos son (Tabla 1.14):

Nombre	Distancia al Proyecto "Los Frailes"	Figura de protección	Término Municipal
Sierra de Aracena y Picos de Aroche	28.460 m - N	LIC y ZEPA	Zufre
Corredor Ecológico del Río Tinto	20.130 m - NO	LIC	Escacena del Campo
Bajo Guadalquivir	20.600 m - E	LIC	La Rinconada

Tabla 1.14 – Espacios naturales de la Red Natura 2000 cercanos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia)

1.2.8.4. Plan Especial de Protección del Medio Físico de Sevilla

Existe en las 15 Cuadrículas meridionales de la Reserva Minera del Proyecto "Los Frailes" una fracción del Complejo Serrano de Interés Ambiental Palmares, tanto en el Término Municipal de Aznalcóllar como en el de Sanlúcar La Mayor (Ver plano Nº 1.37).

A parte de este, los espacios del PEPMF de Sevilla más cercanos se relacionan a continuación (Tabla 1.15):

Nombre	Distancia al Proyecto "Los Frailes"	Figura de catalogación	Término Municipal
Coto Nacional La Pata del Caballo y Madroñalejo	5.200 m – NO	Complejo serrano de interés ambiental	Aznalcóllar
Rivera de Cala y Huelva	16.500 m – NE	Complejo ribereño de interés ambiental	El Garrobo

Tabla 1.15 – Espacios del Plan Especial de Protección del Medio Físico de Sevilla próximos al Proyecto Los Frailes. (Fuente: elaboración propia)

1.2.8.5. Montes públicos

Una fracción ocupada por 27 cuadriculas mineras, en la parte norte y este del Proyecto de Investigación planteado, se localiza sobre zonas del Término Municipal de Aznalcóllar que se encuentran catalogadas como monte público.

Encontramos al Norte de la zona de investigación el denominado Monte Dehesa del Perro, con matrícula Nº SE-30001-SE (Ver Plano Nº 1.38), ocupando parte de 14 de las cuadrículas mineras que componen "Los Frailes".

También, en la parte este, paralelo al cauce del Río Los Frailes, se localiza el Monte de Utilidad Pública Corredor Verde de Sanlúcar La Mayor (SE-10019_JA), ocupando parte de 14 cuadrículas mineras del Proyecto "Los Frailes" (Ver Plano Nº 1.38).

Identificación del área de aprovechamiento y su entorno.

1.2.9. Lugares del proyecto

Como ya se ha comentado, el Proyecto de Investigación de Proyecto "Los Frailes", se llevará a cabo a través de 72 cuadrículas mineras, que abarcan una superficie de unas 2.100 ha.

La zona de investigación se sitúa entre los términos municipales de Aznalcóllar y Sanlúcar La Mayor, en la zona de confluencia entre ambos municipios, al noroeste de Sanlúcar.

Las coordenadas geográficas que definen el perímetro de investigación son las siguientes (Tabla 1.16):

Punto	Latitud (N)	Longitud (W)
1	37º 32’ 00”	6º 15’ 40”
2	37º 32’ 00”	6º 13’ 00”
3	37º 29’ 00”	6º 13’ 00”
4	37º 29’ 00”	6º 15’ 40”

Tabla 1.16 – Coordenadas área de investigación proyectada. (Fuente: elaboración propia)

1.2.10. Accesos

En la investigación del territorio planteado, se prevé el recorrido de prácticamente la totalidad del terreno en las labores de investigación, empleándose para ello la red de carriles, caminos y pistas existentes en la zona.

El acceso y la movilidad en la zona de investigación no presentan elevada dificultad por la homogeneidad del territorio en la zona alterada de la antigua explotación minera.

Las principales vías para acceder al entorno es la red de carriles y caminos que parte del acceso a las antiguas instalaciones de la Mina, en el km 15 de la carretera A-477 Gerena – Aznalcóllar.

No será necesario la apertura de nuevos caminos de acceso, tan solo el acondicionado de algunas zonas para alcanzar los puntos de sondeo desde las vías ya existentes. No obstante, antes del abandono de las zonas de trabajo, se repondrán las coberteras alteradas.

1.2.11. Instalaciones

Como veremos en el siguiente epígrafe, las labores que se llevarán a cabo en el marco de la Investigación del Proyecto “Los Frailes” no requerirán equipos fijos o instalaciones permanentes. Estas instalaciones, equipos o maquinaria, a emplear en la investigación y según las fases del proyecto de investigación, serán las siguientes:

- Prospección geológica:

  - Vehículos. Únicamente serán necesarios vehículos de tipo todoterreno para llevar a cabo las labores por el personal especialista.

- Prospección geoquímica:

  - La toma de muestras y análisis posterior, al igual que en la primera fase, se realizará por el personal directamente.

- Prospección geofísica:

  - Los equipos de prospección geofísica serán elementos que se colocan de forma puntual directamente sobre el terreno y se retiran tras finalizar la jornada.

- Prospección sísmica:

  - Como en el caso anterior, los equipos de prospección sísmica diferencial serán elementos que se colocarán de forma puntual en el terreno y se retiran tras finalizar cada jornada: “Vibro” y geófonos.

- Sondeos mecánicos:
- Máquina de sondeos.
- Cubeta de agua. Cubeta de unos 3.000 litros, que constituye el necesario reservorio de agua para la ejecución de los sondeos.
- Cubeta de mezcla de bentonita. Recipiente de unos 1.000 litros donde se realiza la mezcla de agua y bentonita necesaria para elaborar la pasta/lodo de cicatrización del sondeo.

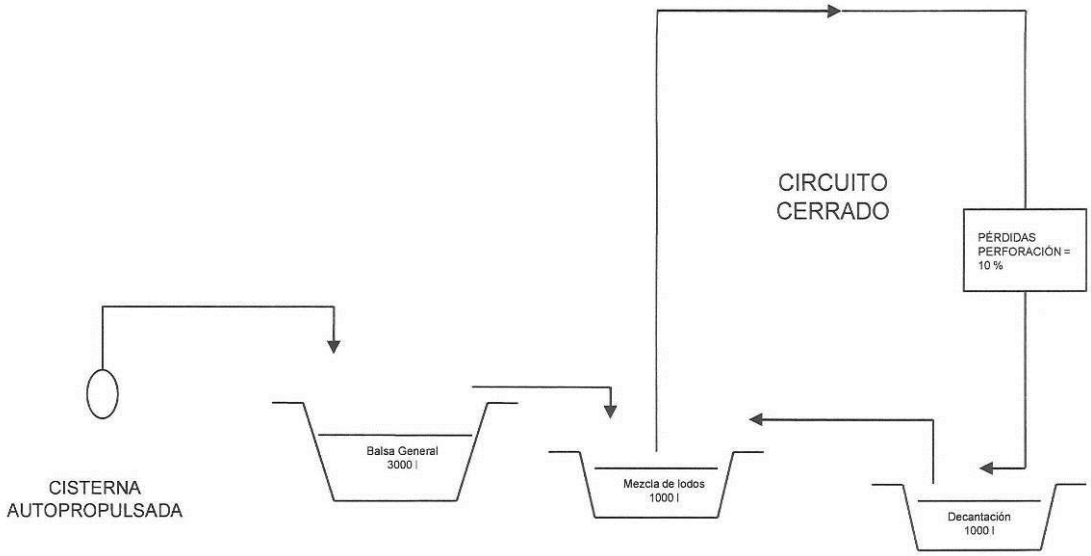


Figura 1.24 – Diagrama de flujo del abastecimiento de agua y circulación de lodos en los sondeos. (Fuente: elaboración propia)

1.3. Epítome de las características del aprovechamiento del recurso

En el presente epígrafe, realizaremos un compendio de las actuaciones fundamentales a acometer para llevar a cabo la actuación propuesta, es decir, las labores que deberás desarrollarse en el marco del proyecto de investigación de las cuadrículas que se proponen para el Proyecto “Los Frailes”.

1.3.1. Prospección geológica

La prospección geológica es aquella que, basándose en los conocimientos previos, la observación y el análisis, nos permite realizar levantamientos cartográficos, con el objetivo de facilitar la búsqueda de posibles mineralizaciones subyacentes.

Se puede llevar a cabo mediante dos métodos, el directo y el indirecto. El primero es el que se realiza mediante exploraciones in situ, registrando los resultados de los ensayos y las exploraciones. El método indirecto se realiza mediante el uso de SIG, estudio de documentación existente, estudio preliminar de posibles yacimientos, etc.

1.3.1.1. Prospección directa

Con la información reunida y el apoyo de la base topográfica, se procederá a una exploración de campo para el estudio de todos los afloramientos presentes en la zona de trabajo, que englobará la totalidad de la reserva con el fin de delimitar geológicamente las subzonas de interés. Estas quedarán plasmadas en una cartografía de detalle escala 1:5.000 del entorno de las masas en la que se reflejarán, además, los rasgos identificativos de las unidades litológicas existentes: litologías, tipos de contactos, fracturas, datos de la estructura, recubrimientos, etc.

Conviene puntualizar la existencia de una cartografía de detalle en la zona de la reserva y que ésta es poco reveladora de la estructura del yacimiento en profundidad, debido a que gran parte de la zona se encuentra cubierta por escombreras o por materiales del Mioceno. No obstante ésta cartografía será convenientemente revisada y ampliada en función de la información obtenida durante los trabajos de investigación.

En la realización de esta cartografía se prestará especial atención a la toma de datos de carácter estructural y a la diferenciación de las distintas facies volcánicas. Procurando obtener toda la información posible de los afloramientos, dado el extenso recubrimiento natural y artificial existente en toda la superficie de la Reserva.

Apoyarán a esta cartografía estudios petrográficos en laboratorio.

El resto de zonas dentro de la Reserva de Aznalcóllar sin afloramientos paleozoicos serán cartografiadas a escala 1:10.000.

1.3.1.2. Prospección geológica indirecta

La prospección indirecta será llevada a cabo por técnicos competentes, mediante herramientas de diseño y dibujo georreferenciado, a través de la cual se podrán demarcar zonas de mayor o menor interés, ayudándose a su vez de la información previa de que se dispone perteneciente a los estudios realizados en los años 70 por la Compañía General de Sondeos, S.A.

1.3.2. Teledetección

La teledetección comprende un amplio conjunto de técnicas para el estudio de materiales utilizando la radiación electromagnética. Estas técnicas permiten cartografiar materiales en superficie mediante el análisis de los patrones espectrales asociados a cada uno de los píxeles de una imagen.

Los estudios de teledetección son generalmente utilizados para la caracterización de zonas de alteración hidrotermal o para la determinación de lineamientos.

Una de las principales limitaciones en las exploraciones mediante teledetección, es la presencia de cubierta vegetal densa, además de la capacidad de penetración de la radiación electromagnética en el sustrato geológico, que queda limitada a una fina capa superficial que no suele ir más allá de los primeros milímetros o centímetros.

En el caso de este estudio, las técnicas de teledetección se emplearán para identificar posibles lineamientos que pudieran tener relación con posibles focos de mineralización. El estudio tendrá por tanto carácter regional y no se limitará a la superficie de la Reserva. La

caracterización de zonas de alteración hidrotermal no resulta de interés debido a que el entorno del yacimiento se encuentra cubierto bien por escombreras bien por el Mioceno.

Para el estudio de lineamientos es necesario un encuadre regional debido a la precisión de la instrumentación utilizada. Por este motivo el área estudiada mediante teledetección será mayor que el área de estudio, equivalente al menos a dos hojas de la cartografía MAGNA 1:50.000.

Se adquirirá la imagen de teledetección más reciente y se realizará una interpretación de la misma en el entorno regional de la zona de estudio.

1.3.3. Prospección geoquímica

Los dos objetivos principales del estudio geoquímico son, por un lado, aportar una información geoquímica sistemática del área mediante una cartografía geoquímica y poner de manifiesto, de forma complementaria al resto de estudios a realizar, la potencialidad metalogenética del territorio comprendido en ella, delimitando las posibles áreas prospectivas. Para ello se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de la información y preparación de la campaña.
- Toma de muestras de sedimentos de corriente, al ser considerado este tipo de muestra como la más representativa para este tipo de estudios.
- Preparación y análisis multielemental de las muestras de sedimentos de corriente.
- Tratamiento estadístico y gráfico de los datos geoquímicos, integración e interpretación final.

1.3.3.1. Recopilación de la información y preparación de la campaña

Se realizará la preparación de la campaña de campo utilizando una distribución de puntos sobre la red de drenaje expresada en mapas topográficos de escala 1:10.000, y simultáneamente a esto, se recopilará y analizará la información geológica y metalogenética existente, que sea de interés.

1.3.3.2. Recogida de muestras de sedimentos de corriente

Se recogerán 160 muestras de sedimento de corriente, con la densidad de muestreo conveniente. Los muestreos se harán a partir de sedimentos tomados en el lecho vivo de cauces y, siempre que sea posible, en la zona central de este.

Se procederá al tamizado in situ y la muestra tamizada se introducirá en una bolsa “Kraft”

1.3.3.3. Preparación, análisis multielemental e interpretación

Las muestras tomadas serán llevadas a laboratorio, donde se procederá a realizar todas las labores de preparación para, posteriormente, determinar los contenidos totales mediante técnicas de ICPAES o ICPMS. Se llevarán a cabo análisis y tratamientos de tipo univariantes, bivariantes y multivariantes, para posteriormente pasar a la interpretación de los datos y así delimitar anomalías susceptibles de una investigación posterior.

1.3.3.4. Técnica del Ion Metálico Movil (MMI)

En los últimos 6-7 años se han desarrollado las técnicas de MMI (Mobile Metal Ions) que se basan en el ascenso en la vertical de mineralizaciones profundas de un halo de dispersión muy sutil, con concentraciones metálicas bajísimas. La detección de éstas, que se concentran en determinadas fases minerales, requiere estudios de especiación previos, separaciones de fases y análisis muy específicos.

La técnica de iones metálicos móviles (MMI) utiliza un enfoque único en el análisis de metales en suelos y de otros materiales relacionados. Los elementos buscados se extraen utilizando soluciones muy diluidas de compuestos orgánicos e inorgánicos en lugar de las agresivas absorciones convencionales basadas en ácidos o cianuro. Esta metodología permite contrastar pequeñas diferencias de contenidos en ciertos elementos químicos que indican posibles anomalías geoquímicas imposibles de detectar con los análisis tradicionales (ICP + INAA) de muestras de suelos o sedimentos de arroyo, ya que los materiales no afloran en superficie.

La técnica MMI mide los iones de metal que ascienden desde la mineralización hasta los materiales de superficie no consolidados como lodos, cultivos, arenas, etc. Estos iones de metal móviles se liberan de los materiales mineralizados y se desplazan ascensionalmente hasta la superficie. Utilizando cuidadosas estrategias de muestreo, sofisticados ligandos químicos e instrumentación ultrasensible, es posible medir esos iones. Tras su interpretación, los datos MMI pueden indicar la existencia de zonas anómalas.

La investigación con la técnica del Ion metálico móvil (MMI) se realizará únicamente en la zona sur de la Reserva de Aznalcóllar.

Se prevé la realización de 4 perfiles de dirección N-S, de 2.000 m de longitud cada uno, es decir, 8.000 m de longitud total de muestreo geoquímico. Se recogerán muestras cada 50 m, 40 muestras por perfil, resultando un total de 160 muestras. El número de perfiles o longitud de los mismos podrá variar en función de los resultados del estudio gravimétrico que se describe en el siguiente apartado, “Prospección geofísica”.

Las muestras se tomarán sobre suelos secos (sin lluvia previa de al menos 48 horas) y no contaminados (sin presencia de residuos de escombrera o material similar) se recolectarán 2 kg por muestra de suelo, a una profundidad entre 5-20 cm.

Para el análisis de las muestras se requiere un secado y tamizado a fin de homogeneizar el tamaño de grano. Utilizando como referencia los resultados del estudio realizado en 2003 en Las Cruces (Sevilla), las muestras se tamizarán a 177 micras.

Las muestras, tras el tamizado, se lixiviarán en una matriz enzimática que contiene una solución oxidada de glucosa a 30ºC durante una hora. Durante la lixiviación, la enzima reacciona con el compuesto amorfo de MnO2 disolviéndolo. Los metales forman complejos con el ácido glucónico presente. Las soluciones resultantes se analizan en un Perkin Elmer ELAND 6000, 6100 o 9000 ICP/MS.

Se efectuará la estadística elemental de los resultados de los análisis por lixiviación enzimática de las 160 muestras tratadas, con los cálculos de máximo, media, mediana,

desviación estándar más cálculo del valor de fondo con el histograma y el contraste (Valor máximo / valor de fondo).

Para la representación cartográfica de los resultados se realizarán mallas por krigeaje para obtener mapas de contornos de cada elemento analizado.

1.3.4. Sondeos mecánicos

Se pretenden llevar a cabo, como parte de la investigación prevista para el proyecto "Los Frailes", unos sondeos mecánicos con recuperación de testigo.

En la investigación mediante sondeos con recuperación de testigos, el objetivo final es la caracterización de un volumen de roca representativo dentro de un área seleccionada, por lo que la investigación se plantea en varias etapas de manera que progresivamente se vaya profundizando en el conocimiento deseado.

Se prevé realizar 65 sondeos mecánicos con recuperación de testigo de tipo wireline, cada uno con profundidad variable entre 200 y 600 metros. El diámetro de recuperación de testigo será también variable, empleándose PQ y HQ hasta que la calidad de la roca requiera la reducción del diámetro, momento en el que se perforará con NQ. (Figura 1.25)

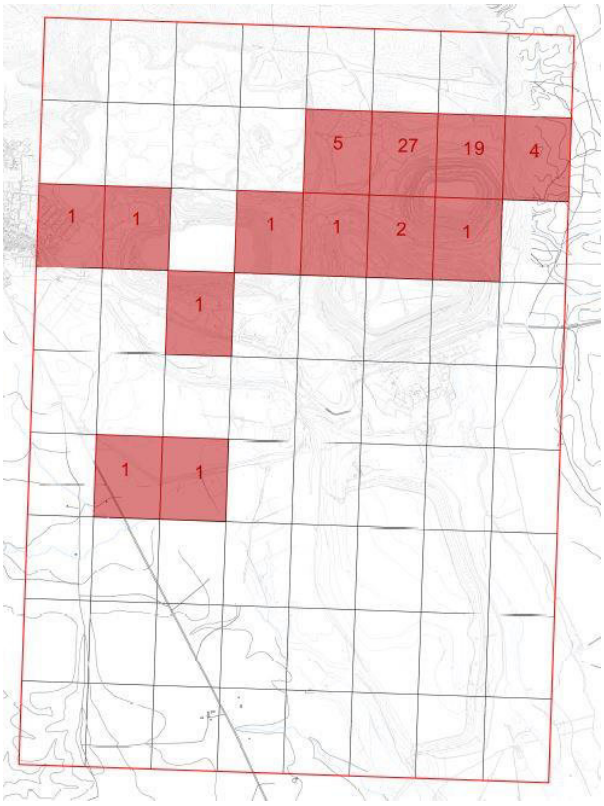


Figura 1.25 – Mapa del número de sondeos propuestos por cuadrícula minera. (Fuente: Elaboración propia)

1.3.4.1. Wireline

El Wireline es un método que se emplea en la recuperación de testigos continuos de sondeos, y cuya principal ventaja es la capacidad de extraer dicho testigo sin necesidad de maniobrar con el varillaje, reduciendo así el tiempo ineficaz de perforación.

1.3.4.2. Lodos de perforación

Para la realización del sondeo, será necesario el uso de lodos de perforación, lo que desemboca en la necesidad de disponer de una balsa temporal o depósito de lodos anejos al sondeo.

Los lodos serán de tipo bentonítico, es decir una mezcla de arcilla montmorillonítica y agua. Funcionan en circuito cerrado, saliendo a la superficie de forma previa a su paso por la balsa o depósito, los lodos son refrigerados.

Siguiendo este modus operandi nos aseguramos una mejor restauración de la balsa de lodos y de los materiales que se hubiesen podido haber depositado durante la operación de perforación y recuperación de testigo.

1.3.4.3. Impacto de la perforación

Al tratarse de una máquina con movilidad tan solo será necesaria la adecuación del terreno para su desplazamiento hasta el lugar de trabajo, y el acondicionamiento del lugar de perforación en donde se instalará la balsa de lodos.

1.3.5. Prospección geofísica

Existen dos parámetros físicos característicos de los depósitos de sulfuros masivos en general y de la Faja Pirítica Ibérica en particular, que justifican la aplicación de los métodos geofísicos para su prospección: Alta densidad y muy baja Resistividad eléctrica. En consecuencia, la prospección de este tipo de yacimientos se realiza en todo el mundo mediante la combinación de dos métodos geofísicos: Gravimetría y métodos Geoeléctricos basados en las medidas de la Resistividad eléctrica del terreno. La eficacia de esta combinación de métodos geofísicos está ampliamente demostrada a lo largo de varias décadas y en varios proyectos.

1.3.5.1. Medidas de resistividad: Registros TEM en sondeos

Posteriormente se procederá al reconocimiento de las anomalías gravimétricas para determinar cuáles de ellas son de carácter conductor, lo que determinará su posible origen en relación con masas de sulfuros metálicos.

EM de Dominio de Tiempos con la particularidad de utilizar bucles transmisores de grandes dimensiones y sensores especiales de alta sensibilidad para extender la profundidad de investigación hasta 1.000 m aproximadamente.

Estas medidas tendrán como objetivo el reconocimiento de las posibles anomalías gravimétricas profundas (> 400 m), con el fin de determinar si corresponden con elementos del subsuelo de muy baja resistividad eléctrica, en cuyo caso sería altamente probable que tales anomalías estén producidas por masas de sulfuros metálicos.

El método de las medidas TEM en sondeos está ampliamente divulgado en la bibliografía técnica y su aplicación es habitual en la prospección de minerales metálicos tanto mediante medidas de superficie como mediante medidas realizadas en sondeos. Se explican brevemente algunos de sus aspectos más significativos en lo que afecta a la planificación y la ejecución de las medidas en los sondeos:

- Para conseguir energizar un posible conductor del subsuelo y que su efecto se manifieste en las medidas TEM realizadas dentro de un sondeo es necesario crear en el subsuelo un momento magnético suficientemente intenso. Esto se logra mediante el corte instantáneo de un pulso de corriente que se hace circular por un bucle de cable situado sobre el terreno. El momento magnético es el producto de la intensidad de los pulsos de corriente que circulan por el bucle transmisor multiplicada por el área encerrada por el bucle transmisor y por su número de espiras. En términos prácticos esto significa que el tamaño del bucle transmisor localizado en la superficie del terreno debe ser suficientemente grande y proporcional a la profundidad hasta la que se hayan de realizar las medidas en los sondeos.

- La manifestación de un conductor del subsuelo, como por ejemplo una masa de sulfuros metálicos, en las medidas TEM realizadas dentro del sondeo depende en gran parte del acoplamiento EM entre el campo EM primario (creado por los pulsos de corriente que se hacen circular por el bucle transmisor) y el conductor. El acoplamiento EM depende de la posición relativa entre el bucle transmisor y el conductor del subsuelo y es máximo cuando las líneas de fuerza del campo EM primario intersectan perpendicularmente a la cara de mayor superficie del conductor, asumiendo que éste sea de forma tabular.

Para poder detectar y determinar con mayor precisión la localización y la continuidad de una posible mineralización masiva de carácter metálico es necesario en algunos casos realizar varias series de medidas TEM en el mismo sondeo, para diferentes localizaciones del bucle transmisor situado en la superficie del terreno; o bien emplear bucles transmisores con una configuración específica.

La anomalía producida en las medidas TEM por una masa metálica, especialmente cuando no ha sido intersectada por el sondeo, se manifiesta a lo largo de un tramo del mismo muy superior a la potencia real de la mineralización. La “anchura” de la anomalía es tanto mayor cuanto más alejada del sondeo se sitúa la mineralización que la origina. En consecuencia las medidas TEM en los sondeos no son continuas sino que se hacen a intervalos variables entre 10 y 20 metros, que pueden reducirse a 5 metros en zonas de anomalías complejas para la mejor definición de sus características.

La interpretación de las anomalías de los registros TEM de los sondeos se lleva a cabo mediante un proceso de modelización que permite determinar los siguientes parámetros de los conductores metálicos del subsuelo que las originan:

- Localización, rumbo y buzamiento.

- Tamaño aproximado.

- Conductancia. Es el producto de la conductividad por la potencia de la masa de sulfuros metálicos y sus valores son por lo tanto representativos de la entidad de la masa de sulfuros metálicos que produce la anomalía en cuestión.

En la representación de los valores del potencial en forma de perfiles la proyección horizontal de la cabecera del conductor viene definida por el punto de potencial máximo o de

gradiente de potencial nulo. El plano de equipotenciales resultante de estas medidas permite determinar la proyección horizontal del conductor metálico cortado por el sondeo.

En ciertos casos, mediante las medidas de puesta a masa también pueden identificarse otros conductores próximos aunque no estén en contacto con aquél en el que se ha producido la inyección de los pulsos de corriente, porque producen máximos de potencial de menor amplitud que el principal, pero que pueden ser perfectamente interpretables.

Pese a su indudable interés, no se puede asegurar a priori que su empleo sea viable en la Zona Norte de la Reserva de Aznalcóllar, salvo en su extremo NE, debido a que una gran parte de esta zona está recubierta por escombreras y ello representa no solo una importante limitación logística, sino también una dificultad para la obtención de medidas fiables. En todo caso se planteará su aplicación para el estudio de posibles masas que se descubran independientemente de las conocidas y parcialmente explotadas.

La profundidad de los sondeos que se plantea perforar en la Zona Norte de la Reserva Minera de Aznalcóllar puede variar entre 400 y 800 m, lo que significa que están perfectamente dentro del rango de aplicación de este método que puede aplicarse en sondeos de hasta 2.000 metros de profundidad. El equipo técnico de Minorbis-Grupo México determinará a lo largo del desarrollo de la campaña de sondeos cuáles se deberán estudiar mediante medidas TEM, aunque en este momento cabe considerar que con este método se estudien al menos 7 sondeos.

Para estos estudios se aplicarán las especificaciones técnicas que se relacionan a continuación:

- Emplazamiento del bucle o bucles transmisores en superficie a partir de una simulación en función de la profundidad del sondeo y de las características geológicas de la zona de estudio, para tratar de conseguir el máximo acoplamiento del campo EM primario con las posibles masas de sulfuros metálicos localizadas en el entorno del sondeo.
- Tamaño de los bucles transmisores — Se emplearán bucles cuadrados cuyo lado sea entre ½ y ⅓ de la profundidad del sondeo.
- Sincronismo entre Tx y Rx mediante cable de referencia.
- Intensidad de los pulsos de corriente — Como mínimo será de 10 A.
- Tiempo de corte de los pulsos de corriente (T/O time) — En función del tamaño de los bucles.
- Frecuencia de los pulsos de corriente en el bucle Tx — 25 Hz (HI) y 6'25 Hz (MD).
- Parámetro medido — Tres componentes ortogonales (X, Y, Z) de la f.e.m. del campo EM secundario.
- Opción de medida “Off time”. Esta modalidad implica que en cada posición del sensor dentro del sondeo se hace una sola serie de medidas independientes, después del corte de los pulsos de corriente en el bucle transmisor.

- Ejecución de las medidas del campo EM transitorio en el intervalo desde 0'078 hasta 7'04 ms para la frecuencia de 25 Hz y entre 0'312 y 28'12 ms para la frecuencia de 6'25 Hz a lo largo de 20 ventanas. La operación a menor frecuencia, 2'5 Hz (LO), queda limitada al caso de que se detecte alguna masa extraordinariamente grande, de modo que su respuesta se mantenga en canales de tiempo posteriores a 25 ms.

- Distribución de los puntos de medida a intervalos de 10 metros a lo largo de todo el sondeo.

- Como control de calidad de las medidas, se repetirán las medidas al menos en el 10% de los puntos a lo largo del sondeo.

1.3.5.2. Gravimetría

En primer lugar se llevará a cabo una campaña de medidas gravimétricas distribuyendo los puntos de medida en malla de 200 x 50 metros, con lo que para las 14 Cuadrículas sobre las que se realizará esta técnica (de las 72 Cuadrículas Mineras solicitadas) resultan del orden de 1.440 estaciones gravimétricas, contando con la posibilidad razonable de que en zonas de anomalía hayan de medirse algunas estaciones adicionales para densificar la malla y obtener mayor resolución donde sea procedente.

El análisis interpretativo de los datos resultantes del estudio gravimétrico se realizará mediante la inversión del plano de la Anomalía de Bouguer para obtener un modelo 3D con la distribución de los valores de la densidad del terreno hasta una profundidad que puede seleccionarse a voluntad y que en principio consideramos que será del orden de 1.000 metros. Mediante estos documentos quedará definida la localización, en planta y en profundidad, de las posibles anomalías de interés que constituirán objetivos específicos para las sucesivas fases de la exploración.

1.3.5.3. Estudio mediante SEDT en la Zona Sur

El método de los SEDT

Mediante este método se pretende resolver un doble objetivo:

- Determinar el espesor del recubrimiento terciario operando en modo convencional de sondeo eléctrico 1D y situando los puntos de medida relativamente próximos entre sí para poder correlacionar sus resultados y producir así secciones de resistividad similares a las secciones geológicas convencionales.

- Analizar el significado de las posibles anomalías gravimétricas para discriminar si están producidas por un alto en el relieve del sustrato rocoso bajo el recubrimiento, o si están producidas por masas de sulfuros metálicos. Para este objetivo las medidas de campo se realizarán en la modalidad de bucles móviles contiguos (Slingram).

Es oportuno recordar en este punto que el descubrimiento del yacimiento de "Las Cruces" se produjo como resultado de la correcta aplicación de esta metodología de trabajo: Estudio gravimétrico y comprobación mediante el método de los SEDT en modo Slingram que el máximo gravimétrico se correspondía con una zona de muy baja resistividad, localizada en el sustrato rocoso.

El método de los SEDT es una variante del Sondeo Eléctrico en la prospección geoeléctrica, que se diferencia del SEV clásico en que opera por inducción sin contacto eléctrico del dispositivo de medida con el terreno. De forma muy esquemática su funcionamiento es el siguiente: A través de un bucle de cable situado sobre el terreno se hace circular un pulso de corriente de alta intensidad que se interrumpe de forma brusca en el intervalo de algunos microsegundos. La interrupción de la corriente produce un campo magnético variable que a su vez induce una corriente en el subsuelo con un comportamiento de tipo difusivo.

Esta corriente migra hacia abajo y se extingue en el período de algunos milisegundos. Las medidas de la f.e.m. del campo EM secundario asociado a estas corrientes de difusión realizadas en diversas ventanas de tiempo son en consecuencia representativas de las características eléctricas (resistividad) del subsuelo. Se emplea para ello como sensor una bobina con un área efectiva equivalente del orden de 100 m^2 que se dispone respecto al bucle transmisor según diversas configuraciones. Una de las más comunes es situar la bobina receptora en el centro del bucle transmisor.

Un concepto básico de este método es que a tiempos de lectura crecientes corresponden rangos crecientes de profundidad investigada.

A partir de los valores de f.e.m. medidos se calculan los correspondientes valores de la resistividad aparente que representados en función del tiempo de lectura dan origen a las curvas de la resistividad aparente, similares a las de los SEV. Estas curvas representan la variación integrada de la resistividad del subsuelo en función de la profundidad.

La escala horizontal de las curvas de resistividad aparente expresada en función del tiempo correspondiente a los diferentes canales de medida es equivalente a una escala de profundidad ya que, como se ha dicho, la señal correspondiente a tiempos de medida crecientes involucra el efecto de los materiales del subsuelo situados a rangos crecientes de profundidad.

El método de los SEDT tiene particularidades que le diferencian del de los SEV, haciéndole más o menos ventajoso para el estudio de cada caso particular, dependiendo de las características del modelo geológico, factores logísticos, profundidad a investigar, etc. Las características diferenciadoras más relevantes entre ambos métodos son las siguientes:

- Las medidas de los SEDT son representativas de los materiales situados principalmente en la vertical del bucle utilizado para generar el campo EM transitorio. Este bucle es normalmente de dimensiones inferiores a la profundidad investigada. Por ello tales medidas son más focalizadas que las obtenidas mediante SEV en las que se involucra el efecto de un considerable volumen rocoso cuando la distancia entre los electrodos de emisión AB es grande y siempre se cumple que AB es muy superior a la profundidad investigada. Esta mayor focalización contribuye a minimizar la influencia de los posibles cambios laterales de resistividad o de espesor de las capas.

- La capacidad de profundización de los SEDT depende directamente del tamaño del bucle y de la intensidad de los pulsos de corriente. También depende de la distribución de la resistividad de los materiales del subsuelo, siendo tanto mayor cuanto más conductores sean éstos. En cualquier caso, para igual profundidad

investigada el tamaño del bucle requerido para la ejecución de un SEDT es muy inferior a la apertura necesaria entre los electrodos de emisión de un dispositivo de medida mediante SEV.

- A diferencia de los SEV, que aportan información desde los niveles más superficiales de la sección, los SEDT dejan sin resolver la zona más superficial hasta una profundidad que es directamente proporcional al tamaño del bucle transmisor pero que puede estimarse en un pequeño porcentaje de la dimensión de sus lados.
- Desde el punto de vista logístico el método de los SEDT es ventajoso respecto al de los SEV puesto que, para igualdad de profundidad a investigar, el tendido de un bucle rectangular de pequeño tamaño es siempre más sencillo que el extendido de un dispositivo lineal a distancias muy superiores al tamaño de uno de los lados del bucle.
- El grado de fiabilidad y repetibilidad de las medidas de los SEDT es generalmente muy superior a las de los SEV debido a dos causas principales: Por una parte, al no estar afectadas por las condiciones superficiales del terreno porque no requieren contacto físico de los electrodos con el medio rocoso y más importante aún porque las medidas en un determinado SEDT son el resultado de promediar las correspondientes a centenares de ciclos de medida que se repiten en el intervalo de algunos minutos.

Operación en modo Slingram

Esta configuración se denomina también de bucles móviles y se aplica de forma sistemática en la prospección de sulfuros metálicos por su capacidad para detectar masas conductoras con independencia de su disposición subvertical o subhorizontal. Tanto si se trata de conductores subverticales o subhorizontales, es factible conseguir un buen acoplamiento entre el campo EM primario y las posibles masas de sulfuros metálicos. Al variar la posición de los bucles transmisores siempre hay alguna localización para la que el acoplamiento EM es máximo, con independencia de la disposición de los conductores.

Se considera necesaria la aplicación de esta modalidad de uso del método TEM para el reconocimiento de las posibles anomalías de interés que resulten del estudio gravimétrico que se realice previamente, para poder discriminar si realmente están producidas o no por masas de sulfuros metálicos.

Para este reconocimiento se operará con un espaciado de 50 metros entre los puntos de medida al objeto de conseguir suficiente resolución en los resultados. Por su parte el tamaño de los bucles habrá de definirse en función del espesor del recubrimiento Terciario y en todo caso deberá ser suficiente para extender el reconocimiento hasta al menos 400 – 500 m de profundidad.

La forma en que un conductor de morfología tabular y disposición subvertical se manifiesta en este tipo de medidas es fácilmente reconocible, ya que produce en los perfiles de f.e.m. del campo EM transitorio una anomalía formada por dos máximos asimétricos y un mínimo centrado en la cabecera del conductor.

El rumbo general del contacto entre el sustrato Paleozoico y el recubrimiento Terciario, que incrementa su espesor hacia el Sur, es aproximadamente Este-Oeste. En consecuencia

se considera conveniente situar en dirección Norte-Sur los perfiles en los que se realizarán estas medidas.

El reconocimiento mediante SEDT se organizará en dos fases diferenciadas en función de sus objetivos y lógicamente de la modalidad de operación para realizar las medidas sobre el terreno y el posterior procesado de los datos (Figura 1.26).

Programa para determinar el espesor del recubrimiento Terciario

Se cuantifica este programa en el estudio de cuatro perfiles que totalizan aproximadamente 11 km. Para un espaciado del orden de 200 m entre los puntos de medida resulta un total de 55 SEDT.

Las especificaciones técnicas para estos trabajos serán las siguientes:

- Espaciado entre los puntos de medida – 200 m.
- Tamaño del bucle transmisor – 100 x 100 m.
- Sincronismo entre transmisor y receptor mediante cable de referencia.
- En cada punto de medida se harán tres registros independientes para frecuencias de 25 Hz, 6'25 Hz y 2'5 Hz, cada uno de ellos a lo largo de 20 ventanas.
- Se registrará exclusivamente la componente vertical del campo EM transitorio empleando como sensor una bobina de inducción con un área equivalente de 100 m^2 o mayor.

Medidas en modo Slingram para el reconocimiento de posibles anomalías gravimétricas

Esta fase se desarrollará operando en modo de bucles móviles con medidas a intervalos de 50 m a lo largo de los perfiles que oportunamente se definan en base a los resultados del estudio gravimétrico. Asimismo habrán de definirse la longitud de los posibles perfiles y las especificaciones técnicas para las medidas en función del espesor del Terciario y de las particularidades de las posibles anomalías gravimétricas.

En todo caso para esta fase del estudio el registro de la f.e.m. del campo EM transitorio se realizará midiendo tres componentes ortogonales (X, Y, Z) del mismo y empleando como sensor una bobina de inducción multidireccional.



Figura 1.26 – Programa de trabajo para las medidas mediante SEDT destinadas a determinar el espesor del recubrimiento Terciario. (Fuente: elaboración propia)

1.3.5.4. Estudios mediante el método Puesta a Masa

Este método consiste en inyectar un pulso de corriente continua en un cuerpo metálico de muy baja resistividad que haya sido intersectado por un sondeo para determinar en la superficie del terreno la distribución de las líneas equipotenciales del campo eléctrico creado al circular la corriente por el subsuelo y de forma preferente, a través del conductor.

Debido a la baja resistividad del cuerpo conductor (sulfuros metálicos) en el que se inyecta el pulso de corriente, la caída de potencial es mínima en él y máxima en su contacto con el encajante resistivo. Esto se traduce en que en el plano de equipotenciales resultante de este tipo de medidas, el efecto del conductor se manifiesta como un máximo que envuelve a la proyección horizontal de la parte más superficial del conductor. Este documento permite definir por lo tanto el rumbo del conductor y su continuidad lateral.

En la representación de los valores del potencial en forma de perfiles la proyección horizontal de la cabecera del conductor viene definida por el punto de potencial máximo o de gradiente de potencial nulo. El plano de equipotenciales resultante de estas medidas permite determinar la proyección horizontal del conductor metálico cortado por el sondeo.

En ciertos casos, mediante las medidas de Puesta a Masa también pueden identificarse otros conductores próximos aunque no estén en contacto con aquél en el que se ha producido la inyección de los pulsos de corriente, porque producen máximos de potencial de menor amplitud que el principal, pero que pueden ser perfectamente interpretables.

Pese a su indudable interés, no se puede asegurar a priori que su empleo sea viable en la Zona Norte de la Reserva de Aznalcóllar, salvo en su extremo NE, debido a que una gran parte de esta zona está recubierta por escombreras y ello representa no solo una importante limitación logística, sino también una dificultad para la obtención de medidas fiables. En todo caso se planteará su aplicación para el estudio de posibles masas que se descubran independientemente de las conocidas y parcialmente explotadas.

En el caso de emplearse este método, las medidas del potencial eléctrico se realizarán en modo gradiente con un espaciado de 20 metros entre los electrodos del dipolo receptor. El programa estándar para el estudio de cada sondeo incluirá la ejecución de las medidas sobre 8 perfiles de rumbo N-S, con una longitud unitaria de 800 a 1.000 metros y separados entre sí a intervalos de 200 m. Además, para la nivelación de los valores de potencial se harán medidas en un perfil de enlace que cruce todos los perfiles.

1.3.5.5. Sísmica de reflexión 2D en la zona sur

Se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas P desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de receptores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo el tiempo de recorrido que las ondas P emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio situado entre ambos.

A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de velocidad constante y espesor variable. Este método es muy útil para determinar, de manera rápida, la estructura del subsuelo.

La sísmica puede realizarse interna, mediante la ejecución de un sondeo en el que se introduce una pequeña carga explosiva, cuyas ondas serán recibidas por un geófono situado en el interior de un segundo sondeo. O puede ser externa, siendo la fuente sísmica un vibrador, y colocando el geófono sobre la superficie del terreno.

Se prevé realizar 2 perfiles sísmicos.

El estudio de sísmica de reflexión servirá como complemento de la investigación en la zona Sur en el caso de localizarse mediante las técnicas anteriormente descritas, masas de sulfuros con una disposición estructural favorable para la realización de sísmica de reflexión, es decir, cercana a la horizontal.

La sísmica de reflexión es un método geofísico que pone de manifiesto contrastes de impedancia acústica entre los materiales atravesados. La impedancia acústica se define como el producto de la velocidad de onda sísmica y la densidad de una roca determinada.

Este método ya ha sido utilizado con éxito en el yacimiento de Neves Corvo, en Portugal.

Se realizarán 2 perfiles sísmicos de 1000 m de profundidad y 5500 metros de longitud total, que atravesarán la reserva con orientación Norte-Sur (Figura 1.27):

Las trazas de ambos perfiles serán diseñadas aprovechando los caminos y por este motivo no será necesario permitaje.

La aplicación del método se efectúa en tres fases:

- Adquisición de datos sobre el terreno

- Procesado de los datos

- Conversión de los datos a profundidad e interpretación geológica



Figura 1.27 – Perfiles sísmicos propuestos. (Fuente: elaboración propia)

2. PARTE II: MEDIDAS PREVISTAS PARA LA REHABILITACIÓN DEL ESPACIO NATURAL AFECTADO POR LA INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES

2.1. ALTERACIONES PREVISTAS

El presente apartado de este documento de desarrollo de Plan de Restauración se redacta con el objetivo de definir las actuaciones concretas necesarias a acometer para la restauración final del entorno directamente afectado por la ejecución del Proyecto de Investigación de “Los Frailes” que se plantea en el presente Plan.

Los terrenos afectados por la Investigación que nos ocupa, sufrirán una alteración ciertamente limitada en intensidad y localizada en cuanto a extensión.

La primera fase de las labores proyectadas, la prospección geológica, supondrá un equipo de especialistas que recorrerán a pie el área del Proyecto “los Frailes”, observando los indicios naturales sobre el terreno y elaborando una cartografía geológica. El acceso al terreno se realizará mediante vehículos todoterreno por la red de caminos y carriles del territorio, no previéndose se realice impacto alguno sobre el entorno.

La segunda fase, consistente en la aplicación de técnicas de teledetección, supondrá el estudio de la zona desde fuera del entorno.

En la tercera fase, en la prospección geoquímica, lo que se espera es la toma de muestras y posterior análisis de las zonas que se consideren necesarias para definir óptimamente las características reales de la geología de detalle del entorno. Estas muestras tomadas, unas 160 en total, se realizarán con medios manuales, siendo una alteración inapreciable sobre la zona.

La cuarta fase, supone la única con cierta incidencia sobre el medio. La realización de sondeos supone la ejecución de un total de 65 perforaciones de unos 90 mm de diámetro. Esto supone una alteración del terreno absolutamente despreciable, y lo que fundamentalmente se tiene en cierta consideración son las labores de despeje y desbroce, en las áreas que sea preciso, según las zonas que se decidan finalmente sondear de la superficie de sondeo para la implantación de instalaciones, que presentarán al menos una superficie de unos 500 metros cuadrados.

La quinta y última fase, la prospección geofísica, tampoco se espera genere impactos relevantes sobre el entorno. La realización de las pruebas geofísicas no constituye invasión alguna sobre los factores ambientales, y únicamente se prevé la realización de rozas manuales puntuales de la vegetación en zonas que dificulten el tendido de los sensores de los equipos, pero que de ninguna manera, por extensión prevista e intensidad, podrán

suponer ningún tipo de impacto relevante. La prospección sísmica, al efectuarse con “vibro”, tampoco se generará afección alguna al entorno.

2.2. REMODELADO DEL TERRENO

Según lo expuesto anteriormente, no se contempla remodelado del terreno como una actuación diferenciada dentro del presente Documento. Las afecciones al territorio serán tan puntuales y someras que no se indica ninguna actuación de remodelado del terreno.

2.3. PROCESOS DE REVEGETACIÓN

Al igual que en el punto anterior, la afección sobre la vegetación original, en el caso de producirse, será sobre ejemplares arbustivos y de matorral común, en superficies absolutamente puntuales y escasas, y que por ello no se establecen labores de revegetación.

2.4. DESCRIPCIÓN DE OTRAS POSIBLES ACTUACIONES DE REHABILITACIÓN

2.4.1. Rehabilitación de pistas mineras, accesos y entorno afectado

Como se ha expuesto, no se realizarán grandes accesos a ninguna de las zonas donde tengan lugar actuaciones del Proyecto de Investigación “Los Frailes”.

El personal que acometa actuaciones, accederá a pie a las zonas de trabajo, con la ayuda de vehículos todoterreno circulando a través de la red de carriles del entorno.

En los casos que sea necesaria la realización de adecuaciones o nuevos tramos de caminos, accesos o rozas mecanizadas extensivas en el territorio, al finalizar la actuación el terreno serán repuestos.

2.4.2. Rellenos superficiales

Como se ha hecho referencia, las zonas a alterar serán tan puntuales y reducidas que no se justifican rellenos superficiales o modificaciones topográficas de entidad.

En cualquier caso, los sondeos serán sellados antes de abandonar la zona de trabajo, si bien los lodos de bentonita actuarán como sellantes.

2.4.3. Medidas para evitar la posible erosión

Tampoco será necesario llevar a cabo acciones específicas de reducción de erosión por la temporalidad y puntualidad de las actuaciones.

Se contemplarán en cualquier caso medidas puntuales de afectación mínima del espacio a ocupar y reducción máxima de la superficie alterada.

2.4.4. Protección del suelo

Para minimizar el impacto sobre el suelo, se evitará el vertido de aceites y de grasas a la hora de llevar a cabo la limpieza de los equipos o motores de la maquinaria presente o que tenga actuación en las labores de investigación. La gestión de este tipo de residuos se llevará a cabo según lo establecido en la normativa vigente, para lo que las actuaciones de mantenimiento de los motores deberán ser realizadas en instalaciones adecuadas, nunca en

el terreno natural, y destinar los desechos a un servicio de gestión de residuos por un gestor homologado.

En caso de producirse vertidos accidentales, se procederá rápidamente a recoger la porción de tierras contaminadas y gestionarlas convenientemente. De este modo se evitará la percolación de estas sustancias a niveles inferiores o que sean arrastradas por las aguas de lluvias a lugares no deseados.

2.4.5. Protección de las aguas superficiales y subterráneas

Los trabajos de los sondeos mecánicos en ningún caso modificarán el sistema de drenaje natural.

Se prestará especial atención en el manejo de los residuos, aceites, etc. de no realizar vertidos accidentales, especialmente en las zonas cercanas a cauces. En caso de derrame accidental de aceites o cualquier otro residuo peligroso, se procederá a su inmediata recogida y depósito en contenedores protegidos frente a la intemperie, previa entrega a Gestor Autorizado.

Se evitará la acumulación de materiales de obra o procedentes de los movimientos de tierra en aquellas áreas en las que puedan afectar a cursos de agua existentes en la parcela de actuación.

Se evitará especialmente la circulación de maquinaria y vehículos implicados en las labores de investigación por cualquier cauce de la zona. Esta medida se notificará explícitamente a todo el personal relacionado con la actuación.

En caso de generarse lodos sobrantes en la realización de sondeos, estos serán retirados del terreno y gestionados en las instalaciones de los contratistas, no vertiéndose en ningún caso en los cauces del entorno.

2.4.6. Protección del paisaje

La visibilidad de las actuaciones del proyecto se limita al personal que camine por el monte, los vehículos en la red de caminos y las instalaciones de perforación en la fase de sondeos.

De todas ellas, serán las instalaciones las que supongan un mayor impacto, pero ser unas instalaciones temporales y de extensión tan reducida, entendemos que se producirá un impacto irrelevante, por lo que no se prevén medidas de minimización del impacto paisajístico.

2.4.7. Protección de la calidad del aire

En cuanto a la contaminación atmosférica, como el resto de las afecciones analizadas, la actuación no tendrá relevancia directa en este factor, si bien los vehículos y la maquinaria en la fase de los sondeos producirá un aumento de emisiones acústicas y gaseosas (CO2, SO2 y partículas, principalmente), aunque su impacto sobre el medio biótico se reitera será de escasa relevancia por el pequeño número de motores en funcionamiento, las buenas prácticas ambientales y el propio desarrollo de la actividad.

Por ello se adoptarán las medidas correctoras establecidas contra el ruido, vigilándose el buen estado de los motores. Se realizará un adecuado mantenimiento preventivo y control reglamentario de los vehículos y de la maquinaria que intervengan en todas las fases de la investigación, y en particular en la ejecución de los sondeos mecánicos, garantizándose el cumplimiento de las prescripciones sobre ruidos y vibraciones establecidas en la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido; el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental; Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas; y el Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.

Este hecho también ayudará a reducir los niveles de emisión de ruidos, y con ello también se evitarán deficiencia de engrase, mal ajuste de los elementos motrices, mal estado del sistema de rodamientos y poleas, o mal emplazamiento de la maquinaria empleada.

Con respecto al polvo, y con objeto de minimizar su posible efecto, se aplicarán riegos puntuales en las zonas de tránsito y operación de los sondeos. Asimismo no se superarán los niveles de emisión de partículas en suspensión y de partículas sedimentables establecidos en el Decreto 151/2006, de 25 de julio, por el que se establecen los valores límite y la metodología a aplicar en el control de las emisiones no canalizadas de partículas por las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y resto de normativa que sea de aplicación, como la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, adoptándose las actuaciones que sean necesarias para no superar los límites legales.

Los vehículos, en todas las fases de la investigación, al recorrer los caminos y pistas del entorno contarán con la velocidad limitada.

2.4.8. Protección de vegetación y fauna

La mayor parte de las actuaciones de investigación tendrán lugar en áreas actualmente deforestadas y afectadas por la anterior etapa de actividad minera.

De esta forma, se descartan actuaciones de retirada de ejemplares vegetales, y sólo se desbrozarán aquellas superficies que vayan a ser estrictamente indispensables para las operaciones de investigación, no eliminándose en ningún caso ningún pie arbóreo de cualquier especie.

Las especies amenazadas identificadas en el entorno, entendemos no se van a ver afectadas, ni directa ni indirectamente por eliminación de hábitats.

En líneas generales, las medidas adoptadas para reducir levantamientos de polvo, partículas, emisión y deposición de contaminantes gaseosos también son beneficiosas desde el punto de vista de protección de la vegetación durante la etapa de operación de los sondeos.

Se prestará una atención prioritaria a las actuaciones de prevención de incendios forestales.

2.4.9. Protección de espacios naturales protegidos.

En las labores, se prestará especial atención en no realizar alteraciones alguna en los espacios naturales protegidos del entorno. En particular, se actuará de forma especialmente cuidadosa con las actuaciones a acometer cercanas al ZEC Corredor Ecológico del Guadiamar, donde no se realizará actuación alguna.

En caso de ejecutar alguna labor próxima a ZEC, se procederá a la restitución completa, de terreno y cobertura vegetal en caso de haberse alterado, para no producir ninguna alteración.

2.4.10. Gestión de residuos no mineros

En general, deberán observarse ciertas medidas de gestión en relación a los residuos peligrosos generados en cualquiera de las fases de la investigación, aunque sólo se prevé la posibilidad en la realización de los sondeos de investigación:

- Los envases estarán convenientemente sellados y sin signos de deterioros y ausencia de fisuras.
- El material de los envases deberá ser adecuado, teniendo en cuenta las características del residuo que contienen.
- Cada envase estará dotado de una etiqueta colocada en lugar visible que contendrá, como mínimo, la información que recoge el artículo 14 del Real Decreto 833/1988.
- En cada envase junto al etiquetado de identificación se añadirá, si es preciso, un pictograma representativo de la naturaleza de los riesgos que representa el residuo.
- Se evitará la generación de calor, ignición o explosión u otros efectos que dificulten su gestión o aumenten su peligrosidad.
- Los residuos permanecerán almacenados separados e independientemente.
- La zona de carga y descarga de residuos estará provista de un sistema de retención y control de posibles derrames, con materiales absorbentes para su uso en caso necesario.
- Se instalarán, tanto bajo la sonda testiguera como en el grupo electrógeno, sendas bandejas de recogida de fugas accidentales, además de contar en las instalaciones de mantas absorbentes para retirar posibles derrames.

La gestión de los residuos domésticos en la zona de trabajo, que deberán ser convenientemente separados, consistirá en la retirada periódica, y nunca se abandonarán en el entorno.

2.4.11. Protección del patrimonio

Como norma general y extensiva a todas las actuaciones que se lleven a cabo en marco de cualquier labor de investigación minera, y por lo tanto aplicado específicamente a las actuaciones que estamos contemplando en cuanto a las labores de investigación en el Proyecto “Los Frailes”, se llevará un control visual en cuanto a patrimonio arqueológico de las labores, especialmente en la ejecución de las zonas de sondeos.

2.4.12. Vallado y cerramiento

En las primeras fases no será necesario, pero en las operaciones de sondeos, se prevé sea cerrada el área de trabajo para evitar su acceso no controlado mediante cerramiento del perímetro a través de malla galvanizada de simple torsión colocada sobre pies de hormigón sin cancela.

Adicionalmente, el proyecto de investigación, en la fase de sondeos, se encontrará controlado por vigilancia constante.

3. PARTE III: MEDIDAS PREVISTAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LOS SERVICIOS E INSTALACIONES ANEJOS A LA INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES.

3.1. INSTALACIONES Y SERVICIOS AUXILIARES

3.1.1. Desmantelamiento y rehabilitación de zonas en las que se sitúen las instalaciones de preparación, plantas de concentración y plantas de beneficio de la explotación

Como se ha comentado con insistencia en anteriores epígrafes, en las labores que se plantean no se ven a realizar afecciones al entorno natural relevantes.

En las tres primeras fases, teledetección y prospecciones geológica y geoquímica, las actuaciones son completamente inocuas.

En cuanto a la prospección geofísica, sólo se plantean retiradas puntuales de ejemplares vegetales para la extensión superficial temporal de sensores.

Por último, en la fase de sondeos, si podrán considerarse alteraciones más significativas, pero igualmente temporales y de escasa importancia.

Pero en cualquiera de las fases, todas las instalaciones serán retiradas tras finalizar la operación. Son por tanto acciones temporales, que tras ejecutarse desaparecerán por completo del entorno y con ello sus alteraciones.

De esta forma, no se prevé la existencia de instalaciones de preparación, plantas de concentración ni plantas de beneficio.

3.1.2. Desmantelamiento y rehabilitación de zonas de instalaciones auxiliares

Como instalaciones auxiliares consideramos aquellas de apoyo o suministro al funcionamiento de máquina de sondeos, ya que en el resto de fases no se emplearán equipos o instalaciones. Son:

- Casetas del personal de la actuación.
- Cerramiento perimetral temporal.

3.2. Instalaciones de residuos mineros

En el Proyecto de Investigación planteado no se generarán residuos mineros.

Como se detalla en el siguiente apartado, los materiales no deseados que pueden generarse, con excepción de los fangos/lodos de bentonita (inertes) serán retirados del terreno y gestionados por un gestor autorizado de residuos.

El volumen de los lodos procedentes del sellado en la perforación será mínimo, y su producción se deberá al desmontaje y retirada de los testigos al sacarlos de los sondeos. Por tanto, como estimación, podemos establecer un total de unos 18 m^3 en total por cada sondeo a realizar.

4. PARTE IV: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS

4.1. OBJETIVOS DEL PRESENTE PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Los planes de restauración regulados por el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, poseen en su Parte IV un capítulo íntegramente dedicado a la gestión de los residuos que tendrá lugar en el proyecto al que hace referencia.

En nuestro caso, y a consecuencia de que el proyecto que nos ocupa se trata de una actuación de investigación de recursos mineros, no se generan residuos mineros. Pero no obstante, mantenemos la estructura original definida y propuesta por el Real Decreto de Restauración para alcanzar los siguientes objetivos:

- Prevenir o reducir la producción de residuos y su nocividad.
- Fomentar la recuperación de los residuos.
- Garantizar la eliminación segura a corto y largo plazo.

Adicionalmente, y específicamente con el presente plan de gestión de residuos se pretende poner de manifiesto:

- La identificación, caracterización y cantidad de los residuos generados en la planta temporal de tratamiento de aguas acumuladas en galerías.
- La identificación de las actividades en las que se generan.
- Almacenamiento y gestión de los residuos que se generarán.
- Procedimientos de control y seguimiento en la gestión de los residuos.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Analizando las diferentes fases en las que se definió la actividad del Proyecto de Investigación “Los Frailes” en el epígrafe 1.4, los residuos que se prevén en el proyecto tendrán su posible aparición en las diferentes fases son fangos/lodos de bentonita sobrantes de las operaciones de sellado de las paredes de los sondeos.

En la extracción de los testigos y desmontaje final de las instalaciones una parte del volumen de la mezcla que se bombea en los sondeos resultará sobrante, por lo que procede su retirada antes del abandono de la zona de trabajo.

La cantidad de lodos generados será de aproximadamente 18 m3/sondeo, por lo que la cantidad total estimada de lodos generados será de unos 1.170 m3 de lodos en los 65 sondeos a realizar.

Estos lodos, son residuos no peligrosos, con una propuesta de caracterización según código LER de 01.05.07 (lodos y otros residuos procedentes de perforaciones que contienen sales de bario distintos de los mencionados en los códigos 01 05 05 y 01 05 06).

4.3. CLASIFICACIÓN PROPUESTA PARA LAS INSTALACIONES DE RESIDUOS MINEROS

Como se ha comentado anteriormente, la actividad de investigación no contará con la producción de residuos mineros como tales, si bien los lodos/fangos sobrantes procedentes de las operaciones de sellado de los sondeos se retirarán del emplazamiento al finalizar las labores.

La totalidad del resto de los residuos que se generen, domésticos o de mantenimiento de maquinaria, serán almacenados temporalmente en contenedores diseñados para estos hasta su retirada por gestor autorizado de residuos.

4.4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD QUE GENERA LOS RESIDUOS MINEROS Y DE CUALQUIER TRATAMIENTO POSTERIOR AL QUE ÉSTOS SE SOMETAN

Como se ha comentado, los residuos de lodos/fangos de bentonita se originan en las labores de retirada de los testigos o desmontaje y retirada de las instalaciones. No se generan en ningún proceso o actividad productiva, y al ser inertes serán destinados al finalizar la actividad a gestor autorizado/vertedero.

4.5. DESCRIPCIÓN DE LA FORMA EN QUE EL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA PUEDAN VERSE AFECTADOS NEGATIVAMENTE POR EL DEPÓSITO DE RESIDUOS MINEROS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Ya se ha mencionado, como en la actividad de investigación de recursos mineros planteada no se realizará depósito de residuos mineros alguno, y los residuos previstos, como ya se ha establecido, serán gestionados directamente por un gestor autorizado (inertes).

4.6. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO

A pesar que los residuos que se prevén generar en la ejecución del Proyecto de Investigación no se considera que gocen de alta peligrosidad, conviene que diariamente se deberá comprobar el estado de las instalaciones y de posibles derrames o vertidos.

Asimismo, si se previeran puntas de producción de los residuos se comunicará a la menor brevedad a un gestor de residuos para evitar acúmulos excesivos.

Los documentos de entrega-retirada de los residuos por parte del gestor, de acudirse a esta figura, se conservarán en un archivo por el titular, así como los certificados periódicos de gestión.

5. PARTE V: CALENDARIO DE EJECUCIÓN Y COSTE ESTIMADO DE LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN

5.1. CALENDARIO DE EJECUCIÓN

Las actuaciones en materia de restauración o rehabilitación de los terrenos en que se realizarán las operaciones de investigación, como ya se ha señalado, tendrán lugar tras la fase de sondeos mecánicos, y consistirán sobre todo en la limpieza del área de trabajo y la retirada de equipos e instalaciones.

De esta forma, los trabajos de restauración se extenderán a lo largo del mes siguiente a la finalización de cada uno de los 65 sondeos previstos.

El resto de medidas de protección y prevención quedan incorporadas como parte de las tareas de la investigación.

El cronograma se ha dividido en meses, y en él se relacionan las fases fundamentales de la investigación (Tabla 5.1):

MESES	AÑO 1							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Recopilación de información								
Prospección geológica								
Teledetección								
Prospección geoquímica								
Sondeos Mecánicos								
Tratamiento de testigos								
Prospección geofísica								
Evaluación Final								
Restauración								

Tabla 5.1 – Cronograma de actuaciones. (Fuente: elaboración propia)

5.2. Coste estimado de los trabajos de rehabilitación

5.2.1. Justificación de precios

En la elaboración del presupuesto (cuyo detalle puede consultarse al completo en el Anexo II) del presente Plan de Restauración se han empleado como base diferentes bancos de precios recientes, según necesidades, publicados y elaborados por organismos públicos de reconocido prestigio.

Como partida, se ha empleado bases de precios recientes, publicadas y elaboradas por organismos públicos de reconocido prestigio, en este caso las tarifas TRAGSA 2011.

Únicamente se ha tomado la información especial de ciertas partidas que no aparecen en las bases de precios en algunos casos, como actuaciones relacionadas con la protección del paisaje, al ser servicios exclusivos de ciertas empresas concreta, y cuyo coste se ha obtenido directamente acudiendo a ellas.

También existe alguna partida la cual no aparece en la base de precios principal utilizada, por lo que ha sido necesario tomar los valores de otra base de precios, también de reconocido prestigio.

Así, las fuentes de información de los precios empleados han sido:

- Para el grueso del presupuesto se han empleado las tarifas de la empresa pública TRAGSA, del año 2011. Empresa de Transformación Agraria. Ministerio de Medio Ambiente.
- Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2014, base de precios oficial publicada por la Junta de Andalucía.
- Para las partidas no existentes en las bases de precios anteriores se ha empleado la base de precios de edificación y obra civil en España, PREOC 2014. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara (España).

5.2.2. Resumen del presupuesto

1	**RESTAURACIÓN EN SONDEOS**		**5.294,94**
-01.01	-RESTAURACIÓN DE BALSAS	2.449,44	
	Retirada de lodos bentoníticos inertes, procedentes de perforación en balsa/cubeto, mediante camión con bomba de succión de lodos, así como de la posible lámina de PE de impermeabilización, y transporte a vertedero autorizado, incluyendo el canon de vertido de los materiales, relleno de balsa y restitución final de cobertera con material previamente extraído y acopiado en las cercanías de la balsa.		
-01.02	-RESTITUCIÓN DEL TERRENO.....	2.845,50	
	Reposición del terreno alterado por la implantación de los equipos de perforación en las labores de sondeo mediante el extendido del material extraído y acopiado en las inmediaciones de la zona de actuación.		
2	**RESTAURACIÓN EN CATAS**		**216,80**
-02.01	-RESTITUCIÓN DEL TERRENO EN CATAS	216,80	
	Relleno de las zanjas efectuadas para las calicatas, con el material extraído del terreno y acopiado en las cercanías.		
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		**5.511,80**
	13,00 % Gastos generales		716,53
	6,00 % Beneficio industrial		330,71
	SUMA DE G.G. y B.I.		1.047,24
	21,00 % I.V.A.		219,92
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA		**6.778,96**
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		**6.778,96**

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de SEIS MIL SETECIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

PLANOS Y CARTOGRAFÍA

Nº	Título	Escala
1.32	Red hidrográfica superficial	1 : 25.000
1.33	Aguas subterráneas	1 : 50.000
1.34	Edafología: Catálogo de suelos de Andalucía	1 : 50.000
1.35	Vegetación potencial: Series de vegetación	1 : 50.000
1.36	Vías pecuarias	1 : 50.000
1.37	Espacios naturales protegidos	1 : 50.000
1.38	Montes públicos y patrimonio	1 : 25.000

TOMO Nº 1: PLAN DE INVESTIGACIÓN

ANEJO 1.4: DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD

CONCURSO PÚBLICO PARA LA ADJUDICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA RESERVA MINERA DE AZNALCÓLLAR (SEVILLA)

Código proyecto:	PE_LFR	**Fecha:**	Diciembre 2014
Ingeniería	**Autor**		**Titular**
MAGTEL – GRUPO MÉXICO	CRS INGENIERÍA		MINORBIS S.L.U. – GRUPO MÉXICO

ANEJO 1.4: DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD

CONTROL DE LA DOCUMENTACION DEL SISTEMA DE CALIDAD

TITULO DEL DOCUMENTO: DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD.

CODIGO PROYECTO: PE_LFR

CODIGO DOCUMENTO: PE_LFR_A_1.4_Rev00

Fichero: PE_LFR_A_1.4_Rev00.doc

	Fecha	Nombre
Realizado	18/11/2014	CRS INGENIERÍA
Revisado	28/11/2014	GOLDER ASSOCIATES
Aprobado	01/12/14	GRUPO MÉXICO-MINORBIS

TABLA DE CONTENIDOS

ANEJO 1.3: DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD 0
FIGURAS 5
TABLAS 6
0. INTRODUCCIÓN 7
0.1. MARCO JURÍDICO 7
1. OBJETO 9
1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y VARIACIONES 9
2. DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD 10
2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA 10
2.2. IDENTIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRABAJO 10
2.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES, CUALIFICACIÓN Y TIPOS DE CONTRATO LABORAL 10
2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS CONTRATAS Y SUS TRABAJADORES 10
2.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS 10
2.5.1. Descripción 10
3. ORGANIZACIÓN DE LA PREVENCIÓN 12
3.1. POLÍTICA PREVENTIVA 12
3.2. EMPRESARIO 13
3.3. DIRECTOR FACULTATIVO 14
3.4. MODALIDAD PREVENTIVA 15
3.5. RECURSO PREVENTIVO 15
3.6. REPRESENTANTES DE LOS TRABAJADORES Y DEDICACIÓN EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD 15
3.7. RESPONSABILIDADES Y FUNCIONES EN MATERIA PREVENTIVA 16
3.7.1. Dirección 16
3.7.2. Los trabajadores 17
3.7.3. Técnicos de prevención 18
3.7.4. Director Facultativo 19
3.8. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJDORES 19
4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD 20
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO 20

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO 21
4.3. PELIGROS EN LOS LUGARES DE TRABAJO.....21
5. EVALUACIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LA EMPRESA 22
5.1. EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGOS EN LA EMPRESA.....24
5.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS POR ACTIVIDAD.....26
5.2.1. Trabajos previos.....26
5.2.2. Realización de catas y sondeos 27
5.2.3. Trabajos de prospección geológica 28
5.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS POR PUESTOS DE TRABAJO 29
5.3.1. Geólogo 29
5.3.2. Operario de pala o retroexcavadora 30
5.3.3. Perforista.....31
6. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA EMPRESA 32
6.1. PLANIFICACIÓN DE LA ACCIÓN PREVENTIVA 32
6.2. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN PARA LAS CONDICIONES GENERALES Y LUGARES DE TRABAJO 33
6.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN PARA TRBAJADORES SINGULARES 34
7. COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES 35
7.1. MEDIOS DE COORDINACIÓN ESTABLECIDOS 35
7.2. PROCEDIMIENTOS DE COORDINACIÓN.....36
7.3. COOPERACIÓN, INSTRUCCIONES Y VIGILANCIA EN RELACIÓN CON LAS EMPRESAS CONTRATADAS.....37
7.3.1. Cooperación.....37
7.3.2. Instrucciones.....37
7.3.3. Vigilancia.....37
8. PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ACTIVIDAD EMPRESARIAL.....38
8.1. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO, INSTRUCCIONES Y AUTORIZACIONES.....38
8.1.1. Procedimientos de trabajo.....38
8.2. DISPOSICIONES INTERNAS DE SEGURIDAD 40
8.3. REGISTROS.....40
8.4. PLAN DE REVISIONES Y MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE MÁQUINAS, VEHÍCULOS, HERRAMIENTAS, AAPRATOS DE ELEVACIÓN, CUADROS ELÉCTRICOS, EXTINTORES DE INCENDIOS,… 40

8.4.1. Periodicidad de inspecciones 40
9. FORMACIÓN....41
9.1. FORMACIÓN INICIAL POR PUESTO DE TRABAJO....41
9.1.1. Formación preventiva inicial 41
9.1.2. Formación preventiva por puesto de trabajo 41
9.1.3. Análisis Preventivo del Trabajo (APT) 41
9.1.4. Formación en Prevención de cada contratista....41
9.2. PLAN ANUAL DE RECICLAJE Y FORMACIÓN CONTINUA 42
10. INFORMACIÓN 43
10.1. RIESGOS GENERALES Y POR PUESTOS DE TRABAJO 43
10.2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN, PREVENCIÓN Y DE EMERGENCIA 43
10.3. PLAN ANUAL DE INFORMACIÓN PREVENTIVA 44
10.3.1. Tablones de anuncios de seguridad 44
11. PLANES DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS 45
11.1. INTRODUCCIÓN 45
11.1.1. Actuaciones en caso de emergencia causada por incendios o explosiones 45
11.1.2. Actuaciones en caso de emergencia causada por accidente o causas naturales 46
11.1.3. Actuaciones en caso de emergencia causadas por fenómenos naturales externos 46
11.1.4. Listín de teléfonos de emergencia 47
11.2. PLAN DE AUTOPROTECCIÓN 47
11.2.1. Objeto....47
11.2.2. Ámbito y personal afectado 47
12. VIGILANCIA DE LA SALUD 49
13. CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREVENTIVA....50
13.1. CONTROLES PERIÓDICOS DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y DE LA ACTIVIDAD DE LOS TRABAJADORES....50
13.2. SEGUIMIENTO Y CONTROL PERIÓDICO DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN IMPLANTADAS 51
13.3. SEGUIMIENTO DE LOS ACCIDENTES, INCIDENTES Y ENFERMEDADES PROFESIONALES....52
13.4. ÍNDICES DE SINIESTRALIDAD....54

13.5. AUDITORÍAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES.....54

FIGURAS

Figura 4.1 – Identificación de los lugares de trabajo. (Fuente: elaboración propia).....20

TABLAS

Tabla 5.1 – Método simple para estimar los niveles de riesgo. (Fuente: elaboración propia)25

Tabla 5.2 – Riesgos de trabajos previos. (Fuente: elaboración propia) 26

Tabla 5.3 – Riesgos de realización de catas y sondeos. (Fuente: elaboración propia) 27

Tabla 5.4 – Riesgos de trabajos de prospección geológica. (Fuente: elaboración propia)....28

Tabla 5.5 – Riesgos del geólogo. (Fuente: elaboración propia) 29

Tabla 5.6 – Riesgos del operario de pala o retroexcavadora. (Fuente: elaboración propia)..30

Tabla 5.7 – Riesgos del perforista. (Fuente: elaboración propia) 31

Tabla 8.1 – Tabla a rellenar para realizar un trabajo no incluido en la evaluación inicial de riesgos o que su desarrollo implique riesgos considerables 39

Tabla 11.1 – Listín de teléfonos de emergencia. (Fuente: elaboración propia) 47

Tabla 13.1 – Tabla de controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores.....50

Tabla 13.2 – Tabla seguimiento y control de las medidas preventivas y de protección derivadas de la evaluación de riesgos.....51

Tabla 13.3 – Tabla seguimiento de accidentes, incidentes y enfermedades profesionales...53

0. INTRODUCCIÓN

La Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, establece un cuerpo básico de garantías y responsabilidades para lograr un adecuado nivel de protección de los trabajadores frente a los peligros derivados de las condiciones de trabajo, y constituye la base de toda la normativa posterior relativa a la seguridad y salud en el trabajo.

La más reciente Ley 54/2003, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales, ha venido a subrayar como objetivos combatir de manera efectiva la siniestralidad laboral y fomentar una auténtica cultura de la Prevención de los riesgos en el trabajo, que asegure el cumplimiento efectivo y real de las obligaciones preventivas, así como reforzar la necesidad de integrar la prevención de los riesgos laborales en los sistemas de gestión de la empresa y mejorar el control del cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales. Dicha Ley resalta la importancia de la integración de la prevención de riesgos laborales en la empresa. La protección de la seguridad y salud de los trabajadores en las industrias extractivas está actualmente regulada por el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

En particular, y para dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el artículo 3.2 del Real Decreto 1389/1997 y el apartado 2.1b del anexo del Real Decreto 150/1996, establecen la obligatoriedad por parte del empresario de elaborar y mantener al día un Documento sobre Seguridad y Salud que recoja los requisitos pertinentes contemplados en la normativa vigente.

En este Documento queda plasmado el proceso de elaboración, implantación y forma de aplicación de la planificación de la acción preventiva, además de referir cómo se ha integrado la prevención de riesgos laborales en su sistema de gestión.

El presente Documento de Seguridad Salud versa sobre las labores a realizar fruto de llevar a cabo el Proyecto de Investigación, necesario para la reapertura del Complejo Minero Los Frailes, situado en el T.M. de Aznalcóllar, Sevilla

0.1. MARCO JURÍDICO

- Ley 31/1995 de Prevención de riesgos laborales. Modificada por: ley 31/2006, sobre implicación de los trabajadores en las sociedades anónimas y cooperativas europeas. Ley Orgánica 3/2007, para la igualdad efectiva de mujeres y hombres. Ley 54/2003, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. Ley 39/1999, para promover la conciliación de la vida familiar y laboral de las personas trabajadoras. Real Decreto Legislativo 5/2000, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social. Y reglamentación complementaria que la desarrolla.
- Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Modificada por: Real Decreto 604/2006. Real Decreto 688/2005, por el que se regula el régimen de funcionamiento de las mutuas de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la Seguridad Social como servicio de prevención ajeno. Real Decreto 780/1998.

- Real Decreto 171/2004, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- Ley 22/1973 De Minas. Modificada por: Ley 54/1980, Real Decreto 1303/1986
- Real Decreto 3255/1983, estatuto del minero y Normas complementarias de desarrollo.
- Real Decreto 863/1985, Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y Normas complementarias de desarrollo. Modificada por: Real Decreto 150/1996.
- Real Decreto 1389/1997, Disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Orden ITC/101/2006, de 23 de enero, por la que se regula el contenido mínimo y estructura del documento sobre seguridad y salud para la industria extractiva.

1. OBJETO

El presente Documento de Seguridad y Salud tiene como objeto incorporar las disposiciones indicadas en la ITC 02.1.01 (ORDEN ITC/101/2006, de 23 de enero, por la que se regula el contenido mínimo y estructura del documento sobre seguridad y salud para la industria extractiva), de entrada en vigor el 31 de enero de 2006, teniendo los Centros de Trabajo como plazo para su puesta al día hasta el 31 de julio de 2006.

Mediante la elaboración del presente Documento, se pretende evaluar los riesgos derivados de la ejecución del Proyecto de Investigación para la futura puesta en marcha del Complejo Minero Los Frailes y tomar las medidas preventivas y cuantas acciones en materia de seguridad y salud sean necesarias, para asegurar se realicen sin comprometer ni la seguridad de las personas ni de las instalaciones.

En el presente documento se exponen la identificación inicial de los peligros, la evaluación de riesgos, tanto de las áreas de trabajo a poner en funcionamiento como de los distintos puestos de trabajo, de personal propio como de empresas contratistas y proponer tanto las medidas preventivas, como correctoras, para evitar que se materialicen en accidentes.

Se elaborarán los distintos tipos de documentos para registrar todas las incidencias sobre seguridad y salud que se produzcan durante la ejecución del proyecto, así como los controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores, las medidas en materia de seguridad y salud, y los resultados de las evaluaciones o auditorías del sistema de gestión de prevención de riesgos laborales.

1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y VARIACIONES

Este documento será de aplicación para las actividades llevadas a cabo durante la ejecución del Proyecto de Investigación de las reservas de la Corta Los Frailes, situada en el T.M. de Aznalcóllar, Provincia de Sevilla.

Así mismo, se presentarán revisiones del Documento siempre que se realicen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en la ejecución del proyecto, adaptaciones al progreso técnico, se produzca la incorporación o cambio de contratas, cuando se hayan producido accidentes mortales o graves o cualquier situación de riesgo grave para la seguridad y salud de los trabajadores.

2. DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD

2.1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Empresa:	Minorbis, S.L. – Grupo México
N.I.F.:	B-90 127 499
C.N.A.E.:	0899
Actividad:	Minería
Domicilio social:	C/ Juan Olivert, nº9 – Parque Aeronáutico Aerópolis
Población:	La Rinconada (Sevilla)

2.2. IDENTIFICACIÓN DEL CENTRO DE TRABAJO

Nombre del centro:	Corta Los Frailes
Sección:	Explotación de yacimiento polimetálico
Titular/Explotador:	Minorbis, S.L. – Grupo México

2.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES, CUALIFICACIÓN Y TIPOS DE CONTRATO LABORAL

La empresa deberá mantener actualizado un listado de trabajadores

La empresa deberá mantener actualizado un listado de equipos de trabajos

2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS CONTRATAS Y SUS TRABAJADORES

En el caso de existir empresas contratistas, previamente a la ejecución de los trabajos se exigirá a las mismas, la entrega de su Documento de Seguridad y Salud según la ITC 02.1.01.

La empresa deberá mantener actualizado un listado de las contratas y subcontratas habituales. Asimismo, la empresa deberá mantener actualizado un listado de equipos de trabajos, utilizados por las empresas contratistas.

2.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

La organización de la producción en cuanto a la identificación de los distintos procesos técnicos y las prácticas y los procedimientos organizativos existentes en la empresa, en relación con la prevención de riesgos laborales, se desarrollan a continuación.

2.5.1. Descripción

Se trata de llevar a cabo un proyecto de investigación geológica para poner de manifiesto el yacimiento existente bajo la corta de los Frailes, así como definir los límites de la masa polimetálica allí presente.

Para ello, se va a llevar a cabo una investigación geológico-minera completa en donde se realizarán:

- Sondeos
- Estudios de geoquímica

- Estudios de Geofísica
- Perfiles sísmicos
- Geología de detalle

Estos trabajos, llevados a cabo por un grupo de geólogos, apoyados por maquinistas de pala cargadora, perforistas y una serie de ayudantes, servirán para definir correctamente el yacimiento para la posterior puesta en funcionamiento.

El proceso de sondeos, necesitará del perforista con ayudante para realizar el trabajo.

Los estudios de geoquímica y geofísica, así como la geología de detalle, tan solo necesitar de la actuación de geólogos realizando trabajo de campo. Será necesaria, quizás, la realización de zanjas o catas mediante la pala cargadora.

El resto del Proceso para la realización del proyecto de investigación, será más un proceso de laboratorio y redacción.

3. ORGANIZACIÓN DE LA PREVENCIÓN

3.1. POLÍTICA PREVENTIVA

La política preventiva de Minorbis – Grupo México tiene como objetivo la promoción de la mejora de las condiciones de trabajo, con el fin de elevar los niveles de la seguridad, salud y bienestar de los trabajadores.

La responsabilidad en la gestión de la prevención de riesgos laborales incumbe a toda la empresa y, en consecuencia, al empresario, la dirección facultativa, trabajadores propios y el resto de empresas contratadas, asumiendo el compromiso de incorporar la gestión preventiva en todas sus actividades.

La actividad preventiva de la empresa tiene como principal objetivo prevenir todos los accidentes así como las enfermedades profesionales y otras patologías laborales, aumentando el nivel de compromiso entre la empresa y el trabajador.

La mejora continua en la acción preventiva sólo puede conseguirse mediante la información, consulta y participación del personal, en todos los niveles y estamentos de la empresa.

La política de prevención de riesgos laborales se revisa periódicamente por la Dirección y se comunica a los trabajadores, clientes, proveedores y contratas.

De acuerdo con estos principios, Minorbis – Grupo México asume los siguientes compromisos:

- Visitar habitualmente los lugares de trabajo para interesarse por las correctas condiciones de trabajo, comunicándose con las personas y comprobando la inexistencia de deficiencias.
- Promover y participar en reuniones periódicas para tratar temas de seguridad y salud de forma específica o introducirlos de forma habitual en el orden del día.
- Observar cómo los trabajadores desarrollan tareas que puedan resultar críticas por sus consecuencias, para establecer un diálogo que facilite el mejorar de la manera de hacer las cosas.
- Interesarse por conocer las causas de los accidentes laborales y cómo han sido eliminadas.
- Promover campañas periódicas para mantener vivo el interés por la prevención y a su vez, centrar esfuerzos colectivos sobre aspectos concretos de la planificación.
- Dar ejemplo siempre, utilizando los EPI’s cuando acceda a ámbitos de trabajo en que sean obligatorios, y respetando las normas de prevención existentes.
- Asumir un liderazgo participativo, poniendo especial atención en las opiniones de los trabajadores.

Estos principios básicos y compromisos constituyen la política adoptada por la empresa en materia de prevención, entendiendo que su consecución es obligación de todos los miembros de la organización, con independencia del puesto de trabajo que ocupen, sus funciones y sus responsabilidades.

3.2. EMPRESARIO

El empresario tiene el deber de velar por la seguridad y salud de los trabajadores en el ámbito laboral. Es el máximo responsable de todos los aspectos de la prevención de Riesgos Laborales.

- Obligaciones del empresario
    - Integración de la acción preventiva
    - Organización de recursos para las actividades preventivas. Trabajadores designados y servicios de prevención
    - Evaluación de los riesgos y planificación de la actividad preventiva
    - Auditoria
    - Consulta y participación de los trabajadores
    - Información y formación de los trabajadores
    - Organización de los lugares de trabajo
    - Designación del director facultativo
    - Vigilancia
    - Documentación. Documento de Seguridad y Salud
    - Coordinación de actividades empresariales
    - Medidas de emergencia. Planes de emergencia
    - Medidas para casos de riesgo grave e inminente
    - Vigilancia de la salud
    - Protección a trabajadores sensibles a determinados riesgos
    - Equipos de trabajo y equipos de protección individual
    - Información sobre accidentes mortales y graves
    - Protección contra incendios, explosiones y atmósferas nocivas
    - Sistemas de comunicación, alerta y alarma
    - Modos operativos seguros
    - Autorizaciones de trabajos
    - Medidas para la manipulación manual de cargas
    - Medios de evacuación y salvamento
    - Prácticas de seguridad y evacuación

- Equipos de primeros auxilios
- Señalización
- Iluminación natural y artificial
- Advertir y sancionar los incumplimientos de los trabajadores

El empresario debe hacer frente a los riesgos laborales adoptando las medidas necesarias:

- Los lugares de trabajo serán diseñados, construidos, equipados, puestos en servicio, utilizados y mantenidos de forma que no se comprometa la seguridad, ni la salud de los trabajadores.
- Una persona responsable supervisará los lugares de trabajo ocupados por trabajadores.
- Se encomendará a trabajadores competentes los trabajos que impliquen un riesgo específico y se ejecuten conforme a instrucciones dadas.
- Las instrucciones de seguridad serán comprensibles para todos.
- Existirán instalaciones adecuadas para los primeros auxilios.
- Se realizarán las prácticas de seguridad necesarias a intervalos regulares.
- Se evaluarán los riesgos.
- Los trabajadores recibirán información y formación, garantizando la consulta y participación.
- Se diseñarán las medidas de actuación para los casos de emergencia y de riesgo grave e inminente.
- La vigilancia de la salud será efectiva.

El coste de las medidas relativas a la seguridad y la salud en el trabajo nunca puede recaer sobre los trabajadores.

Las medidas preventivas que se adopten deberán prever las distracciones o imprudencias no temerarias que pudiera cometer el trabajador.

3.3. DIRECTOR FACULTATIVO

En las actividades mineras e instalaciones de beneficio de mineral es preceptivo disponer de Dirección Facultativa, como responsables del cumplimiento de la normativa específica de seguridad, no derogada por la LPRL: Capítulo IV del R.D. 3255/1983, de 21 de diciembre, Estatuto del Minero; R.D. 2857/1978, 25 de agosto, Reglamento General para el Régimen de la Minería; y el R.D. 863/1985, 2 de abril, Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera e Instrucciones Técnicas Complementarias.

En minería a cielo abierto, está ejercida por un Técnico Titulado en Minas y es responsable de las actividades que se desarrollan en la explotación minera, todo ello en función de los dispuesto en la I.T.C. 02.0.01 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

3.4. MODALIDAD PREVENTIVA

De acuerdo a la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, la estructura organizativa adecuada será aquella que garantice la integración de la prevención de riesgos laborales en el proceso productivo, así como el compromiso de todos los miembros de la empresa con la misma.

- El Servicio de Prevención tiene las funciones y responsabilidades siguientes:
    - Asesoramiento en materia de Seguridad y Salud Laboral, de los siguientes aspectos:
        - El diseño, aplicación y coordinación de los planes y programas de actuación preventiva.
        - La evaluación de los factores de riesgo que puedan afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores.
        - La determinación de las prioridades en la adopción de las medidas preventivas adecuadas y la vigilancia de su eficacia.
        - La información y formación de los trabajadores en el área de prevención.
        - La vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del trabajo.
    - Información del contenido de la normativa general y específica en materia de PRL.
    - Formar, Informar y Asesorar a los trabajadores y a sus representantes en materia de PRL.

3.5. RECURSO PREVENTIVO

Según se indica en el artículo 32 bis de la Ley 54/2003, de 12 de diciembre, se consideran recursos preventivos, a los que el empresario podrá asignar la presencia, a los miembros del Servicio de Prevención Propio y Ajeno concertados por la empresa. Estos recursos deberán tener la capacidad suficiente, disponer de los medios necesarios y ser suficientes en número para vigilar el cumplimiento de las actividades preventivas, debiendo permanecer en el centro de trabajo durante el tiempo en que se mantenga la situación que determine su presencia.

Con objeto de asegurar la presencia y seguridad en el proyecto, en los contratos de Minorbis – Grupo México con sus Contratas se exige la asignación de Recursos Preventivos.

3.6. REPRESENTANTES DE LOS TRABAJADORES Y DEDICACIÓN EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD

Los trabajadores y sus representantes deberán contribuir a la integración de la prevención de riesgos laborales en la empresa y colaborar en la adopción y el cumplimiento de las medidas preventivas a través de la participación que se reconoce a los mismos en el capítulo V de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Según el artículo 38 el Comité de Seguridad y Salud (o según art. 33 del estatuto del minero y normas complementarias) es el órgano paritario y colegiado de participación en materia preventiva y será obligatoria su constitución en empresas con 50 o más trabajadores. Según el artículo 35 los Delegados de Prevención designados serán dos, y por lo tanto los representantes de la empresa serán dos.

El comité cumplirá las dos funciones (las recogidas en la ley 31/1995 de PRL, arts. 38 y 39 y las recogidas en el RD 3255/1983, Estatuto del Minero arts. 33 y 35 al 41 y normas complementarias "Comité de Seguridad e Higiene"). Así como las personas nombrados como Delegados de Prevención (Ley de PRL art. 35 y RD 171/2007 y RD 171/2007 art. 15) cumplirán con la función de Delegado Minero (Estatuto del Minero arts. 33 y 35 al 41 y normas complementarias).

Igualmente, la Contratas que realicen su actividad en el Centro de Trabajo, tienen el deber de destinar personal y medios a la prevención de riesgos laborales en su ámbito de actuación. Según el art. 16 del RD 171/2004 los comités de seguridad y salud de las empresas concurrentes o, los empresarios que carezcan de dichos comités y los delegados de prevención podrán acordar la realización de reuniones conjuntas u otras medidas.

3.7. RESPONSABILIDADES Y FUNCIONES EN MATERIA PREVENTIVA

Cada una de las contratas de Minorbis – Grupo México coordinará sus responsabilidades y funciones en materia preventiva a través de la Dirección Facultativa.

En la estructura organizativa de la empresa se identifican las funciones y responsabilidades que asume cada uno de sus niveles jerárquicos y los respectivos cauces de comunicación entre ellos, en relación con la prevención de riesgos laborales.

3.7.1. Dirección

Es responsabilidad de la dirección el garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores a su cargo. Para ello se definen las funciones y responsabilidades correspondientes a cada nivel jerárquico a fin de cumplir los compromisos adquiridos a través del desarrollo de lo dispuesto en este Documento de Seguridad y Salud y asumir una serie de actuaciones en línea con lo que se entiende por un compromiso visible con las personas y sus condiciones de trabajo. Algunas actuaciones son:

- Establecer y documentar los principios y objetivos de prevención de riesgos laborales en coherencia con la política preventiva existente.
- Establecer la estructura organizativa necesaria y obligatoria para la realización de las actividades preventivas.
- Designar una persona en materia de seguridad y salud que coordine y controle las actuaciones, y mantenga informada a la organización de lo más significativo en esta materia. Se contratará a un servicio de prevención ajeno la realización de prestaciones cuando sea necesario por carencia de medios propios o porque la reglamentación lo establezca (realización de mediciones).
- Establecer las competencias y las interrelaciones de cada departamento en materia de prevención de riesgos laborales.

- Asignar los recursos necesarios, tanto humanos como materiales, para conseguir los objetivos establecidos.
- Promover y participar en reuniones periódicas para analizar y discutir temas de seguridad y salud, procurar tratar también estos temas en las reuniones normales de trabajo.
- Visitar periódicamente los lugares de trabajo para poder estimular comportamientos eficientes, detectar deficiencias y trasladar interés por su solución.
- Realizar periódicamente auditorias y revisiones de la política, organización y actividades de la empresa, revisando los resultados de la misma.
- Mostrar interés por los accidentes laborales acaecidos y por las medidas adoptadas para evitar su repetición.
- Consultar a los trabajadores en la adopción de las decisiones que puedan afectar a la seguridad, salud y condiciones de trabajo.
- Aprobar procedimientos de las diferentes actividades preventivas y las instrucciones de trabajo.

3.7.2. Los trabajadores

Es responsabilidad de todos los trabajadores:

- Velar, según sus posibilidades y mediante cumplimiento de las medidas de prevención que en cada caso sean adoptadas, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas personas a las que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario.
- Conocer y cumplir toda la normativa, procedimientos e instrucciones que afecten a su trabajo, particular a las medidas de prevención y protección.
- Usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados.
- No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes o que se instalen en los medios relacionados con su actividad o en los lugares de trabajo en los que ésta tenga lugar.
- Comunicar de inmediato a su superior jerárquico directo, y a los trabajadores designados para realizar actividades de protección y prevención, y, en su caso, al departamento de Seguridad y Salud, acerca de cualquier situación que considere que pueda presentar un riesgo para la seguridad y salud.

- Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Cooperar con sus mandos directos para poder garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y no entrañen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Mantener limpio y ordenado su entorno de trabajo, localizando los equipos y materiales en los lugares asignados.
- Sugerir las medidas que considere oportunas en su ámbito de trabajo para mejorar la calidad, la seguridad y la eficacia del mismo.
- Otras funciones que la dirección crea conveniente y de acuerdo con el sistema preventivo aprobado y con la consulta a los representantes de los trabajadores.

3.7.3. Técnicos de prevención

Representan a la Empresa en sus relaciones con los Organismos Oficiales relacionados con la Seguridad y Salud Ocupacional y desarrolla en el ámbito de la Empresa las siguientes competencias:

- Planifica y coordina los programas de Seguridad.
- Elabora procedimientos y normas en colaboración con el Comité de Seguridad y Salud.
- Asesora técnicamente a todos los estamentos de la empresa en materia de Prevención de Riesgos Laborales.
- Asesorar y apoyar las diferentes actividades preventivas establecidas.
- Instruir a los diferentes estamentos de la Empresa en materia de Prevención de Riesgos Laborales.
- Auditar periódicamente los niveles de Seguridad de los distintos departamentos y el grado de cumplimiento de sus objetivos.
- Aprobar desde el punto de vista de seguridad los nuevos equipos y maquinarias.
- Homologar los materiales de protección personal en coordinación con el Comité de Seguridad y Salud.
- Supervisar la investigación de los accidentes y propuestas de acciones correctivas.
- Controlar la accidentalidad con su correspondiente estadística.
- Asistir y participar en las reuniones del Comité de Seguridad y Salud, en calidad de asesor/es.
- Canalizar la información de interés en materia preventiva hacia la estructura de la organización, así como los resultados del desarrollo de la acción preventiva.

- Facilitar la coordinación de las relaciones interdepartamentales a fin de facilitar la cooperación necesaria y evitar defectos y efectos adversos para la salud, la propiedad o el medio ambiente.
- Revisar y controlar la documentación referente a la prevención de riesgos laborales asegurando su utilización y su disponibilidad.
- Actuar de nexo de unión con colaboradores externos en materia preventiva, Servicio de Prevención Ajeno u otros.
- Realizar aquellas actividades preventivas específicamente encomendadas.
- Otras funciones que la dirección les asigne.

3.7.4. Director Facultativo

Es responsabilidad del Director Facultativo:

- Velar por el cumplimento de lo dispuesto en el reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y en las Instrucciones complementarias que lo desarrollan.
- Establecer las Disposiciones Internas de Seguridad requeridas en el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Colaborar en la elaboración de la documentación requerida por la legislación de seguridad y, en particular, en la preparación y mantenimiento al día del Documento sobre Seguridad y Salud.
- Controlar las operaciones relacionadas con el mantenimiento, reparación y ajuste de las instalaciones, máquinas, equipos y materiales sujetos a requisitos de seguridad

3.8. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJDORES

La participación referida en el apartado 4.6 del presente documento incluye la consulta acerca de la implantación y aplicación del Plan de prevención de riesgos laborales de la empresa, la evaluación de los riesgos y la consiguiente planificación y organización preventiva, así como el acceso a la documentación correspondiente, en los términos señalados en los artículos 33 y 36 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

En este apartado, se incluirá la documentación relevante sobre la consulta y participación de los trabajadores y, en particular, las consultas por escrito que se planteen a los trabajadores a través de sus representantes, el acta de constitución y las actas de las reuniones del Comité de Seguridad y Salud.

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD

La identificación de peligros está en función de la actividad a realizar. Para identificar los peligros hay que trabajar sobre tres aspectos:

- Fuentes de peligro
- Posibles receptores del daño
- Forma de materializarse el peligro

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO

Todos los lugares de trabajo se ajustarán a las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud descritas en el R.D. 486/1997 y a la Guía Técnica que la complementa, y a las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores en las Actividades Mineras del R.D. 1389/1997 (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Identificación de los lugares de trabajo. (Fuente: elaboración propia)

Los trabajos de investigación se realizarán en la zona de actuación del concurso.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

Se identificarán los puestos y el número de trabajos que lo componen.

- Geólogo
- Perforista
- Operario retroexcavadora

4.3. PELIGROS EN LOS LUGARES DE TRABAJO

La prevención y protección de los trabajadores que realiza esta empresa permite actuar sobre los riesgos laborales, entendiendo éstos como la probabilidad de que pueda producirse un cierto daño para el trabajador.

Los riesgos inherentes al proyecto constructivo quedarán reflejados en la evaluación de los riesgos específicos que se realizarán en la fase de construcción. Se adelantarán aquí los peligros más comunes son los siguientes:

- Caída de personas a distinto nivel (trabajo en alturas).
- Caída de personas al mismo nivel (obstáculos y falta de limpieza).
- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- Caída de objetos en manipulación.
- Caída de objetos desprendidos.
- Pisadas sobre objetos.
- Choques y golpes contra objetos inmóviles.
- Choques y golpes contra objetos móviles.
- Golpes y cortes por objetos y herramientas.
- Proyección de fragmentos y partículas.
- Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos.
- Atrapamiento o aplastamiento por vuelco de máquinas o vehículos.
- Sobreesfuerzos, posturas inadecuadas o movimientos repetitivos.
- Contactos térmicos.
- Contactos eléctricos.
- Exposición a sustancias nocivas o tóxicas.
- Exposición a radiaciones.
- Explosión.
- Incendio.
- Atropellos o golpes con vehículos.

5. EVALUACIÓN DE RIESGOS LABORALES EN LA EMPRESA

El presente informe de Evaluación Inicial de Riesgos se redacta para el desarrollo del Proyecto de Investigación a realizar para la puesta en explotación de la Corta Los Frailes, ubicada en el T.M. de Aznalcóllar, Provincia de Sevilla, como consecuencia de la obligación que le exige la Ley 31/195 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

El objetivo de esta evaluación es estimar y valorar la magnitud de aquellos riesgos existentes en la empresa para la seguridad y salud de los trabajadores y que no hayan podido evitarse, así como proponer las medidas de control necesarias para la eliminación o reducción de los riesgos, todo ello con el fin de que la Empresa disponga de la información necesaria para tomar decisiones y adoptar las medidas necesarias para corregir las situaciones de riesgo, así como para planificar adecuadamente la actividad preventiva.

Esta evaluación se realiza con carácter inicial y general, teniendo en cuenta la naturaleza de actividad y de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de Reglamento de los Servicios de Prevención (R.D 39/1997) y el artículo 16 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, siendo responsabilidad de la empresa la aplicación final de las medidas correctoras concretas, así como el desarrollo de cuantas actividades de prevención sean necesarias para conseguir un mayor nivel de protección de la seguridad y salud de los trabajadores.

Esta evaluación se realiza teniendo en cuenta la integración de las diferentes especialidades contempladas en el Reglamento de los Servicios de Prevención. Por este motivo y para facilitar una mejor comprensión, tanto el proceso de evaluación como de los resultados finales, en este apartado se explican y desarrollan aquellos aspectos comunes que atañen a las diferentes especialidades antes mencionadas o a la mayor parte de ellas, y también los aspectos particulares de cada una de esas especialidades:

- Riesgo de accidente (condiciones de seguridad en el trabajo, incluyendo la evaluación de los equipos)
- Riesgo de daños a la salud (agentes químicos, físicos o biológicos)
- Riesgo de fatiga o insatisfacción (factores ergonómicos y psicosociales)

Esta evaluación se realiza bajo las siguientes premisas:

- Evaluación de tipo general: Sus resultados apuntan a la identificación, estimación y valoración de los tipos de riesgos existentes en la empresa, en el momento de la evaluación, para la seguridad y salud de los trabajadores en los lugares y puestos de trabajo, sin perjuicio de las evaluaciones específicas que deban realizarse por razones legales o de especial complejidad para obtener mayor precisión y confianza en los resultados. En este sentido, las evaluaciones específicas cuya realización se ha considerado necesaria, se señalarán en las tablas de resultados, como posteriormente se indicará.

- Evaluación de carácter inicial: Se aplica a los lugares y puestos de trabajo que puedan presentar riesgos para la seguridad y salud, y en las situaciones que se describen a continuación:
    - Situaciones de trabajo habituales (régimen de producción normal, sin incidencias), incluidos aquellos trabajos que presentan unas características especiales, desde el punto de vista de su movilidad, tanto espacial como temporal, y que no se consideran como puestos de trabajo fijos o estables, siempre que se realicen de forma habitual en la empresa.
    - Situaciones de trabajo en condiciones normales, que se presentan a consecuencia de alguna circunstancia particular del proceso (paradas y puestas en marcha diarias o semanales de la instalación), y alteraciones previsibles que se dan con relativa frecuencia, siempre que sean informadas por la empresa, debidas a fallos o deficiencias en las condiciones de producción normal.
    - Situaciones que se presentan en procesos de ajuste que se producen de forma periódica.
    - Situaciones de riesgo que puedan presentarse en actividades de mantenimiento que se realicen de forma periódica

El empresario debe tener presente que este informe de evaluación inicial es el resultado de las condiciones de trabajo previsibles, y que la citada evaluación deberá ser completada, revisada o actualizada cuando comiencen los trabajos.

Más concretamente, la evaluación debe ser actualizada en los siguientes casos:

- Cuando por razón de los resultados de las evaluaciones específicas sea procedente actualizar dicha evaluación
- Cuando se hayan aplicado o hecho efectivas las medidas contempladas en la planificación de la actividad preventiva para el control de los riesgos.

La evaluación debe ser actualizada y/o revisada siguiendo los criterios legales establecidos en la Ley 31/1995 y en el R.D 39/1997:

- Cuando así lo establezca una disposición específica
- Cuando se introduzcan nuevos equipos de trabajo, sustancias o preparados químicos o nuevas tecnologías
- Cuando se modifiquen las condiciones de los lugares de trabajo
- Por la incorporación de un trabajador menor de 18 años o cuyas características o estado biológico le hagan especialmente sensibles a determinados riesgos.
- Cuando en caso de maternidad y periodo de lactancia, no se hubiese contemplado esta situación específica en la evaluación inicial.
- Cuando en los controles periódicos de las condiciones de seguridad se haya detectado que las actividades preventivas son insuficientes o inadecuadas

- Cuando en los controles periódicos de la vigilancia de la salud se haya detectado que las actividades preventivas son insuficientes o inadecuadas
- Cuando se produzcan daños para la salud
- Cuando exista una situación epidemiológica según datos aportados por las autoridades sanitarias
- Cuando se acuerde con los representantes de los trabajadores, teniendo en cuenta el deterioro a lo largo del tiempo de los medios empleados en el proceso productivo

5.1. EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGOS EN LA EMPRESA

A continuación, se desarrollan los métodos de evaluación empleados para cada una de las disciplinas, indicando en cada uno de ellos los agentes y tipos de riesgo evaluados, así como los procedimientos y criterios de evaluación y actuación específicos.

Para la evaluación se utilizará el formato del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para cada una de las categorías laborales. En este formato se utiliza la siguiente nomenclatura:

- Probabilidad de que ocurra el daño:
  - Baja: B (el daño ocurrirá raras veces)
  - Media: M (el daño ocurrirá en algunas ocasiones)
  - Alta: A (el daño ocurrirá siempre o casi siempre)
- Consecuencias:
  - Ligeramente dañino: LD
  - Dañino: D
  - Extremadamente dañino: ED
- Estimación del riesgo:
  - Trivial: T
  - Tolerable: TO
  - Moderado: M
  - Importante: I
  - Intolerable: IN

En la Tabla 5.1 del INSHT se muestra un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad estimada y a las consecuencias esperadas.

A continuación, se desarrollan los métodos de evaluación empleados para cada una de las disciplinas, indicando en cada uno de ellos los agentes y tipos de riesgo evaluados, así como los procedimientos y criterios de evaluación y actuación específicos.

Para la evaluación se utilizará el formato del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para cada una de las categorías laborales. En este formato se utiliza la siguiente nomenclatura:

- Probabilidad de que ocurra el daño:
  - Baja: B (el daño ocurrirá raras veces)
  - Media: M (el daño ocurrirá en algunas ocasiones)
  - Alta: A (el daño ocurrirá siempre o casi siempre)
- Consecuencias:
  - Ligeramente dañino: LD
  - Dañino: D
  - Extremadamente dañino: ED
- Estimación del riesgo
  - Trivial: T
  - Tolerable: TO
  - Moderado: M
  - Importante: I
  - Intolerable: IN

En la Tabla 5.1 del INSHT se muestra un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad estimada y a las consecuencias esperadas.

PROBABILIDAD	***CONSECUENCIAS***		
	Ligeramente dañino	**Dañino**	**Extremadamente dañino**
Baja	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
Media	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
Alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable

Tabla 5.1 – Método simple para estimar los niveles de riesgo. (Fuente: elaboración propia)

A continuación se procede a identificar y evaluar los riesgos para los diferentes puestos de trabajo enumerados anteriormente. (Tabla 5.2, Tabla 5.3, Tabla 5.4, Tabla 5.5, Tabla 5.6 y Tabla 5.7

5.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS POR ACTIVIDAD

5.2.1. Trabajos previos

OPERACIÓN: Trabajos previos				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caída de personal a distinto nivel: - Caída desde la pala - Caída en zanjas, huecos, etc.	B	D	TO	Información, señalización y balizado. Instalación de protección vertical
Caída de personal al mismo nivel: - Zanjas y desniveles del suelo. - Restos y materiales sobre el suelo.	B	LD	T	Señalización y balizado. Orden y limpieza.
Caída de objetos por derrumbamientos.	B	D	TO	Revisión, mantenimiento y marcado CE. Permanecer alejado del radio de acción de las máquinas Inspección visual para evitar derrumbes
Pisadas sobre objetos: - Restos y materiales sobre el suelo.	B	D	TO	Orden y limpieza.
Atrapamiento o aplastamiento por o entre objetos:	B	D	TO	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Atrapamiento y aplastamiento por vuelco de máquinas o vehículos: - Estado del suelo. - Cercanía a zanjas y terraplenes.	B	D	TO	Señalización y balizado. Evitar el estacionamiento cerca de terraplenes y zanjas. Utilizar los estabilizadores de las máquinas y, en general, de acuerdo al manual de instrucciones.
Sobreesfuerzos y posturas inadecuadas: - Manipular piezas pesadas.	B	LD	T	Uso de maquinaria, formación e información.
Exposición a temperaturas ambientes extremas: - Trabajos a la intemperie.	B	LD	T	Protección individual: ropa adecuada.

Tabla 5.2 – Riesgos de trabajos previos. (Fuente: elaboración propia)

5.2.2. ***Realización de catas y sondeos***

OPERACIÓN: Realización de sondeos y catas				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caída de personal al mismo nivel: - Zanjas y desniveles del suelo. - Restos y materiales sobre el suelo.	B	D	TO	Señalización y balizado. Orden y limpieza.
Caída de objetos desprendidos: - Herramientas, casquillos y otros objetos sobre pieza principal. Pisada sobre objetos: - Resto de materiales sobre el suelo.	B B	D D	TO TO	Revisión de la pieza antes del trabajo. Acotar la zona de trabajo. Orden y limpieza.
Atrapamiento y aplastamiento por o entre objetos: Atrapamiento y aplastamiento por vuelco de maquinaria o vehículos: - Estado del suelo. - Recorrido de la grúa cercano a terraplenes y/o zanjas.	B B	D D	TO TO	Equipos de protección individual: guantes y botas. Precaución visual. Verificar el estado de compactación del suelo. Evitar el recorrido cercano a zanjas, terraplenes, taludes y fosos. Utilizar estabilizadores de máquinas, y en general, seguir las normas del manual de instrucciones.
Exposición a temperaturas ambientes extremas: - Trabajos a la intemperie. Atropello o golpes con vehículos:	B B	LD D	T TO	Protección individual: ropa adecuada. Interrupción de los trabajos. Área de trabajo señalizada y despejada. Acompañamiento de un operario a pie con conocimiento de señales.

Tabla 5.3 – Riesgos de realización de catas y sondeos. (Fuente: elaboración propia)

5.2.3. ***Trabajos de prospección geológica***

OPERACIÓN: Trabajos de prospección geológica				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caída de personal a distinto nivel:	B	D	TO	Verificación del terreno. Protección individual en altura: cinturones, guantes, cascos (con su correspondiente marcado CE).
Caída de objetos desprendidos: - Caída de herramientas, electrodos, atornilladoras	B	D	TO	Señalización y balizado de las zonas de trabajo. Amarre de herramientas.
Choque y golpes contra objetos inmóviles: - Golpes contras las piezas.	B	LD	T	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Golpes y cortes por objetos y herramientas: - Utilización de herramientas.	B	LD	T	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Sobreesfuerzos: - Posturas inadecuadas.	B	LD	T	Uso de maquinaria.
Exposición a temperaturas ambientes extremas: - Trabajos a la intemperie.	B	LD	T	Protección individual: ropa adecuada. Interrupción de los trabajos.
Contactos eléctricos: - Contacto con aparatos de medición	B	D	TO	Revisión de cables, conexiones y protecciones. Marcado CE de todos los equipos de protección individual.

Tabla 5.4 – Riesgos de trabajos de prospección geológica. (Fuente: elaboración propia)

5.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS POR PUESTOS DE TRABAJO

5.3.1. Geólogo

PUESTO DE TRABAJO: Geólogo				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caída de personal a distinto nivel	B	ED	MO	Inspección visual previa Señalización de zonas con posibilidad de caída.
Caída de personal al mismo nivel	M	D	MO	Señalización y balizado. Orden y limpieza.
Caída de objetos por desplome o derrumbamiento del terreno	B	D	TO	Señalización y balizado de las zonas de trabajo en altura. Acotar los niveles de la zona de trabajo. Colocación de elementos provisionales como cables, puntales, etc., para asegurar la estabilidad. Marcado CE de los equipos y accesorios de trabajo.
Atrapamientos por o entre objetos	B	ED	TO	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Atropellos o golpes con objetos inmóviles	B	ED	MO	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Exposición a ruido	M	LD	MO	Uso de protectores auditivos
Exposición a temperaturas extremas	M	LD	TO	Protección individual: ropa adecuada. Interrupción de los trabajos.

Tabla 5.5 – Riesgos del geólogo. (Fuente: elaboración propia)

5.3.2. Operario de pala o retroexcavadora

PUESTO DE TRABAJO: Operario de pala o retroexcavadora				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caídas al mismo nivel	B	LD	T	Inspeccionar el terreno alrededor de la pala. Retirar cualquier obstáculo que interrumpa el paso.
Caídas a distinto nivel	B	ED	MO	Protección individual: cinturón, cascos, botas y guantes (con sus correspondientes marcado CE).
Derrumbamiento del terreno	B	ED	MO	Protecciones ROPS antivuelco. Uso del cinturón de seguridad.
Proyecciones	B	D	TO	Protecciones FOPS anti proyecciones
Vuelco de la máquina	B	ED	MO	Comprobar el terreno, y utilizar tablas de reparto de carga. Evitar las irregularidades del terreno. Comprobar la presión de los neumáticos. Se pararán las maniobras en presencia de viento fuerte.
Atropello por vehículos	B	ED	MO	No debe existir personal alguno en la zona de influencia de la pala cuando se esté trasladando. Antes de poner la pala en movimiento, se inspeccionará la zona. Seguir las normas de circulación.
Golpes	B	D	TO	Inspección visual y utilizar guantes resistentes a cortes
Exposición a Ruido	B	D	TO	Protectores auditivos
Exposición a polvo	B	ED	MO	Sistema de aspiración de polvo en los carros. Separase durante la operación de perforado si no existiera cabina.
Vibraciones	B	D	TO	Inspeccionar la carga antes de proceder a su preparación y/o estribado y utilizar guantes resistentes a cortes

Tabla 5.6 – Riesgos del operario de pala o retroexcavadora. (Fuente: elaboración propia)

5.3.3. ***Perforista***

PUESTO DE TRABAJO: Perforista				
Riesgo	**Probabilidad**	**Consecuencia**	**Estimación Riesgo**	**Medidas Correctoras**
Caída de personal a distinto nivel	B	D	TO	Información, señalización y balizado. Instalación de protección vertical.
Caída de personal al mismo nivel	B	LD	T	Señalización y balizado. Orden y limpieza.
Caída de objetos en manipulación	B	D	TO	Revisión, mantenimiento y marcado CE. No manipular los cables en la puesta en tensión. Permanecer alejado del radio de acción de las máquinas. Colocar el compresor a 15 m de la perforadora, en zona estable.
Golpes, cortes y erosiones	B	D	TO	Revisión de las piezas antes de la perforación. Acotar la zona de trabajo.
Sobreesfuerzos	B	D	TO	Orden y limpieza.
Ruido	B	D	TO	Equipos de protección individual
Atrapamientos	B	D	TO	Señalización y balizado. Evitar el estacionamiento cerca de terraplenes y zanjas. Utilizar los estabilizadores de las máquinas y, en general, de acuerdo al manual de instrucciones. Nivelación y compactación del suelo antes de utilizar maquinaria.
Polvo	B	D	TO	Sistema de aspiración de polvo en los carros. Separase durante la operación de perforado si no existiera cabina.

Tabla 5.7 – Riesgos del perforista. (Fuente: elaboración propia)

6. PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA EMPRESA

Como consecuencia de la identificación y de la valoración de los riesgos, la empresa decidirá las actuaciones a realizar para reducir o eliminarlos y se planificará su implantación de forma que periódicamente se pueda realizar un estudio del grado de realización de estas medidas.

Las diferentes actuaciones previstas para reducir o eliminar los riesgos se dividen en dos grandes grupos:

- Planificación de la acción preventiva: actuaciones que durante un período determinado el empresario, el servicio de prevención o los propios trabajadores deben realizar con la finalidad de reducir los riesgos. Estas actuaciones estarán basadas en una mejora de la gestión de la prevención de riesgos laborales.
- Medidas de prevención y protección para las condiciones generales y lugares de trabajo, o medidas correctoras: Por éstas se entienden las medidas correctoras que se ha previsto desarrollar para mejorar físicamente el lugar de trabajo, los equipos de trabajo o los medios puestos a disposición de los trabajadores.

6.1. PLANIFICACIÓN DE LA ACCIÓN PREVENTIVA

En este apartado se expondrá la planificación y adaptación de las medidas concretas necesarias para un adecuado control del riesgo. En la Planificación Preventiva se controlarán los riesgos identificados y evaluados en la etapa inicial. La planificación preventiva contará con los siguientes contenidos:

- Recursos: Humanos, materiales y económicos
- Objetivos: Claros, concretos, viables y cuantificables
- Acciones:
    - Actualización y reevaluación de los riesgos
    - Plan de análisis de riesgos de instalaciones
    - Plan de formación, general y específica. Dirigida a un mejor conocimiento tanto del alcance real de los riesgos derivados del trabajo como de la forma de prevenirlos y evitarlos, de manera adaptada a las peculiaridades del centro de trabajo, a las características de cada trabajador y a la actividad concreta que desarrollan.
    - Adquisición y dotación de equipos de Protección
    - Órganos de participación de los trabajadores
    - Planificación de las medidas de emergencia, primeros auxilios y lucha contra incendios
    - Planificación de auditorias

- Planificación del control de actividades propias y contratadas
- Planificación del seguimiento por la línea jerárquica de las acciones en materia de prevención
- Vigilancia médica de la salud de los trabajadores
- Plan de corrección de deficiencias técnicas observadas
- Protección de colectivos de trabajadores específicos: trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos, situación de maternidad, menores, trabajadores temporales o de duración determinada, etc.
- Normativa interna de seguridad (procedimientos e instrucciones de seguridad, equipos de trabajo, medios de protección personal, etc.).
- Control de adquisiciones y compras necesarias.
- Investigación, análisis de causas y seguimiento de medidas correctoras de accidentes e incidentes
- Calendario y plazos
- Asignación de responsabilidades
- Gestión de productos y residuos peligrosos

- Seguimiento y control: revisión del desarrollo de las acciones de acuerdo con la planificación y establecimiento de alternativas ante las desviaciones detectadas.
- Indicadores: Parámetros o puntos de referencia que indican el cumplimiento de los objetivos.

Cada empresa contratista debe planificar su acción preventiva a lo largo de la puesta en marcha. Las especificaciones de seguridad contenidas en este documento tienen carácter general e implican a todos los contratistas.

Cualquier cambio de titular o sustituto deberá ser comunicado al departamento de Seguridad y Salud mediante otro impreso como el anterior donde se hagan constar los nombres de los cambios producidos. El nuevo documento deberá estar cumplimentado, además de los apartados donde se hayan producido cambios.

6.2. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN PARA LAS CONDICIONES GENERALES Y LUGARES DE TRABAJO

El empresario aplicará las medidas que integran el deber general de prevención previsto en el artículo 15 de la ley de Prevención de Riesgos Laborales, siendo necesario establecer los plazos y los responsables de la ejecución e implantación de las medidas preventivas.

6.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN PARA TRBAJADORES SINGULARES

En este momento, no se prevén trabajadores singulares, en el sentido que establece la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, mujeres embarazadas y madres lactantes y trabajadores minusválidos.

En el caso que sea preciso se establecerán, medidas adicionales de prevención y protección para estos trabajadores que, por sus propias características personales o estado biológico conocido, son especialmente sensibles a los riesgos derivados del trabajo.

Entre estas medidas, la principal ha sido ubicarlos en puestos de trabajo que no tienen relación alguna con aquellas actividades que entrañan algún riesgo para su seguridad y salud, y no están catalogados como actividades de riesgo.

7. COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES

Minorbis – Grupo México establecerá las medidas pertinentes para asegurar la coordinación de las actividades empresariales respecto a las empresas contratistas y subcontratistas y a los profesionales que desarrollan alguna actividad por cuenta propia en el ámbito de su centro de trabajo, para garantizar la seguridad y salud de todo el personal.

Entre las obligaciones empresariales que establece la Ley, cabe resaltar el deber de coordinación que se impone a los empresarios que desarrollen sus actividades en un mismo centro de trabajo, así como el de aquellos que contraten o subcontraten con otros la realización en sus propios centros de trabajo de obras o servicios correspondientes a su actividad, de vigilar el cumplimiento por dichos contratistas y subcontratistas de la normativa de prevención.

7.1. MEDIOS DE COORDINACIÓN ESTABLECIDOS

Con objeto de establecer un sistema que asegure el cumplimiento de la Legislación Vigente en materia de Prevención de Riesgos Laborales por las empresas contratistas y que garantice a los trabajadores de dichas empresas los mismos niveles de protección que los de la propia empresa, se aplica lo prescrito en la Ley 31/95 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, Ley 54/2003 de 12 de Diciembre, R.D. 171/2004 de 30 de enero que desarrolla el artículo 24 de la LPRL., R.D. 39/97, de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención, con tal motivo Minorbis – Grupo México ha designado a un equipo de personas cualificado que velará por la Coordinación de Actividades Empresariales y por la aplicación correcta de las medidas preventivas en el Centro de Trabajo. Este equipo establece como medios de coordinación:

- Intercambio de información y comunicaciones entre empresas concurrentes.
- Reuniones conjuntas de los comités de Seguridad y Salud de las empresas concurrentes o, en su defecto, de los empresarios que carezcan de dichos comités con los delegados de prevención.
- Impartición de instrucciones
- Establecimiento conjunto de medidas específicas de prevención de riesgos existentes en el centro de trabajo que puedan afectar a los trabajadores de las empresas concurrentes o de procedimientos o protocolos de actuación.
- Presencia en el centro de trabajo de los recursos preventivos de las empresas concurrentes.
- La designación de un Coordinador de Actividades Empresariales que velará por hacer cumplir los deberes establecidos en el RD 171/2004; Deber de cooperación, de información, de dar instrucciones y de vigilancia.

7.2. PROCEDIMIENTOS DE COORDINACIÓN

Minorbis – Grupo México deberá controlar el cumplimiento por las empresas contratadas de la normativa, por lo que se les exigirá, dentro de la legislación en materia de prevención de riesgos laborales:

- TC1 y TC2 del personal que vaya a realizar cualquier trabajo
- Certificado firmado por el empresario en donde figuren todas las actividades que se van a llevar a cabo. Si alguna actividad no estuviera hecha en su totalidad, deberá definirse una fecha de realización.
- Evaluación de riesgos y planificación de la actividad preventiva
- Certificado de formación e información específicas para la obra de los trabajadores
- Documentos o certificados acreditativos de haber pasado las inspecciones reglamentarias correspondientes de los equipos de trabajo puestos dentro del recinto del contratante que deban superar alguna revisión legalmente establecida
- Certificado de que toda su maquinaria que vaya a usar en obra dispone del marcado CE o certificado de la puesta en conformidad según el R.D 1215/97.
- Registro de entrega de los equipos de protección individual
- Personal designado en el centro de trabajo para controlar la actividad preventiva
- Si, a su vez, subcontratasen actividades en la obra, deben facilitar la misma documentación anteriormente mencionada

Por otra parte, con respecto a las empresas que utilicen maquinaria, equipos, productos, materias primas o útiles proporcionados por la empresa principal, existirá la obligación de proporcionar la información necesaria para que su utilización y manipulación se produzca sin riesgos, así como para que los empresarios puedan cumplir con sus obligaciones de información respecto de los trabajadores.

Por tanto, se les facilitará manual de instrucciones de las distintas instalaciones y/o equipos de trabajo que se usen.

Con respecto a los trabajadores autónomos, éstos no tienen ninguna obligación de cumplir los preceptos de la Ley 31/1995. Su obligación consiste en cumplir las instrucciones que le facilite la empresa que los contrate, solicitándole la siguiente documentación:

- Justificante de estar al día de las cuotas a la Seguridad Social como trabajador autónomo
- Deberá disponer y utilizar los equipos de protección individual
- Deberá presentar al contratante los documentos o certificados acreditativos de haber pasado las inspecciones reglamentarias correspondientes de los equipos puestos dentro del recinto del contratante que les sea de aplicación.

7.3. COOPERACIÓN, INSTRUCCIONES Y VIGILANCIA EN RELACIÓN CON LAS EMPRESAS CONTRATADAS

7.3.1. Cooperación

Según el artículo 4 del R.D. 171/2004, de 30 de enero, deben elaborarse procedimientos de información, comunicación de emergencias y de información a los trabajadores de los riesgos derivados de la concurrencia de actividades empresariales, que se incorporan a los establecidos en el apartado 8.2 de este documento.

Con objeto de garantizar la cooperación y el seguimiento de la actividad preventiva se establecerá un Programa de Inspecciones. Dichas inspecciones quedarán registradas.

7.3.2. Instrucciones

Se facilitarán instrucciones suficientes y adecuadas a los riesgos existentes en el centro de trabajo que puedan afectar a los trabajadores de las empresas concurrentes y a las medidas para prevenir tales riesgos (art. 8 R.D. 171/2004).

7.3.3. Vigilancia

Minorbis – Grupo México como empresario principal debe vigilar el cumplimiento de la normativa de prevención de riesgos laborales por parte de las empresas contratistas o subcontratas de obras y servicios correspondientes a su propia actividad y que se desarrollen en su propio centro de trabajo.

Para ello se realizarán regularmente inspecciones conjuntas con los responsables de las diferentes empresas contratistas y se les pedirán Informes del seguimiento interno en materia de Prevención de Riesgos Laborales:

- Resumen semanal de las observaciones/inspecciones en materia de Prevención de Riesgos.
- Informe de accidentes/incidentes. Este informe se presentará en el momento que se tenga que notificar e investigar un accidente/incidente en el formato correspondiente de cada contratista.

8. PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ACTIVIDAD EMPRESARIAL

Las normas de obligado cumplimiento que, para cada lugar de trabajo, se deben observar para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores y la utilización segura de los equipos e instalaciones, están contenidas en las Disposiciones Internas de Seguridad (DIS), que serán redactadas y aprobadas por la Autoridad Laboral Competente, y , según lo descrito en la Ley de Prevención de Riesgos laborales, en el establecimiento de una política preventiva (capítulos IV y V), responsabilidades (Capítulo V), prácticas preventivas, procedimientos, recursos, etc, (Capítulo III), todo ello, de conformidad con lo dispuesto en el R.D. 1389/1997 sobre seguridad y Salud en Actividades Mineras.

El mando es el responsable de dirigir y ejecutar los trabajos de acuerdo con estas DIS y Procedimientos, así como de dar ejemplo y vigilar el cumplimiento de las mismas. En estas normas se recogen las medidas de protección y de prevención a adoptar y, en su caso, material de protección que debe usarse.

8.1. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO, INSTRUCCIONES Y AUTORIZACIONES

8.1.1. Procedimientos de trabajo

Reflejan las distintas actuaciones previstas en los que se identificarán los objetivos, los responsables de realizarlos, en qué circunstancias son exigibles y cómo han de aplicarse.

Para poder realizar un trabajo no incluido en la evaluación inicial de riesgos o que su desarrollo implique riesgos considerables se deberá cumplimentar el siguiente formulario (Tabla 8.1):

AUTORIZACIÓN/PERMISO DE TRABAJO		
SOLICITANTE	FECHA: CENTRO DE TRABAJO: ZONA DE TRABAJO: NOMBRE DEL TRABAJADOR: PUESTO DE TRABAJO:	Firma del solicitante:
AUTORIZANTE	FECHA: CENTRO DE TRABAJO: ZONA DE TRABAJO: NOMBRE DEL TRABAJADOR: PUESTO DE TRABAJO:	Firma del Autorizante:

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO A AUTORIZAR (A cumplimentar por el solicitante)

RIESGOS INHERENTES (A cumplimentar por el solicitante y el autorizante)			
Caída de altura	Vuelco de máquinas	Exp. a sust. corrosivas	Atropellos
Caída de objetos	Contactos eléctricos	Exp. a radiaciones	Ruido
Golpes o cortes	Contactos térmicos	Incendios	Carga física
Atrapamientos	Exp. a sust. nocivas	Explosión	Otros
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL A UTILIZAR (A cumplimentar por el solicitante y el autorizante)			
Pantalla facial	Arnés de seguridad	Protección ocular	Protección respiratoria
Protección oídos	Protección corporal	guantes	Otro
INSTRUCCIONES Y MEDIDAS PREVENTIVAS A ADOPTAR (A cumplimentar por el solicitante y el autorizante)			

TRABAJO FINALIZADO	
Firma del solicitante	Firma del autorizante
Fecha: Hora:	Fecha: Hora:

Tabla 8.1 – Tabla a rellenar para realizar un trabajo no incluido en la evaluación inicial de riesgos o que su desarrollo implique riesgos considerables

8.2. DISPOSICIONES INTERNAS DE SEGURIDAD

El artículo 10 del R.D. 1389/1997, establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben cumplir los lugares de trabajo.

Las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicadas a las condiciones de trabajo que implican o puedan implicar un riesgo se recogerán en las Disposiciones Internas de Seguridad establecidas por la dirección facultativa.

En este caso, se seguirán escrupulosamente las DIS que sean de aplicación para los trabajos en el área de actuación.

8.3. REGISTROS

- Entrega de equipos de protección individual
- Justificación entrega de documentos
- Control periódico de herramientas, maquinaria e instalaciones
- Registro de personal, según ITC 02.0.01, tanto propios (apartado 3 de este documento), como contratistas (apartado anexo DSS de contratistas)

8.4. PLAN DE REVISIONES Y MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE MÁQUINAS, VEHÍCULOS, HERRAMIENTAS, AAPRATOS DE ELEVACIÓN, CUADROS ELÉCTRICOS, EXTINTORES DE INCENDIOS,…

Cada equipo o máquina se marcará con una etiqueta, después de cada inspección, en la que aparecerá; el nombre de la empresa propietaria, fecha de inspección, y nombre del inspector. Las etiquetas irán colocadas en lugar visible y apropiado. Las etiquetas de inspección deben mantenerse en buen estado y perfectamente legibles.

8.4.1. Periodicidad de inspecciones

Se realizarán inspecciones periódicas según marque el fabricante o la experiencia de utilización para prevenir los riesgos producidos de un funcionamiento inadecuado.

9. FORMACIÓN

9.1. FORMACIÓN INICIAL POR PUESTO DE TRABAJO

9.1.1. Formación preventiva inicial

Toda persona que se incorpore a trabajar en la empresa y en un periodo máximo de 10 días después de su incorporación (ya sea personal propio o de empresas contratistas), recibe una formación inicial en materia preventiva que contiene los siguientes aspectos:

- Fichas de información a los trabajadores sobre sus riesgos
- Manual de primeros auxilios
- Manual de prevención y extinción de incendios
- Procedimientos de actuación en caso de emergencia
- DIS.

Esta formación está integrada dentro de la formación general de acogida de la empresa.

9.1.2. Formación preventiva por puesto de trabajo

En la formación específica por puesto, se incorporarán los aspectos de seguridad y prevención necesarios para ejecutar de forma segura los trabajos y operaciones críticas propias de cada puesto de trabajo. Para ello hay elaborado cursos específicos

9.1.3. Análisis Preventivo del Trabajo (APT)

Se entiende por APT, un análisis de riesgos y propuesta de medidas preventivas específicas del trabajo, que realizará previa a las tareas, explicando todas las medidas preventivas a adoptar a todos los trabajadores participantes de una tarea concreta, siempre antes de iniciarla. Después de dicho análisis deben quedar claro todos los aspectos de seguridad que deben tenerse en cuenta: riesgos, medios y medidas.

Debe quedar registrado con la firma de todos los participantes, y la verificación individual de su compresión.

9.1.4. Formación en Prevención de cada contratista

En el caso de que la empresa Minorbis – Grupo México tuviera la necesidad de subcontratar algún trabajo específico, cada empleado del contratista recibirá formación sobre los riesgos propios de su actividad, y las medidas requeridas para prevenirlos, según conste en el Documento de Seguridad de cada empresa contratista. Esta formación, que cada empresa debe impartir a sus empleados, se documentará formalmente, entregándose copia de ella al departamento de Seguridad y Salud de Minorbis – Grupo México.

9.2. PLAN ANUAL DE RECICLAJE Y FORMACIÓN CONTINUA

Se trata de la puesta al día mediante cursos de actualización, bien porque se produzcan cambios en las funciones o se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo.

El período de validez de los cursos de formación preventiva inicial, se establece en 2 años, contados a partir de la fecha de realización de dicho curso.

Se tiene establecido un procedimiento de reciclaje para aquellos trabajadores que han cometido infracciones en el ámbito de la seguridad y salud.

El programa formativo en materia de prevención de riesgos laborales, se integrará dentro del programa formativo general de la empresa, teniendo en cuenta los posibles cambios introducidos en los puestos de trabajo.

10.INFORMACIÓN

10.1. RIESGOS GENERALES Y POR PUESTOS DE TRABAJO

Se establecerá un procedimiento de comunicación a cada trabajador de forma personalizada sobre los riesgos de su puesto de trabajo, las acciones que se realizan en la empresa en materia de prevención y cualquier cambio o modificación que se produzca en su puesto de trabajo.

10.2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN, PREVENCIÓN Y DE EMERGENCIA

La empresa aplica las medidas que integran el deber general de prevención previsto en el artículo 15 de la LPRL, con arreglo a los siguientes principios básicos:

- Se evalúan los riesgos que no se puedan evitar
- Se combaten los riesgos en su origen
- Se adapta el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud
- Se tiene en cuenta la evolución de la técnica
- Se sustituye lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro
- Se planifica la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo
- Se adoptan medidas que antepongan la protección colectiva a la individual
- Se dan las debidas instrucciones a los trabajadores
- Se toma en consideración las capacidades profesionales de los trabajadores en materia de seguridad y de salud en el momento de encomendarles las tareas
- Se adoptan las medidas necesarias a fin de garantizar que sólo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada puedan acceder a las zonas de riesgo grave y específico
- La efectividad de las medidas preventivas prevé las distracciones o imprudencias no temerarias que pudiera cometer el trabajador

Respecto a las medidas de protección y prevención, la normativa específica de carácter interno vendrá definida por las DIS, desarrolladas y actualizadas por el Director Facultativo que, una vez aprobadas por la Autoridad Competente, se dan a conocer a los trabajadores y tienen carácter de obligado cumplimiento

Todos los trabajadores de la empresa, directamente o a través de sus representantes son informados de:

- Las medidas de protección y prevención adoptadas para combatir los riesgos, tanto generales como específicos de su puesto de trabajo
- Las medidas adoptadas en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación contempladas en el plan de autoprotección en fase de construcción
- Al personal de las contratas y subcontratas, así como proveedores, visitas, etc, se les proporciona información de:
    - Actuación en caso de emergencia.
    - Normas básicas de seguridad que deben cumplir en su permanencia en el centro de trabajo.
    - En el caso de contratas y subcontratas tienen que realizar un curso de normas básicas de seguridad y se le hace entrega de una guía de bolsillo.
    - En el caso de proveedores, visitas, etc, se les hace entrega de un tríptico y se les proyecta un video de Prevención realizado por Minorbis – Grupo México.

10.3. PLAN ANUAL DE INFORMACIÓN PREVENTIVA

10.3.1. Tablones de anuncios de seguridad

Cada empresa contratista deberá instalar un tablón de anuncios de seguridad en su oficina principal y en cada uno de los vestuarios de que disponga. Estos tablones llevarán un cartel con la inscripción “SEGURIDAD” en su parte superior, y no anunciarán nada que no haga referencia directa al programa de prevención.

La siguiente información deberá mantenerse en los tablones de anuncios de cada empresa durante su permanencia en la obra:

- El número de llamada a la ambulancia.
- Localización de las Fichas de Seguridad de los Productos Peligrosos.
- Código de colores y periodicidad de las inspecciones de máquinas, herramientas y equipos.
- Descripción de las señales acústicas de emergencia.

11.PLANES DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

11.1. INTRODUCCIÓN

El plan de Emergencia básico que se describe a continuación debe estar bajo la responsabilidad del Jefe de Equipo en la obra, que en la fase inicial de las mismas y previo al inicio de los trabajos, debe verificar la existencia del siguiente material para actuar en caso de emergencia:

- Botiquín de primeros auxilios
- Extintor
- Vehículo para evacuación
- Teléfono móvil o equivalente
- Proyecto o Estudio Básico de Seguridad y Salud, donde se indiquen los procedimientos de emergencia a realizar según las distintas situaciones y el listín de teléfonos de urgencia correspondientes.

A continuación se describen las actuaciones a realizar según las diferentes emergencias que pueden plantearse y el listín de teléfonos de urgencias.

- Incendio/explosión
- Accidente/causa natural
- Fenómenos naturales

11.1.1. Actuaciones en caso de emergencia causada por incendios o explosiones

- Medidas preventivas

  Las medidas preventivas para estas situaciones son las descritas en el apartado 6.2.1 de este documento y su realización será responsabilidad del Jefe de Equipo en la obra o representante de la empresa de sondeos.

- Medidas inmediatas

  Las medidas inmediatas a adoptar en caso de emergencia por incendio o explosión son las siguientes:

  - Uso de los sistemas de extinción disponibles
  - Aviso al resto de personal de la obra y personal próximo a la zona
  - Aviso a los bomberos y otras autoridades que figuran en el listín de emergencia en caso de no poder controlar la situación creada y se observe un peligro serio de propagación
  - Evacuación del personal a lugar seguro

- Evacuación del personal con daños para su asistencia

El responsable de aplicar estas medidas es el Jefe de Equipo o responsable de la empresa de sondeos en la obra.

- Medidas posteriores

El Jefe de Equipo se encargará de tomar las medidas posteriores a un siniestro realizando el informe de las causas y descripción del accidente y planificando la reparación de los daños.

11.1.2. Actuaciones en caso de emergencia causada por accidente o causas naturales

- Medidas preventivas

Las medidas preventivas para estas situaciones son las descritas en el apartado 6.2.1 de este documento y su realización será responsabilidad del Jefe de Equipo en la obra o representante de la empresa de sondeos.

- Medidas inmediatas

Las medidas inmediatas a adoptar, bajo la responsabilidad del Jefe de Equipo o responsable de la empresa de sondeos en la obra, son:

- Primeros auxilios
- Aviso a los servicios médicos de urgencia
- Evacuación a hospital
- Comunicación del accidente

- Medidas posteriores

Serán realizadas bajo la responsabilidad del Jefe de Equipo o responsable de la empresa de sondeos en la obra, y deben incluir; el informe de investigación del accidente, la vigilancia de la salud de los posibles afectados y la revisión de la idoneidad de las condiciones de trabajo.

11.1.3. Actuaciones en caso de emergencia causadas por fenómenos naturales externos

- Medidas preventivas

Las medidas preventivas para estas situaciones son las descritas en el apartado 6.2.1 de este documento y su realización será responsabilidad del Jefe de Equipo en la obra o representante de la empresa de sondeos.

- Medidas inmediatas

Las medidas inmediatas a adoptar, bajo la responsabilidad del Jefe de Equipo o responsable de la empresa de sondeos en la obra, son:

- Parar los equipos
- Refugiarse en vehículos o lugar seguro

- Comunicar con Protección Civil y/o autoridades.

- Medidas posteriores

  Serán realizadas bajo la responsabilidad del Jefe de Equipo o responsable de la empresa de sondeos en la obra, y deben incluir; el informe del suceso y la revisión del estado de los equipos.

11.1.4. Listín de teléfonos de emergencia

El listado de teléfonos de emergencia, además de figurar en este documento, será fijado en un lugar visible y no deteriorable y se entregará a todo el personal de la obra junto con una síntesis de la evaluación de riesgos y medidas correctoras (Tabla 11.1):

ORGANISMO	LOCALIZACIÓN	TELÉFONO
Bomberos	Aznalcóllar	085
Ambulancias	Sanlúcar la Mayor	955 703 116
Centro Médico/Urgencias	Aznalcóllar	902 505 061
Medio Ambiente	Sevilla	954 544 438
Ayuntamiento	Aznalcóllar	954 133 015
Policía	Aznalcóllar	954 133 004

Tabla 11.1 – Listín de teléfonos de emergencia. (Fuente: elaboración propia)

11.2. PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

11.2.1. Objeto

La seguridad en las actividades, operaciones y diseño de las instalaciones son obligaciones básicas de todo industrial. Tanto la dirección como los mandos de Minorbis – Grupo México situada en el término municipal de La Rinconada (Sevilla) asumen el compromiso de proteger la salud y la vida humana, así como las instalaciones y el medio ambiente. Adicionalmente, todos los componentes de la empresa deben permanecer vigilantes para garantizar la seguridad en los trabajos y conseguir la reducción de los riesgos.

El presente documento constituye el Plan de Autoprotección desarrollado conforme a la legislación vigente en materia de seguridad y planificación de emergencias ante accidentes graves donde intervienen sustancias peligrosas.

11.2.2. Ámbito y personal afectado

El presente Plan de Autoprotección es el instrumento por el cual se define la estrategia de actuación ante una situación de emergencia que pueda ser originada en las instalaciones.

Se entiende por emergencia cualquier suceso, consecuencia de un desarrollo incontrolado de la actividad llevada a cabo en el lugar de actuación de los trabajos, que suponga grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata o diferida, para las personas, los bienes materiales y el medio ambiente, sea en el interior o el exterior de las instalaciones y que requiere la atención prioritaria y la movilización de medios por parte de la organización.

El Plan de Autoprotección define la estructura organizativa, las responsabilidades, las comunicaciones y los recursos a movilizar, considerando la coordinación con los servicios de emergencia externos, en el control y el combate del conjunto de incidentes que pueden acontecer en el desarrollo del trabajo.

12.VIGILANCIA DE LA SALUD

En aplicación del artículo 22 de la ley 31/1995, y 8 del R.D. 1389/1997, durante el proyecto se garantizará la Vigilancia de la Salud de los trabajadores basándose en la Evaluación de los Riesgos de sus puestos de Trabajo. Por tanto, una vez realizada la evaluación inicial de los riesgos procede adoptar medidas correctoras en aquellos puestos de trabajo que han sido detectadas deficiencias que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores expuestos, previo informe favorable del responsable médico.

El control de la salud se inicia con el preceptivo e incondicional reconocimiento médico del trabajador, previo al ingreso de éste en la Empresa, que, una vez puesto en su conocimiento, se archiva por el Servicio Médico para garantizar la confidencialidad de los resultados.

Además anualmente se realiza reconocimiento médico a todos los trabajadores.

En cumplimiento de la normativa vigente, se realizan periódicamente reconocimientos a los trabajadores que ocupan puestos de trabajo específicos.

13.CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD PREVENTIVA

13.1. CONTROLES PERIÓDICOS DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y DE LA ACTIVIDAD DE LOS TRABAJADORES

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL TRABAJO/SUGERENCIA DE MEJORA					
Área/Puesto de trabajo:_____ Unidad Funcional:_____					
Frecuencia de Observación establecida:_____ Fecha de realización:_____					
ASPECTOS DE RECOMENDADA OBSERVACIÓN		**SI**	**NO**	**N/A**	**OBSERVACIONES**
Superficies de trabajo y tránsito	Están delimitadas y libres de obstáculos las zonas de paso, espacios interiores y almacenamientos.				Actuaciones destacables
	Están protegidas las aberturas y plataformas en altura				
	Los suelos están en correcto estado, no presentando deterioros y son antideslizantes				
Orden y limpieza	Se evita el acopio de materiales fuera de su lugar				
	Se evita la acumulación de materiales inservibles				
	El espacio de trabajo está limpio y ordenado y con el equipamiento necesario				
Herramientas y medios utilizados	Las herramientas utilizadas son específicas para el trabajo a realizar y se hace un buen uso de ellas				Actuaciones mejorables
	Los medios utilizados se encuentran en buen estado				
	Existen lugares o medios idóneos para su ubicación ordenada				
Formación. Procedimientos	Se aprecia que el personal conoce los potenciales riesgos y tiene experiencia necesaria ante los mismos				
	Se observan hábitos correctos de trabajo				
	Se cumplen los procedimientos de trabajo establecidos en el DSS				
Maquinaria y equipos de trabajo	Se encuentran limpios, sin averías y con las conexiones eléctricas en buen estado				
	Poseen las protecciones adecuadas y establecidas por el fabricante				
	Se hace un uso apropiado de los mismos				
Riesgo u otras deficiencias detectadas:					
Mejoras acordadas	**Responsable**				**Plazo**
El observante		El Mando Directo			
Firma		Firma			

Tabla 13.1 – Tabla de controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores

13.2. SEGUIMIENTO Y CONTROL PERIÓDICO DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN IMPLANTADAS

Se mantendrá un programa de seguimiento y control de las medidas preventivas y de protección derivadas de la evaluación de riesgos.

FICHA DE OBSERVACIÓN DEL TRABAJO/SUGERENCIA DE MEJORA					
Área/Puesto de trabajo:_____Unidad Funcional:_____ Frecuencia de Observación establecida:_____Fecha de realización:_____					
ASPECTOS DE RECOMENDADA OBSERVACIÓN		**SI**	**NO**	**N/A**	**OBSERVACIONES**
Superficies de trabajo y tránsito	Están delimitadas y libres de obstáculos las zonas de paso, espacios interiores y almacenamientos.				Actuaciones destacables
	Están protegidas las aberturas y plataformas en altura				
	Los suelos están en correcto estado, no presentando deterioros y son antideslizantes				
Orden y limpieza	Se evita el acopio de materiales fuera de su lugar				
	Se evita la acumulación de materiales inservibles				
	El espacio de trabajo está limpio y ordenado y con el equipamiento necesario				
Herramientas y medios utilizados	Las herramientas utilizadas son específicas para el trabajo a realizar y se hace un buen uso de ellas				Actuaciones mejorables
	Los medios utilizados se encuentran en buen estado				
	Existen lugares o medios idóneos para su ubicación ordenada				
Formación. Procedimientos	Se aprecia que el personal conoce los potenciales riesgos y tiene experiencia necesaria ante los mismos				
	Se observan hábitos correctos de trabajo				
	Se cumplen los procedimientos de trabajo establecidos en el DSS				
Maquinaria y equipos de trabajo	Se encuentran limpios, sin averías y con las conexiones eléctricas en buen estado				
	Poseen las protecciones adecuadas y establecidas por el fabricante				
	Se hace un uso apropiado de los mismos				
Riesgo u otras deficiencias detectadas:					
Mejoras acordadas	**Responsable**				**Plazo**
El observante		El Mando Directo			
Firma		Firma			

Tabla 13.2 – Tabla seguimiento y control de las medidas preventivas y de protección derivadas de la evaluación de riesgos

13.3. SEGUIMIENTO DE LOS ACCIDENTES, INCIDENTES Y ENFERMEDADES PROFESIONALES

La empresa informará a la autoridad minera competente de todos los accidentes mortales y graves que se produzcan y de cualquier situación de peligro grave dentro de las 24 horas siguientes.

También elaborará una serie de documentos que estarán a la disposición de la autoridad minera:

- Mensualmente: Relación de accidentes con baja durante el mes, especificando las causas de los accidentes, su clasificación médica y el tipo de lesiones producidas en los trabajadores.
- Trimestralmente: Número total de accidentes con baja y su duración según modelo de parte oficial, número de horas perdidas por incapacidad temporal e incapacidades permanentes.
- Anualmente: Número de personas afectadas por enfermedades profesionales y grado de las mismas

NOMBRE	FECHA ACCIDENTE	FECHA BAJA	FECHA ALTA	DIAS BAJA	PUESTO	AGENTE CAUSANTE	TIEMPO EXPOSICIÓN	AÑO

Tabla 13.3 – Tabla seguimiento de accidentes, incidentes y enfermedades profesionales

13.4. ÍNDICES DE SINIESTRALIDAD

El Contratista deberá asegurarse que los índices estadísticos de frecuencia (IF) y gravedad (IG) sean recopilados mensualmente.

Estos índices estadísticos se recogen de acuerdo con los métodos reconocidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Se emplearán los siguientes:

- Índice de Frecuencia (IF) = Nº accidentes x 106 / nº horas trabajadas
- Índice de Gravedad (IG) = Nº jornada perdidas x 103 / nº horas trabajadas
- Índice Incidencia (II) = Nº accidentes x 103 / nº horas trabajadores
- Índice de Duración Media (DM) = Nº jornada perdidas / nº accidentes

	PERSONAL PROPIO	PERSONAL CONTRATAS	TOTAL
Nº de horas trabajadas			
Nº trabajadores plantilla media			
Nº bajas por accidente			
Jornadas perdidas por incapacidad temporal			
Jornadas perdidas por incapacidad permanente y muerte			
Total jornadas perdidas			
Índice de frecuencia			
Índice de gravedad			
Índice de incidencia			
Índice de duración media			

13.5. AUDITORÍAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

No procede