

UNIVERSIDAD DE LEÓN

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS, VALORACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE LAS
MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS EFECTOS
HIDROGEOLÓGICOS DE SUBSIDENCIA Y
MEDIOAMBIENTALES PRODUCIDOS COMO CONSECUENCIA
DEL CESE Y ABANDONO DE LABORES EN UNA
EXPLOTACIÓN MINERA EN UN ENTORNO URBANO**

**ANALYSIS, EVALUATION AND IMPLEMENTATION OF CORRECTIVE
MEASURES OF EFFECTS AND ENVIRONMENTAL SUBSIDENCE
HYDROGEOLOGICAL OF PRODUCED AS A RESULT OF DISMISSAL AND
ABANDONMENT OF WORKING A MINING IN AN URBAN ENVIRONMENT**

AUTOR: DAVID FERNÁNDEZ LÓPEZ

DIRECTORES:

ALFONSO HEVIA CANGAS

FERNANDO GÓMEZ FERNÁNDEZ

León, 2013

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas quiero agradecer de alguna manera a todas aquellas personas que con su ayuda, su apoyo y su paciencia y comprensión, han contribuido a que ésta tesis doctoral haya podido completarse.

Merecen una mención especial:

- Mi padre, David Fernández Alonso, que para mí ha sido y es mucho más que eso; amigo, compañero, consejero, mentor....en definitiva, a él le debo todo lo que soy, personal y profesionalmente.

Con él inicié los trabajos que dieron origen a la tesis, con él viajé y dediqué horas de mi vida a todas las visitas de campo que resultaron necesarias, y de él surgió la idea de convertir todo aquello en lo que ahora está a la vista del lector. Gracias papá.

- A mi madre, a quien todos esos viajes y todas esas horas le restaron tiempo para disfrutar de su marido todo lo que ella hubiera querido, pero que siempre nos apoyó y nos empujó a que continuáramos con el proyecto.
- A mi hermano, Pablo, que apoya y comparte todos mis actos, que sufre y disfruta conmigo, que siempre está ahí.
- A Santiago Cordero Calvo. Ha dedicado tanto esfuerzo como mi padre y como yo en la realización de ésta tesis y de todos los trabajos que fueron necesarios para desarrollarla. Ha estado siempre ahí y afortunadamente para mí se que sigue y seguirá estando; ha disfrutado, pero también ha sufrido con nosotros a lo largo de estos años, y sin su apoyo esto sería mucho más duro de lo que es.

Es difícil encontrar palabras que describan lo que Santi representa para mi y para mi familia, decir que forma parte de ella, es no hacerle justicia.

- A mis tutores D. Alfonso Hevia Cangas y D. Fernando Gómez Fernández. Gracias a ambos por ayudar a hacer de esto un documento digno y por los consejos tan necesarios para su consecución.

Por último, no quiero terminar este capítulo sin dedicarle unas líneas a la que hoy es la personilla más importante de mi vida; lleva conmigo ocho meses y apenas mide 75 cms, pero su sonrisa hace que cada nuevo día sea más bonito y especial que el anterior. A ti

hijo mío, a ti Pelayo, te dedico estas líneas porque te has convertido el motor de mi vida. Y por supuesto, gracias a tu madre, Belén, quien mientras yo estaba desarrollando éste proyecto, ella dedicaba sus horas a tu cuidado, esperando pacientemente a que volviera a casa.

Gracias a todos los que siempre estáis ahí.....

ÍNDICE DE LA TESIS

AGRADECIMIENTOS.....	2
ÍNDICE DE LA TESIS	4
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	5
1.- INTRODUCCIÓN	6
2.- OBJETIVOS.....	7
3.- METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	8
CAPÍTULO 2.- MEDIO FÍSICO	10
1.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	11
Imagen 1.- Situación Mina la Camocha, S.A.	11
2.- DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.....	11
Imagen 2.- Unidades estructurales de la zona cantábrica (Julivert, 1971)	12
Imagen 3.- Unidades paleogeográficas de la cuenca mesoterziaria de Asturias (Mapa Geológico de España E. 1:50000. Hoja de Villaviciosa).....	13
2.1.- ESTRATIGRAFÍA	13
2.1.1.- <i>Carbonífero</i>	13
Imagen 4.- Serie estratigráfica de La Camocha. Transversal general. Base documental Mina la Camocha.	15
2.1.2.- <i>Pérmico</i>	18
Imagen 5.- Columna estratigráfica esquemática de la cobertera Permo-Mesozoica en el área de Gijón. (Modificado de Pieren et al., 1995) (Martínez García et al., 1998)	18
2.2.- TECTÓNICA.....	20
Imagen 6.- Esquemas de graben y horst. http://geologiavenezolana.blogspot.com.es	20
2.2.1.- <i>Tectónica Varisca</i>	21
2.2.2.- <i>Tectónica Alpina</i>	21
Imagen 7.- Cartografía geológica del área de estudio. Base documental Mina la Camocha.....	22
Imagen 8.- Corte geológico falla La Matona. Escala vertical con la finalidad de diferenciar los distintos tramos del Pérmico . Base documental Mina la Camocha.....	23
Imagen 9.- Corte transversal del Horst. Base documental Mina la Camocha.	24
Imagen 10.- Estructura tectónica general del yacimiento. Base documental Mina la Camocha.....	25
3.- EXPLOTACIÓN MINERA. ESTRUCTURA Y DISEÑO	26
Tabla 1.- Capas de carbón existentes en el yacimiento de La Camocha. Plan de labores 2007. Archivo histórico de la Camocha	28
Imagen 11.- Perfil geológico por sondeo Pontona. Base documental Mina la Camocha.	28
Imagen 12.- Estructura general de la mina. Base documental de Mina la Camocha.	30
Imagen 13.- Estructura General de Explotación de Mina la Camocha. Base documental Mina la Camocha.....	31
Imagen 14.- Características de los pozos mineros. Base documental Mina la Camocha.	32
CAPÍTULO 3.- ESTUDIO DE AFECTACIÓN DE LA SUBSIDENCIA GENERADA POR EL ABANDONO DE LA EXPLOTACIÓN	33
1.- INTRODUCCIÓN	34

2.- CONSIDERACIONES GENERALES AL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA.....	34
Imagen 15.- Esquema de la cubeta de hundimiento con indicación de la deformación de los terrenos superficiales (Rimbaud et al. 1986)	37
Imagen 16.- Movimiento y deformación de una edificación al pasar bajo ella el frente de la explotación de una capa horizontal (Según NCB) (Rimbaud et al. 1986).....	39
Imagen 17.- Modelo de subsidencia para una capa inclinada (Rimbaud et al. 1986)	40
Imagen 18.- Ejemplo de perfiles de subsidencia para diferentes pendientes de capa (Whittaker et al. 1989)	41
Imagen 19.- Ábaco para determinar el ángulo límite. (Rimbaud et al. 1986)	41
Imagen 20.- Ángulo de fractura β	42
Imagen 21.- En verde, representación del área crítica	43
2.1.- MÉTODO DE LAS FUNCIONES DE PERFIL	44
Imagen 22.- Función de perfil.....	45
2.2.- MÉTODO DE LAS FUNCIONES DE INFLUENCIA	46
Imagen 23.- Principio de superposición en el método de Funciones de Influencia. N.C.B.....	47
Imagen 24.- Influencia de un dA al hundimiento. N.C.B.....	47
2.3.- MÉTODOS NUMÉRICOS.....	48
Imagen 25.- Tipos de mallas para cálculos de subsidencia mediante métodos numéricos (Kratzsch, 1983)49	
3.- EL FACTOR TIEMPO Y LA SUBSIDENCIA	50
4.- CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS TERRENOS	51
Tabla 2.- Características geomecánicas de la roca	52
Tabla 3.- Índices de fracturación y de calidad de la roca	53
5.- ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA.....	53
5.1.- TALLERES DE EXPLOTACIÓN SOBRE LA CAPA 8/9. ZONA OESTE. EXPLOTACIÓN POR SUTIRAJE	54
5.2.- CAPAS DE LA ZONA TUMBADA.....	54
Tabla 4.- Medida de hundimientos en la zona de la superficie situada sobre el taller de explotación de la capa 8/9 Oeste. (Se ha tomado como origen de distancias el hito 428)	57
Tabla 5.- Resultado de la simulación numérica para las capas de la zona tumbada	57
Tabla 6.- Criterios para deformaciones de compresión y tracción en diferentes países mineros.....	57
Tabla 7.- Medida de hundimientos en la zona de la superficie situada sobre el taller de explotación de la capa 8/9 Oeste. Junio 2008 – Junio 2011	58
CAPÍTULO 4.- ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA AFECTADA POR LA SUPRESIÓN DEL BOMBEO EXISTENTE EN MINA LA CAMOCHA.....	60
1.- INTRODUCCIÓN	61
2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	61
Tabla 8.- Calificación de los acuíferos (Benítez, 1963)	62
3.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO	63
4.- CARACTERIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	64
5.- ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS	65
6.- HIDROLOGÍA DE LA ZONA	68
Imagen 26.- Delimitación de cuenca hidrográfica y puntos de aforo.....	69
8.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	70
8.1.- ANALÍTICA DE LAS AGUAS.....	71
8.1.1.- Resultados	71
Tabla 9.- Analítica de muestra de agua tomada para la elaboración de la tesis doctoral	72
8.1.1.- Interpretación de resultados	72
Imagen 27.- Situación de sondeos y cortes geológicos. Base documental Mina la Camocha.	75
Imagen 28.- Situación de los pozos de gran diámetro. Base documental Mina la Camocha.	76
8.2.- PIEZOMETRÍA.....	77

Imagen 29.- Mapa piezométrico del acuífero principal.....	79
8.3.- GEOMETRÍA.....	79
Imagen 30.- Balance hídrico estimado de la zona de estudio. Base documental Mina la Camocha.....	80
9.- PARÁMETROS HIDRÁULICOS: TÉCNICAS UTILIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	80
9.1.- TESTIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LOS SONDEOS.....	81
Imagen 31.- Columna del sondeo HL-1 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992.	82
Imagen 32.- Columna del sondeo HL-2 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992.	83
Imagen 33.- Columna del sondeo HL-3 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992.	84
9.2.- ENSAYOS LUGEON.....	84
Imagen 34.- Columna del sondeo HL-4 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992.	85
9.3.- ENSAYOS SLUG-TEST.....	86
Tabla 10.- Permeabilidades medias (CGS-Cepsa, 1992).....	87
Tabla 11.- Resultados para Ensayos Slug-Test.....	87
9.4.- ENSAYOS DE BOMBEO.....	88
Tabla 12.- Resultados de los ensayos de bombeo. CGS-Cepsa, 1992.....	90
9.5.- ENSAYOS DE BOMBEO POR INYECCIÓN DE AIRE.....	90
Tabla 13.- Transmisividades obtenidas HL-1. CGS-Cepsa, 1992.....	90
Tabla 14.- Transmisividades obtenidas HL-2. Primera prueba. CGS-Cepsa, 1992.....	91
Tabla 15.- Transmisividades obtenidas HL-2. Segunda prueba. CGS-Cepsa, 1992.....	91
Tabla 16.- Transmisividades obtenidas HL-3. CGS-Cepsa, 1992.....	92
Tabla 17.- Transmisividades obtenidas HL-4. CGS-Cepsa, 1992.....	92
9.6.- TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA.....	92
Tabla 18.- Resultados ensayos de bombeo por inyección de aire. CGS-Cepsa, 1992.....	93
9.7.- SÍSMICA DE REFLEXIÓN.....	93
10.- DINÁMICA HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO.....	94
11.- INFLUENCIA DE LAS EXPLOTACIONES EN EL ACUÍFERO.....	95
12.- ABANDONO DE LOS TRABAJOS MINEROS.....	97
Imagen 35.- Esquema inicial de desagüe de la mina. Base documental Mina la Camocha.....	98
13.- EFECTOS HIDROLÓGICOS.....	99
14.- ARCILLAS EXPANSIVAS Y YESOS.....	100
Imagen 36.- Estructura química general de las arcillas. (García et al, 2010).....	101
Tabla 19.- Esmectitas.....	102
Tabla 20.- Propiedades geotécnicas de los suelos.....	102
15.- CONTROL Y SEGUIMIENTO HIDROLÓGICO.....	103
15.1.- EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS NIVELES DE AGUA.....	105
Imagen 37.- Correlación de sondeos y evolución tectónico-sedimentaria de la zona de la Camocha. Pieren et al. 1995.....	106
15.2.- REGISTROS DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS.....	107
Tabla 21.- Resultado mediciones nivel de agua a cota de la boca de tubería de cada pozo.....	108
Tabla 22.- Aproximación del tiempo restante para que comience la inundación de los pozos de ventilación.....	108
16.- POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS.....	108
Imagen 38.- Perfil de plantas y pozos de ventilación (m.s.n.m.).....	109
Tabla 23.- Aproximación del tiempo restante para anegar el exterior del pozo de Granda.....	109
Imagen 39.- Medida correctora. Drenaje natural desde el pozo de ventilación de Granda.....	110
Imagen 40.- Sondeo en las inmediaciones del pozo de ventilación de Granda. Surgencia artesiana.....	112
CAPÍTULO 5.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. ESCOMBRERAS DE MINA LA CAMOCHA.....	113
1.- INTRODUCCIÓN.....	114
2.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	114

3.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA PROBLEMÁTICA DE LAS ESCOMBRERAS.....	115
4.- CARACTERÍSTICAS DE ESTÉRILES DE CARBÓN	123
Tabla 24.- Características de los estériles de carbón en Mina La Camocha. Base documental Mina la Camocha.....	124
4.1.- UTILIZACIÓN COMO ÁRIDOS EN CONSTRUCCIÓN	124
4.2.- UTILIZACIÓN COMO MATERIALES PARA CAPAS DE FIRMES.	124
4.3.- UTILIZACIÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACIÓN DE MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN.	125
4.4.- UTILIZACIÓN COMO SUSTRATOS EN CULTIVOS SIN SUELO.....	125
4.5.- UTILIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE TIERRA ARMADA	126
5.- ESTUDIO DE LA ESCOMBRERA NORTE	127
5.1.- SITUACIÓN ACTUAL.....	127
Imagen 41.- Límite norte de la escombrera. Arroyo Llantones y Senda Verde	128
Imagen 42.- Límite sur de la escombrera. Lavadero y resto de instalaciones	128
Imagen 43.- Límite noreste de la escombrera. Balsas de finos	129
Imagen 44.- Detalle de colonización con eucaliptos y otras especies	129
Imagen 45.- Grietas en la escombrera	130
Imagen 46.- Escarpe provocado por una grieta deslizante	130
Imagen 47.- Desenraizamiento de árboles como consecuencia del deslizamiento	131
Imagen 48.- Detalle del apoyo de la línea eléctrica en la escombrera.	131
5.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTÉRILES	132
Tabla 25.- Características de los materiales constituyentes. Base documental Mina la Camocha.....	133
Imagen 49.- Aspecto general de los niveles rojizos (Cal cáreos)	134
5.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA Balsa de finos	134
5.4.- ESTUDIO GEOTÉCNICO	135
Imagen 50.- Afloramiento de finos de carbón en la base de la escombrera	136
Imagen 51.- Aspecto general de la inestabilidad.....	137
Imagen 52.- Grietas en la superficie de la escombrera	137
Imagen 53.- Efectos de la escorrentía superficial en la escombrera	138
5.5.- ALTERNATIVAS DEL TRATAMIENTO DE LA ESCOMBRERA	138
5.5.1.- <i>Alternativa 1N. Eliminación total del depósito y su traslado fuera de las instalaciones de Mina la Camocha, S.A.</i>	140
Imagen 54.- Esquemmatización de la alternativa 1N	141
Imagen 55.- Esquemmatización de la alternativa 2N.	142
Imagen 56.- Esquemmatización alternativa 3N.....	143
5.5.2.- <i>Alternativa 2N. Eliminación parcial del depósito mediante relleno de huecos existentes en las instalaciones de Mina la Camocha, S.A.</i>	145
Imagen 57.- Vista parcial de hueco, instalaciones, economato y casa de máquinas	146
Imagen 58.- Vista del lavadero e instalaciones varias (Demolición).....	147
5.5.3 <i>Alternativa 3N. Restauración "in situ" de la escombrera</i>	149
6.- ESTUDIO DE LA ESCOMBRERA SUR O BADA	151
6.1 SITUACIÓN ACTUAL	151
Imagen 59.- Especies arbóreas en el borde sur-Aº Sta. Cecilia.	153
Imagen 60.- Zona de la escombrera, parcialmente colonizada	153
6.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTÉRILES	155
6.3.- ESTUDIO GEOTÉCNICO	156
6.4.- ALTERNATIVAS DEL TRATAMIENTO DE LA ESCOMBRERA SUR	157
6.4.1.- <i>Alternativa 1S: Eliminación total del depósito de estériles.</i>	158
6.4.2.- <i>Alternativa 2S: Restauración de la escombrera en las circunstancias actuales....</i>	159
6.4.3.- <i>Alternativa 3S: Aporte de material procedente de la escombrera norte y posterior restauración.</i>	160
7.- SIMULACION GRÁFICA DE LAS ALTERNATIVAS	160
Imagen 61.- Esquemmatización alternativa 1S.....	162
Imagen 62.- Esquemmatización alternativa 2S.....	163

Imagen 63.- Esquematización alternativa 2N y 3S	164
Imagen 64.- Estado actual de las escombreras (delimitadas en rojo) y las balsas.	165
Imagen 65.- Simulación: Acondicionamiento urbanístico.....	166
Imagen 66.- Simulación: Acondicionamiento uso natural.....	167
Imagen 67.- Simulación uso recreativo.	168

CAPÍTULO 6.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. BALSAS DE LODOS DE MINA LA CAMOCHA.. 169

1.- INTRODUCCIÓN	170
2.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO	170
3.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS.....	171
Imagen 68.- Representación panorámica de las balsas de lodos	172
3.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS DIQUES DE CONTENCIÓN	173
Imagen 69.- Talud perimetral de las balsas	173
4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS FINOS DE CARBÓN	174
Tabla 26.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 1. UTM uso 30. Verano de 2009.....	175
Tabla 27.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 2. UTM uso 30. Verano 2009.....	175
Esquema 1.- Representación del porcentaje de cenizas en zonas 1 y 2.....	176
Imagen 70.- Toma de muestras.....	176
Tabla 28.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 1. UTM uso 30. Invierno 2010.....	177
Tabla 29.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 2. UTM uso 30. Invierno 2010.....	177
Esquema 2.- Representación del porcentaje de cenizas en zonas 1 y 2. Invierno de 2010.....	177
5.- EXTRACCIÓN DE LOS FINOS	178
Imagen 71.- Tanque espesador	180
Imagen 72.- Diseño propuesto para franja perimetral.....	181
Imagen 73.- Extracción por tongadas.....	182
Imagen 74.- Extracción por frente único con relleno	183
Imagen 75.- Extracción por frente único sin relleno	184
6.- SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	185

CAPÍTULO 7.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL DE LA ESCOMBRERA NORTE..... 187

1.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL	188
1.1.- METODOLOGÍA DE TRABAJO	191
1.2.- RESULTADOS	193
Tabla 30.- Análisis de la cuenca visual	194
Imagen 76.- Cuenca visual en radio de 5 kms.	195
Imagen 77.- Ortofoto cuenca visual en radio de 5 kms.	196
Imagen 78.- Cuenca visual en radio de 7,5 kms.	197
Imagen 79.- Ortofoto cuenca visual en radio de 7,5 km.	198

CAPÍTULO 8.- CONCLUSIONES

1.- CONCLUSIONES AL ESTUDIO DE AFECTACIÓN DE LA SUBSIDENCIA.	200
2.- ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA AFECTADA POR LA SUPRESIÓN DEL BOMBEO EXISTENTE EN MINA LA CAMOCHA, S.A.....	200
3.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. ESCOMBRERAS DE MINA LA CAMOCHA, S.A.....	202
4.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. BALSAS DE LODOS DE MINA LA CAMOCHA, S.A.	203
5.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL DE LA ESCOMBRERA NORTE	204

BIBLIOGRAFÍA.....	205
--------------------------	------------

ANEJO I.- ESTUDIO PRELIMINAR DE ESTABILIDAD DE ESCOMBRERA.....	211
1.- OBJETO.....	212
2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	212
2.1.- DATOS DE PARTIDA.....	212
2.1.1.- <i>Geometría</i>	212
2.1.2.- <i>Materiales</i>	212
3.- CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE ESTABILIDAD DE LA ESCOMBRERA ÍNDICE INESTEC.....	213
4.- CALCULO PRELIMINAR DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES.....	215
4.1.- SECCIONES TIPO.....	215
Imagen 80.- Sección tipo dirección este-oeste.....	215
Imagen 81.- Sección tipo dirección norte-sur.....	215
4.2.- HIPÓTESIS I.....	215
Imagen 82.- Hipótesis 1.....	216
4.2.- HIPÓTESIS II.....	216
Imagen 83.- Hipótesis 2.....	216
4.3.- HIPÓTESIS III.....	217
Imagen 84.- Hipótesis 3.....	217
4.4.- HIPÓTESIS IV.....	217
5.- CONCLUSIONES.....	217
Imagen 85.- Hipótesis 4.....	218
6.- RECOMENDACIONES.....	218

ANEJO II.- CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESA DE LODOS.....	219
1.- OBJETO.....	220
2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	220
2.1.- DATOS DE PARTIDA.....	221
2.1.1.- <i>Geometría</i>	221
2.1.2.- <i>Materiales</i>	221
Imagen 86.- Funciones de conductividad hidráulica.....	222
Imagen 87.- Función volumen-presión.....	222
3.- DETERMINACIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO.....	223
3.1.- MODELIZADO DE LA PRESA.....	223
Imagen 88.- Sección tipo de la presa.....	223
3.1.1.- <i>Condiciones de contorno</i>	223
3.2.- RESULTADOS EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	224
Imagen 89.- Nivel piezométrico y tiempo.....	225
Imagen 90.- Convergencia.....	225
Imagen 91.- Nivel piezométrico y vectores de flujo.....	226
Imagen 92.- Posición nivel piezométrico y vectores de flujo del agua.....	226
Imagen 93.- Posición nivel piezométrico y vectores de flujo del agua.....	226
3.3.- RESULTADOS EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....	226
Imagen 94.- descenso del nivel piezométrico con el descenso del nivel de lodos.....	227

4.- ESTABILIDAD DE LA PRESA DURANTE LA DECONSTRUCCIÓN	227
4.1.- OBJETO.....	227
4.2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	227
4.3.- ESTADO INICIAL.....	228
4.4.- RETIRADA DE TONGADAS	228
4.4.1.- <i>Retirada de la primera tongada</i>	228
4.4.2.- <i>Retirada de la segunda tongada</i>	228
4.4.3.- <i>Retirada de la tercera tongada</i>	228
4.4.4.- <i>Retirada de la cuarta tongada</i>	229
4.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	229
Tabla 31.- Análisis de resultados	229
Tabla 32.- Factores de Seguridad Mínimos (Terzaghi y Peck, 1967).....	230
4.6.- CONCLUSIÓN.....	230
Imagen 95.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial	231
Imagen 96.- Superficie de rotura más probable.....	232
Imagen 97.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 1ª tongada	233
Imagen 98.- Superficie de rotura más probable. 1ª tongada	234
Imagen 99.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 2ª tongada	235
Imagen 100.- Superficie de rotura más probable. 2ª tongada	236
Imagen 101.- Modelo de cálculo con la presa parcialmente desmontada. 8m.....	237
Imagen 102.- Superficie de rotura más probable. Parcialmente desmontada. 8m.....	238
Imagen 103.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 3ª tongada	239
Imagen 104.- Superficie de rotura más probable. 3ª tongada	240
Imagen 105.- Modelo de cálculo. Parcialmente desmontada. 12 m	241
Imagen 106.- Superficie de rotura más probable. Parcialmente desmontada. 12 m.....	242
Imagen 107.- Modelo de cálculo. Parcialmente desmontada. 4ª tongada	243
Imagen 108.- Superficie de rotura más probable. 4ª tongada	244

RESUMEN

El cese de los trabajos de explotación del yacimiento de carbón de Mina La Camocha S.A., en San Martín de Huerces (Gijón), y por tanto el consiguiente abandono de las labores mineras y resto de los servicios auxiliares, lleva aparejados una serie de problemas de diversa índole, como son los sociales, medioambientales, urbanísticos, etc).

Uno de los efectos más importantes que se van a ocasionar, sería el debido al cese del bombeo de las aguas que se infiltran al interior de la mina y que en estos momentos y ya desde hace bastantes años se ha mantenido en torno a los 70m³/hora. Era de sobra conocido el acuífero, cuestión de estudio, para los técnicos de Mina La Camocha y de los trabajadores que también lo sufrían ya desde principios del siglo XX, ya que en los dos primeros intentos de profundización de los pozos tuvieron que desistir como consecuencia del aporte de aguas del acuífero. Este conocimiento estaba contrapuesto con la creencia de investigadores de otros organismos, cuya apuesta siempre era por la de un Pérmico al que consideraban totalmente impermeable.

Este hecho por tanto se considera de extrema importancia al encontrarse en un área de arcillas expansivas, con afectación a pequeñas capas de yesos, que en la actualidad se encuentran en un nivel freático artificial muy inferior al real como consecuencia de la actividad minera y que con seguridad se inundarán una vez recuperado el nivel freático real de la zona afectada por la explotación.

Por otro lado, toda excavación subterránea, ya sea una obra civil o una explotación minera, es una causa potencial de roturas y flexiones de los terrenos suprayacentes que producen un hundimiento de la superficie del terreno. Tal fenómeno se conoce con el nombre de subsidencia. Simultáneamente, aparecen esfuerzos de tracción y de compresión, que pueden producir deformaciones en las instalaciones o edificaciones construidas en la zona de la superficie que se encuentre situada sobre la citada excavación. En lo concerniente a la minería subterránea, comporta, en primer lugar, una compleja red de pozos y galerías, de longitudes kilométricas, que en ocasiones presentan secciones muy importantes y cuya extensión suele ser también kilométrica. Dependiendo de la amplitud de los huecos abiertos, los efectos producidos en la

superficie podrán ser importantes, debiendo tenerse muy en cuenta cuando se trate de edificaciones, obras de fábrica, ferrocarriles, conducciones de agua, etc.

A su vez, las afecciones medioambientales que genera la existencia de antiguas estructuras mineras abandonadas, fundamentalmente escombreras y balsas de lodos, son objeto de estudio y análisis de cara a la puesta en valor, no solo de los materiales constituyentes, si no también de los terrenos que éstas ocupan, y que como se verá son de dimensiones importantes.

Por tanto, de cara a proceder al cierre de una explotación minera como la que será objeto de ésta Tesis Doctoral, Mina La Camocha, S.A., totalmente integrada en un entorno urbano, rodeada de poblaciones, viviendas unifamiliares, industrias, etc, se hace imprescindible valorar los efectos hidrológicos y de subsidencia que la falta de mantenimiento en los pozos y galerías ocasionarán en la superficie, así como los efectos medioambientales que se producirán como consecuencia del cese de las labores y consiguiente abandono de las distintas instalaciones inherentes a una explotación minera de estas características.

ABSTRACT

The cease of the strip mining activity in the coal deposits in « La Camocha S.A » mine located in San Martín de Huerces (Gijón), and the subsequent abandonment of both the mining activity and of those services related to this, results in various social, environmental and urban problematic issues.

One of the most relevant effects which might be caused would be due to the cease of the pumping of water that penetrates into the inside of a mine, which has been around 70 m³/h over the last years. The aquifer, object of study, was perfectly known by both the technicians and the workers of La Camocha mine, who have been putting up with it since the beginning of the 20th century. This is so because when mineshaft deepening was first attempted, they soon had to give it up because of aquifer water filtration. Nevertheless, this way of thinking was opposed by those researchers who thought it was completely impermeable

Thus, this fact is considered to be of extreme importance owing to the expansive clay soil where it is located. This expansive clay is currently found at an artificial phreatic level which is lower than average, probably because of mining activities. Therefore, the odds are that it will be flooded once the phreatic level becomes stabilized.

Apart from this, subterranean excavation, either as in civil engineering or strip mining, is a potential cause of changes which may originate land subsidence. Simultaneously, traction and compaction effects arise, which may, in turn, generate deformation in those constructions built upon the aforementioned excavation. As far as underground mining is concerned, this originates, first of all, a complex network of kilometrical mineshafts and galleries. The sections of the latter might also be relevant and can be of great extension as well. Depending on the space of the open gaps, the effects produced on the surface might be important, and so, in this case, this must be taken into account in the event of building construction, railway related issues, water pipes, etc.

In turn, environmental conditions generated by the existence of old and abandoned mines, essentially dumps and mud ponds, are an object of study and analysis because of

its value. This value is not only related to its constituent materials, but also to the land they take up, which is, as we will see, of significant dimensions.

Hence, prior to proceeding to the shutting of “La Camocha” mine, which is the object of study of this PhD thesis, it appears to be crucial to bear in mind certain issues : First, this mine is located in an urban environment, surrounded by populated areas, industries, etc. Second, it is imperative to value both the hydrological and the subsidence effects that the lack of maintenance in mineshafts and galleries will cause in the surface. Third, the environmental effects, which will be produced as a consequence of the cease of activity and the therefore abandonment of those infrastructures attached to a mine which is the subject in question.

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.- INTRODUCCIÓN

El cese de los trabajos de explotación del yacimiento de carbón de Mina La Camocha S.A., en San Martín de Huerces (Gijón), y por tanto el consiguiente abandono de las labores mineras y resto de los servicios auxiliares, llevan aparejados una serie de problemas de diversa índole (sociales, económicos, medioambientales, culturales, etc).

Uno de los efectos más importantes ocasionados es el debido al cese del bombeo de las aguas que se infiltran al interior de la mina y que en estos momentos y desde las primeras comprobaciones, en diciembre de 2007, se ha mantenido en torno a los 70m³/hora.

En este trabajo se analiza la repercusión que el cese de dicho bombeo tendrá sobre los caudales de los ríos u arroyos limítrofes al yacimiento. Se considera de extrema importancia al encontrarse en un área de arcillas expansivas, con afectación a pequeñas capas de yesos, que en la actualidad se encuentran en un nivel freático artificial muy inferior al real como consecuencia de la actividad minera y que con seguridad se inundarán una vez recuperado el nivel freático real de la zona afectada por la explotación.

Por otro lado, toda excavación subterránea, ya sea una obra civil o una explotación minera, es una causa potencial de roturas y flexiones de los terrenos suprayacentes que producen un hundimiento de la superficie del terreno. Tal fenómeno se conoce con el nombre de subsidencia. Simultáneamente, aparecen esfuerzos de tracción y de compresión, que pueden producir deformaciones en las instalaciones o edificaciones construidas en la zona de la superficie que se encuentre situada sobre la citada excavación. En lo concerniente a la minería subterránea, comporta, en primer lugar, una compleja red de pozos y galerías, de longitudes kilométricas, así como los talleres de arranque, que en ocasiones presentan secciones muy importantes y cuya extensión suele ser también kilométrica. Dependiendo de la amplitud de los huecos abiertos, los efectos producidos en la superficie podrán ser importantes, debiendo tenerse muy en cuenta cuando se trate de edificaciones, obras de fábrica, ferrocarriles, conducciones de agua, etc.

Por tanto, de cara a proceder al cierre de una explotación minera como la que será objeto de ésta Tesis Doctoral, Mina La Camocha, S.A., totalmente integrada en un entorno urbano, rodeada de poblaciones, viviendas unifamiliares, industrias, etc, se hace imprescindible valorar los efectos hidrológicos y de subsidencia que la falta de mantenimiento en los pozos y galerías ocasionarán en la superficie, así como los efectos medioambientales que se producirán como consecuencia del cese de las labores y consiguiente abandono de las distintas instalaciones inherentes a una explotación minera de estas características.

Desde otro punto de vista, el de la legislación, se define el procedimiento a seguir para el cierre de una explotación minera; así, el artículo 167 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera dice textualmente:

El concesionario o explotador de una mina que se proponga abandonar el laboreo total o parcialmente solicitará del órgano competente la preceptiva autorización, estando obligado a tomar cuantas medidas sean necesarias para garantizar la seguridad de personas y bienes.

Asimismo estará obligado a tomar las precauciones adecuadas en el caso de que el abandono pueda afectar desfavorablemente a las explotaciones colindantes o al entorno.

Asimismo la ITC 13.0.01 Abandono de labores, en su artículo 2.4 entre otros, textualmente dice:

“El abandono definitivo de una mina deberá solicitarse de la autoridad minera, presentando un proyecto donde se expongan, entre otras circunstancias, las medidas de seguridad previstas para evitar daños en la superficie o en trabajos subterráneos propios o colindantes., cerramientos de entradas de galerías o pozos y desagües precisos para evitar aguas colgadas...”

2.- OBJETIVOS

Dentro de los objetivos que pretenden alcanzarse, se encuentra el plantear las medidas correctoras para los procesos descritos a continuación, o indicar sus afecciones para el

abandono y cese de actividad de una explotación minera de carbón en un entorno urbano.

1. Afección de la subsidencia generada por el abandono de la explotación.
2. Afecciones hidrogeológicas producidas por la supresión del bombeo actual; posibles inundaciones o hundimientos; repercusión sobre caudales limítrofes.
3. Estudio para restauración y valorización de las escombreras actuales; minimización de su impacto ambiental. Valoración de la estabilidad de taludes de las escombreras.
4. Estudio para eliminación de las balsas de lodos actuales; transformación a un residuo apilable y su posible valorización. Valoración de la estabilidad de taludes de las escombreras.
5. Análisis de la cuenca visual generada por la escombrera norte de Mina la Camocha, S.L.

3.- METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

La metodología seguida es la siguiente:

1. Recopilación bibliográfica y seguimiento de las técnicas relacionadas con la predicción del fenómeno de la subsidencia, la hidrogeología, la restauración y valorización de escombreras y balsas de decantación de finos, los impactos ambientales que produce una explotación minera una vez cesada su actividad, etc.
2. Recopilar todos los datos posibles referentes tanto al terreno superficial como a las labores subterráneas, así como los de las distintas construcciones situadas en la zona a estudiar. Entre ellos destacan:
 - a. Mediciones de subsidencia.
 - b. Mediciones topográficas de interior y exterior.
 - c. Inventario de edificaciones superficiales en el entorno de la explotación.

- d. Inventario de los cauces fluviales próximos (arroyo Llantones y río Piles) y puntos de afloramiento de aguas.
 - e. Inventario de infraestructuras lineales próximas (carreteras, ferrocarriles, líneas eléctricas, sendas verdes, etc.).
 - f. Inventario de sondeos hidrológicos.
 - g. Inventario de sondeos de investigación geológico-minera y sus testigos.
 - h. Toma de muestras de finos de carbón en las escombreras y en las balsas de lodos, para su posterior análisis.
 - i. Toma y analítica de muestras de agua en las labores de primera planta y en los sondeos hidrológicos.
 - j. Reconocimiento de labores de interior.
3. En función de los problemas detectados, se definen las soluciones consideradas más viables, técnica, económica y ambientalmente más favorables, para integrar toda la extensión de la explotación minera en el paisaje urbano que la rodea.

El plan de trabajo en el que se pretende enmarcar la Tesis Doctoral se divide en dos aspectos principales:

1. Trabajo de campo: Se analizarán todos los elementos necesarios para su toma en consideración dentro de los apartados descritos anteriormente.
2. Trabajo de Gabinete: Con los datos obtenidos en el trabajo de campo se redactarán y analizarán todos y cada uno de los puntos necesarios para intentar definir las medidas correctoras necesarias para que la integración de una explotación minera abandonada en el entorno urbano que la rodea sea lo más fácil y completa posible. De este modo, se estaría valorizando un espacio fuertemente degradado, tanto desde el punto de vista medioambiental como económico y social.

CAPÍTULO 2.- MEDIO FÍSICO

1.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Aunque el dominio minero de la empresa MINA LA CAMOCHA, S.A. abarca una parte importante de la zona centro de Asturias, en realidad, la zona objeto de estudio, y que corresponde a la zona tradicionalmente explotada por la empresa, en lo que a minería del carbón se refiere, se ubica en el término municipal de Gijón, a unos 6 Km al Sur de la propia ciudad de Gijón, entre las localidades de San Martín de Huerces, Vega, Llantonos y La Pedrera, según se aprecia en la imagen 1:

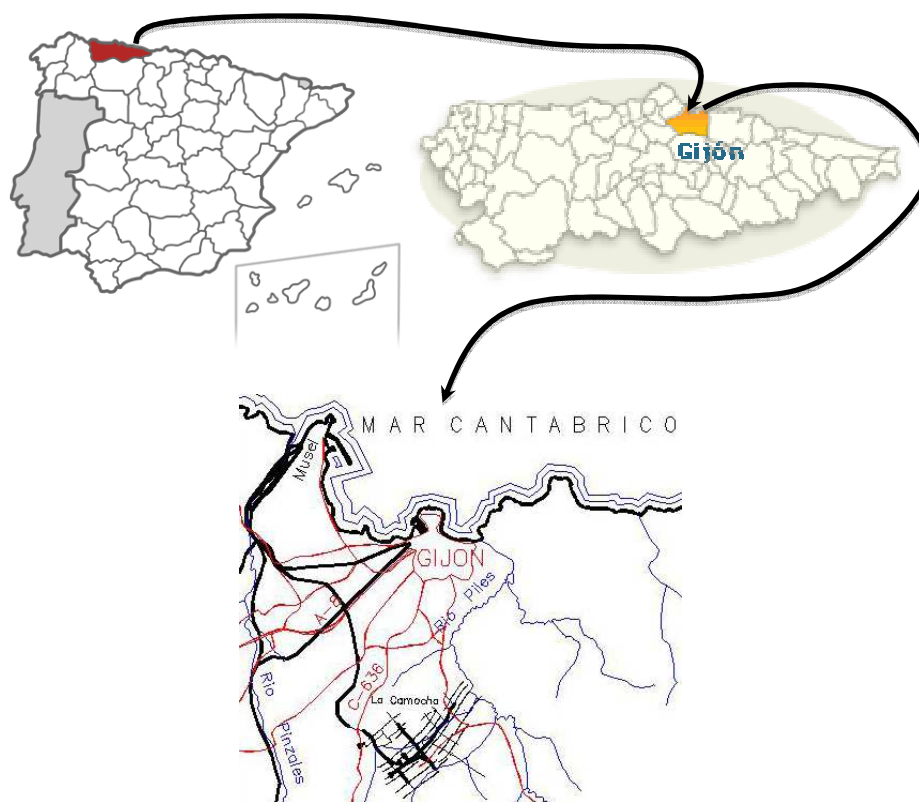


Imagen 1.- Situación Mina la Camocha, S.A.

2.- DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

Geológicamente, Mina La Camocha se encuentra en la Zona Cantábrica, en un área situada al Este del Antiforme de Narcea, en el extremo Norte de la denominada Región de Pliegues y Mantos, concretamente, el yacimiento (Areces et al., 1994) está situado en San Martín de Huerces, término municipal de Gijón, hoja nº 14 del Mapa Geológico de España, adoptando una estructura sinclinal cuyo eje se orienta en dirección NE-SO.

El área paleozoica sobre la que se depositaron los materiales de edad pérmica existentes en la zona y que primeramente fueron atribuidos al Triásico (Hernández-Sampelayo, 1944), se halla en la Zona Cantábrica (Norte de España) y al Este del antiforme del Narcea, constituyendo el extremo Norte de la denominada "Región de Pliegues y Mantos" (Julivert, 1971, imagen 2).

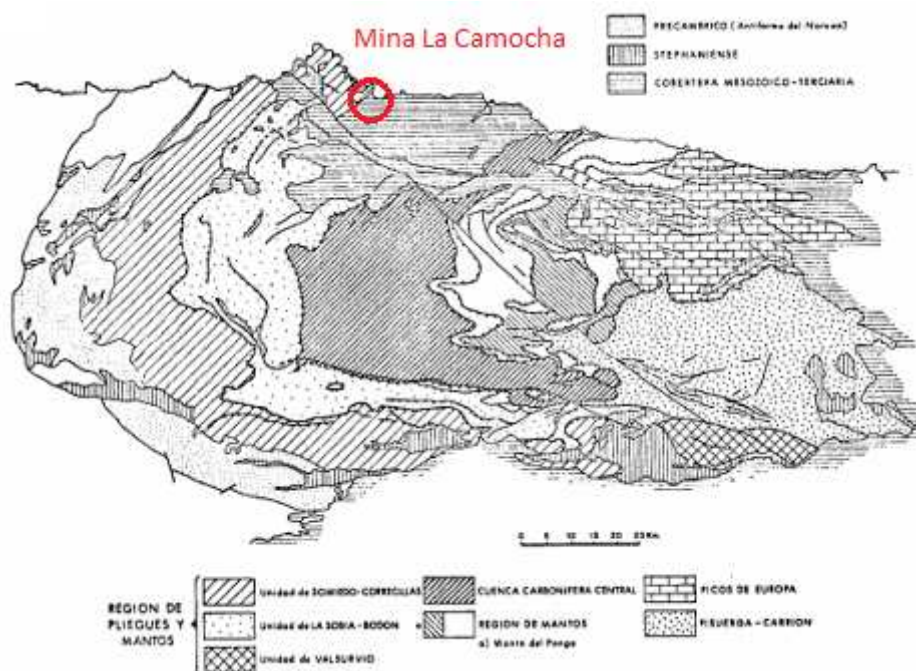


Imagen 2.- Unidades estructurales de la zona cantábrica (Julivert, 1971)

Desde el punto de vista estratigráfico y estructural, el Pérmico subhorizontal y discordante sobre el Carbonífero, se localiza en el borde septentrional de la Cuenca Mesozoico-Terciaria de Asturias y más concretamente en la Cuenca de Gijón-Villaviciosa (imagen 3).

La cartografía geológica de la zona objeto de estudio (Suárez Vega, 1974) se ha representado en la imagen 7, en la que además se han sobreimpresionado las trazas de las capas de carbón que constituyen el yacimiento, a una profundidad de 283 m por debajo del nivel del mar, que se corresponde con la 5ª planta de Mina La Camocha, así como las labores mineras de infraestructura principal a este mismo nivel. Como se puede apreciar, en las inmediaciones, solamente existen materiales en superficie del Pérmico y del Jurásico. Ha de destacarse, que dadas las características de los materiales pérmicos junto con el clima reinante en la región, crean una abundante vegetación que no los deja aflorar en prácticamente toda la zona.

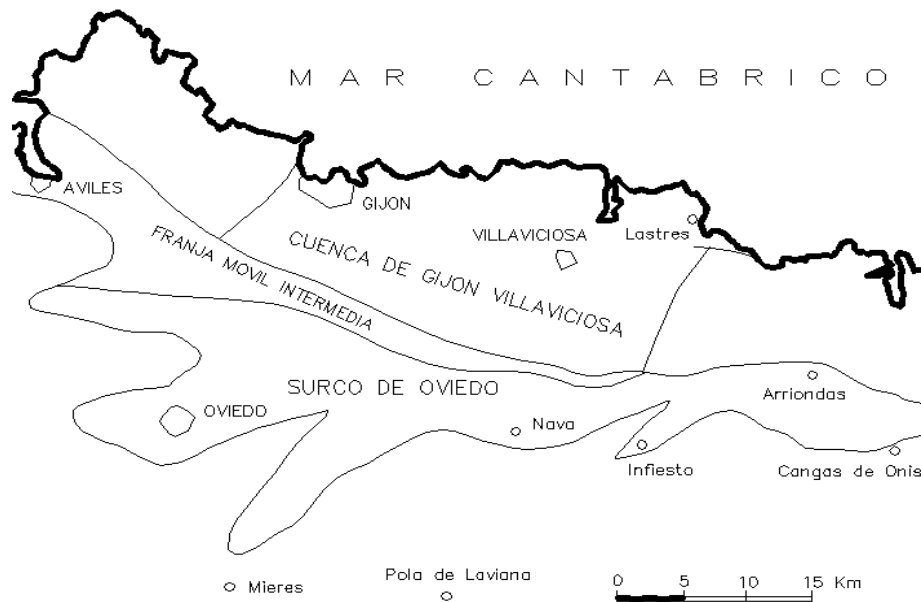


Imagen 3.- Unidades paleogeográficas de la cuenca mesoterciaria de Asturias (Mapa Geológico de España E. 1:50000. Hoja de Villaviciosa)

2.1.- Estratigrafía

2.1.1.- Carbonífero

Estratigráficamente, el Carbonífero del entorno de La Camocha es fundamentalmente siliciclástico, depositado en un ambiente de llanura deltaica con un claro dominio fluvial, apareciendo excepcionalmente sedimentos de plataforma marina, en forma de niveles carbonatados de escasa potencia (no sobrepasan los 3 m) en la parte inferior de la sucesión y con abundantes restos de fauna, como consecuencia de rápidas transgresiones debido al abandono de canales distributarios del sistema deposicional (Corrales et al. 1985).

El carbonífero de ésta zona no aflora en ningún punto, por lo que esta descripción se refiere exclusivamente a la realizada en el interior de la mina (imagen 4), sin posibilidad de correlacionarlos ni estratigráfica ni estructuralmente con otros afloramientos ya de definidos. El Carbonífero se reconoció por medio de transversales avanzados desde el Pozo N° 2, en direcciones aproximadas noroeste y sureste. Las capas de carbón encontradas al norte, se numeraron desde la “1” hasta la “42”. A las situadas al sur, se las denominó con letras, desde la “A” hasta la “N”. Reconocimientos posteriores indicaron que la estructura general de la mina es un sinclinal, y cabe pensar que la serie,

por lo menos en la zona norte conocida, está formada por las capas “1” hasta la “26”, donde ya se encuentra el eje del sinclinal y se vuelve a repetir de nuevo toda la serie.

Mediante los distintos transversales abiertos en la mina, se han reconocido un total de 2.600 m de serie estratigráfica (imagen 4), cortando en dirección Sur de techo a muro geológico (se recuerda que la serie en esta rama del sinclinal se encuentra ligeramente invertida) desde las capas A hasta la N (1.200 m), y en dirección Norte desde la capa 1 hasta la capa 26 (1.400 m), donde ya se encuentra el eje del sinclinal y se vuelve a repetir de nuevo toda la serie.

La unidad basal o paquete productivo entre calizas, está constituida por areniscas de grano fino, medio y grueso, limolitas (principalmente), lutitas, capas de carbón y abundantes intercalaciones de niveles calcáreos con abundantes restos fósiles y signos de bioturbación, no sobrepasan generalmente los 2 m de espesor.

Por encima, en el paquete productivo pizarroso, tenemos las mismas litologías, a excepción de los tramos calcáreos que van progresivamente desapareciendo, así como un ligero predominio en la parte más alta de las areniscas de grano medio a grueso. Puede considerarse por tanto, que las facies siliciclásticas son las predominantes en todas las sucesiones, mientras que las carbonatadas tan solo constituyen horizontes episódicos dentro del conjunto.

Dentro de las facies carbonatadas, tenemos presentes las siguientes:

1.- Packestone: Calizas bioclásticas cuyos componentes mayoritarios son algas rojas y verdes, con abundancia de foraminíferos y equinodermos. Como accesorios tienen gasterópodos, bivalvos, briosos, trilobites y ostrácodos. También está presente cuarzo detrítico de tamaño arena y limo. Presentan en ocasiones estructuras tipo burrows y algunos bioclastos tienen microperforaciones. La potencia es escasa, del orden decimétrico y su representación es muy escasa.

2.- Wackestone: Predominan las algas verdes tipo *Donezella*, siendo también abundantes foraminíferos y en menor medida equinodermos, bivalvos, braquiópodos, briosos, ostrácodos y algas rojas. Existen signos de bioturbación dentro del sedimento. Su potencia es decimétrica y su presencia muy escasa.

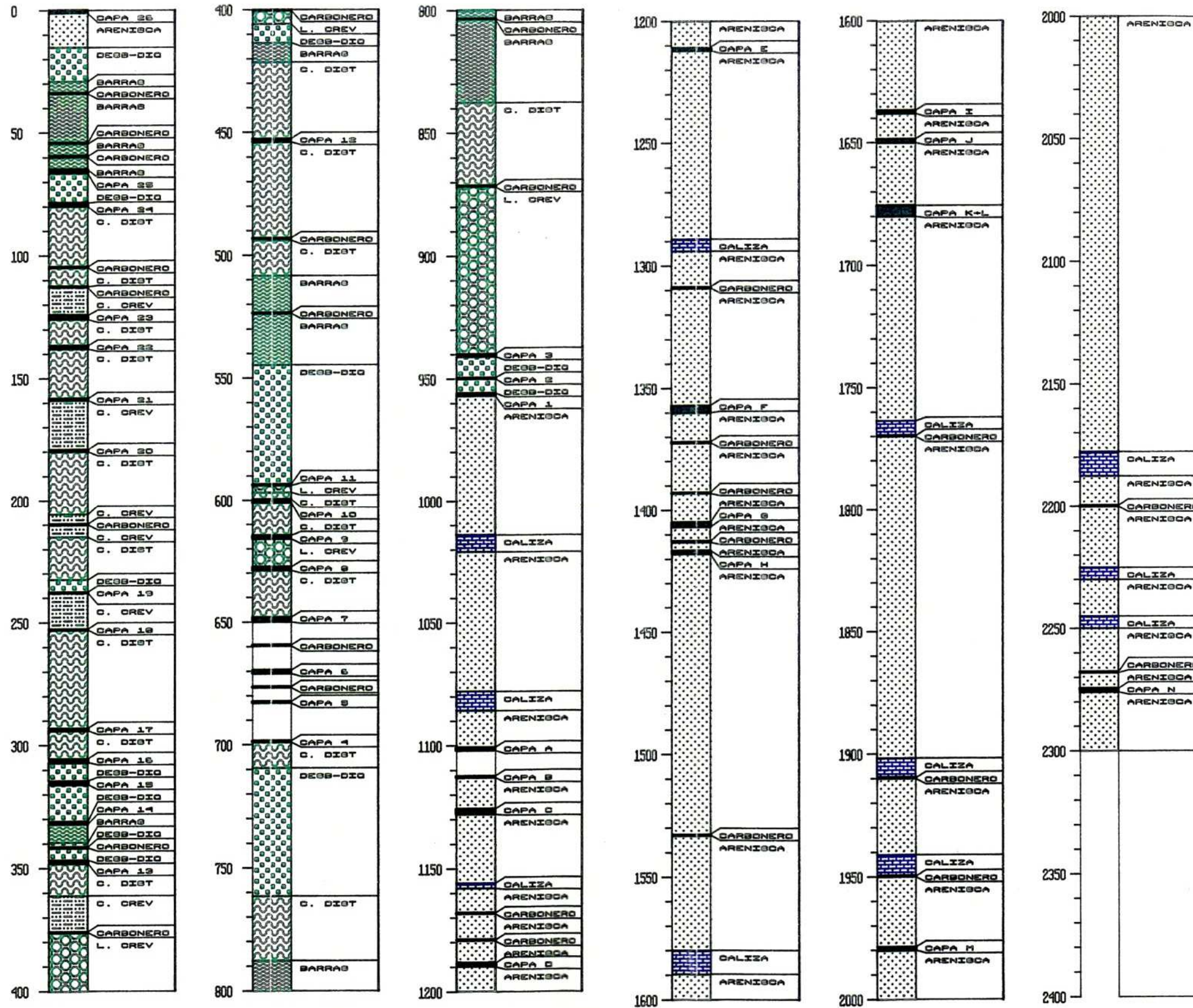


Imagen 4.- Serie estratigráfica de La Camocha. Transversal general. Base documental Mina la Camocha.

3.- Bafflestone: Son predominantes en este caso las algas verdes del tipo *Donezella* y *Dvinella*. Hay presencia de algas verdes, briozoos, foraminíferos y en menor medida ostrácodos y equinodermos. La potencia de esta facies está entre uno y dos metros aunque se acuñan rápidamente de forma lateral. Su frecuencia es algo mayor que las anteriores.

4.- Margas: Tienen una coloración gris y suelen presentar laminación paralela. Contienen abundantes fósiles de braquiópodos, crinoideos y restos de fauna variada. Existe una fuerte bioturbación con grandes burrows en disposición subhorizontal y contienen nódulos carbonatados de forma diseminada. Hacia el techo se vuelven más arcillosas. Están escasamente representadas, siendo su potencia entre 1 y 3 metros.

Por lo que respecta a las facies terrígenas (con predominio mayoritario en toda la serie) se han diferenciado las siguientes:

1.- Areniscas de grano muy grueso, grueso y grueso-medio: Suelen estar muy bien lavadas, con cantos de carbón en la base y en ocasiones cuarcíticos, pudiendo llegar a constituir un depósito de tipo lag. Presentan coloraciones grises y el tamaño de grano con frecuencia mantiene su granulometría en todo el tramo. La superficie basal siempre es erosiva, encontrándose también superficies de erosión dentro de los propios tramos. Como estructuras sedimentarias, son frecuentes los megaripples de cresta linguoide y recta que se manifiestan con estratificaciones cruzadas en surco y tabular a gran escala. Se presentan con frecuencia pasadas carbonosas en forma de pequeñas láminas milimétricas de poca extensión y disminuyendo hacia el techo, y en otras ocasiones acumulaciones de troncos depositados sobre megaripples. Este tipo de facies se da con frecuencia y su potencia oscila entre los 3 y 20 metros.

2.- Areniscas de grano medio-fino y fino: Presentan abundante laminación de ripples y restos de vegetales en los planos de laminación, con tonalidades grises. En menor medida también hay laminación paralela, estratificación fláser y lenticular, estructuras almohadilladas y bioturbación por anélidos y raíces, en ocasiones nódulos ferruginosos. Es una facies frecuente, pero su potencia no suele sobrepasar los 2 metros.

3.- Areniscas de grano muy fino y limonitas: En ocasiones son arcillosas o carbonosas, con tonalidades muy oscuras. Como estructuras más frecuentes tenemos laminación paralela y de ripples, siendo menos abundante la estratificación lenticular. Existe

bioturbación por anélidos y raíces, pudiendo llegar a ser esta última tan importante que llega a destruir las estructuras primarias. Son frecuentes los restos vegetales flotados y en ocasiones se observan restos de bivalvos braquiópodos y equinodermos. En ocasiones aparecen nódulos ferruginosos y pequeñas pasadas de carbón. Este tipo de litologías se encuentra muy bien representado y su potencia puede llegar hasta los 50 metros, en alternancia entre ellas.

4.- Lutitas: Presentan tonalidades grises oscuras y suelen ser carbonosas. Alternan o terminan con carbón y lutitas carbonosas. Están muy edafizadas y enraizadas y ocasionalmente contienen burrows, briznas vegetales y troncos flotados. Su representación no es muy abundante y su potencia es del orden decimétrico.

5.- Carbón: En la serie estudiada, se han reconocido una gran cantidad de capas de carbón, desde unos pocos centímetros hasta los 3 metros. Desde el punto de vista de explotación, se han numerado desde la capa 1 hasta la 26 y desde la A a la N. Suelen estar asociadas a lutitas, y por lo general se agrupan en paquetes. El muro de las capas de carbón, suele tener abundantes restos de raíces.

Estas facies del carbonífero, se ordenan temporal y espacialmente, originando varios tipos de secuencias sedimentarias, que nos permite conocer el ambiente sedimentario en el cual se ha producido la sedimentación. Las secuencias reconocidas, están claramente influenciadas por un sistema de tipo deltaico, con la excepción de las facies carbonatadas (escasas), que se correspondería con una plataforma marina.

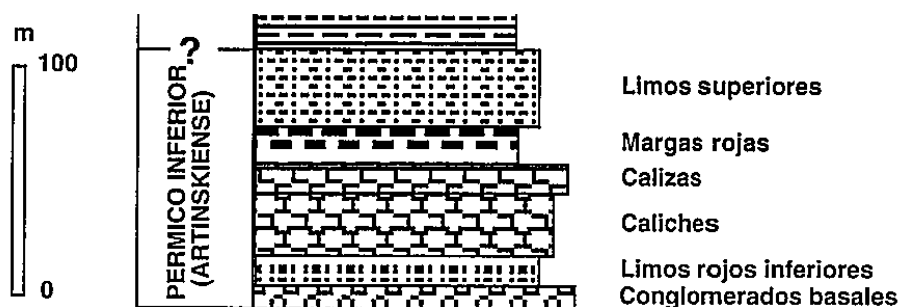
Las secuencias sedimentarias observadas, se corresponden con canales, de desbordamientos y diques, lóbulos de crevasse, barras menores de desembocadura y de plataforma.

Cronológicamente, el Carbonífero de La Camocha se encuentra entre el Namuriense B-C y el Westfaliense A y B Inferior (Truyols, 1983); Este autor sitúa el límite Namuriense-Westfaliense unos metros por encima de la capa de carbón A y el tránsito entre el Westfaliense A y B, entre las capas 16 y 18. Como se puede apreciar en estas dataciones, el Carbonífero en esta zona de estudio resulta de una edad inferior al de la Cuenca Central Asturiana, lo cual es producto de una emersión iniciada por la zona Norte de la cuenca carbonífera, área ésta en la que se encuentra el yacimiento de Mina La Camocha.

2.1.2.- Pérmico

Sobre el Carbonífero (imagen 10), discordante, se asienta el Pérmico, cuyas unidades estratigráficas, presentes dentro del horst se indican a continuación, de muro a techo:

1) Unidad conglomerática basal. Presenta una base erosiva sobre el Carbonífero. Está formada por ortoconglomerados de cantos redondeados de cuarzo y de arenisca en su mayor parte, siendo poco frecuentes los de limonita y de caliza. El tamaño de los cantos varía desde 20 cm a 1 mm, siendo el tamaño más frecuente el comprendido entre 2 y 4 cm; la matriz es de tipo margoso de color rojizo, con láminas de sericita de coloración verde. La potencia de este tramo es variable, comprendida entre 3 y 16 m. Se trata de una roca competente, poco deformable, con rotura frágil facilitada a veces por el gran tamaño de los cantos, ligeramente porosa y permeable.



* Posición de las muestras

Imagen 5.- Columna estratigráfica esquemática de la cobertera Permo-Mesozoica en el área de Gijón. (Modificado de Pieren et al., 1995) (Martínez García et al., 1998)

2) Unidad de limos inferiores. Se trata de una litología bastante homogénea, con escasas estructuras sedimentarias y constituida por limos arenosos y areniscas de grano muy fino de color rojizo. La potencia de esta unidad varía entre 8 y 25 m. Al techo de esta unidad aparecen indicios de calichificación, debido a procesos edáficos, que nos marca el paso a la siguiente unidad. Es ésta una unidad poco competente y de fractura pulverulenta, con unos valores de permeabilidad muy bajos.

3) Unidad de caliches. Sobre una litología similar a la anterior, se ha desarrollado un proceso de formación de caliches o costras carbonatadas, que se va haciendo más intenso a medida que se progresa hacia el techo, lo que le confiere un aspecto brechoide característico. La potencia es uniforme, del orden de 30 m. Este aumento de

calichificación hacia el techo, también le aumentan la proporción de carbonatos y de compacidad, a la vez que también disminuyen su porosidad y permeabilidad.

4) Unidad de calizas o “brecha caliza”. Ésta es la unidad más representativa de toda la serie pérmica, junto con los conglomerados. La litología original corresponde a calizas y calcarenitas con matriz detrítica, a menudo con cantos pequeños de color claro y con una intensa recristalización. Es característica la mineralización hidrotermal asociada de fluorita, barita, calcita y pirita existente en la parte superior de la unidad y que presenta un espesor de 1 m, aproximadamente. También es típica la presencia de una calcarenita de color verde pálido, al techo. La potencia total varía entre 8 y 16 m. Se trata de una roca muy recristalizada y competente, de rotura frágil, muy impermeable y que constituye la base del acuífero principal.

5) Unidad de margas rojas oquerosas. Presenta un contacto inferior neto. Consiste en una litología de margas arenosas homogéneas de color rojo, con abundantes huecos, posiblemente originados por la disolución de yesos y carbonatos; es éste un fenómeno que no se ha observado fuera del horst y que determina la existencia en esta unidad del principal nivel acuífero de la cobertera pérmica. La potencia es muy regular en toda la zona, variando entre 18 y 24 m.

6) Unidad de limos superiores. El tránsito desde la unidad anterior a ésta es gradual y poco perceptible “de visu” y se diferencia de ella por la ausencia de carbonatos. Presenta un color rojo con uno o dos niveles de areniscas de grano muy fino con cemento carbonatado de color verde claro, de 40 a 50 cm, incorporadas en la zona media-baja. La potencia de esta unidad es del orden de los 40 m.

7) Unidad de margas y arcillas superiores. El contacto inferior es gradual y se caracteriza por la presencia de unos niveles de margas negras con abundante materia orgánica. Dentro del horst, esta unidad de gran monotonía se encuentra incompleta debido a la actividad erosiva, no sobrepasando en ningún caso los 20 m. Es de señalar que en el graben situado al Oeste, la potencia es de aproximadamente 200 m. En esta unidad, son muy abundantes los niveles de yeso fibroso que alcanzan hasta 10 cm de espesor.

En total, la cobertera pérmica presenta sobre el horst un espesor medio de 150 m.

2.2.- Tectónica

El área carbonífera en explotación por Mina La Camocha desde la década de los años 30 (aunque comenzada a investigar mediante sondeos a principios del siglo XX), se asienta en un horst limitado por fallas.

Para fijar las ideas, definiremos brevemente los conceptos de graben y horst, representados gráficamente en la imagen 6.

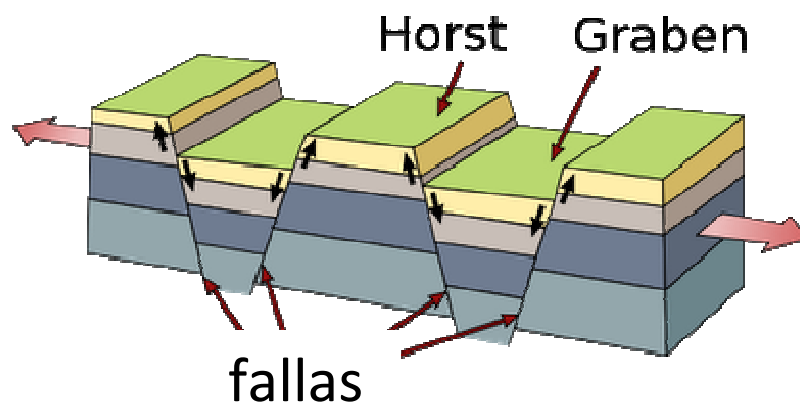


Imagen 6.- Esquemas de graben y horst. <http://geologiavenezolana.blogspot.com.es>

Una fosa tectónica o graben es el terreno comprendido entre dos fallas con inclinaciones opuestas (la explotación minera se encuentra en un Horst). El sector central se mueve hacia abajo con respecto a las partes laterales. En el interior de la fosa afloran generalmente rocas más jóvenes que en los laterales. Un pilar tectónico o horst es el terreno comprendido entre dos fallas, en el que las fuerzas de compresión le han comunicado un movimiento hacia arriba, como puede apreciarse en la ya citada figura imagen 6. El sector central está constituido por rocas más antiguas que las que se encuentran en los laterales.

En la imagen 9 se representa un corte transversal de la estructura del horst, en la que se han señalado también las plantas de explotación con sus profundidades correspondientes que, como puede apreciarse, se sitúan entre las cotas -155 m (2ª Planta) y -405 m (7ª Planta).

En el área de Mina la Camocha, se encuentran representadas tanto la Tectónica Varisca como la Tectónica Alpina.

2.2.1.- Tectónica Varisca

La Tectónica Varisca afecta a los materiales carboníferos que conforman el yacimiento explotado. En la estructura tectónica general del yacimiento (imagen 10), las capas arman en un sinclinal, apretado y asimétrico, con engrosamiento de la zona de charnela, cuyo eje está orientado NE-SO buzando ligeramente hacia el SO (14° aproximadamente), con el flanco sur invertido y buzamientos de su plano axial entre 80 y 90° al SE, verticalizándose hacia el este. El flanco norte del sinclinal presenta unos buzamientos similares, excepto en su extremo noreste donde son del orden de los 35°. Acompañando a este plegamiento también se produjeron fallas inversas de dirección N45°E y buzamiento del orden de 50°N, así como su sistema conjugado aunque éste es de menor intensidad.

En fases tardías de la Orogenia Varisca se desarrollan algunas fallas de desgarre subverticales de dirección N80°O, N80°E dextrógiras y N15°O levógiras.

2.2.2.- Tectónica Alpina

Sobre un Carbonífero fallado, plegado, erosionado y prácticamente peneplanizado, se depositaron los materiales pérmicos. Actualmente muestran una disposición subhorizontal y una ligera pendiente hacia el noreste.

La fracturación Alpina en la zona está únicamente representada por dos fallas directas que limitan el horst (falla de Granda y falla de Llantones; imágenes 8 a 10), y por una falla inversa (falla de la Matona).

La falla de Granda se sitúa al noreste con dirección N 40° O y buzamiento en torno a los 60° hacia el NE, con un desplazamiento en la componente vertical (“dip slip”) de 180 m y de unos 40 m horizontal dextrógira.

La falla de Llantones, al suroeste, es de dirección similar y buzamiento de 55° hacia el SO, con 340 m de desplazamiento vertical y 70 m de componente horizontal dextrógira (“strike slip”).

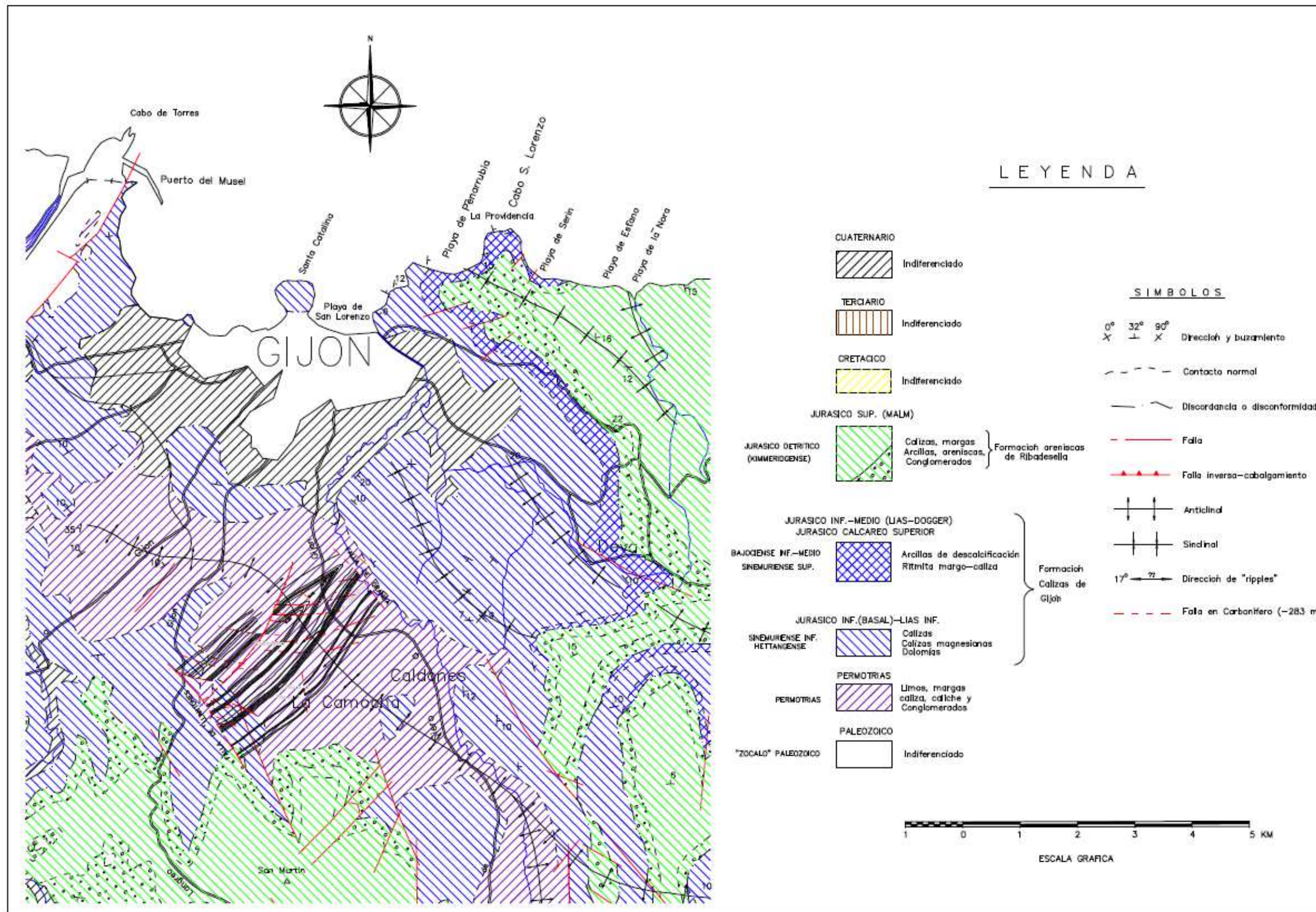


Imagen 7.- Cartografía geológica del área de estudio. Base documental Mina la Camocha.

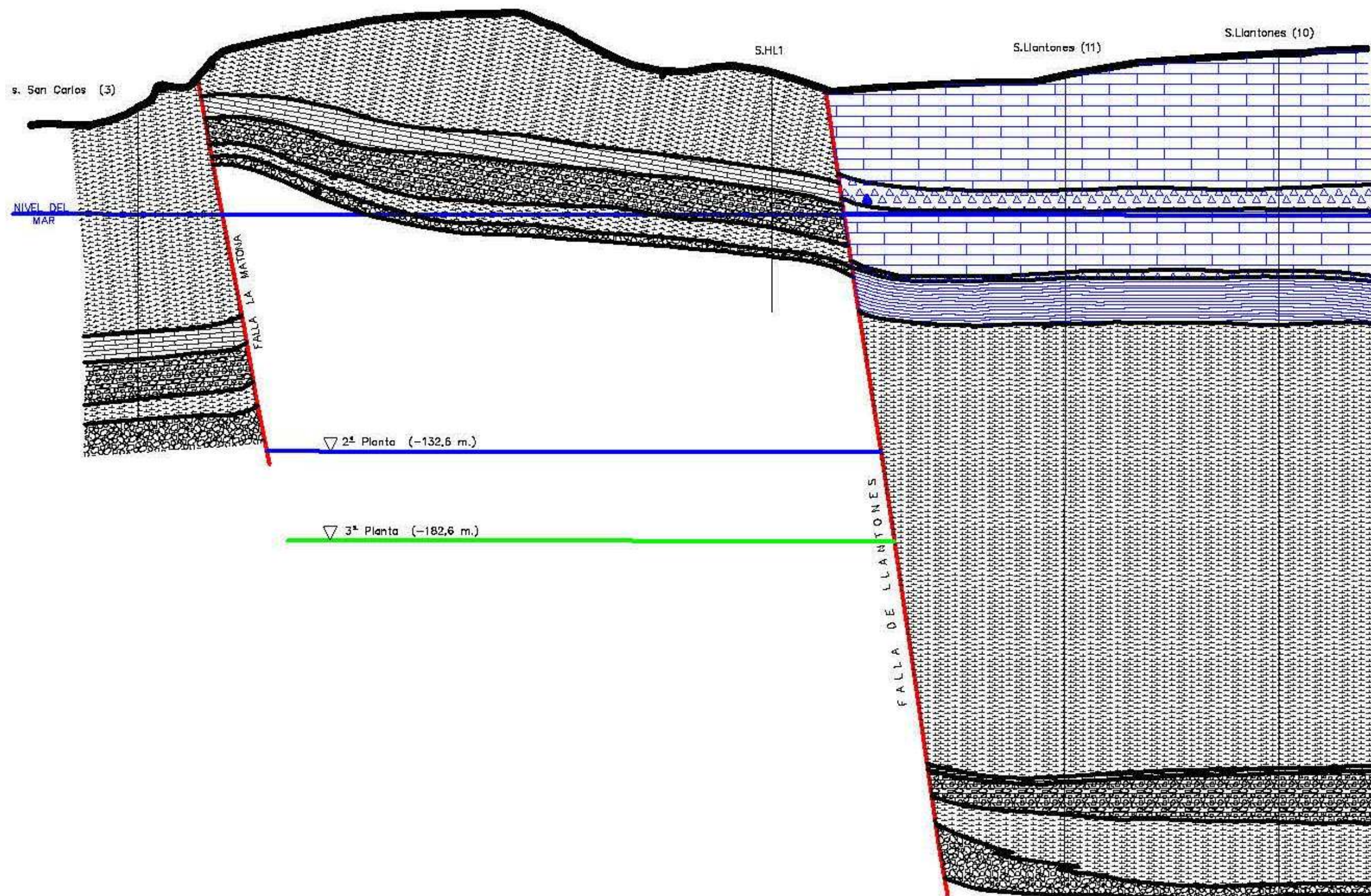


Imagen 8.- Corte geológico falla La Matona. Escala vertical con la finalidad de diferenciar los distintos tramos del Pérmico . Base documental Mina la Camocha.

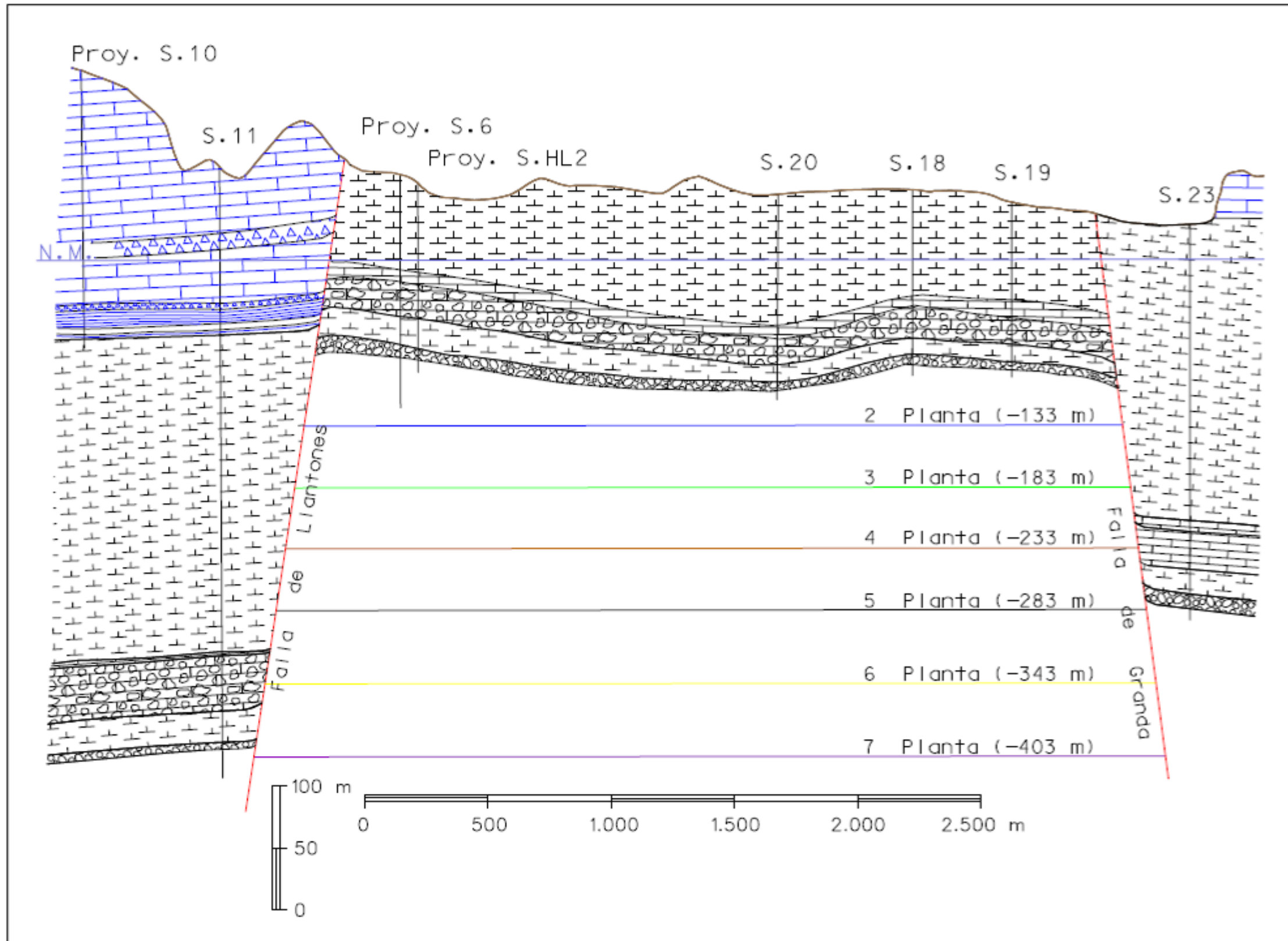


Imagen 9.- Corte transversal del Horst. Base documental Mina la Camocha.

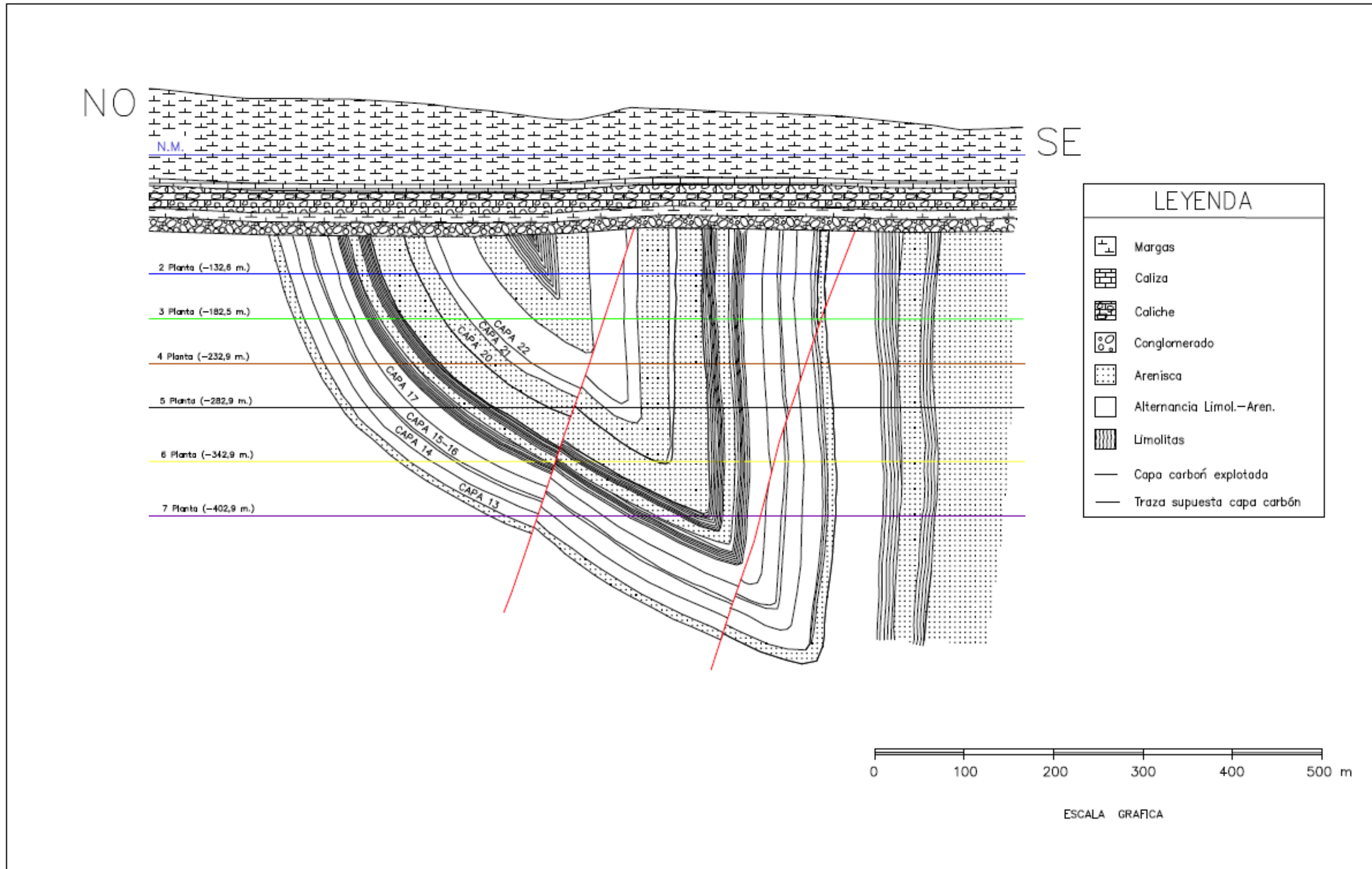


Imagen 10.- Estructura tectónica general del yacimiento. Base documental Mina la Camocha.

En la parte norte se encuentra la Falla de La Matona, con un desplazamiento vertical de unos 170 m (Rodríguez, 1999), que es una fractura inversa que hace cabalgar el Carbonífero sobre el Pérmico, aunque no tan bien reconocida como las anteriores (tan sólo se la ha observado en un antiguo pozo de explotación minera, pozo San Carlos). Se le ha deducido un desplazamiento de 170 m y un buzamiento de 65° hacia SE.

La corrida longitudinal de las capas de carbón (imagen 9) entre las fallas de Granda y Llantones, o separación entre ellas, es de 3.500 m a nivel de 5ª planta, aumentando en profundidad.

En la imagen 10, se representa un corte transversal NO-SE de la estructura carbonífera. Obsérvese que la disposición de la cobertera pérmica representa, desde el punto de vista de la resistencia de los materiales, una auténtica losa apoyada sobre las columnas o pilares que constituyen los hastiales de las capas de carbón del yacimiento.

3.- EXPLOTACIÓN MINERA. ESTRUCTURA Y DISEÑO

En el capítulo anterior se ha presentado un estudio de la geología del yacimiento. A partir de esta estructura geológica, se han ido explotando durante muchos años las capas de carbón que conforman dicho yacimiento hullero, en la medida en que los medios humanos y los medios técnicos disponibles en cada momento han permitido tal explotación, de acuerdo con el rendimiento económico que es de esperar en todo negocio minero. Si bien, como ya se ha indicado anteriormente, los primeros sondeos para investigar el yacimiento de La Camocha se realizaron a principios del siglo XX, la explotación propiamente dicha no comenzó hasta los años 30, continuándose ininterrumpidamente hasta el 31 de diciembre de 2007, momento en el que se procedió al cese y abandono de las labores mineras.

Es evidente que la subsidencia producida por las labores mineras ejecutadas durante prácticamente todo el siglo XX ha sido ya muy estudiada, medida, observada y controlada.

Restaría, pues, considerar aquí, los efectos que sobre la superficie del terreno afectada por fenómenos de subsidencia hayan podido producir las explotaciones llevadas a cabo a partir de los años 90 hasta el cierre de la mina.

Todas las capas del Carbonífero existentes en el yacimiento de La Camocha se muestran en la tabla 1. Estos datos se han tomado del Plan de Labores de Mina La Camocha para el año 2007, aprobado por la Autoridad Minera (Dirección General de Minería, Industria y Energía. Consejería de Industria y Empleo del Principado de Asturias). Las capas se clasifican en dos grupos:

1. Capas verticales y subverticales (pendiente próxima a los 90°).
2. Capas tumbadas y semitumbadas (de pendiente inferior a 35°)

NOMBRE	PENDIENTE	POTENCIA MEDIA		HASTIALES	
		TOTAL	UTILIZADA	TECHO	MURO
40	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
41	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
42	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
13 BIS	30°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
14 BIS	30°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
15 BIS	30°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
16 BIS	30°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
17 BIS	30°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
E (Vena techo)	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
E (Vena muro)	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
D	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
C (Vena techo)	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
C (Vena muro)	80°	2,00	1,00	Pizarra	Pizarra
B	80°	0,00	0,00	Pizarra	Pizarra
A	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
1 ^a	80°	0,00	0,00	Pizarra	Pizarra
2 ^a	80°	0,87	0,00	Arenisca	Pizarra
3 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
5 ^a	80°	1,00	0,00	Arenisca	Pizarra
7 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
8 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
9 ^a	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
10 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
11 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
12 ^a	80°	2,00	1,00	Pizarra	Pizarra
13 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
14 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
15 ^a	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
15/16	80°	3,00	2,00	Pizarra	Pizarra
16	80°	2,00	1,00	Pizarra	Pizarra
17	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
20	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
21	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
22	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra
23	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
30	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
31	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra

32	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
33	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
34/35	80°	2,00	1,00	Pizarra	Pizarra
36	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
37	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
38	80°	1,00	0,00	Pizarra	Pizarra
39	80°	1,00	1,00	Pizarra	Pizarra

Tabla 1.- Capas de carbón existentes en el yacimiento de La Camocha. Plan de labores 2007. Archivo histórico de la Camocha

Éstas últimas se corresponden con las dos ramas del sinclinal representado en la imagen 10 y 11.

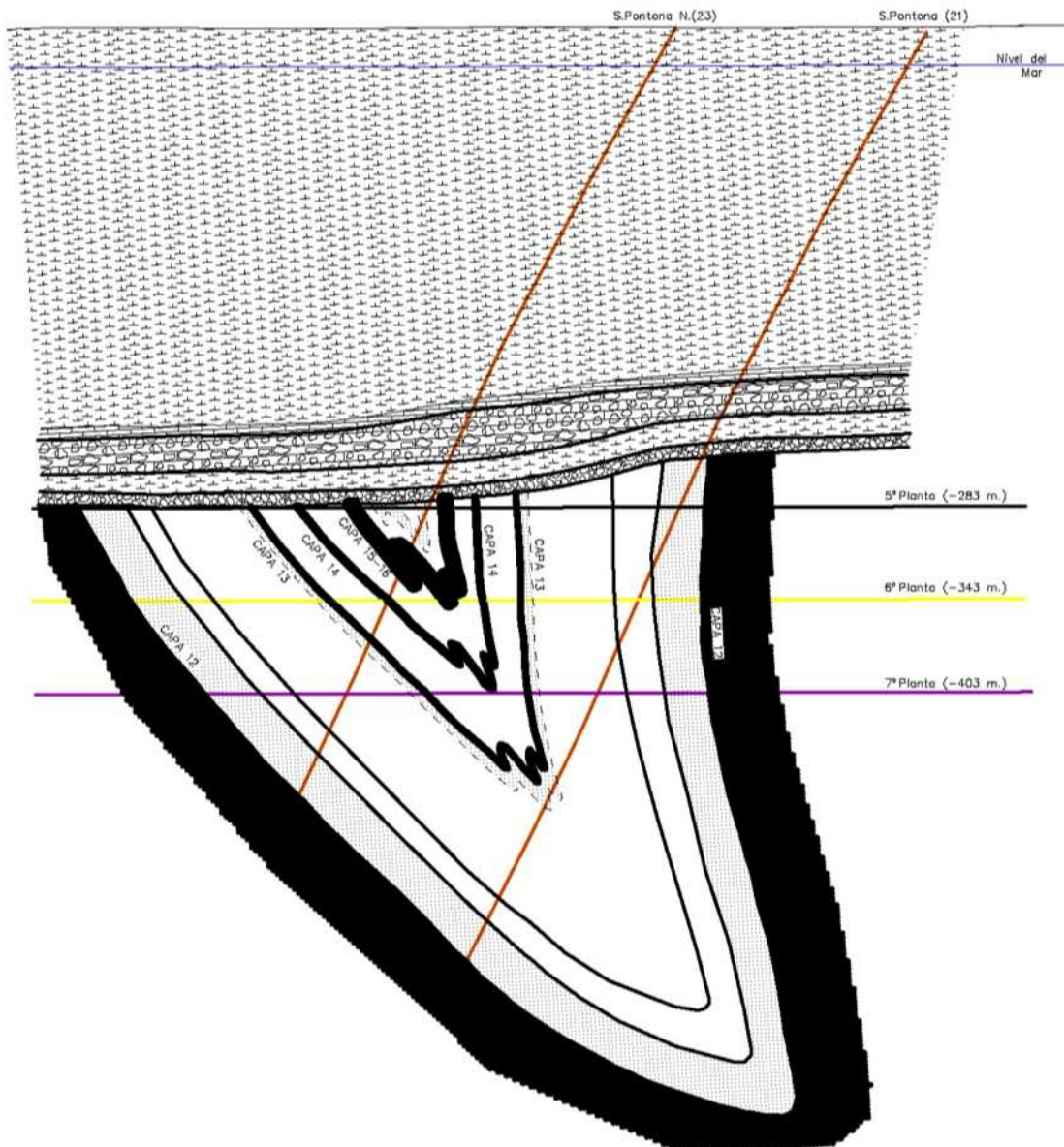


Imagen 11.- Perfil geológico por sondeo Pontona. Base documental Mina la Camocha.

Describamos de una forma somera la estructura minera, compuesta por cuatro pozos verticales, conocidos como Pozo nº 2, Pozo nº3, Pozo Leorio y Pozo Granda. Los dos primeros constituyen los pozos de extracción de carbón, entrada de personal y materiales mientras que los otros dos, constituyen la segunda salida de la mina y retorno de ventilación, cuyas características más destacadas se reflejan en la imagen 14.

Hay que destacar el hecho de que la primera planta, situada a cota -92 m sobre el nivel del mar, comparativamente con la cota superficial en la zona próxima a la plaza exterior de la mina, donde se ubica todas las distintas edificaciones y los pozos de extracción nº 2 y nº 3, indica una diferencia de cota es de 170 metros. Dichos pozos determinan la existencia de 9 plantas de explotación, cuyas cotas respecto al nivel del mar son las siguientes (la 8 y la 9 sin relevancia por no llegar a desarrollarse completamente, tal y como se aprecia en la imagen 13).

La estructura en cada una de las plantas es prácticamente la misma, salvo la 8ª planta que apenas se explotó y la 9ª que tan sólo sirvió de caldera, pues no se inició la preparación. En cuanto a la 1ª planta, sólo sirvió de guía de cabeza, pues parte de ella discurre por terrenos no carboníferos, no existiendo panel de explotación a cota superior. Las cotas de cada planta son: 1ª -92 m; 2ª -133 m; 3ª -183 m.; 4ª -233 m.; 5ª -283 m.; 6ª -343 m.; 7ª -403 m.; 8ª -463 m; 9ª -523 m. Dicha estructura está formada por un transversal general desde el pozo nº 2, en dirección aproximada NO-SE, que va cortando los distintos paquetes de capas, desde el cual se trazan galerías generales en cada paquete, para mediante recortes acceder a las distintas capas e iniciar su explotación en la dirección NE-SO, en una corrida aproximada de 4,5 km.

Desde septiembre de 1935 hasta junio del año 1985, el arranque de carbón en Mina La Camocha, tan solo se realizó con los medios convencionales, es decir, con pica en un principio y poco después ya con martillo picador de aire comprimido. En cualquier caso se realizaba el relleno del postaller con estéril procedente del lavadero y de preparación de la mina. Al tratarse de capas subverticales, podemos considerar que se efectuaba un buen llenado de los huecos abiertos.

Posteriormente y hasta 1990, se evolucionó a rozadora eléctrica con posteado de madera o entibación metálica autodesplazable. En cualquier caso seguiríamos en la misma situación respecto al tratamiento del postaller, puesto que se seguía rellenando.

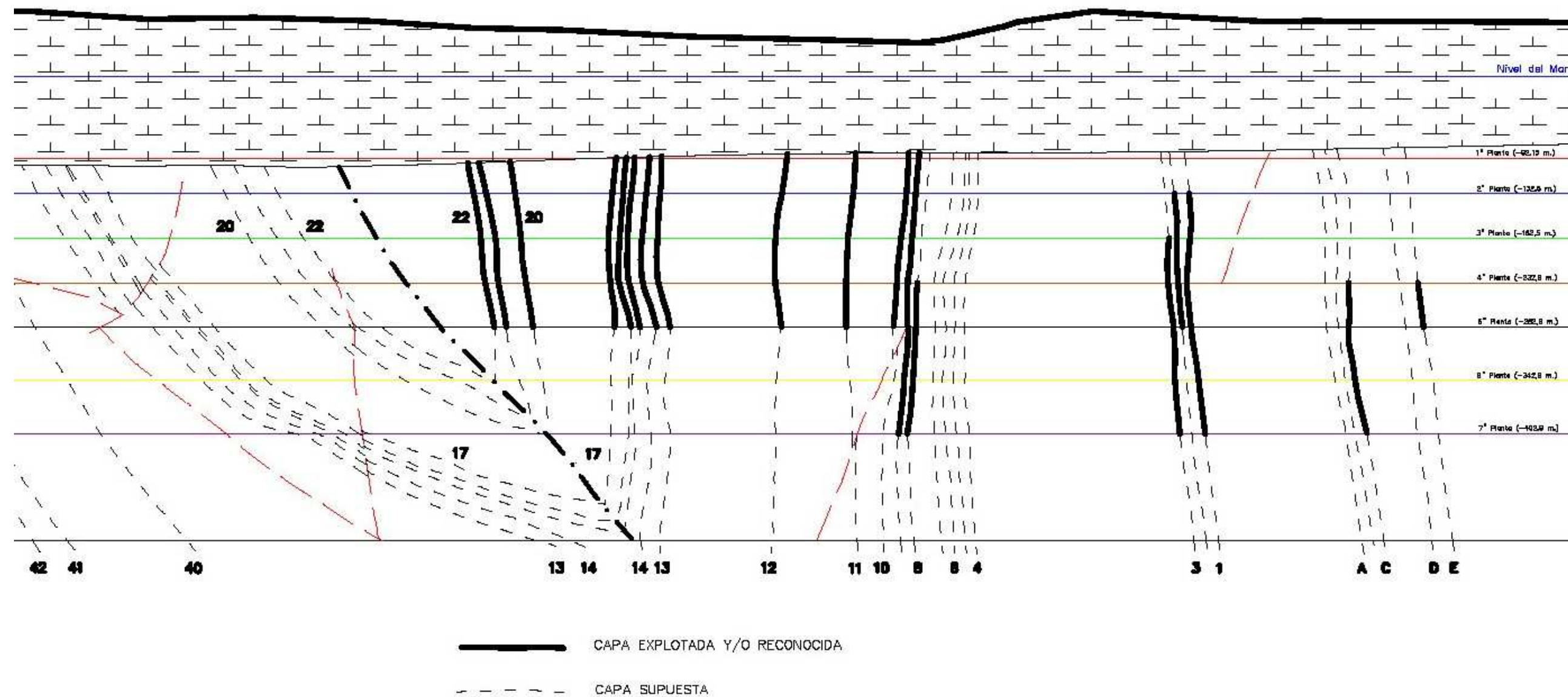


Imagen 12.- Estructura general de la mina. Base documental de Mina la Camocha.

Fue en el año 1990 cuando ya comenzaron las explotaciones mediante subniveles horizontales en capas de gran potencia (sutiraje), y más tarde (desde 1994 y hasta junio de 2004) el deshulle de la zona tumbada del yacimiento (noroeste del horst). En ambos casos no se utilizaba ningún tipo de relleno.

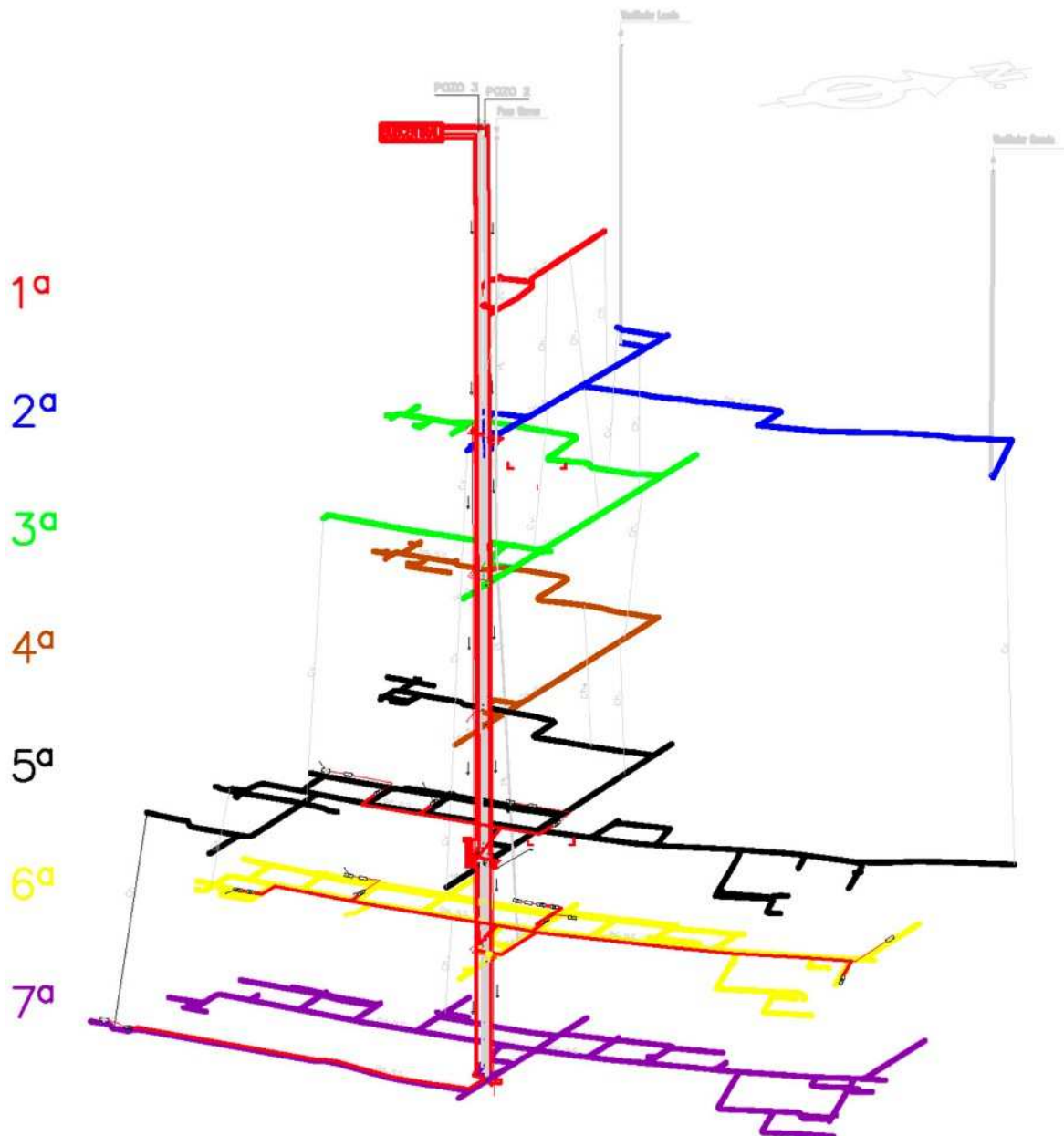


Imagen 13.- Estructura General de Explotación de Mina la Camocha. Base documental Mina la Camocha

DATOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS POZOS

P O Z O S		Cota exterior	Dimensiones		Profundidad en mts.	Guiónaje	Cable	CASTILLETE		DIAMETROS		Máquina extracción, Potencia max.	OBSERVACIONES
Función	Nº		Mts.	Ø Sección útil m.				Altura eje polea	Dist. eje bobina a tambor a eje del zaco	Tambor a bobina	Polea		
VENTILACION	1	80,16	3,10	7,54	213,47								
SERVICIOS AUXILIARES	2	88,95	4,30	14,52	Hasta 5ª: 372,02	35 Kg.	Plano 92x15 m.m.	25,00m.	25,00m.	Bobina Min.=2,60 Max.=4,00	3,50	1.000 C.V. (Vapor)	Hasta 5ª pta.: Ø 4,30 De 5ª pta. a 9ª: Ø 4,50
			4,50	15,90	Hasta 7ª: 492,02								
					Hasta 9ª: 612,02								
EXTRACCION	3	90,90	5,80	26,41	Hasta 5ª: 375,19 Hasta 7ª: 495,19	45 Kg.	Redondo 50m.m. Ø	36,00m.	52,56m.	Tambor 4,50	4,50	2.700 C.V. (Electrica)	
RELLENOS	a	78,00	1,50	1,77	Hasta 2ª: 208,10								
VENTILACION	LEORIO	b	70,80	4,30	14,52	Hasta 2ª: 203,00							
	GRANDA	c	33,45	4,50	15,90	Hasta 2ª: 161,80							
	SAN CARLOS	d	79,40	4,50	15,90	200,00							Prof. y Ø pozo: datos de La I.A. (Fabrica Moreda)

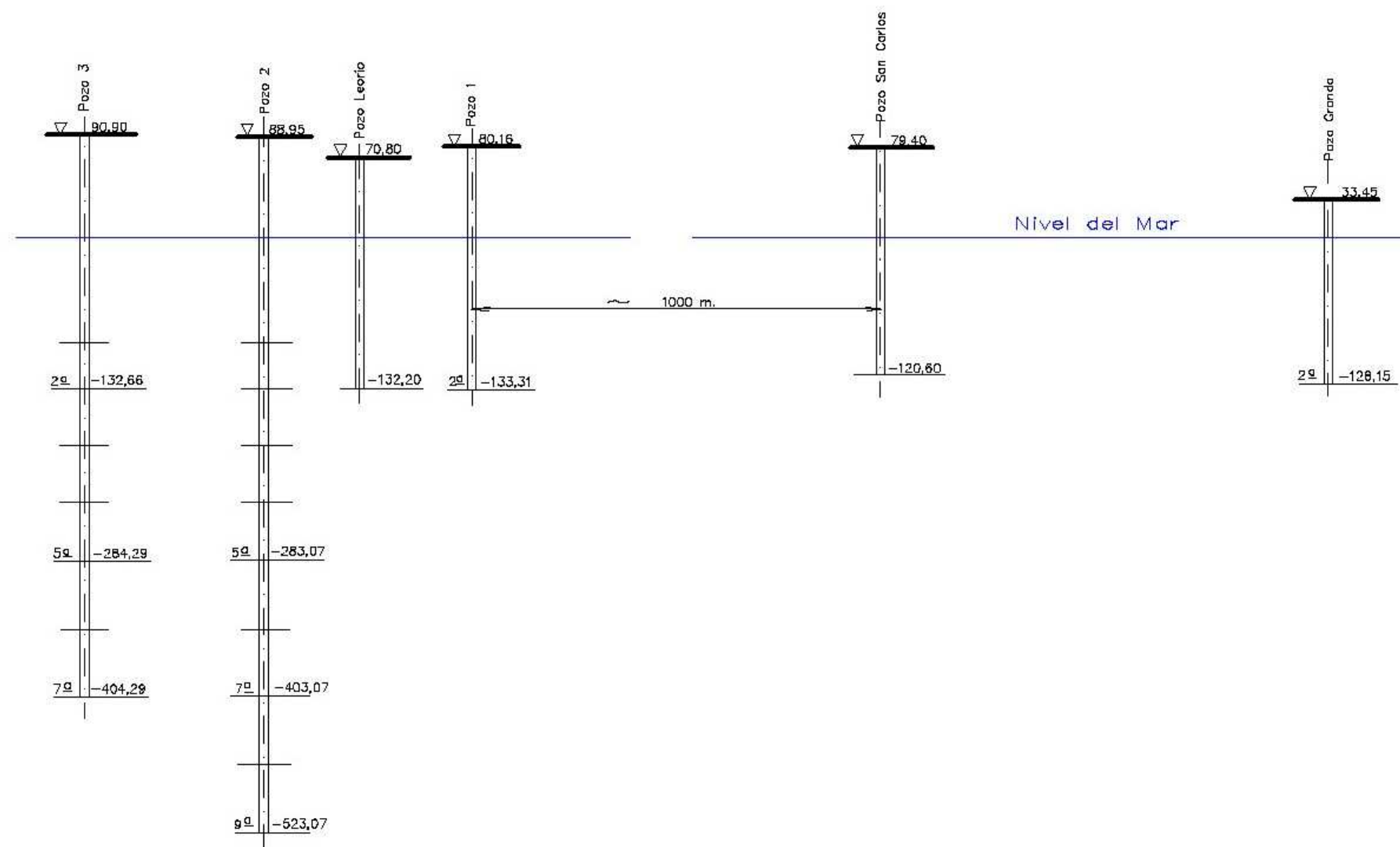


Imagen 14.- Características de los pozos mineros. Base documental Mina la Camocha.

CAPÍTULO 3.- ESTUDIO DE AFECTACIÓN DE LA SUBSIDENCIA GENERADA POR EL ABANDONO DE LA EXPLOTACIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

Se ha partido para la realización de esta tesis de la información suministrada por Mina La Camocha, S.A. (Archivo Histórico de Mina la Camocha, 2010), junto con un trabajo de campo consistente en un reconocimiento superficial de toda la zona de influencia de la explotación minera.

Cabe destacar además la consulta realizada a tres tesis doctorales de la Universidad de Oviedo, (Bello, 1995, Rodríguez, 1999 y Álvarez, 2004) y a los proyectos de cese y abandono de Mina la Camocha, S.A.,.

Lógicamente, al paralizarse la explotación propiamente dicha en diciembre de 2007, los talleres de arranque que a esa fecha estaban en actividad, concretamente los denominados 22-W-8^a, 1-W-8^a, ambos con el relleno al corte, así como la chimenea de monta sobre C/14, sin haberse siquiera iniciado su explotación, se han ido hundiendo, y por tanto en el momento de redacción de esta tesis no son accesibles, como obviamente no lo son tampoco todos los talleres explotados en la dilatada historia de esta mina. Por ello, el trabajo realizado en el interior, se ha centrado en la infraestructura general de la mina, en las distintas plantas, así como de todas las labores accesibles, lo que nos ha permitido disponer de una información importante cara a la posible influencia de la explotación en las citadas labores, y que de forma bastante aproximada, confirman los estudios sobre el comportamiento de los cuarteles analizados, en las fechas en que se realizaron.

Toda la información se ha procesado y analizado en orden a establecer las conclusiones y recomendaciones o medidas correctoras pertinentes, de cara a la posible subsidencia generada en la zona, tanto activa como la denominada residual, como consecuencia del abandono de las labores mineras.

2.- CONSIDERACIONES GENERALES AL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA

Toda excavación subterránea, ya sea una obra civil o una explotación minera, es una causa potencial de roturas y flexiones de los terrenos suprayacentes que producen un hundimiento de la superficie del terreno. Tal fenómeno se conoce con el nombre de

subsidencia. Puede definirse también como el descenso que se produce en puntos de la superficie topográfica causado por las excavaciones de cualquier clase realizadas en el subsuelo (Rodríguez, 1999). Simultáneamente, aparecen esfuerzos de tracción y de compresión, que pueden producir deformaciones en las instalaciones o edificaciones construidas en la zona de la superficie que se encuentre situada sobre la citada excavación.

Es conveniente señalar que las excavaciones a realizar en el terreno para desarrollar una explotación minera subterránea, que comporta, en primer lugar, una compleja red de pozos y galerías, de longitudes kilométricas, así como los talleres de arranque, en ocasiones de secciones muy importantes y cuya extensión suele ser también kilométrica, producen efectos de subsidencia generalmente de entidad muy superior a la de obra civil.

Concretándonos al caso de la minería, dependiendo de la amplitud de los huecos abiertos, los efectos producidos en la superficie podrán ser importantes, debiendo tenerse muy en cuenta cuando se trate de edificaciones, obras de fábrica, ferrocarriles, conducciones de agua, etc.

Por lo tanto, el explotador de una mina ha de determinar con anterioridad al beneficio del yacimiento, los necesarios macizos de protección y la estrategia de la marcha de las labores mineras, a fin de causar los menores daños en superficie.

En el caso de la minería del carbón, lo más frecuente, por no decir en la generalidad de los casos, es que sean varias las capas a explotar, situadas frecuentemente a pequeñas distancias entre sí. Dadas las características de los macizos rocosos de los estratos que constituyen habitualmente los hastiales de las capas explotadas, los fenómenos de subsidencia son mucho más acusados que en otros tipos de minería, ya sea ésta metálica o no metálica, pudiendo afirmarse con carácter general que las edificaciones e instalaciones de las zonas que se encuentran sometidas a la influencia de las explotaciones de minas de carbón, sufren, en mayor o menor grado, los hundimientos y las deformaciones que comportan los fenómenos de subsidencia, si no se tomaron, previamente al beneficio del yacimiento, las necesarias precauciones a las que se hace referencia en el párrafo anterior.

Los primeros estudios para analizar sistemáticamente los mecanismos asociados con la subsidencia de origen minero datan del siglo XIX, debiéndose a Dumont, en 1871, la primera fórmula que permitió cuantificar el hundimiento provocado en la superficie sobre el centro de un panel de carbón explotado:

$$s = P \times \cos\alpha$$

en donde s es la magnitud del hundimiento, P es la potencia de la capa y α es su pendiente.

Algunos años después, la magnitud del hundimiento en superficie se relacionó también con la profundidad de la explotación, pero aun tenía que pasar mucho tiempo hasta que, a mediados del siglo XX, diesen sus frutos las numerosas investigaciones realizadas y permitiesen obtener fórmulas fiables, en las que para la minería del carbón intervienen los siguientes parámetros:

- Naturaleza geológica de los terrenos del Carbonífero y de recubrimiento.
- Presencia de fallas.
- Profundidad de la explotación.
- Longitud del panel a explotar.
- Potencia y pendiente de la capa.

Como norma general, en una capa de carbón, la secuencia de subsidencia y hundimiento presenta las siguientes zonas:

1. Una primera, denominada zona “hundida”, situada inmediatamente encima de la capa, que se rompe y se hunde rellenando total o parcialmente el hueco producido por el arranque del carbón.
2. A continuación, la zona “fracturada” en la que las rocas se agrietan y flexan de un modo importante aunque sin llegar a romper.
3. Finalmente, la zona superior, denominada “zona continua deformada”, que resulta ligeramente flexada y transmite gradualmente el hundimiento a la superficie.

Este proceso da origen a la denominada “cubeta de hundimiento”, que se representa en la imagen 15 para una capa de carbón horizontal y que tiene las características siguientes:

1. Su extensión es muy superior a la del área explotada.
2. La subsidencia máxima S está relacionada con la potencia de la capa mediante una expresión del tipo:

$$S = P \times q \times f(l,h)$$

donde:

P = Potencia de la capa

q = Coeficiente que depende del tratamiento del techo en la zona

$f(l,h)$ = Función que depende de la longitud del taller (L) y de su profundidad (H)

3. La superficie del terreno queda sometida a deformaciones horizontales que son de tracción fuera de la zona vertical de la zona explotada y de compresión dentro de ella.

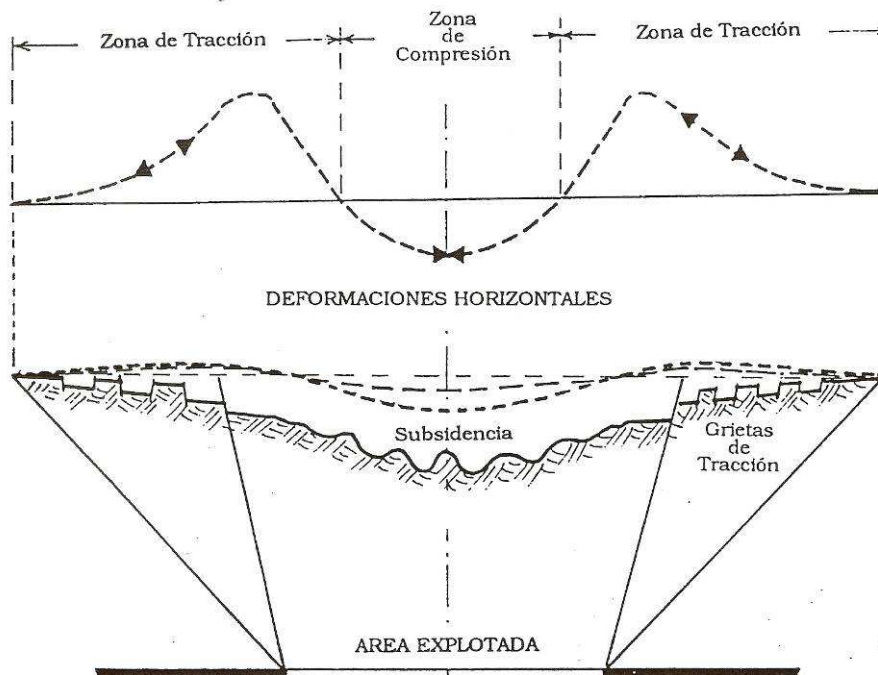


Imagen 15.- Esquema de la cubeta de hundimiento con indicación de la deformación de los terrenos superficiales (Rambaud et al. 1986)

La transición de extensión a compresión se hace en la vertical de los bordes del taller, puntos donde una y otra son por lo tanto, nulas (Keinhorst, 1934).

Así pues, en cada elemento superficial de un terreno afectado por un fenómeno de subsidencia hemos de considerar, por una parte, la magnitud de su hundimiento y, por otra, el esfuerzo a que queda sometido.

La imagen 16 es ilustrativa de cómo puede verse afectada una edificación antes, durante y después del paso del frente de una explotación minera bajo aquélla. Como puede apreciarse, se trata de una capa horizontal.

Vemos que en la fase 0, el edificio se sitúa sobre una superficie plana y horizontal.

En la Fase I, el edificio está situado por delante del frente de arranque, en la zona de máxima deformación de tracción y de máxima curvatura convexa. Debido a la fuerza de rozamiento resultante del desplazamiento del terreno, la estructura queda expuesta a esfuerzos de tracción. Esta tensión se intensifica por la curvatura convexa del terreno, situado por encima y delante del tajo.

En la Fase II, poco después del paso del frente de arranque, la estructura está en su máxima pendiente y se ve también desplazada hacia el área extraída. La curvatura en la proximidad del punto de transición del perfil es nula.

En la Fase III, la estructura está expuesta a una curvatura cóncava y resulta comprimida por el terreno. Además, la fuerza de rozamiento resultante de los desplazamientos del terreno, ejerce un esfuerzo de compresión.

En la Fase IV, el hundimiento ha alcanzado su máximo. La pendiente y las deformaciones se anulan y la estructura se estabiliza.

Resulta fácil comprender que el avance uniforme del frente del tajo, minimizará el tiempo durante el cual las edificaciones se encuentran sometidas a esfuerzos, tanto de tracción como de compresión y que, por lo tanto, cuando se pasa por debajo de las edificaciones, es importantísimo mantener una velocidad adecuada de progresión.

La extensión de la cubeta suele definirse mediante el denominado ángulo límite γ , también denominado ángulo de derrumbe o ángulo de influencia, que es el que forma

con la horizontal la recta que une el límite del tajo con el punto de la superficie que tiene un hundimiento nulo o prácticamente despreciable.

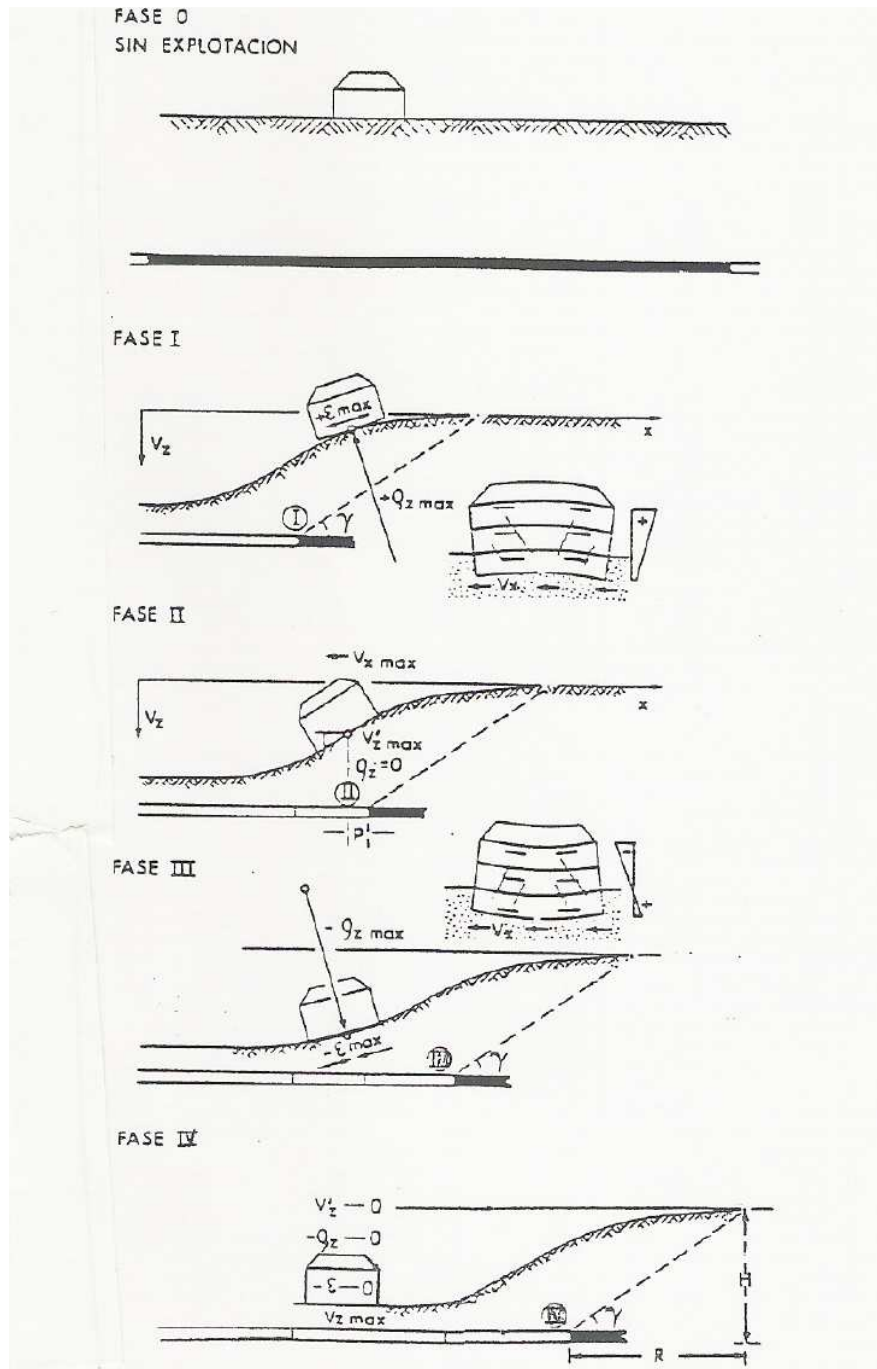


Imagen 16.- Movimiento y deformación de una edificación al pasar bajo ella el frente de la explotación de una capa horizontal (Según NCB) (Rambaud et al. 1986)

Así como para las capas horizontales, la cubeta de hundimiento se define mediante un único ángulo de influencia, en las capas inclinadas la cubeta de hundimiento está

distorsionada, tal como puede apreciarse en la imagen 17; ello lleva consigo que el hundimiento máximo no se produzca en el centro de la cubeta.

Su posición se define por medio del ángulo cenital ω , siendo γ_s el ángulo límite correspondiente al extremo superior del taller y γ_I el ángulo límite correspondiente al extremo inferior del taller. α es el ángulo de buzamiento, o pendiente de la capa.

En la imagen 18 se muestran diferentes perfiles de subsidencia para distintos buzamientos de una capa de carbón, en los que puede observarse la asimetría de la cubeta de hundimiento causada por la explotación de aquélla. Puede apreciarse también la evolución de los ángulos límite, en función de la variación de la pendiente de la capa.

El valor de los ángulos límite varía mucho de unos yacimientos a otros debido a que este parámetro incluye, además de los efectos de la explotación, el comportamiento mecánico de los terrenos situados sobre la zona explotada.

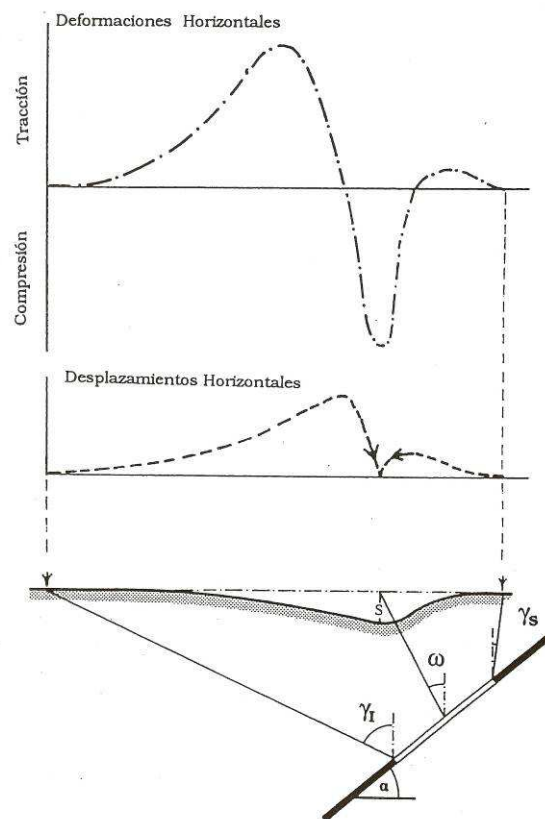


Imagen 17.- Modelo de subsidencia para una capa inclinada (Rambaud et al. 1986)

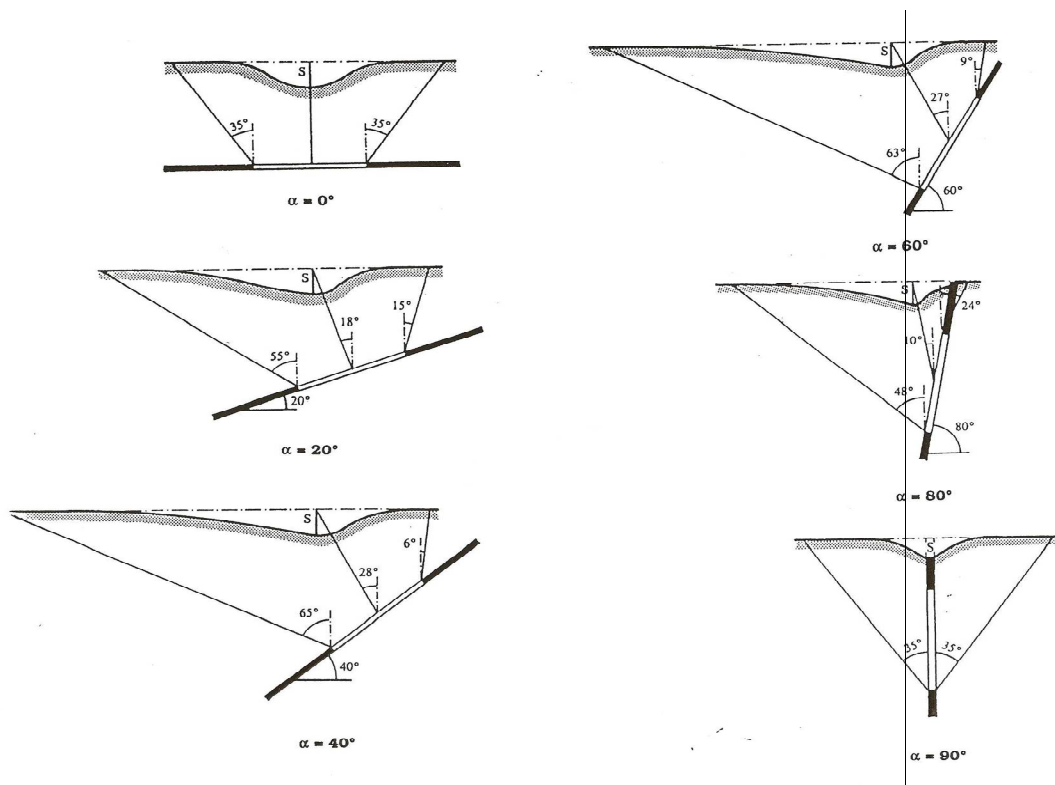


Imagen 18.- Ejemplo de perfiles de subsidencia para diferentes pendientes de capa (Whittaker et al. 1989)

En la imagen 19 se presenta un ábaco que relaciona el ángulo cenital ω con los dos ángulos límites. Además, se puede utilizar la relación aproximada siguiente:

$$\omega = \frac{\gamma_s - \gamma_I}{2}$$

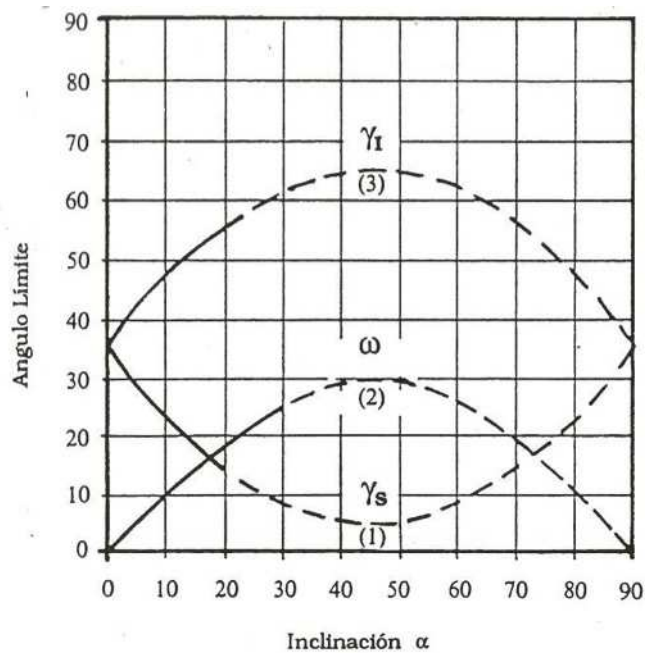


Imagen 19.- Ábaco para determinar el ángulo límite. (Rambaud et al. 1986)

También es frecuente utilizar un único ángulo límite γ , denominado equivalente, que se calcula con la misma expresión anterior; es decir, como semidiferencia de los ángulos límites superior e inferior.

Así mismo suele caracterizarse el fenómeno de la subsidencia mediante el denominado ángulo de fractura β (Rambaud et al. 1986), que es el que forma con la horizontal la recta que une el borde del tajo con el punto de la superficie en el que las tracciones son máximas. Esta zona es la más peligrosa para las edificaciones de superficie, pues es en ella en donde suelen aparecer grietas. Véase la imagen 20.

Las curvas expuestas en las figuras anteriores se basan en unas condiciones teóricas que difícilmente se dan en la realidad; en efecto, las curvas de hundimiento muchas veces no son simétricas y presentan irregularidades. Una de las causas es la convergencia incompleta de los hastiales en el borde de un taller de explotación, ya que tanto en éste como en los límites del área de extracción (macizos de protección y relleno), el techo de la capa no reposa completamente en el relleno y para obtener el hundimiento máximo sería necesario explotar una superficie adicional de 20 a 30 m de anchura, incluso si el método de explotación es por hundimiento; cuando se quieren conseguir contracciones nulas en el centro de la cubeta de hundimiento, se hace preciso admitir una convergencia total de los hastiales que, en la realidad, está muy lejos de producirse si no se explota un área adicional. Esta anchura del taller de arranque se denomina área crítica de extracción (Ver imagen 21).

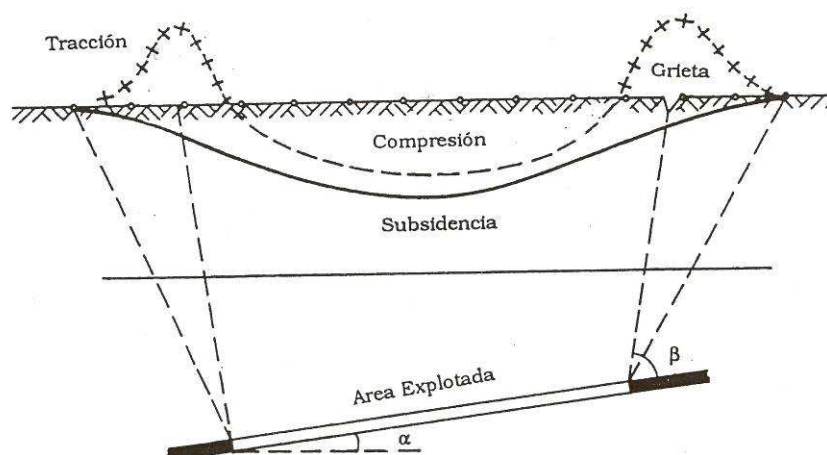


Imagen 20.- Ángulo de fractura β

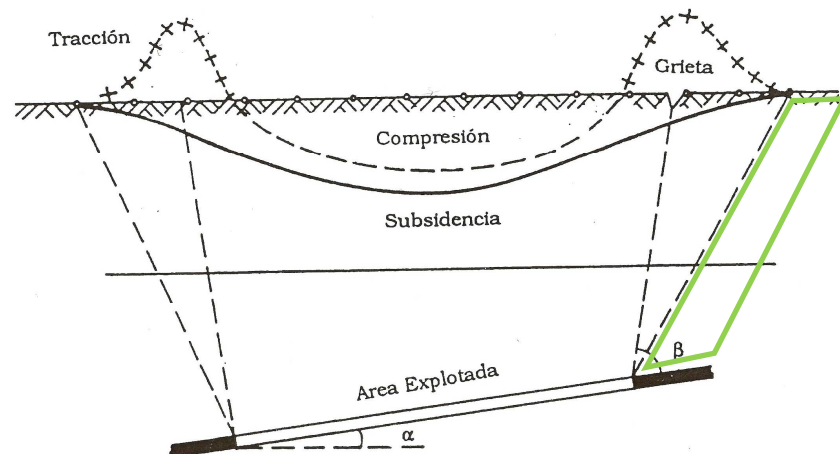


Imagen 21.- En verde, representación del área crítica

Su radio es función de la profundidad de explotación (H) y del ángulo límite (γ). (Ver imagen 17).

$$R = H \times \cot \gamma$$

Los ángulos de influencia han sido utilizados durante muchos años para diseñar los macizos de protección de las explotaciones mineras, con el fin de preservar los edificios de los efectos de la subsidencia. Sin embargo, en el caso de yacimientos multicapa, que son los más frecuentes, el método presenta ciertos inconvenientes.

Dada la gran variedad de yacimientos mineros existentes y la diversidad de métodos de explotación utilizados, tanto para el avance de galerías como para el arranque del mineral, no es posible establecer una teoría única que sea capaz de predecir satisfactoriamente los movimientos del terreno y los hundimientos en superficie, inducidos por las explotaciones mineras.

Así pues, en cada caso concreto de una explotación minera, hemos de analizar y estudiar el problema, en función de los siguientes parámetros:

1. Geometría del yacimiento (Potencia de las capas a explotar, pendiente de las mismas y profundidad de la explotación).
2. Características del macizo rocoso (Tectónica, estratificación, resistencia de las rocas).
3. Método de explotación (Frente único, cámaras y pilares, sutiraje, etc.).

4. Tratamiento de la parte posterior del taller de arranque (hundimiento controlado del techo, relleno, llaves, etc.).
5. Recubrimiento del suelo.
6. Características y uso de las construcciones que existan en superficie.

Entre los diferentes métodos de cálculo que en el estado actual de la técnica se pueden utilizar para realizar cálculos de subsidencia, se encuentran los siguientes:

1. Métodos empíricos.
2. Funciones de perfil.
3. Funciones de influencia.
4. Modelos analíticos.
5. Modelos físicos.

Dentro de los métodos empíricos, por su relevancia, cabe mencionar el N.C.B. elaborado por el National Coal Board (Rambaud et al, 1996), que se basa en el análisis de datos procedentes de numerosas explotaciones de tajos largos en el Reino Unido.

Analizaremos, a continuación, algunos de los métodos más utilizados, para aplicarlos posteriormente al yacimiento de La Camocha.

2.1.- Método de las funciones de perfil

Una función de perfil es una expresión matemática que, con un reducido número de parámetros, permite obtener buenos resultados en el cálculo de la subsidencia.

En la imagen 22 se muestra un perfil de hundimiento básico para una capa de carbón horizontal. La subsidencia s en un punto determinado viene dada en función de su distancia horizontal al origen (Rodríguez, 1999). En los puntos de inflexión de la curva, la magnitud de la subsidencia es la mitad del hundimiento máximo S . La distancia horizontal entre el punto de inflexión y el borde de la explotación, d , se obtiene experimentalmente, siendo en casi todos los casos proporcional a la profundidad h de la

capa en explotación. La magnitud R se denomina radio crítico. Siendo w la longitud del panel en explotación, se puede expresar una función genérica de la siguiente forma:

$$S = f(x, S, R, w/h) \text{ (Conocida como función de perfil)}$$

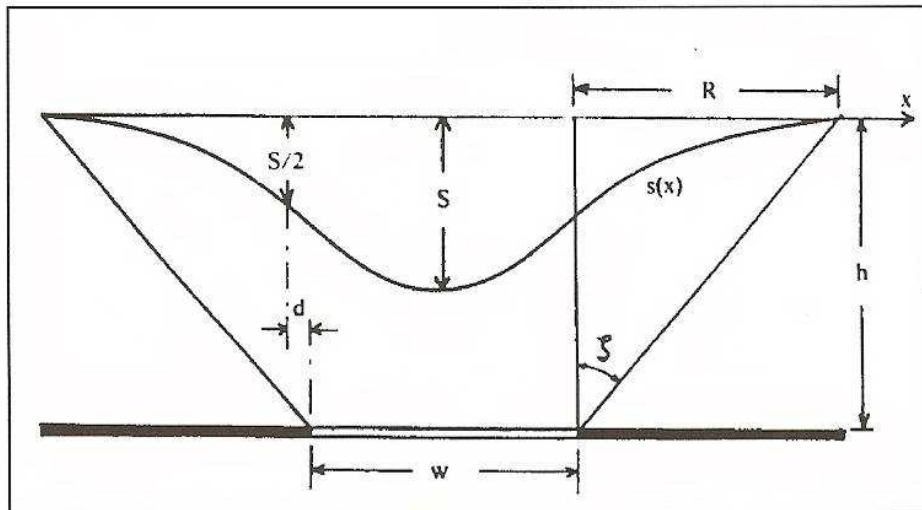


Imagen 22.- Función de perfil.

Existen numerosas funciones matemáticas de perfil, comúnmente utilizadas para capas horizontales, entre las que pueden citarse las hiperbólicas, las exponenciales, las trigonométricas y las polinómicas.

Knothe, 1957, comenzó a utilizar éstas funciones de perfil para determinar la magnitud de los fenómenos de subsidencia.

De las diferentes funciones matemáticas utilizadas hoy día para resolver el problema, una de las que mejor se ajusta a las observaciones realizadas en varias cuencas mineras, es la siguiente expresión hiperbólica, propuesta por King y Whetton (1957):

$$S = \frac{S_{max}}{2} \left[1 - \tanh \frac{2x}{R} \right]$$

Siendo:

S_{max} = subsidencia máxima

x = distancia al punto de inflexión de la curva

R = radio del área crítica de extracción ($R = H \times \cot \gamma$)

H = profundidad de la capa

γ = ángulo de influencia

No obstante, este método también presenta algunos problemas, ya que la fórmula podría no ajustarse exactamente a los datos medidos, introduciéndose así un error. Además, los ángulos de influencia, al variar mucho de un yacimiento a otro, deben escogerse cuidadosamente, basándose en datos bibliográficos.

La forma de la cubeta depende de muchos factores externos que no pueden ser tenidos en cuenta por las diferentes fórmulas de perfil propuestas, por lo que se ha dado un paso más en los estudios de los fenómenos de subsidencia, mediante las denominadas funciones de influencia

2.2.- Método de las funciones de influencia

La predicción de la subsidencia por este método, también conocido como principio de los elementos de frente, (Salomon 1963), se basa en asumir que la explotación de un elemento infinitesimal de capa produce un área de influencia específica en la superficie del terreno. Se distinguen principalmente dos tipos de funciones:

1. Empíricas, en las que a través de un número dado de constantes arbitrarias se reproduce la subsidencia observada en la superficie.
2. Analíticas, que son funciones que relacionan la subsidencia con las propiedades de las rocas y el mecanismo del problema.

La gran ventaja del método de las funciones de influencia es que permite predecir la subsidencia producida por capas irregulares y yacimientos múltiples en cualquier punto de la superficie. La base de aplicación de este método es el principio de superposición, para determinar la influencia total de la extracción de un macizo a partir de la producida por cada uno de los elementos infinitesimales que la integran. En la imagen 23 se muestra dicho principio de superposición de la subsidencia.

La extracción de cada elemento de área dA contribuirá a la subsidencia total de acuerdo con la expresión:

$$K_z = f(r)$$

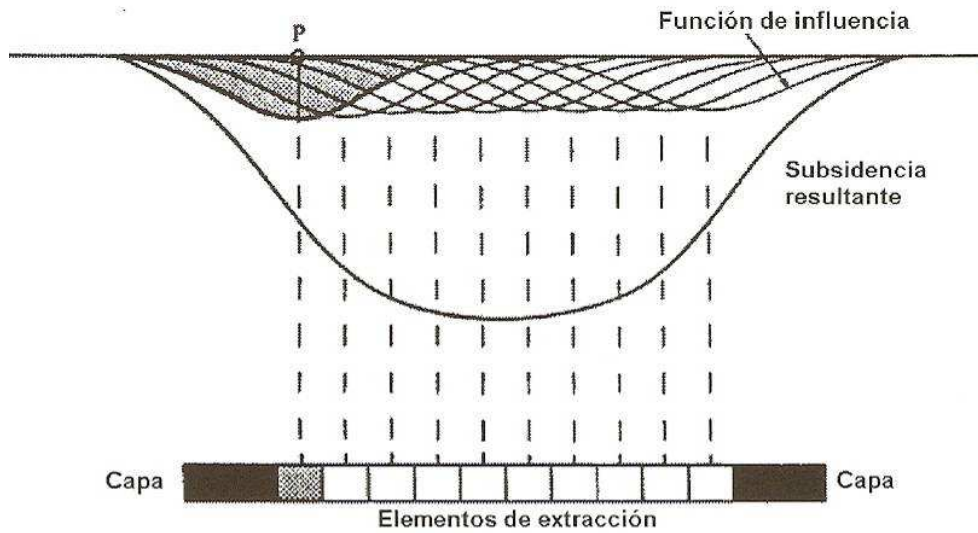


Imagen 23.- Principio de superposición en el método de Funciones de Influencia. N.C.B.

siendo:

K_z = subsidencia que induce en el punto P la explotación del área infinitesimal dA

r = distancia horizontal entre P y el elemento superficial dA

La función K_z tiene un máximo para $r = 0$, lo cual significa que un elemento de área dA (imagen 24) producirá la máxima subsidencia en su vertical.

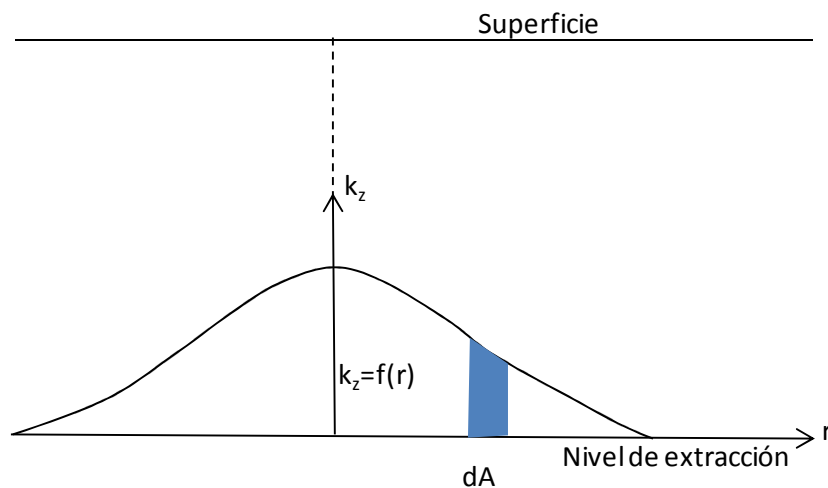


Imagen 24.- Influencia de un dA al hundimiento. N.C.B.

Por consiguiente, la subsidencia en un punto de la superficie podrá calcularse mediante la expresión:

$$S = \iint k_z(r) dA$$

Del mismo modo que ocurre con las funciones de perfil, existe una gran variedad de funciones de influencia. La mayoría son exponenciales o trigonométricas, mostrándose a continuación una de las más utilizadas:

$$K_z(r) = \frac{n S_{\max}}{R^2} e^{-n\pi\left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

en donde:

$R = H \cot \gamma$ es el radio del área crítica

n = parámetro que caracteriza el terreno

Los programas de cálculo de subsidencia basados en las funciones de influencia constituyen una herramienta muy adecuada para la planificación de explotaciones irregulares o multicapa bajo zonas habitadas. Sin embargo, es necesario determinar los ángulos límite en cada yacimiento o bien contrastar los resultados con medidas topográficas; por otra parte, el método se basa en un comportamiento elástico de los terrenos, cuando en realidad el fenómeno de la subsidencia obedece a un proceso de tipo plástico, por lo cual los resultados obtenidos con este método no resultan, a veces, muy precisos.

2.3.- Métodos numéricos

Se basan en los métodos de diferencias finitas o elementos finitos y con ellos se obtienen los mejores resultados de predicción de la subsidencia producida por las explotaciones mineras.

Es preciso preparar un modelo desde la capa en explotación hasta la superficie, discretizando el conjunto, tal como se muestra en la imagen 25. Es posible tomar en consideración la heterogeneidad del medio, los huecos creados por la explotación y la topografía de la superficie.

A fin de que el modelo reproduzca correctamente el fenómeno de la subsidencia, es necesario conocer las propiedades mecánicas de todos los materiales y su distribución en el terreno.

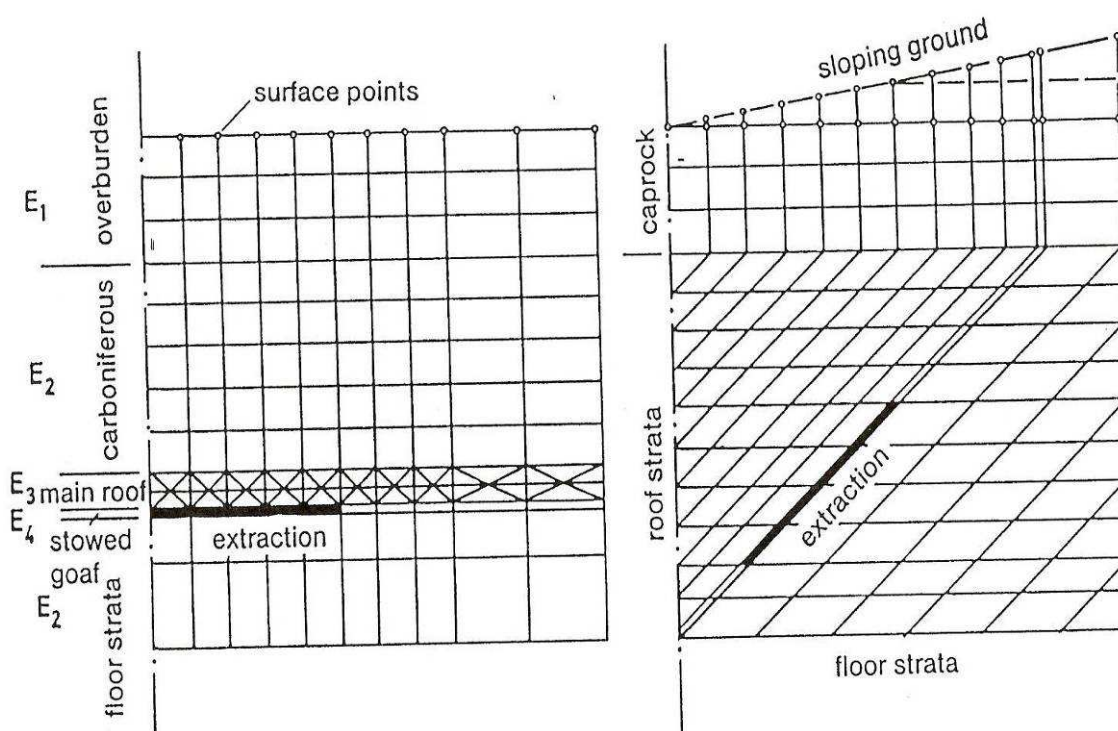


Imagen 25.- Tipos de mallas para cálculos de subsidencia mediante métodos numéricos (Kratzsch, 1983)

El código numérico que se ha utilizado para simular el comportamiento del Carbonífero en la Mina La Camocha ha sido la versión 3.22 del Programa FLAC, que resuelve las ecuaciones de la Mecánica mediante un esquema de cálculo explícito basado en el método de las diferencias finitas. Los datos y descripción posteriores y adjuntos se obtienen del Estudio de Subsidencia de los Proyectos de Cese y Abandono de Mina la Camocha, S.A., elaborado por D. Alfonso Hevia Cangas, director de ésta Tesis Doctoral en febrero de 2009.

Este programa es capaz de simular en dos dimensiones el comportamiento de macizos rocosos sometidos a deformaciones elásticas, elastoplásticas o viscoplásticas. Está basado en una forma de cálculo de Lagrange, consistente en que los ejes de referencia se deforman simultáneamente con el material, resultando especialmente indicado para la modelización de fenómenos no lineales, que den lugar a deformaciones.

En esencia, un método de diferencias finitas consiste en dividir el área de estudio en un número de elementos interconectados entre sí por sus nodos correspondientes. En cada nodo se resuelven las ecuaciones de la Mecánica para cada paso de tiempo, lo que permite realizar el estudio secuencial del problema. Cada elemento sigue una ley tenso-deformacional lineal o no lineal en respuesta a las fuerzas aplicadas y de acuerdo con

las condiciones de contorno fijadas. Si las tensiones o gradientes de tensiones son suficientemente elevados para que el material se plastifique, la malla se deformará plásticamente, desplazándose con el material que representa (Proyectos de cese y abandono de Mina la Camocha, 2008).

El programa FLAC se ha desarrollado fundamentalmente para aplicaciones geotécnicas y presenta diferentes modelos de comportamiento mecánico de los materiales: vacío, elástico, isótropo, elástico anisótropo, elastoplástico, mediante la utilización de un lenguaje de programación interno denominado fish, de juntas ubicuas, comportamiento post-rotura de endurecimiento/reblandecimiento y doble límite de elasticidad.

La principal limitación de este programa consiste en que al modelizar únicamente medios continuos, la presencia de excesivas interfases, juntas o discontinuidades no puede tenerse en cuenta, lo que podría en algunos casos restar verosimilitud a la simulación.

Los resultados de éste cálculo se representan en la tabla 5.

3.- EL FACTOR TIEMPO Y LA SUBSIDENCIA

En la minería del carbón, la experiencia ha demostrado que el estado final de los terrenos situados sobre un área de explotación se alcanza al cabo de un periodo que oscila entre seis meses y cinco años después de haber finalizado totalmente las labores de explotación (Rambaud et al, 1986); este lapso de tiempo depende fundamentalmente de la geología del yacimiento y de las condiciones en que se hayan desarrollado las labores.

Así pues, además de la denominada subsidencia activa o dinámica que se manifiesta en un punto determinado de la superficie del terreno tan pronto como el frente de avance del taller de arranque ha recorrido una distancia suficiente, a partir de la vertical que pasa por dicho punto superficial, para que los terrenos empiecen a relajarse, existe un fenómeno denominado subsidencia residual, que depende del factor tiempo y que ha sido estudiado sobre el terreno por métodos fotogramétricos.

Algunos autores sostienen la teoría de que el hundimiento activo y el residual ocurren juntos hasta que cesa el activo y a partir de aquí, únicamente se produce el hundimiento dependiente del tiempo.

Esto explica que en edificaciones afectadas por los fenómenos de subsidencia inducida por la explotación de una mina de carbón, algunas de las grietas observadas, durante la vida de la mina, continúen en progresión, incluso transcurrido un cierto tiempo después del cierre de la mina.

En el caso que nos ocupa, dado que en Mina La Camocha se realizaron estudios de predicción de la subsidencia, que se tuvieron en cuenta antes del comienzo de la explotación tanto en el método de subniveles, como en el de sutiraje, como veremos más adelante, la subsidencia activa ha sido mínima durante los años de vida de dicha explotación y la subsidencia residual puede considerarse despreciable o incluso inexistente.

Es necesario resaltar aquí el hecho de que la explotación se encuentra paralizada totalmente desde diciembre de 2007, y que según se ha manifestado por la Dirección Técnica de la empresa, durante los años 2004-2005-2006-2007, la actividad ha sido mínima, prácticamente reducida a menos de un 20 % de la proyectada en el Plan de Labores para dichos años, con lo cual, se puede afirmar, que a fecha actual, ya ha transcurrido un periodo de tiempo de aproximadamente cinco años con actividad mínima de explotación y cuatro con actividad nula, y no se han apreciado fenómenos de subsidencia ni activa ni residual.

Esta aseveración se ve reforzada por la estructura del yacimiento, tal y como se expondrá más adelante.

4.- CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS TERRENOS

Para analizar el comportamiento de los terrenos como consecuencia de la explotación de las capas que conforman el yacimiento de La Camocha, se hace preciso caracterizar geotécnicamente el Pérmico y el Carbonífero.

Dada la complejidad de ambas formaciones geológicas, se hace necesario simplificar el problema, estimando cuales son los parámetros que más pueden influir en el hundimiento del terreno. Para conseguirlo, se han realizado numerosos cálculos, con diferentes condiciones iniciales y modelos de comportamiento, hasta conseguir que los resultados obtenidos se ajustasen a la información empírica disponible sobre afecciones mineras en superficie. Después, se modelizaron las explotaciones de las diferentes capas y se obtuvieron los descensos producidos en la superficie que, comparados con las medidas realizadas, dieron resultados concordantes y aceptables. Así ha sido posible prever los desplazamientos y deformaciones que experimentaría la superficie del terreno, como consecuencia de las explotaciones proyectadas. Esta información se utilizará, posteriormente, para saber si se producirán daños en las edificaciones.

En el Carbonífero se pueden distinguir, a efectos prácticos, dos macizos rocosos: areniscas y lutitas – limonitas. El Pérmico es más variado desde el punto de vista litológico pero, con objeto de poder abordar matemáticamente el problema, ha sido preciso considerar todo el Pérmico como un único macizo rocoso.

A tal fin, se realizaron ensayos de compresión simple y de tracción indirecta (método brasileño) en el Departamento de Explotación y Prospección de Minas, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla 2.

La caracterización se ha efectuado a partir de sondeos con recuperación de testigos. De éstos, se han obtenido probetas, que han permitido estimar los parámetros que se figuran en la tabla 3.

Macizo rocoso	Resistencia a compresión (Mpa) R_c	Módulo de elasticidad (Mpa) E	Coefficiente de Poisson μ	Resistencia a tracción (Mpa) R_T
Limos superiores	98	19.500	0,26	-
Margas	30	-	-	3,0
Calizas	81	46.100	0,14	-
Caliche	145	209.100	0,29	-
Limos inferiores	58	33.260	0,18	-
Conglomerado	106	55.600	0,16	-
Arenisca	110	31.100	0,13	7,7
Limolita	93	27.700	0,20	-
Carbón	5	2.300	0,14	-

Tabla 2.- Características geomecánicas de la roca

Macizo Rocoso	RQD	GSI (RMR)
Areniscas	85%	68
Lutitas – Limolitas	40 %	57,5
Carbón	0%	35
Pérmico	65%	58

Tabla 3.- Índices de fracturación y de calidad de la roca

siendo: RQD = Índice de fracturación y GSI = Índice de calidad

5.- ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA

Durante el desarrollo de las explotaciones mineras de Mina La Camocha, se efectuó una simulación del comportamiento del carbonífero, mediante la versión 3.22 del programa FLAC (Itasca Consulting Group, Ing.), lo que permitió las oportunas comparaciones entre las mediciones reales obtenidas topográficamente y el resultado de los estudios obtenidos mediante los métodos descritos en capítulos anteriores, que se aplicaron a las labores de la mina. Estos trabajos fueron ejecutados por el Departamento de Explotación de Minas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid, en colaboración con el Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo, y facilitados para ésta Tesis Doctoral por Mina la Camocha, S.A.

Los estudios se llevaron a cabo para los talleres de la capa 15/16, explotada por cámaras y pilares, para los talleres de la capa 8/9, explotada por testers con relleno inicialmente y con posterioridad por sutiraje y para los talleres de las capas 7 y 12, explotadas inicialmente por testers y posteriormente en frente único con rozadora y hundimiento controlado del techo.

Sería prolijo describir todos los cálculos realizados para cada una de las capas a explotar, por lo que nos limitamos a indicar el método utilizado y establecer, a continuación, las comparaciones con las mediciones de los hundimientos reales producidos en superficie y poder establecer así unos criterios fiables de predicción de la subsidencia y de los esfuerzos de compresión y de tracción a los que queda sometido el terreno, como consecuencia de las explotaciones.

Se elaboró y se puso a punto un modelo matemático, basado en el código numérico FLAC, que ha permitido simular el comportamiento del terreno, tanto en las explotaciones por sutiraje de la zona subvertical, como en aquéllas que se explotaron por cámaras y pilares, en la zona tumbada.

Una vez conseguido este objetivo, se analizaron los efectos en superficie.

Las explotaciones objeto de estudio fueron las siguientes:

5.1.- Talleres de explotación sobre la capa 8/9. Zona Oeste. Explotación por sutiraje

Estas dos capas constituyen, prácticamente, una sola en la zona Oeste de la mina. Tienen una potencia conjunta, incluido el estéril entre ambas, de unos 4 m y un buzamiento de unos 80° hacia el SE.

Por aplicación del modelo matemático descrito, se ha obtenido un descenso máximo de 105 mm en el centro de la cubeta de hundimiento, que tiene una longitud de unos 2 000 m.

Para contrastar estos cálculos con la realidad, sobre el taller de la capa 8/9 Oeste se instalaron dos líneas de hitos a lo largo de sendas carreteras: Una de ellas, compuesta por 23 hitos, era sensiblemente perpendicular al rumbo de la capa; la otra alineación no era tan recta como la anterior, debido a una curva de pequeño radio existente en la carretera; por diversas causas, no se tuvieron en cuenta los resultados de esta última hilera, por no considerarse fiables. En la tabla 4 se muestran los hundimientos reales registrados en cada uno de los hitos.

Vemos que se midió un hundimiento máximo de 55 mm, lo que resulta insignificante, si se tiene en cuenta que estamos hablando de una capa de 4 m de potencia.

No obstante, debe tenerse en cuenta que los hitos se posicionaron sobre el borde del taller y no sobre el centro de la explotación; en este caso, el hundimiento sería mayor, pudiendo estimarse en el doble, es decir del orden de unos 110 mm.

5.2.- Capas de la zona tumbada

En la tabla 5 se pueden ver los resultados de la simulación numérica efectuada para las capas de la zona tumbada, relativos a la repercusión en la superficie del terreno situado sobre los talleres de arranque, en las diferentes fases sucesivas de la explotación de los mismos. Las mediciones efectuadas en superficie han arrojado resultados que en ningún caso sobrepasan los 2/3 de los máximos hundimientos obtenidos en el modelo numérico utilizado. Ya se ha indicado anteriormente que es importante prestar atención a los esfuerzos de compresión y de tracción que se generan sobre la superficie, como consecuencia de la subsidencia.

En la tabla 6 se presentan las deformaciones por esfuerzos de tracción y de compresión en la superficie del terreno situado sobre una explotación minera, que están permitidos para no causar daños a las edificaciones o instalaciones, en los países, que se indican.

Si se comparan los resultados estimados en nuestro caso con los criterios expuestos en la tabla 6, se puede ver que tanto para los esfuerzos de tracción como para los de compresión, nos encontramos dentro de los límites permitidos por la normativa de la mayoría de los países mineros de nuestro entorno

Llegados a este punto, hemos de hacer mención al papel que puede jugar el agua que inundará las labores mineras. En el Estudio Hidrogeológico que sigue al presente Estudio de Subsidencia, se expone la previsible inundación de todas las labores mineras como consecuencia del cese del bombeo una vez abandonada toda actividad en el interior de la mina. El llenado de todos estos huecos subterráneos con agua, dará lugar a un sostenimiento hidráulico adicional, que dificultará su hundimiento y colapso, lo que obviamente redundará en unas mejores condiciones en cuanto a la subsidencia se refiere. Ello es debido, a que el agua en grandes cantidades y en reposo, contribuye al restablecimiento del equilibrio tensional en el macizo rocoso, por efectos de la presión hidrostática ejercida por dicho fluido, el cual, en estas condiciones, provoca unas fuerzas sensiblemente perpendiculares a las paredes del recipiente que lo contiene (en este caso los hastiales de las labores mineras), lo que evidentemente se traduce en un elemento cooperante al mantenimiento de dichas labores, y en su caso, a una amortiguación del propio proceso de hundimiento.

Además, durante el transcurso de la explotación de los macizos en capas tumbadas, con el paso del tiempo, se apreciaba una ligera apertura de las diaclasas y grietas existentes

en la cobertera pérmica, hecho este que aumenta la permeabilidad de los materiales y por tanto permitía un pequeño incremento de la filtración de agua del acuífero a la mina, pero, una vez que pasaba el frente de explotación, se producía un cierre de las grietas existentes, y por tanto ya se cerraba el aporte de agua, lo cual indica claramente, que la cobertera pérmica absorbe todos los esfuerzos y no se transmite a la superficie (Archivo histórico de Mina la Camocha).

Para terminar este capítulo, se establece una comparación entre un yacimiento en el que se explotan capas horizontales o sensiblemente horizontales, con rocas suprayacentes típicas del Carbonífero (lutitas, limonitas y areniscas), que flexan y rompen con la marcha de la explotación, produciendo una amplia cubeta de hundimiento con importantes esfuerzos de tracción y de compresión y un yacimiento como el de La Camocha, en el que una auténtica losa de casi 200 m de espesor de materiales pérmicos (poscarboníferos) muy competentes, no se apoya sólo sobre las capas, sino fundamentalmente sobre las rocas verticalizadas que constituyen sus hastiales, constituyendo así un verdadero soporte de los terrenos superficiales, según se aprecia en la imagen 10 y la imagen 12.

Posteriormente, a raíz de la paralización de la actividad minera y de la realización de los proyectos de cese y abandono, junto con el inicio de ésta tesis doctoral, en el año 2008 se inició un estudio de campo de medida de hundimientos en la zona verticalizada al este del pozo 3, en la zona situada entre las oficinas y la balsa de lodos, con una periodicidad semestral, con el fin de comprobar la evolución, sí la hubiera, de los hundimientos en una zona ya sobradamente estudiada. A la vista de los resultados (tabla 7), se dio por finalizada la campaña en junio de 2011.

El equipo utilizado para las mediciones ha sido un GPS marca Thales, modelo Z-MAX, trabajando en tiempo real ó RTK. Este equipo, dentro de sus especificaciones de precisión, arroja los siguientes datos:

1. Estático, estático rápido:
 - a. Horizontal: 0,005 m + 0,5 ppm.
 - b. Vertical: 0,010 m + 0,5 ppm.
2. Cinemático procesando:

a. Horizontal: 0,010 m + 1,0 ppm.

b. Vertical: 0,020 m + 0,5 ppm.

HITO	DISTANCIA AL ORIGEN (m)	HUNDIMIENTO (mm)			
		20/07/94	31/10/94	20/01/95	03/04/95
415	- 257	-11	- 16	- 19	- 15
416	- 238	- 16	- 19	- 24	- 20
417	- 216	- 21	- 25	- 29	- 27
418	- 196	- 20	- 26	- 31	- 32
419	- 176	- 19	- 25	- 32	- 28
420	- 158	- 25	- 32	- 41	- 35
421	- 137	- 22	- 27	- 41	- 36
422	- 117	- 25	- 31	- 41	- 38
423	- 96	- 27	- 31	- 47	- 48
424	- 76	- 26	- 33	- 49	- 49
425	- 58	- 25	- 34	- 53	- 52
426	- 38	- 27	- 39	- 55	- 55
427	- 20	- 29	- 35	- 55	- 53
428	0	- 26	- 38	- 50	- 53
429	20	- 27	- 37	- 46	- 51
430	38	- 33	- 37	- 51	- 49
431	58	- 39	- 38	- 53	- 49
432	78	1	- 3	- 12	- 14
433	96	- 5	- 1	- 9	- 11
434	114	0	- 2	- 3	- 4
435	132	- 2	- 1	- 3	- 5
436	150	2	- 1	2	1
437	170	0	0	0	0

Tabla 4.- Medida de hundimientos en la zona de la superficie situada sobre el taller de explotación de la capa 8/9 Oeste. (Se ha tomado como origen de distancias el hito 428)

FASE	DESCENSO MÁXIMO (mm)	DEFORMACIONES MÁXIMAS	
		COMPRESIÓN	TRACCIÓN
1ª	192	$0,5 \times 10^{-3}$	$0,10 \times 10^{-3}$
2ª	360	$0,7 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-3}$
3ª	550	$1,0 \times 10^{-3}$	$0,35 \times 10^{-3}$
4ª	690	$1,3 \times 10^{-3}$	$0,42 \times 10^{-3}$
5ª	900	$1,5 \times 10^{-3}$	$0,50 \times 10^{-3}$

Tabla 5.- Resultado de la simulación numérica para las capas de la zona tumbada

País	Compresión	Tracción
Reino Unido	1×10^{-3}	-
Francia	$1 \text{ a } 2 \times 10^{-3}$	$0,50 \times 10^{-3}$
Alemania	$0,6 \times 10^{-3}$	$0,6 \times 10^{-3}$
Polonia	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$
Donetz (Ucrania)	2×10^{-3}	2×10^{-3}
Karaganda	4×10^{-3}	4×10^{-3}
Japón	$0,5 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}

Tabla 6.- Criterios para deformaciones de compresión y tracción en diferentes países mineros

HITO	HUNDIMIENTO (mm)						
	17/06/08						08/06/11
	Inicio	18/12/08	19/06/09	22/12/09	22/06/10	20/12/10	Fin
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	-2	-2	-2	-2
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	-1	-1	-1	-1
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	-2	-3	-3	-3	-3	-3
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	-2	-3	-3	-3	-3	-3
σ	0,0000	0,8777	1,0939	1,1271	1,1271	1,1271	1,1271
σ_t	1,0035						

Tabla 7.- Medida de hundimientos en la zona de la superficie situada sobre el taller de explotación de la capa 8/9 Oeste. Junio 2008 – Junio 2011

σ y σ_t son, respectivamente, la desviación estándar y desviación estándar total.

En la planimetría adjunta se indica el lugar en el que se ubicaron éstos nuevos hitos.

Comparando la medida máxima de hundimiento, 3 mm, con los datos obrantes en la tabla 4, se puede determinar que éste ha sido prácticamente nulo desde el cierre de la explotación minera, ya que los 3 mm indicados como hundimiento máximo, pueden deberse a un error en la toma de datos, bien por falta de precisión en el manejo del equipo utilizado, o por el posible error de diseño instrumental que éste puede acarrear, tal y como reflejan las propias especificaciones técnicas del aparato empleado.

En base a los datos reflejados en la tabla 7, de los seis hitos en los que se ha detectado hundimientos, salvo en los 3 y 8, donde aparecieron en diciembre de 2009, los datos registrados en los otros cuatro provienen de diciembre de 2008, permaneciendo

invariables desde entonces. Todo ello, junto al error admisible en la toma de datos, lleva a suponer que no se están produciendo hundimientos desde el cierre de la explotación minera y, habida cuenta del tiempo transcurrido, no son de esperar.

Comparando las tablas 4 (zona tumbada) y tabla 7 (zona más verticalizada), podemos observar que los hastiales de la zona verticalizada conforman una auténtica columna de sujeción de la losa compuesta por los materiales permotriasicos suprayacentes.

CAPÍTULO 4.- ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA AFECTADA POR LA SUPRESIÓN DEL BOMBEO EXISTENTE EN MINA LA CAMOCHA

1.- INTRODUCCIÓN

Uno de los efectos más importantes que se van a ocasionar como consecuencia del cese y abandono de los trabajos en Mina la Camocha, será el debido al cese del bombeo de las aguas que se infiltran al interior de la mina y que en estos momentos se mantiene en torno a los 70m³/hora. Por tanto, uno de los objetivos de ésta tesis doctoral ha sido el de realizar un análisis de lo que el cierre de la explotación minera, que conlleva entre otros la supresión del bombeo, puede ocasionar en la zona.

Se considera de extrema importancia al encontrarse el yacimiento en un área de arcillas expansivas, con afectación a pequeñas capas de yesos, que en la actualidad se encuentran en un nivel freático artificial muy inferior al real como consecuencia de la actividad minera y que con seguridad se inundarán una vez recuperado el nivel freático real de la zona afectada por la explotación.

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La existencia del acuífero, que marcó durante toda la vida de la mina su actividad y metodología de explotación, estaba contrapuesto con la idea de un Pérmico totalmente impermeable. Debido al efecto de la erosión, lo que en un principio constituía una sedimentación de ámbito regional (Martínez et al., 1991), los afloramientos datados como Pérmicos, se localizan en retazos de mayor o menor importancia de una manera esporádica entre el Oeste de Avilés hasta la cuenca de Santander, limitándose al Sur en las proximidades de Cervera de Pisuerga, dentro de la denominada Zona Palentina.

Se distinguen dos unidades dentro del Pérmico de la región (Martínez, 1983), una inferior denominada Capas de Viñón y por encima las Capas de Villaviciosa, que con posterioridad este mismo autor las subdivide en las formaciones Sotres, Cabranes y Caravia (Martínez et al., 1991). La Formación Sotres está formada por conglomerados calcáreos en la parte baja, que pasan a una alternancia de areniscas, pizarras negras, tobas, aglomerados volcánicos, coladas de lava y gruesas intercalaciones calcáreas; la Formación Cabranes está constituida por una sucesión de materiales vulcano-sedimentarios, lutitas y areniscas; la Formación Caravia, tiene una extensión mayor (las

anteriores se limitan principalmente al área de Villaviciosa y Sotres principalmente) y suele aparecer discordante bien sobre el basamento varisco o bien sobre las unidades anteriores, constituida por areniscas, margas y lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados silíceos, seguidas de brechas calcáreas, caliches, calizas, areniscas y lutitas, de tonalidades rojizas todas ellas a excepción de las calizas. Esta última formación es la que se encuentra en el horst de La Camocha y sus alrededores, en contacto directo con el Carbonífero (reconocido por las labores mineras de interior y también en, superficie, en La Collada, donde se puede observar el contacto y la discordancia angular entre la citada formación Caravia y las calizas del Carbonífero, con ausencia de las formaciones basales pérmicas). Finalmente, por encima se sitúa una unidad predominantemente lutítica con abundantes intercalaciones de areniscas y capas de yeso, es la formación Fuentes de edad probable Triásico Superior, presente tan sólo en los grabens del Este y del Oeste, directamente bajo el Jurásico.

En la cobertera Pérmica existente sobre el yacimiento carbonífero en la explotación de Mina La Camocha, S.A., se localiza un acuífero multicapa con varios niveles claramente diferenciados. Se han determinado los parámetros hidráulicos de estos materiales en varias zonas próximas a la ubicación de la explotación, con el fin de elaborar un esquema de funcionamiento hidráulico, así como para evaluar el grado de importancia que pudiese tener y estimar la posible influencia de este acuífero en las labores de explotación, una vez abandonadas.

Custodio y Llamas, 1983, definen un acuífero como ".....aquél estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades.....", lleva a una interpretación un tanto ambigua y relativa del término, de ahí que en el presente trabajo se aluda siempre a acuífero, a pesar del grado de importancia que pueda tener en función de la magnitud de la permeabilidad y de la calificación dada por Benítez, 1963, que se indica en la tabla 8, a 10° C y bajo un gradiente de 1 m por metro.

Permeabilidad (m/día)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Capacidad de drenaje	Buenos acuíferos Drenan bien				Acuíferos pobres Drenan mal				Impermeables No drenan		

Tabla 8.- Calificación de los acuíferos (Benítez, 1963)

3.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para la realización de este trabajo, se ha recurrido en primer lugar a una recopilación de toda la documentación que se cita en la bibliografía que se adjunta al final del mismo, así como la documentación que se ha podido obtener del archivo histórico de Mina la Camocha, S.A., la cual, en el momento actual es muy escasa, pues gran parte de los fondos documentales históricos de la empresa no han podido ser consultados, dadas las especiales circunstancias por las que atraviesa la empresa, lo que ha originado una dispersión y en muchos casos desaparición de cierta información. No obstante se ha tenido acceso a los diferentes Planes de Labores de la empresa correspondientes a los últimos diez años, así como a diversos estudios geológicos realizados, entre otros, por la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (Enadimsa), Compañía General de Sondeos (CGS) y el Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo, lo cual permite afirmar que la base documental sobre la que se ha realizado el estudio, facilita la ejecución de éste con un grado de aproximación y rigor totalmente aceptable.

Por otra parte se han realizado una serie de visitas tanto al interior como al exterior de las instalaciones, lógicamente en el primer caso a aquellas que eran accesibles en la fecha concreta, año 2008, incluida la visita a la primera planta de la mina, donde se corta el acuífero, y del cual se ha recogido una muestra de agua para su análisis, cuyo resultado se adjunta en este trabajo.

En el exterior, se ha podido comprobar el estado de las distintas instalaciones, tanto de pozos como parte de los sondeos que se citan a lo largo del trabajo.

Todos los datos de aforos, piezometría, caudales de desagüe, etc, han sido tomados de la bibliografía de que se ha dispuesto (Base Documental Mina La Camocha) y de las citadas informaciones; posteriormente, se ha desarrollado un control piezométrico, ya con las instalaciones cerradas, cuyo resultado también se adjunta.

Con todos los datos recogidos, se ha podido realizar una descripción hidrogeológica de la zona, que incluye un detalle de gran parte de los trabajos realizados desde el punto de vista hidrogeológico, piezometría, testificación y ensayos realizados, sondeos, que permiten obtener las conclusiones adecuadas para establecer un esquema de

funcionamiento hidráulico del acuífero de Mina la Camocha, S.A., que, junto con el estudio de la influencia de las explotaciones sobre dicho acuífero, permitió analizar las consecuencias del cese de las actividades de la mina, y por tanto del bombeo actual, evaluando los efectos hidrológicos sobre las zonas que pudieran verse afectadas, para concluir estableciendo los controles necesarios, así como las posibles medidas correctoras de dichos efectos, siempre desde el punto de vista del abandono de labores en las instalaciones mineras de interior de Mina la Camocha, S.A, y por ende, del cese del bombeo actual.

4.- CARACTERIZACIÓN DEL ESTUDIO

La cobertera Pérmica de los materiales estudiados en la superficie afectada por Mina La Camocha, S.A., se consideraba tradicionalmente como un conjunto hidrogeológicamente impermeable dentro de la unidad mesozoica Gijón-Villaviciosa (IGME, 1984), por lo que el control piezométrico y el conocimiento de su funcionamiento hidráulico era prácticamente nulo al inicio de los trabajos, pero con los estudios realizados se comprueba que constituye un acuífero semiconfinado multicapa, alimentado del agua procedente de las precipitaciones y posiblemente de los importantes acuíferos jurásicos laterales, subsistemas hidrológicos jurásicos de Llantones al Oeste y de Villaviciosa al Este, a través de las mencionadas Fallas de Llantones y de Granda respectivamente, que nos ponen en contacto los citados materiales.

La caracterización de los distintos parámetros así como el funcionamiento hidráulico se ha hecho fundamentalmente en base a los siguientes ensayos y trabajos (C.G.S.-CEPSA 1992):

- 4 pares de sondeos hidrogeológicos para la obtención de datos de piezometría fiables.
- 4 sondeos con carácter exploratorio en el horst, 2 en el graben del Este y otros 2 en el del Oeste.
- Testificación geológica de los sondeos.

- Testificación geofísica de los sondeos.
- Ensayos de permeabilidad en laboratorio con los testigos obtenidos de los sondeos.
- Ensayos Lugeon.
- Ensayos de Slug-Test.
- Ensayos de bombeo convencionales y mediante inyección de aire a alta presión.
- Inventario de puntos de agua.
- Toma periódica de los niveles piezométricos. Adecuación de antiguos pozos 2 y 3.
- Medición periódica de los caudales aportados a la mina.

5.- ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS

Los materiales pérmicos objeto de estudio y discordantes sobre el Carbonífero, se han considerado tradicionalmente como un conjunto hidrogeológicamente impermeable dentro de la Unidad Mesozoica Gijón-Villaviciosa. Así en los trabajos realizados por el I.G.M.E. (1984) en los acuíferos inmersos en los materiales del Jurásico de dicha unidad, que rodean a la zona objeto de estudio y que actualmente se vienen explotando por parte de la Empresa Municipal de Aguas de Gijón, se dice textualmente:

".....Los afloramientos Triásicos que atraviesan el sistema por su parte central, independizan hidráulicamente los sedimentos jurásicos del tercio suroccidental del sistema de los del resto, por lo que se ha dividido la Unidad Mesozoica en dos subsistemas: 1-A Subsistema de Villaviciosa y 1-B Subsistema de Llantones....."

En los inicios de la profundización de los primeros pozos de Mina La Camocha, ya se tuvieron los primeros problemas debido a la presencia de un acuífero situado por encima de la caliza pérmica, por lo que hubo de desistir en dos ocasiones de seguir su profundización al no existir en esos momentos bombas en el mercado capaces de bombear el agua manada de las margas arenosas, teniendo que ser necesario, en un posterior intento, realizar unos sondeos y consiguiente inyección de cemento a través de ellos para impermeabilizar y así poder atravesar esta zona y ya no tener ningún

inconveniente por causas del agua en su construcción (Felgueroso, 1932). Incluso uno de los pozos que tuvo que ser abandonado, fue posteriormente recuperado en los años 40 por parte del Ayuntamiento de Gijón para el abastecimiento de agua a la localidad durante un periodo de unos dos años aproximadamente, debido a problemas de escasez en aquellos tiempos. En un trabajo realizado para la Sociedad "Felgueroso" (Felgueroso, 1932), se define con gran exactitud la situación de un acuífero localizado cuando se realizaban los primeros trabajos de la reprofundización del pozo, de ahí que se reproduzcan dos párrafos del mismo:

".....Las aguas aparecen a los 47 metros de la superficie, en una mezcla de marga roja y gris, pero el nivel asciende hasta los 45 metros, es decir, dos más, correspondiendo este nivel al hidrostático del manto acuífero. A partir de los 47 metros siguen afluyendo las aguas por una serie de fisuras sin dirección fija, y que, según parece, comunican todas entre sí. Algunas grietas llegan a medir 50 milímetros. Imagínese la afluencia por tales grietas, con una presión tanto mayor cuanto más se desciende....."

".....A los 85,50 metros sustituye la caliza a la marga roja y en este punto desaparece la red de grietas, constituyendo el nivel inferior del manto acuífero. El espesor de éste es, pues, 40,50 metros....."

A 31 de diciembre de 2007 se estaban bombando unos 70 m³/hora del interior de la mina, del agua procedente del acuífero multicapa existente en la cobertera y repartida por las plantas 2^a (-132,6 m), 5^a (-282,9 m) y 7^a (-491,8 m) a las cuales accede por filtración a través de los minados (explotaciones antiguas ya abandonadas) existentes entre dichas plantas. Su procedencia está localizada fundamentalmente en los siguientes puntos:

1. Contacto de las galerías en 1^a planta (-92,1 m) con el conglomerado basal Pérmico a la altura del paquete de las capas 13-17.
2. Final de la explotación de la capa 7 del Este, al llegar los talleres de arranque (entre 2^a y 5^a planta) a la Falla de Granda, que hace de transmisora de éste agua. Se llegaron a bombear hasta 200 m³/hora en los primeros momentos de interconexión.

3. Al igual que con la capa 7 sucedió con la capa 12 del Este, al llegar las explotaciones (entre 2ª y 5ª planta) hasta la mencionada Falla de Granda.
4. A través de los minados de la capa 15-16 del Este entre el 4º recorte y la Falla de Granda (entre 2ª y 7ª planta), agua que parece viene de la propia falla y posiblemente también por conexión con el acuífero.
5. En las labores de la zona Norte (entre 2ª y 5ª planta), al llegar la explotación de las capas 37 y 41 del Oeste a las proximidades del contacto de la Falla de Llantones, comenzó a salir agua por pequeñas fracturas posiblemente relacionadas con dicha falla, con un fuerte olor inicial a sulfídrico, que posteriormente fue desapareciendo, así como el caudal que fue disminuyendo progresivamente.
6. En la zona Sur del yacimiento, también hay una ligera aportación de agua, que proviene fundamentalmente a través de los minados de las capas C, 1 y 3.

Mediante la colocación de vertederos triangulares en las cunetas más representativas, se han podido calcular los caudales circulantes por las distintas galerías que conforman el entramado de la mina. Los aportes de agua por zonas, se podría diferenciar tal y como sigue:

1. Contacto con el conglomerado Pérmico en 1ª planta 9 %.
2. Zona Este del yacimiento 75 %
 - a. Capa 7 25 %
 - b. Capa 12 11 %
 - c. Capa 15-16 39 %
3. Zona Sur 6 %
4. Zona Norte 4 %
5. Otros (cañas pozos, pequeños aportes, etc) 6 %

Un hecho importante, es que al Norte de la actual escombrera de la mina, había una zona relativamente deprimida que incluso en época de estiaje se encontraba totalmente

encharcada (por una posible conexión del nivel piezométrico con la superficie), que pasó a ser una zona muy seca en cualquier época del año, a pesar de los largos periodos de lluvia que se suceden en la zona, cuando se comenzó con el bombeo de agua desde el interior de la mina, lo cual pone de manifiesto una conexión acuífero-mina.

Un hecho similar ocurrió en las proximidades del pozo de ventilación de Granda, donde había fauna típica de humedales y que, en la actualidad ha desaparecido debido al descenso de los niveles piezométricos.

Señalar que desde el punto de vista hidrogeológico (Méndez et al, 2004), se conoce en la zona la existencia de uno de los acuíferos más importantes que se han definido en Asturias y que ha sido explotado para abastecer agua a Gijón (Gutierrez et al, 2002).

6.- HIDROLOGÍA DE LA ZONA

Esta zona se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Piles (imagen 26), con una extensión de unos 46,8 Km² y teniendo como arroyos principales Fuente de Berros y Meredal al Sur, Robledo al Este y Llantero y Vega al Oeste; todos ellos se dirigen hacia el Norte, descargando sus aguas fundamentalmente al Piles y en menor cuantía al Caz del Molino, constituyendo estos cursos de agua el drenaje total de todo el sistema.

Para el cálculo de escorrentías, IGME (1984) utilizó los datos de los aforos obtenidos tras un control diario de las escalas situadas en el contacto del Pérmico con el cuaternario, en la parte baja del río Piles (La Coría) y en el Caz del Molino, ya que recogen toda el agua de escorrentía superficial de la cuenca hidrográfica.

En base a las aportaciones totales mensuales, para el periodo Noviembre-80 a Octubre-81, se obtiene la siguiente valoración (IGME, 1984):

- Aportación por precipitación	41 Hm ³
- Escorrentía total	13 Hm ³
- Escorrentía subterránea	6 Hm ³
- Escorrentía superficial	7 Hm ³
- Caudal base	30 l/s

- Coeficiente de escorrentía 31,7 %

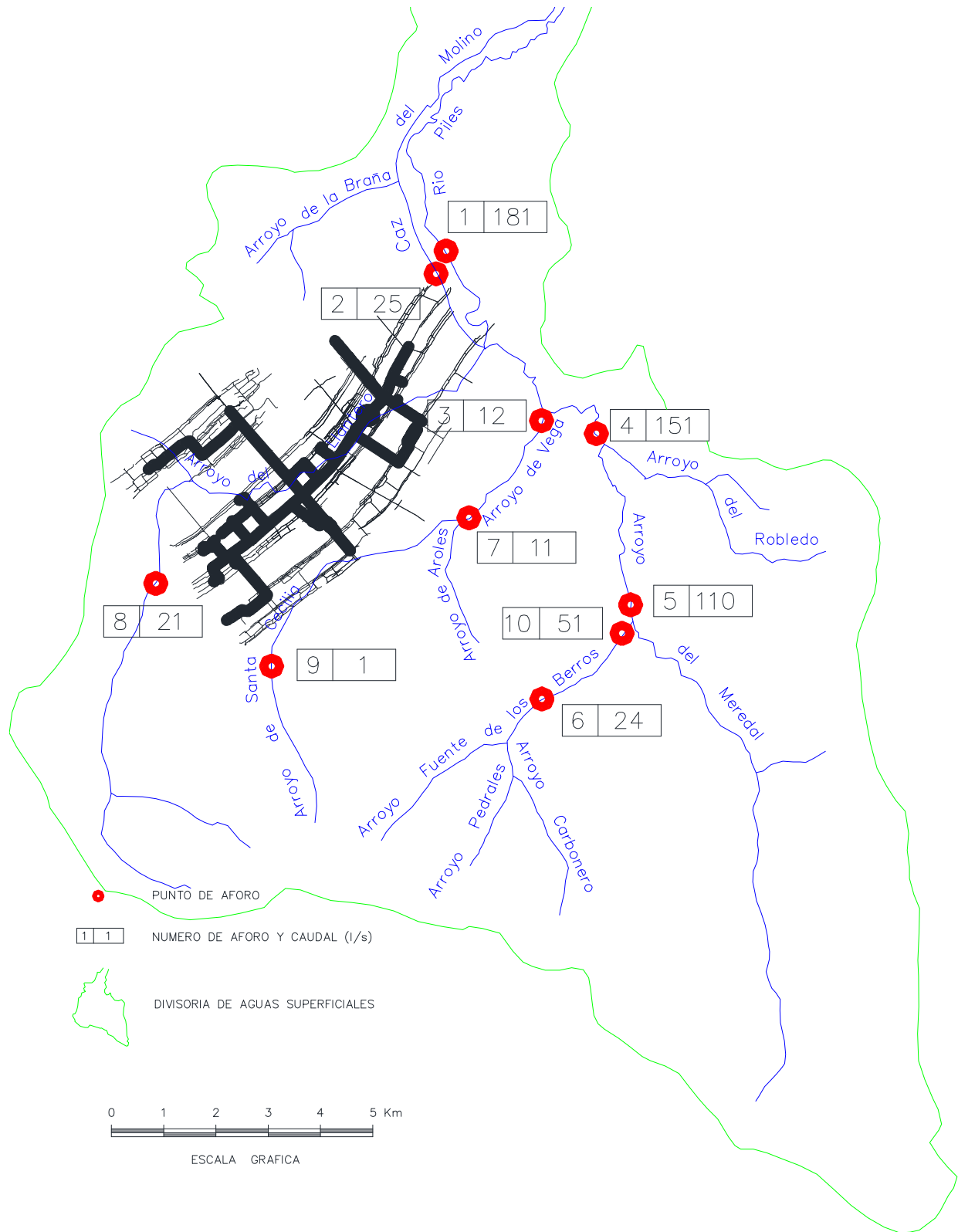


Imagen 26.- Delimitación de cuenca hidrográfica y puntos de aforo.

En Junio de 1991, se realizó una campaña foronómica mediante micromolinetes en los ríos y arroyos de la cuenca hidrográfica, en los puntos de contacto de las diferentes unidades, con el fin de determinar posibles pérdidas o ganancias de agua. La ubicación de estos puntos de aforo así como los caudales medidos en cada uno de ellos, quedan reflejados en la imagen 26. Como se puede comprobar en dicha imagen, la descarga total del sistema, obtenida de la suma de los puntos de aforo 1 y 2 (Río Piles y Caz del Molino respectivamente), es de 206 l/s. La mayor parte de este caudal se corresponde con el agua procedente del arroyo del Meredal y sus afluentes (Robledo, Meredal y Fuente de los Berros), ya que después de la confluencia con el arroyo de Robledo, el caudal es de 151 l/s.

Debe de hacerse notar el pequeño caudal que llevaban en el momento de aforar los arroyos del entorno más próximo a Mina La Camocha (Llantero y Vega junto con los afluentes de este último, Santa Cecilia y Aroles); así el de Vega antes de la confluencia con el Meredal lleva un caudal de 12 l/s, que sumado al del Meredal (151 l/s) y por diferencia respecto al total del sistema (206 l/s), se obtiene que el río Llantero debe de llevar 43 l/s en el punto de confluencia con el río Piles, por lo que se deduce que en su tránsito por los materiales pérmicos, tiene una ganancia de 22 l/s, ya que en el contacto con el Jurásico tan sólo lleva 21 l/s.

Realizando el mismo procedimiento, se llega a la misma conclusión para el arroyo de la Fuente de los Berros, es decir una ganancia de caudal durante el paso por la cartografía pérmica de 27 l/s.

8.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Con el objetivo de definir el comportamiento hidrogeológico de la zona, además del establecimiento de un mapa de isopiezas que indique las direcciones de flujo principales, se ha recabado toda la información existente respecto a los puntos de agua inventariados por el IGME así como otros reconocidos en el campo, tanto de sondeos de captación de aguas de uso particular, pozos de gran diámetro, fuentes, sondeos realizados por Mina La Camocha con fines exploratorios del yacimiento carbonífero y sondeos hidrogeológicos dentro de la cobertera. En la imagen 27 se pueden observar todos los sondeos que han sido objeto de estudio, mientras que en la imagen 28 se

reflejan los pozos de gran diámetro y escasa profundidad, en los que se realizaron mediciones del nivel piezométrico y algunos ensayos de bombeo.

Las características medias del agua analizada, procedente del acuífero son las siguientes:

pH.	_____	7
Dureza Total (° Franceses)	_____	44
Alcalinidad Total (Ca CO ₃ , mg/l)	_____	300
Calcio (Ca O, mg/l)	_____	80
Magnesio (Mg O, mg/l)	_____	120
Sulfatos (SO ₄ ⁼ , mg/l)	_____	70
Cloruros (Cl Na, mg/l)	_____	65

8.1.- Analítica de las aguas

En este punto cabe resaltar los resultados obtenidos en el análisis de una muestra de agua tomada por el redactor de ésta tesis doctoral en el techo de la galería de 1ª planta, en la zona de los depósitos de agua, analizado por la empresa Laboratorios Bio Salud, Maricielo S.L., cuyos resultados se resumen en la tabla 9.

8.1.1.- Resultados

Parámetro	Resultado	Unidades	Valor límite	Método
pH	7,66		6,5-9,5	PNT/063
Tª medición	20,3	°C		
Conductividad (20°C)	763	µ S/cm	2500	PNT/025
Tª medición	20,6	°C		
Olor	No se aprecia olor	Índice dilución		PNT/059
Sabor	No se aprecia	Índice dilución		PNT/069
Bacterias coliformes	15	UFC en 100ml	0 UFC 100ml	PNT/008
Aerobios 22°C	193	UFC/ml		PNT/067
Aerobios 37°C	124	UFC/ml		PNT/067
E.coli	5	UFC/ 100ml	0 UFC 100ml	PNT/008
Clostridium perfringens	0	UFC/ 100ml	0 UFC 100ml	PNT/021
Amonio(Nessler)	1,1	mg/l	0,5 mg/l	PNT/004
Cloro residual	< 0,05	mg/l	1,0 mg/l	PNT/019
Color	1	mg/lesc.Pt/Co	15mg/lesc.Pt/C	PNT/024

Análisis, valoración y establecimiento de las medidas correctoras de los efectos hidrogeológicos de subsidencia y medioambientales producidos como consecuencia del cese y abandono de labores en una explotación minera en un entorno urbano

Turbidez	< 1	UNF	1 UNF	PTN/085
Enterococos	0	UFC/100ml	0 UFC	PNT/033
Nitritos	0,01	mg/l		PNT/056
Nitratos	< 2	mg/l	50 mg/l	PNT/055
Cloruros	42	mg/l	250 mg/l	PNT/020
Fluoruros	1,0	mg/l	1,5mg/l	PNT/034
Cianuro	< 5	µg/ l	50 µg/ l	PNT/017
Boro	0,3	mg/l	1,0mg/l	PNT/012
Oxidabilidad	< 0,5	mgO ₂ / l	5 mgO ₂ /	PNT/060
Sulfatos	55	mg/l	250 mg/l	PNT/078
Sodio	27,7	mg/l	200 mg/l	PNT/072
Hierro	< 0,1	mg/l	200 mg/l	PNT/043
Manganeso	3,94	µg/ l	50 µg/ l	PNT/026
Aluminio	< 10	µg/ l	200 µg/	PNT/026
Antimonio	< 5	µg/ l	5 µg/	PNT/026
Arsénico	19,0	µg/ l	10 µg/l	PNT/026
Cadmio	< 0, 4	mg/l	200 mg/l	PNT/043
Cobre	< 0, 2	mg/l	2 mg/l	PNT/023
Níquel	17,4	µg/ l	20 µg/l	PNT/026
Cromo	< 2	µg/ l	50 µg/l	PNT/026
Plomo	< 9	µg/ l	25 µg/l	PNT/026
Mercurio	< 1	µg/ l	1 µg/l	PNT/053
Selenio	< 10	µg/ l	10 µg/l	PNT/026
Total de plaguicidas			0,50 µg/l	PNT/082
Aldrín	< 0,03	µg/ l	0,03 µg/l	
Dieldrin	< 0,03	µg/ l	0,03 µg/l	
Heptacloro	< 0,03	µg/ l	0,03 µg/l	
Heptacloro epóxido	< 0,03	µg/ l	0,03 µg/l	
Benceno	< 1,00	µg/ l	1 µg/l	PNT/009
BTEX`S	< 1,00	µg/ l		PNT/010
Benceno (α) pireno	< 0,01	µg/ l	0,01µg/l	PNT/011
Hidrocarburos HPA				
Benzo (B) fluoranteno	< 0,01	µg/ l		
Benzo(ghi)perileno	< 0,01	µg/ l		
Benzo(k)fluoranteno	< 0,01	µg/ l		
Indeno(1,2,3-cd)pireno	< 0,01	µg/ l		
1,2-Dicloretano	< 1,00	µg/ l	3,0µg/l	PNT/028
Trihalometanos			150 µg/l	PNT/083
Bromodichlorometano	< 1,00	µg/ l		
Dibromoclorometano	< 4,00	µg/ l		
Tricloroetano+Tetracloroetano	< 2,00	µg/ l	10 µg/l	PNT/084

Tabla 9.- Analítica de muestra de agua tomada para la elaboración de la tesis doctoral

8.1.1.- Interpretación de resultados

Se observa que dicha agua, de referencia interna A1250708 presenta unas no adecuadas condiciones de calidad bacteriológica al superar el valor límite marcado en el “Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano”. Los parámetros microbiológicos en los que se observa contaminación son:

- aerobios a 22°C (193 UFC/ml),
- 37°C (124 UFC/ml),
- bacterias Coliformes (15 UFC/100 ml)
- E. Coli (5 UFC/100 ml)

No se observa contaminación microbiológica del parámetro *Clostridium Perfringens* y *Enterococos*.

La hipótesis posible de dicha contaminación microbiológica puede ser de origen animal (presencia de ganado que origina filtraciones en el acuífero).

Respecto el contenido de metales pesados se observa como dato más crítico la presencia de arsénico en una concentración superior al límite permitido (19 µg/l, siendo el límite de 10 µg/l). Las posibles hipótesis de dichas concentraciones son la naturaleza del subsuelo (presencia de arsenopirita en el terreno). La presencia de dicho metal pesado en cantidades elevadas y de forma continuada puede originar irritación del estómago e intestinos, anemia, cambios en la piel, cáncer, infertilidad, etc., aunque dada la concentración existente se podría estudiar un sistema de tratamiento de cara a su destino como consumo humano.

Reseñar una conductividad importante (763 µs/cm) que evidencia la presencia de cationes y aniones en dicha muestra, así como de sales disueltas. El valor de oxidabilidad es bajo, por lo que se observa que no hay contaminación por aguas residuales ó por residuos agrícolas.

El pH es ligeramente básico, (pH = 7.66). El pH informa del carácter ácido o alcalino de un agua, que puede estar influenciado por el CO₂ disuelto y la cantidad de carbonatos y bicarbonatos que contenga. Los metales alcalinos relacionados con dichas características, como el sodio se encuentran en concentraciones reseñables (27,7 mg/l)

El valor de caudal puntual en el momento de la toma de muestra es de 3 litros/minuto.

Con todas estas observaciones se puede concluir que el agua de referencia interna A18241207 **No es Apta** para el consumo humano, salvo que se le aplique algún tratamiento para poder subsanar las deficiencias anteriores.

Las posibles alternativas podrían ser:

1. Tratamiento por ósmosis: Elimina ó disminuye los metales pesados, neutraliza la contaminación microbiológica, etc.
2. Tratamiento de desinfección por cloro líquido: Elimina la contaminación microbiológica (es un tratamiento complementario a otros).
3. Filtración: Elimina las partículas sólidas en suspensión y minimiza la concentración de metales pesados que se encuentran en baja concentración.
4. Tratamiento por Ozono: Se realiza una oxidación y se disminuye la concentración de los metales pesados.

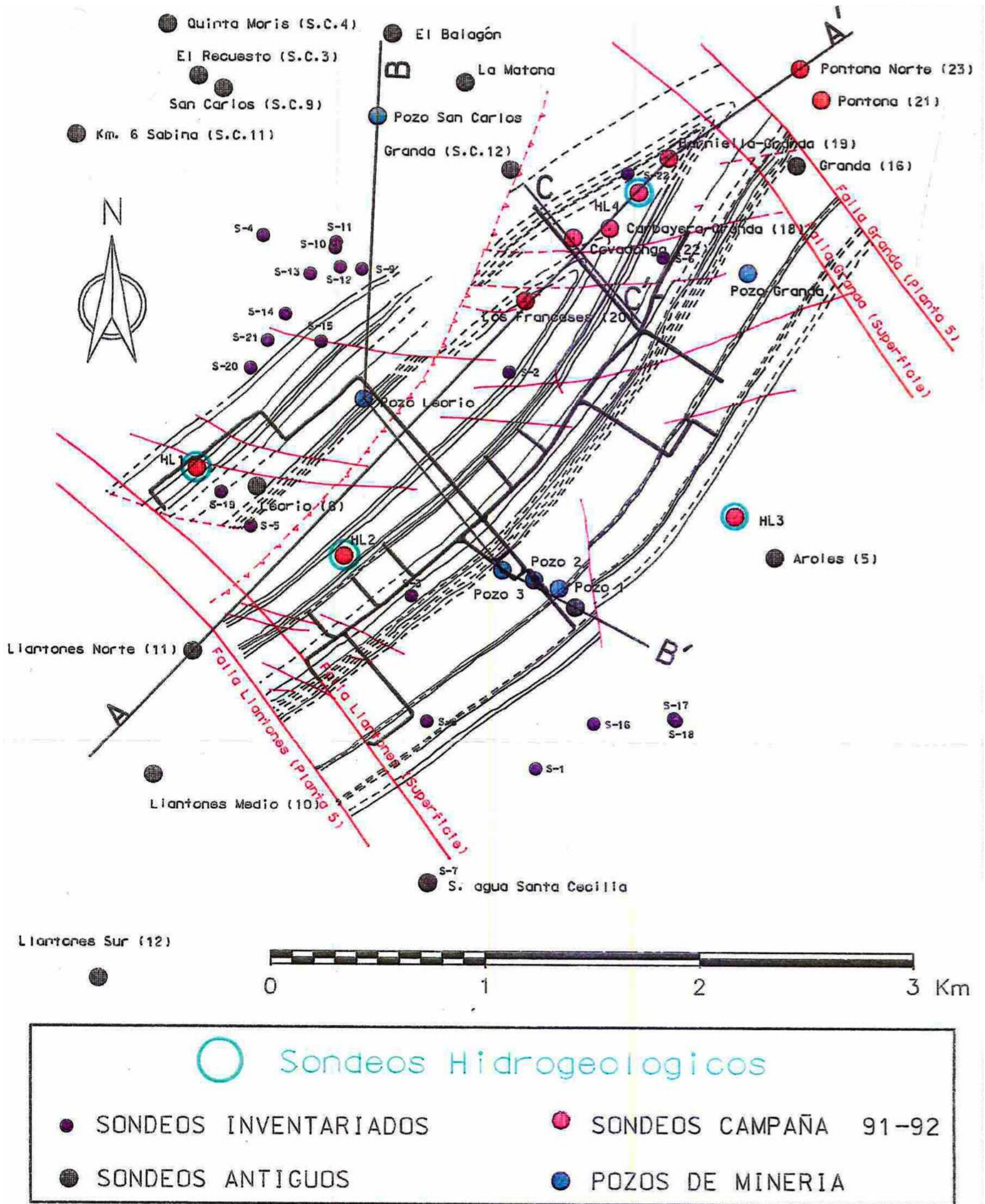
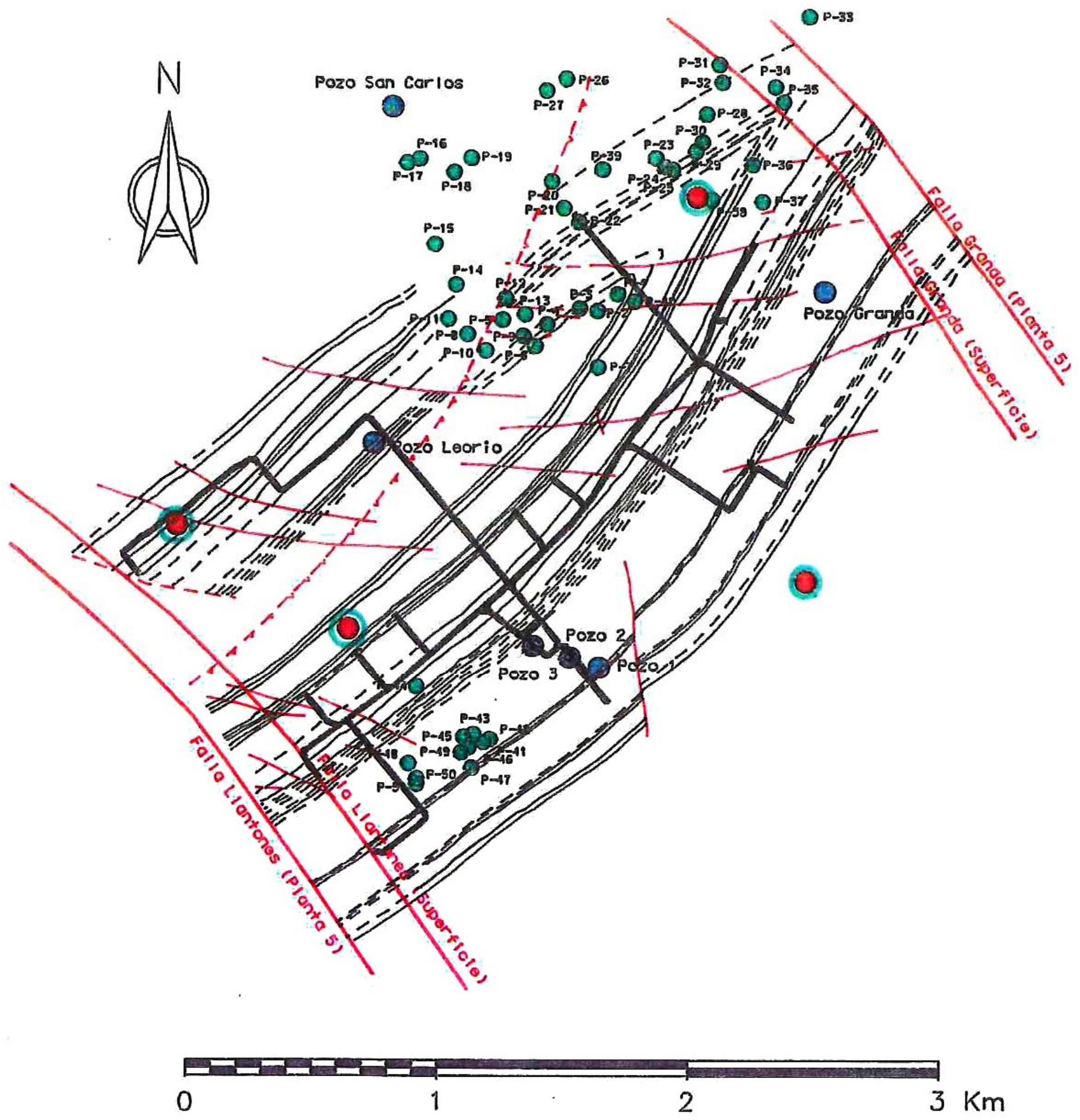


Imagen 27.- Situación de sondeos y cortes geológicos. Base documental Mina la Camocha.



○ Sondeos Hidrogeológicos

● POZOS INVENTARIADOS DE GRAN DIAMETRO

● POZOS DE MINERIA

Imagen 28.- Situación de los pozos de gran diámetro. Base documental Mina la Camocha.

8.2.- Piezometría

La piezometría de los distintos acuíferos existentes en la cobertera pérmica era totalmente desconocida hasta la elaboración de los estudios hidrogeológicos llevados a cabo en la década de los noventa.

El mapa piezométrico, con definición de las isopiezas cada 10 m, para el acuífero principal (es decir en las margas oquerosas situadas por encima de la caliza), representado en la imagen 29, se ha realizado mediante el programa de ordenador SURFER (Golden Software Inc.) y ha sido retocado posteriormente de forma manual a partir de los datos de los niveles piezométricos de todos aquellos sondeos del área en los cuales se pudiese medir. En esta imagen se puede observar la existencia de un "valle" piezométrico al Sur del arroyo del Llantero, cuyo origen probablemente haya que buscarlo en la infiltración hacia la mina como consecuencia de la explotación del paquete de capas 13/17 hasta 1ª planta (cuya dirección discurre al Sur de dicho arroyo y de forma paralela a dicho valle piezométrico), ya que en algunos tramos se llegó a tocar el conglomerado basal con las galerías en carbón efectuadas, así como unas anomalías piezométricas, que se corresponden en la vertical con la ubicación de las balsas de decantación de los lodos procedentes del lavado de los finos en el lavadero, por lo que éstas podrían actuar como un verdadero lago que alimentase directamente al acuífero. En la actualidad, posiblemente dicha recarga haya cesado en gran parte, debido a que ya no se aportan finos de carbón a dichas balsas.

A partir de esta piezometría obtenida para el acuífero principal (imagen 29), se han trazado unas líneas de flujo, que evidencian la existencia de unas direcciones de flujo principales bien definidas de Oeste a Este y de Sur a Norte, drenando hacia el río Llantero y hacia el Piles, punto éste último que parece ser de descarga principal del sistema.

Los materiales superficiales tienen otro nivel piezométrico, muy próximo a la superficie (entre 2 y 6 m aproximadamente) y reconocido en los abundantes pozos tradicionales, de gran diámetro y escasa profundidad existentes en la zona. Este nivel se correspondería con el nivel freático de las aguas hipodérmicas contenidas en el suelo y que una parte de ellas recargará de forma difusa el acuífero infrayacente y otra saldrá a

superficie por las fuentes y por la evapotranspiración. Su recarga se realiza directamente por las precipitaciones.

Los conglomerados también deberán de tener un nivel piezométrico diferente de éstos últimos, pero tan sólo existen 4 sondeos en los que identificar éste y que no son otros que los HL. En estos sondeos el nivel es ligeramente inferior al del HC que marca el nivel del acuífero principal, a excepción del HL4 donde hay una diferencia de unos 15 m entre ambos niveles. El hecho de que esta mayor diferencia ocurra en una zona más baja, no es coherente con el esquema de flujo clásico, según el cual la diferencia de potencial debe ser más importante en las zonas más altas; a este hecho no se le ha encontrado otra explicación que la notable diferencia en las características hidráulicas del acuífero margo-arenoso, con dos órdenes de magnitud de diferencia en la transmisividad medida en ambas zonas, aunque tampoco resulta descartable la posibilidad de conexión de los dos acuíferos (conglomerático y margo-arenoso) a través del espacio anular entre el entubado y la pared del sondeo, debido a un cierre incompleto entre ambos, hecho éste que podría enmascarar las medidas realizadas.

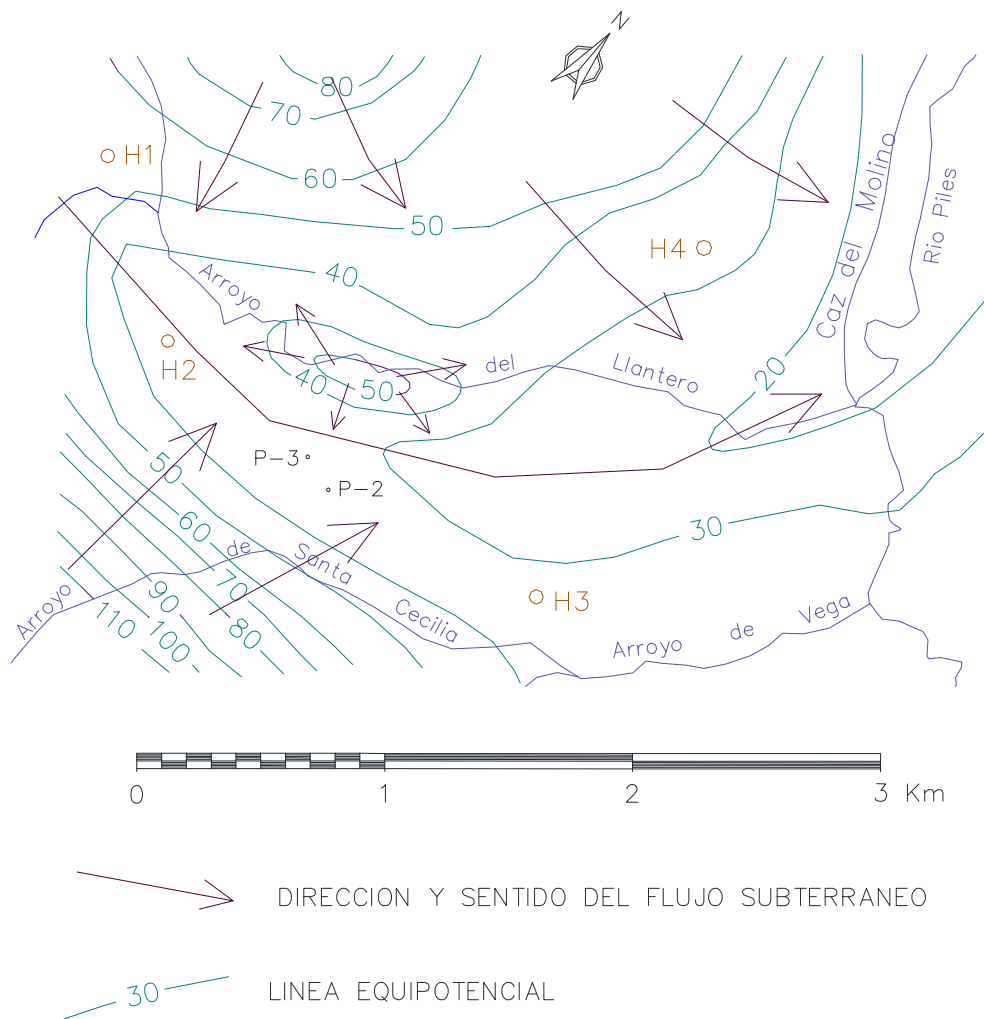


Imagen 29.- Mapa piezométrico del acuífero principal

8.3.- Geometría

Dentro del horst se ha observado una constancia relativamente grande en cuanto a la potencia de las diferentes unidades pérmicas, por lo que la geometría del acuífero se adapta a la estructura posttectónica y posterosiva, que se puede obtener por un lado de los distintos cortes realizados (imágenes 7 y 8) y por otro de las observaciones de la propia morfología del mapa piezométrico del acuífero principal (imagen 29).

Esta geometría, se podría resumir en los siguientes puntos:

- Ligeramente pendiente hacia el Noreste, hacia el río Piles, lo que facilita el flujo de agua hacia él.

- Abombamiento en la zona Norte del borde Sureste a lo largo de la falla de La Matona, lo que en cierto modo podría justificar la existencia de una barrera que aísla el sistema por el Norte.
- Tanto la Falla de Granda como la de Llantonés, ponen en contacto directo todas la unidades pérmicas presentes en la zona con el Carbonífero del horst, por lo que podría ser posible una conexión lateral.

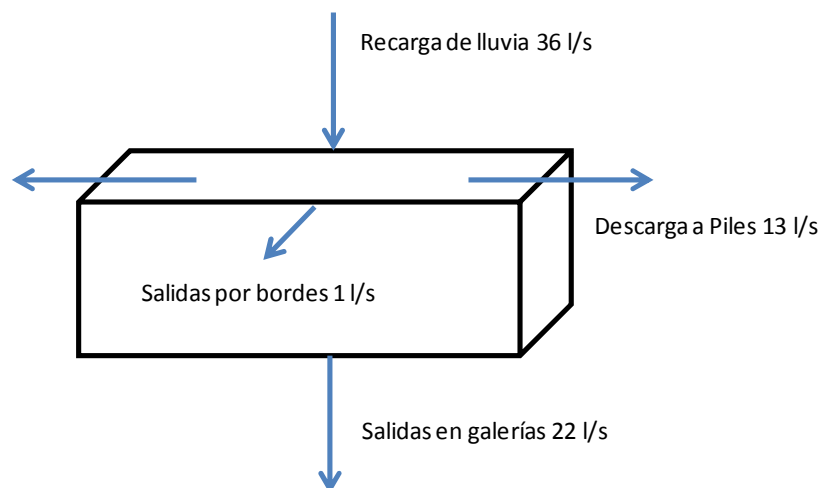


Imagen 30.- Balance hídrico estimado de la zona de estudio. Base documental Mina la Camocha.

La Falla de Llantonés, presenta una ausencia casi total de agua, a excepción de su intersección con las capas 37 y 41, por lo que la conexión Pérmico-Carbonífero parece tener poca probabilidad, influenciado sin duda alguna por la baja permeabilidad de los materiales, aunque si puede existir cierta conexión con el Pérmico del horst, a través de la propia falla y en las inmediaciones de las capas mencionadas, pero con unas ciertas limitaciones dados los valores obtenidos en los sondeos realizados en zonas próximas a ella.

9.- PARÁMETROS HIDRÁULICOS: TÉCNICAS UTILIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Entre los años 1990 y 1992 se ha realizado una campaña de investigación hidrogeológica cuyo objeto principal era el conocimiento de los parámetros hidrogeológicos y piezométricos de los acuíferos de la cobertera pérmica del yacimiento. Para ello se han ejecutado 4 pares de sondeos con recuperación continua de

testigo en todos ellos, HC y HL, de investigación hidrogeológica (los primeros hasta el tramo de calizas y los HL hasta cortar el mismo Carbonífero), en los cuales se han efectuado los diferentes ensayos, además de otros 4 sondeos de investigación geológico-minera, que han permitido ver las variaciones litológicas existentes. Además, estas perforaciones han quedado instrumentadas para poder realizar mediciones periódicas de los niveles piezométricos. La situación de todos estos sondeos en relación a la traza de las capas de carbón y a las labores de explotación en 5ª planta, así como con las fallas que delimitan el horst, queda reflejada en la imagen 27.

El motivo de realizar los sondeos por pares fue el definir variaciones piezométricas en profundidad. Los sondeos largos (HL), fueron entubados con tubería ciega de hierro de 77 mm de diámetro interior, excepto por debajo de las calizas en que se han ranurado varios tramos donde poder realizar los ensayos de determinación de permeabilidades, según se puede observar en las imágenes 31, 32, 33 y 34. Por otra parte, los sondeos cortos (HC) fueron entubados con idéntica tubería pero de 104 mm de diámetro interior, dejando ranurada la zona de las margas oquerosas justo por encima de la caliza, ocupada por el acuífero principal.

Fundamentalmente se han definido los valores de permeabilidad y transmisividad, además de la porosidad deducida geofísicamente.

9.1.- Testificación geológica de los sondeos

Se han testificado en detalle todos los sondeos realizados, tanto los hidrogeológicos como los de investigación. El resultado de este trabajo se expone gráficamente en las columnas estratigráficas del HL1, HL2, HL3 y HL4 que se adjuntan (imágenes de la 31 a la 34).

Se ha observado con especial atención en los testigos de caliza, la existencia de una familia de diaclasas subverticales con cementación de carbonato cálcico, total en unas ocasiones y parcial en otras, dejando cavidades abiertas con recristalización de calcita, fluorita y esporádicamente de pirita, de tamaños milimétricos (2 a 3 mm.).

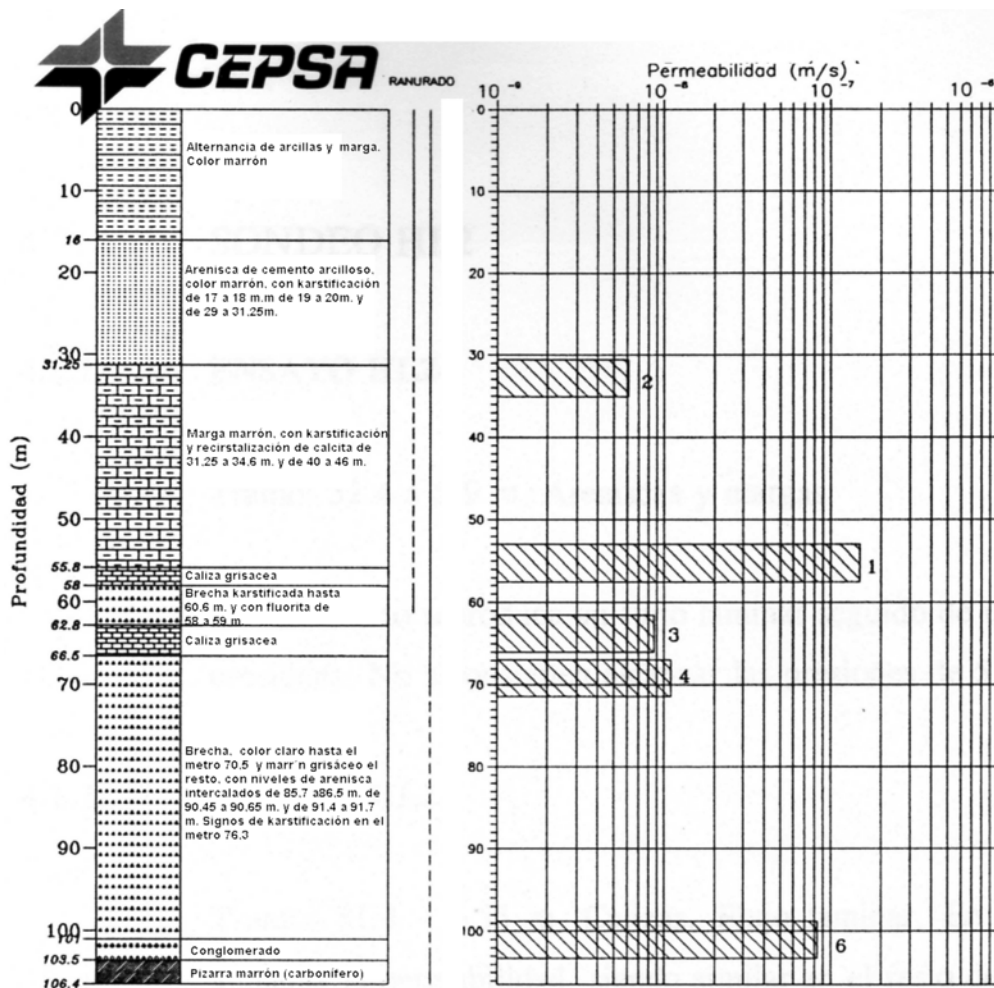


Imagen 31.- Columna del sondeo HL-1 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992

En el caliche se observa esta misma familia de diaclasas pero con un relleno total de calcita que no sobrepasa generalmente los 2 mm y haciéndose cada vez menor a medida que se acerca a la base de dicha unidad, llegando incluso a desaparecer. En ocasiones, pero raramente, se dejan ver unas diaclasas conjugadas de la familia descrita, con un relleno menor, que se estrellan contra la propia diaclasa principal y que se pierde en profundidad a los pocos centímetros. Muy esporádicamente aparecen otras diaclasas subhorizontales, y otras con un ángulo de inclinación de unos 45°.

También se aprecia que al ganar profundidad en la columna pérmica, las diaclasas pasan de la subverticalidad (caliza) a tomar inclinaciones en torno a los 65-70° en el caliche.

En los conglomerados y areniscas basales es visible este mismo diaclasado, con un relleno en torno al mm. El espaciado resulta de difícil deducción dada la subparalelidad

entre testigo y discontinuidad, pero se ha deducido que debe de ser de unos 15-20 cm, con unas superficies ligeramente rugosas.

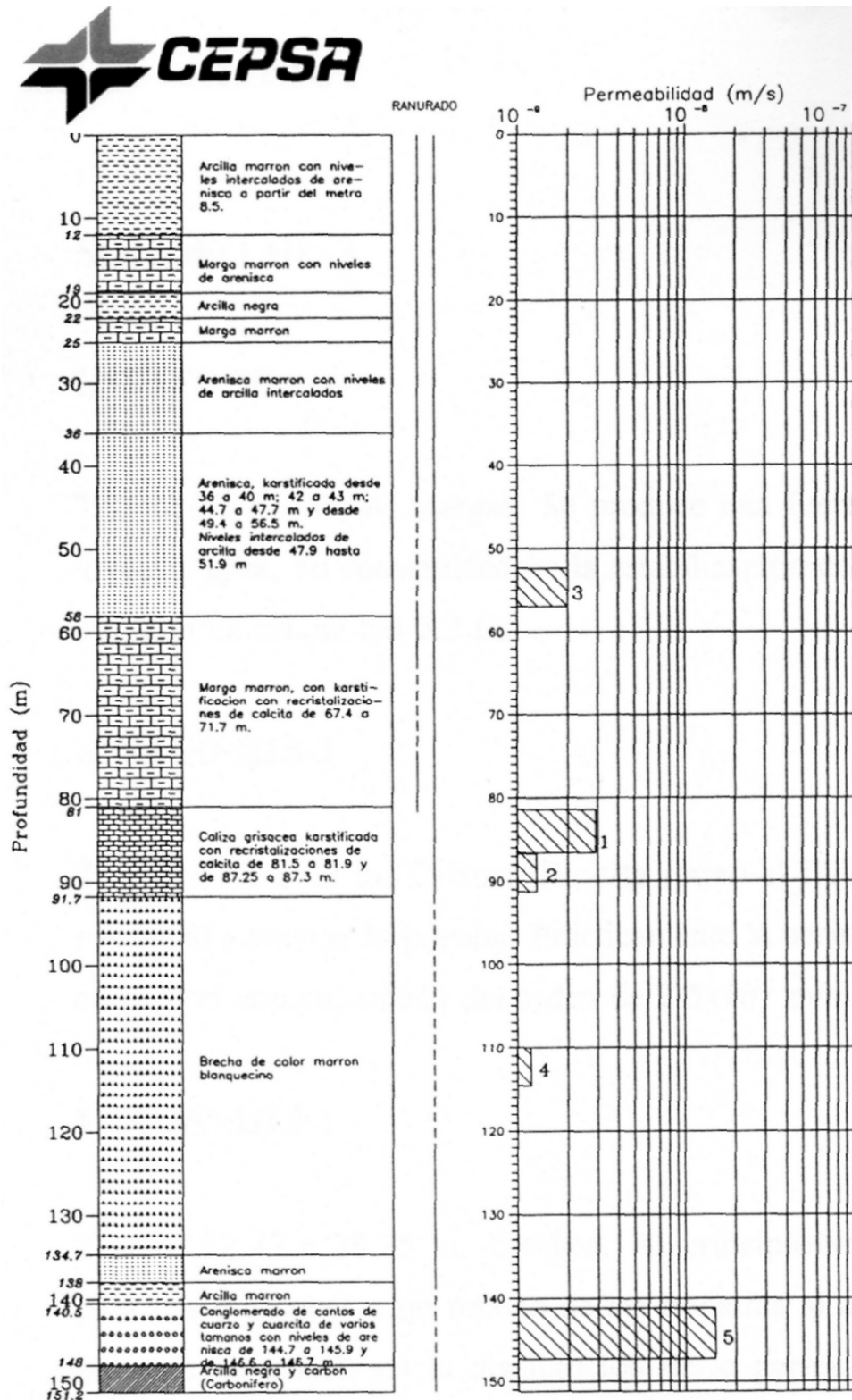


Imagen 32.- Columna del sondeo HL-2 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992

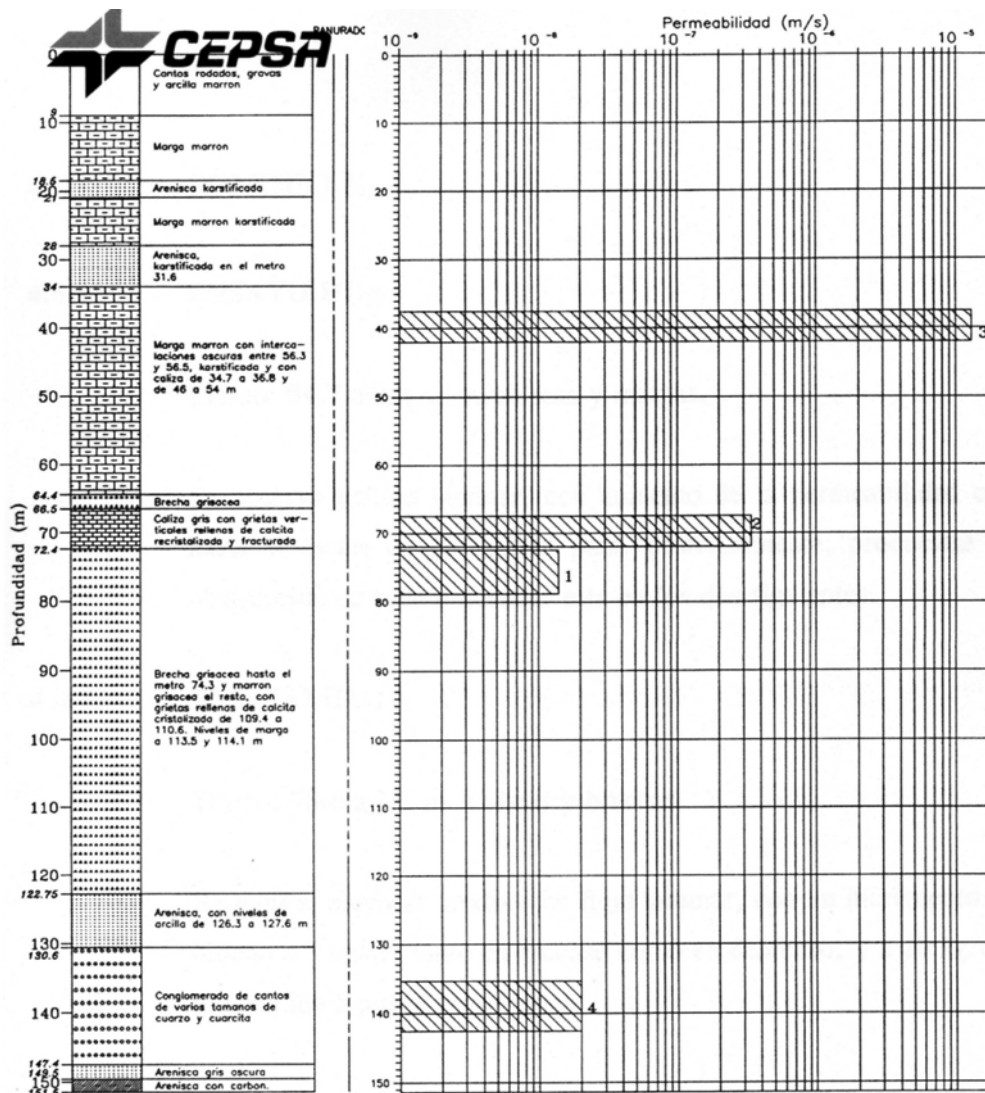


Imagen 33.- Columna del sondeo HL-3 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992

9.2.-Ensayos Lugeon

Estos ensayos se realizaron en los tramos de la serie que se consideraron más representativos conforme a la testificación geológica de detalle de cada uno de los sondeos.

A continuación se describe de forma somera los resultados obtenidos en los ensayos realizados en cada tramo de los cuatro sondeos, realizados por la Compañía General De Sondeos S.A., en febrero de 1992 dentro del trabajo denominado Estudio Hidrogeológico Del Entorno De Mina La Camocha,S.A.

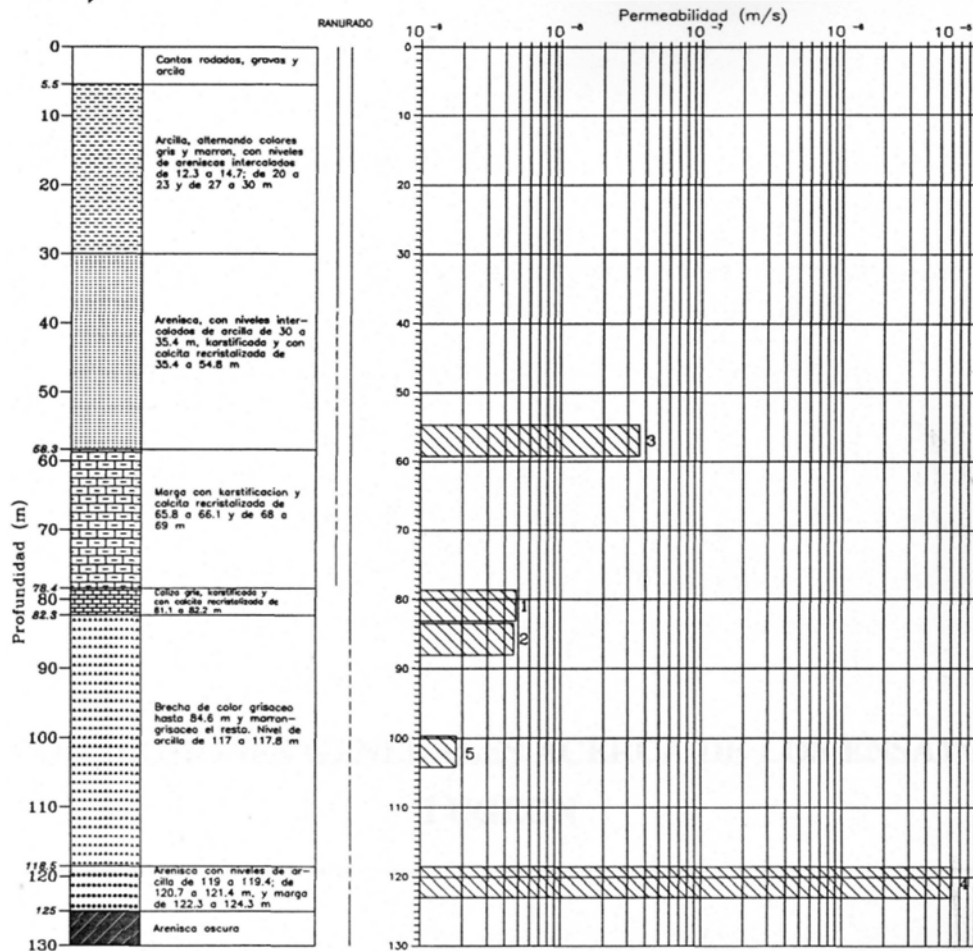


Imagen 34.- Columna del sondeo HL-4 y resultados del ensayo Lugeon a presión cero. CGS-Cepsa, 1992

Del análisis de las imágenes 31 a 34 (donde se exponen gráficamente los resultados obtenidos, junto con la columna litológica de cada uno de los sondeos (HL)), se deduce que los tramos más impermeables, comparando la permeabilidad a presión atmosférica, corresponden a las brechas y a las calizas que sirven de base a las margas, siendo del orden de $10^{-8} - 10^{-9}$. La permeabilidad más alta corresponde a las arcillas y areniscas del fondo del sondeo, que es del orden de 6×10^{-6} m/s.

Cabe destacar a su vez la permeabilidad obtenida para los conglomerados, con un valor medio entre 10^{-8} y 10^{-7} m/s (excepto en el sondeo HL4 que se obtuvo un valor de $5-6 \times 10^{-6}$ m/s), más elevada de la inicialmente esperada. Sobre ellos, se encuentra una zona de brechas, de potencia variable entre unos 35 y 50 m, que parecen ser menos permeables que estos. Así se puede generalizar que los valores oscilan entre 10^{-9} y 10^{-8}

m/s en todos los sondeos, salvo en el del sondeo HL1, en el que el valor de permeabilidad es un orden de magnitud superior. Las calizas que constituyen el muro del acuífero manifiestan valores muy variables dependiendo tanto del sondeo ensayado, como de si el ensayo afecta además a alguna otra litología.

Esto se puede observar en que, mientras en los dos ensayos realizados en éste material, en el sondeo 2 los valores son bajos y oscilan entre 10^{-9} y 10^{-8} m/s, en el sondeo 3 el valor de permeabilidad es superior a 10^{-7} m/s.

Los valores de los sondeos 1 y 4 se encuentran entre éstos, lo que no permite establecer unos límites claros al valor de permeabilidad en esta litología. No obstante, parece existir un control de la fracturación en los resultados del sondeo 3, por lo que se asume que este es un resultado puntual no generalizable, por lo que se estima que, de forma global, la permeabilidad de las calizas debe ser del orden de la obtenida en el sondeo 2.

En lo que respecta al acuífero de margas y areniscas, se observa que, salvo en el ensayo realizado en el sondeo 4, en los de los demás sondeos no se pudieron alcanzar las presiones altas del ensayo. Esto indica la elevada admisión de estos tramos, reflejo de su elevada permeabilidad. En general, se puede concluir que la permeabilidad del acuífero debe ser superior a 10^{-6} m/s, e incluso a 10^{-5} m/s como indica el ensayo realizado en el sondeo 3.

Los resultados para todas las litologías de las permeabilidades medias obtenidas con estos ensayos, se exponen en la Tabla 10.

9.3.- Ensayos Slug-Test

Consisten en imponer una sobrecarga instantánea al nivel estático del tramo de sondeo a ensayar y seguidamente registrar la evolución de la forma más continua posible del nivel piezométrico en función del tiempo hasta la nueva estabilización. Se ha ensayado sobre los 4 sondeos largos (HL).

Para la interpretación de los Slug-test, así como los ensayos de bombeo, se utilizó el programa ISOAQX (Hydralogic, 1988) que permite el uso de dos modelos para calcular las características hidráulicas de los materiales ensayados (Cooper et al, 1967 y Bouwer

y Rice, 1976), obteniendo unos resultados muy similares con los dos modelos. La diferencia básica entre ambos métodos radica en que mientras el esquema de Cooper et al. se basa en que el flujo desde la zona ensayada al acuífero (confinado) es horizontal y el pozo es totalmente penetrante, el modelo de Bouwer y Rice se emplea para acuíferos libres con pozos total o parcialmente penetrantes. Numéricamente el modelo de Cooper emplea un método iterativo para, a partir de unos valores iniciales de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, alcanzar una solución siempre que la diferencia entre dos iteraciones sea inferior a un error de cierre preestablecido. Por el contrario el modelo de Bouwer y Rice es un método semigráfico, que da como resultado directamente la permeabilidad. Los resultados obtenidos, con indicación de la zona ensayada en cada uno de los sondeos y cuya situación en cuanto a litología se refiere se puede observar en las columnas estratigráficas que se acompañan (imágenes de la 31 a la 34), se exponen en la tabla 11.

Litología	Permeabilidad (m/s)
Conglomerado	$10^{-8} - 10^{-7}$
Limo-caliche	$10^{-9} - 10^{-8}$
Caliza	$10^{-9} - 10^{-8}$
Margas	$10^{-6} - 10^{-5}$

Tabla 10.- Permeabilidades medias (CGS-Cepsa, 1992)

Sondeo	Tramo ensayado	Transmisividad (m^2/s)	Permeabilidad (m/s)
HL1	70,75-102,72	$7,5 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-6}$
HL2	92-122 138-148	$2,5 \times 10^{-5}$	$6,25 \times 10^{-7}$
HL3	74,2-90,2 102,4-118,4 130,6-144,6	$4,6 \times 10^{-5}$	10^{-6}
HL4	85,2-107,3 115,4-123,4	$2,1 \times 10^{-4}$	7×10^{-6}

Tabla 11.- Resultados para Ensayos Slug-Test

9.4.- Ensayos De Bombeo

Los ensayos de bombeo convencionales, es decir mediante bomba sumergible con un caudal punta de 3 l/s aproximadamente, se realizaron en los sondeos cortos (HC), que habían llegado hasta la caliza y que por tanto cortaron el acuífero principal situado por encima de ella, objeto de estas pruebas. El caudal y tiempos de bombeo, se fueron variando en cada uno de los sondeos, en función de las evoluciones de los niveles piezométricos, que se iban midiendo de igual manera que en los Slug-test.

Para la interpretación (análisis de las curvas tanto en ascenso como en descenso del nivel piezométrico), se han empleado los métodos en régimen variable, en los cuales se interpreta la evolución del descenso a lo largo del tiempo y no el descenso total (régimen permanente), de Theim (1906) y los gráficos de Theis (1935), Theis et al (1963) y de Jacob (1940) y Jacob (1963). El primero de ellos se utiliza cuando se consigue la estabilización del nivel, además es necesario conocer el descenso producido en cada uno de los escalones del ensayo, caudal extraído en cada uno de ellos, radio del pozo y radio de influencia del mismo, factor éste último desconocido por lo que se han probado valores de 100, 500 y 1.200 metros, interpolando posteriormente los resultados.

El método gráfico de Theis, se realiza a partir de una curva patrón descensos/tiempos de éste autor y se superpone con la curva del ensayo en papel doble logarítmico, desplazando los ejes paralelamente a sí mismos, hasta su coincidencia más perfecta, obteniendo pares de valores (de la curva patrón con un punto de la curva del campo), con lo que ya se puede operar con la fórmula:

$$T = \frac{Q W_{(u)}}{4 \pi d}$$

En la que:

T = Transmisividad

Q = Caudal de bombeo constante

$W_{(u)}$ = Función del pozo (obtenido de la curva patrón)

d = Descenso del nivel piezométrico (obtenido de la curva de campo)

El método de Jacob es una variante del de Theis, para ello es necesario representar en papel semilogarítmico los valores de campo, en ordenadas el descenso en metros mientras que en el eje de abscisas y a escala logarítmica, los tiempos desde el inicio del ensayo en minutos. A continuación debe de ajustarse una recta con los puntos obtenidos. La transmisividad no es más que la pendiente de la curva, con lo que tenemos:

$$T = 0,183 \frac{Q}{\Delta d}$$

Durante la ejecución se fueron tomando muestras para la determinación de la conductividad y temperatura del fluido, obteniendo unos valores de 507 a 965 $\mu\text{S/m}$ y de 16,5 a 17 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Los resultados obtenidos de estos ensayos de bombeo, realizados sobre las margas-arenosas que soportan el acuífero principal, quedan recogidos en la tabla 12.

Por otra parte, los ensayos de bombeo realizados en los pozos de gran diámetro pero de escasa profundidad y por tanto excavados en los limos superiores por encima de las margas, provocaron una bajada muy rápida del nivel piezométrico, mientras que se necesitan unos tiempos de recuperación muy altos, con los consiguientes valores de transmisividad relativamente bajos, del orden de 10^{-6} m/s, pero que quizás sean menores debido a que no es posible la interpretación de los datos de descenso a causa del efecto de capacidad del pozo y que por tanto poseen un carácter lineal, y tan sólo se realizó esta interpretación con los de recuperación, con los que también hubo ciertas dificultades.

El agua extraída en estos casos, presentaba una conductividad mínima de 248 $\mu\text{S/m}$ y máxima de 874, mientras que la temperatura fue siempre constante de 15 $^{\circ}\text{C}$.

Sondeo	Tramo ensayado	Transmisividad (m^2/s)	Permeabilidad (m/s)
HC1	28,30-58,30	$2,3\text{-}4 \times 10^{-6}$	10^{-7}
HC2	43,30-57,30 63,40-75,40	$4\text{-}5,6 \times 10^{-6}$	2×10^{-6}

HC3	25,15-39,35 48,50-60,70	$2,0-2,7 \times 10^{-2}$	9×10^{-4}
HC4	35,00-54,00 63,00-72,00	$3,5-4,7 \times 10^{-4}$	$1-2 \times 10^{-5}$

Tabla 12.- Resultados de los ensayos de bombeo. CGS-Cepsa, 1992

9.5.- Ensayos de Bombeo por Inyección de Aire

Los ensayos de bombeo con inyección de aire se realizaron en el doblete largo de los sondeos hidrogeológicos, es decir el que llegaba incluso a cortar el Carbonífero, debido a la imposibilidad de introducir una bomba con la suficiente capacidad de bombeo, como consecuencia del reducido diámetro de dichos sondeos. También se ensayó el HC3 puesto que con el bombeo convencional apenas si se había conseguido deprimir el nivel piezométrico, por tanto y a excepción de este último, el tramo ensayado era el Pérmico basal o conglomerado arenisco-cuarcítico en contacto directo con los materiales paleozoicos del carbonífero.

Se recurre a una metodología similar a la empleada en la ejecución de pozos de captación de agua, Pérez, 2013, basada en la perforación rotativa.

La interpretación del bombeo (en sondeo HL-1) se ha efectuado considerando régimen permanente. Así, para el descenso medio comentado de 19,35 m, un caudal de extracción de 0,6 l/s y radios de influencia de 100, 500 y 1200 m, se obtienen las transmisividades siguientes:

R(m)	T (m ² /d)	T (m ² /d)
100	3,35	$3,9 \times 10^{-5}$
500	4,04	$4,7 \times 10^{-5}$
1200	4,41	$5,1 \times 10^{-5}$

Tabla 13.- Transmisividades obtenidas HL-1. CGS-Cepsa, 1992

En lo que se refiere a la recuperación, el valor de transmisividad obtenido es de $7,2 \text{ m}^2/\text{d}$ ($8,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) que, aunque algo superior a los anteriores, está en el mismo orden de magnitud.

Por otra parte se han analizado tanto los descensos como la recuperación de niveles observados en el sondeo HC-1 (situado a 8,5 m de HL-1), considerando, aunque no es así, que ambos representan el mismo acuífero. Este piezómetro registró un descenso total de casi 2 m durante el bombeo en HL-1. Ello indica, que los valores de transmisividad, junto con la rápida respuesta de HC-1 al bombeo en HL-1, posiblemente haya una conexión entre los dos acuíferos a través del entubado de HL-1. Así pues, al bombear en el HL-1 en realidad se estaría extrayendo agua de los dos niveles acuíferos.

En HL-2. se efectuaron dos pruebas de inyección. La interpretación de los resultados en la primera prueba se ha efectuado, como en el caso de HL-1, por el método de Thiem. Así para un descenso de 19 m y un caudal de 0,35 l/s, se obtienen las transmisividades para distintos radios de influencia del bombeo:

R(m)	T (m ² /d)	T (m ² /d)
100	1,99	2,3x10 ⁻⁵
500	2,40	2,8x10 ⁻⁵
1200	2,62	3,0x10 ⁻⁵

Tabla 14.- Transmisividades obtenidas HL-2. Primera prueba. CGS-Cepsa, 1992

La recuperación presenta peores características que las observadas en el bombeo de HL-1, dado que fue más rápida.

Los datos de la segunda prueba de inyección realizada en este sondeo, con un descenso medio de 26,5 m y caudal de 0,46 l/s, han arrojado los siguientes resultados:

R(m)	T (m ² /d)	T (m ² /d)
100	1,89	2,2x10 ⁻⁵
500	2,30	2,6x10 ⁻⁵
1200	2,50	2,9x10 ⁻⁵

Tabla 15.- Transmisividades obtenidas HL-2. Segunda prueba. CGS-Cepsa, 1992

En resumen se observa, que la segunda prueba ha dado prácticamente los mismos resultados que la primera con los datos de descenso, mientras que las recuperaciones no parecen fiables debido a un claro efecto de recarga. Por otra parte, debe recordarse que el slug-test realizado en este mismo sondeo dio una transmisividad de 2,2 m²/d, por lo que los ensayos realizados ahora confirman el resultado obtenido.

En el HL-3, y utilizando la misma metodología que en los casos anteriores, el cálculo de transmisividad ha arrojado los siguientes resultados:

R(m)	T (m ² /d)	T (m ² /d)
100	3,65	4,2x10 ⁻⁵
500	4,40	5,1x10 ⁻⁵
1200	4,81	5,6x10 ⁻⁵

Tabla 16.- Transmisividades obtenidas HL-3. CGS-Cepsa, 1992

La recuperación por su parte dio un resultado de 3,4 m²/d, muy similar al obtenido con los datos de descenso. Como en los casos anteriores, el resultado obtenido por este método es muy similar también al proporcionado por el slug-test realizado previamente, que fue de unos 4 m²/d.

En HL-4, la aproximación para el cálculo de la transmisividad ha sido diferente, puesto que la mayor parte del ensayo se ha realizado sin obtenerse la estabilización del nivel en el sondeo, aplicando por tanto las soluciones en régimen variable de Theis y Jacob.

R(m)	T (m ² /d)	T (m ² /d)
100	1,89	2,2x10 ⁻⁵
500	2,30	2,6x10 ⁻⁵
1200	2,50	2,9x10 ⁻⁵

Tabla 17.- Transmisividades obtenidas HL-4. CGS-Cepsa, 1992

El resultado por el método de Theis obtenido es de 5,2 m²/d, mientras que por el de Jacob, es de 5,31 m²/d, prácticamente idénticos.

En lo que respecta a la recuperación, el resultado obtenido es de 2,9 m²/d. Debe notarse aquí también, el efecto de recarga, que produce una recuperación más rápida que la teórica. No obstante, es de pequeña magnitud y puede despreciarse.

Para HC-3, la interpretación se ha realizado por los mismos métodos que los utilizados en los casos de ensayos de bombeo convencionales con bomba sumergible. Los análisis de conductividad dieron unos valores de 529 a 914 µS/cm (similares a los del acuífero principal), así como una temperatura del agua de 14 a 16,5 °C (ligeramente inferior).

9.6.- Testificación Geofísica

La testificación geofísica se ha realizado con el equipo Century Compu-Log III de la Compañía General de Sondeos (C.G.S.) en los cuatro sondeos hidrogeológicos largos, haciendo pasar las sondas Gamma natural, neutrón-neutrón y densidad, (ha de tenerse en cuenta de que los citados sondeos se encontraban entubados con tubería de hierro, por lo que no se han podido hacer correr otros tipos de sondas tales como la sónica), obteniendo diferentes parámetros de la roca (densidad, porosidad, fracturación, radiación gamma natural, etc.) y también del fluido contenido en el pozo (temperatura).

Sondeo	Tramo Ensayado	Transmisividad (m ² /s)	Permeabilidad (m/s)
HC3	25,15-39,35 48,50-60,70	6,4 x 10 ⁻³	2,4 x 10 ⁻⁴
HL1	70,75-102,72	3,9-8,3 x 10 ⁻⁵	1,9 x 10 ⁻⁶
HL2	92,00-122,00 138,00-148,00	2,3-3 x 10 ⁻⁵	6,6 x 10 ⁻⁷
HL3	74,20-90,20 102,40-118,40 130,60-144,60	3,9-5,6 x 10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
HL4	85,20-107,30 117,40-123,40	3,6-6,1 x 10 ⁻⁵	1,7 x 10 ⁻⁶

Tabla 18.- Resultados ensayos de bombeo por inyección de aire. CGS-Cepsa, 1992

En las imágenes 31 a 34 se ha representado también la porosidad en cada uno de los sondeos, pues se ha considerado este parámetro como el más importante y representativo desde el punto de vista hidrogeológico de los obtenidos mediante la testificación geofísica.

9.7.- Sísmica de Reflexión

Se ha hecho uso de los resultados de una amplia campaña de sísmica de reflexión efectuado con fines exploratorios del yacimiento carbonífero por la compañía inglesa British Coal Corporation. Con ello se ha podido confirmar la posición de las distintas unidades del Pérmico, fundamentalmente los conglomerados y la caliza (se comportaron como buenos reflectores), a lo largo de las líneas efectuadas y que sumaban 10,5 Km de

longitud total, tanto dentro como fuera del horst. También se ha podido determinar la posición más exacta de las fallas de cierta importancia existentes en la zona.

10.- DINÁMICA HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO

El esquema de funcionamiento hidráulico de las aguas subterráneas de los materiales que conforman la cobertera postcarbonífera en el horst de La Camocha, está claramente condicionado tanto por la propia estructura y características hidráulicas de los mismos, como por la existencia de niveles jurásicos en los bordes del sistema considerado.

De una forma simplificada, se puede afirmar que la recarga de este acuífero multicapa pérmico, se realiza a través de las precipitaciones caídas directamente sobre la superficie, además de las aportaciones laterales, de no demasiada importancia (aparente en un principio), procedentes de los importantes acuíferos carbonatados existentes en el Jurásico. El agua procedente de la lluvia recarga inicialmente los materiales superficiales, que rápidamente hacen ascender el nivel piezométrico, para posteriormente transmitir verticalmente, y de una forma difusa, el agua al acuífero inferior o principal de las margas oquerosas, ya que éste tarda un período de tiempo en reflejar la subida de su nivel como consecuencia de las precipitaciones y que siempre presenta un nivel inferior.

La descarga, se realiza fundamentalmente por la evapotranspiración, infiltraciones a la mina, drenaje directamente hacia el río Piles y pequeños manantiales.

Teniendo en cuenta el trazado de las líneas de flujo (imagen 29), junto con los datos de piezometría disponibles en el área ocupada por el horst, se pone de manifiesto la evidencia de un flujo de las aguas subterráneas con una componente vertical como consecuencia de la existencia de varios niveles piezométricos en profundidad (limos arcillosos superiores, margas y conglomerados), así como unas componentes horizontales de flujo que responden a la disposición de la propia estructura, con un gradiente general de dirección SO-NE.

Por lo que respecta al Carbonífero, se puede decir que estos materiales presentan una baja permeabilidad (del orden de 10^{-10} m/s), lo que unido a que la Falla de Llantones en la zona SO parece sellar bastante bien su contacto con el Pérmico del graben del

Oeste, justifica los relativamente pequeños caudales que se drenaban en la mina, del orden de 70 m³/hora. Este aporte procede fundamentalmente del acuífero conglomerático basal pérmico por la zona centro del horst (consecuencia de haber llegado las labores mineras a contactar con dichos materiales), así como del contacto de los talleres de explotación con la Falla de Granda (al nivel de las capas 7 hasta la 15/16), que hace de medio transmisor del agua existente en los distintos niveles pérmicos, sin descartar una posible conexión con la descarga del subsistema jurásico Gijón-Villaviciosa.

No obstante, no se debe menospreciar el flujo de agua que se puede provocar en el Carbonífero debido a su baja permeabilidad, pues se tiene que tener en cuenta la compleja estructura que presenta, además de todos los huecos y fracturas generadas como resultado de las explotaciones de capas de carbón iniciadas en la década de los años 30.

En la imagen 30 se simplifica cuantitativamente de manera gráfica, los diferentes términos que intervienen en el balance hídrico del sistema en la zona de estudio y en las condiciones actuales. Como se puede observar, a grandes rasgos, la salida del sistema es principalmente por infiltración de los acuíferos a las explotaciones de la Camocha debido a un gradiente de flujo con una componente vertical, y en segundo lugar por descarga directa de las aguas subterráneas al Río Piles (colector último de todo el sistema hídrico) debido al gradiente de flujo con componente horizontal anteriormente expuesto.

11.- INFLUENCIA DE LAS EXPLOTACIONES EN EL ACUÍFERO

Desde septiembre de 1935 hasta junio del año 1985, el arranque de carbón en Mina La Camocha, tan solo se realizó con los medios convencionales, es decir con pica en un principio y poco después ya con martillo picador de aire comprimido. En cualquier caso se realizaba el relleno del postaller con estéril procedente del lavadero y de preparación de la mina. Al tratarse de capas subverticales, podemos considerar que se efectuaba un buen llenado de los huecos abiertos.

Entre la última fecha y hasta principios del año 1990, se fue evolucionando de forma paulatina el método de explotación de manual a rozadora eléctrica bien con posteado de madera o bien mediante entibación metálica autodesplazable. En cualquier caso seguiríamos en la misma situación respecto a las influencias que pudiésemos ocasionar al acuífero, puesto que se seguía rellenando el postaller.

En esta situación, las entradas principales de agua siempre coincidían con fenómenos locales tales como el haber tocado el conglomerado pérmico en 1ª planta, o el haber llegado a la falla de Granda con varios talleres de explotación entre 2ª y 5ª planta o en menor medida el acercarse a la falla de Llantonos en la zona Noroeste del horst.

Fue en el año 1990 cuando ya comenzaron las explotaciones mediante subniveles horizontales en capas de gran potencia (sutiraje), y más tarde (desde 1994 y hasta junio de 2004) el deshulle de la zona tumbada del yacimiento (noroeste del horst). En ambos casos no se utilizaba ningún tipo de relleno, por lo que la influencia en el acuífero y en la superficie si se podría hacer notar.

Durante estas fases con hundimiento, iba subiendo ligeramente y de forma paulatina el aporte de agua a estos talleres, pero se iba mitigando con el paso del tiempo, a la vez que evolucionaba hacia la zona más próxima del hundimiento más reciente. Se trataba sin duda de agua procedente directamente del acuífero, ya que en ocasiones el frente de explotación se hacía en retirada y alejándose de la falla de Granda (que si podría transmitir el agua) y por tanto, el hueco deshullado facilitaba el aislamiento de dicha falla.

Este comportamiento se reflejaba en el acuífero, bajando el nivel piezométrico con el paso de los frentes de explotación.

También se pudo comprobar mediante la testificación geofísica de los sondeos hidrogeológicos, una ligera apertura de las diaclasas y grietas existentes en el Pérmico, hecho éste que aumentaba la permeabilidad de los materiales y por tanto permitía la filtración de agua del acuífero a la mina.

Una vez que pasaba el frente de explotación la zona del sondeo instrumentado al efecto, se volvía a recuperar el nivel piezométrico así como a cerrar las grietas existentes.

12.- ABANDONO DE LOS TRABAJOS MINEROS

Como consecuencia de la finalización de las labores mineras, se produce el cese de todos los trabajos desarrollados tanto en el interior como en el exterior de la mina.

El cierre de estos trabajos, el 31 de diciembre del año 2008, lleva consigo dejar de bombear las aguas infiltradas a la mina, tanto desde 5ª planta como desde 7ª planta, puntos éstos desde los cuales se evacua el agua directamente a la calle (imagen 35).

Este hecho provocará lógicamente una inundación de la mina hasta llegar a un equilibrio con el nivel piezométrico del acuífero en los diferentes pozos excavados (pozo 2, pozo 3, pozo de rellenos y pozos de ventilación de Granda y de Leorio). Antes de llegar a este nivel de equilibrio, se tendrán que rellenar con un aporte de unos 70 m³/hora (bombeo actual) los siguientes huecos:

- Llenado de las actuales galerías en pie (40 km).
- Llenado de todas las galerías abandonadas (según los datos históricos de planes de labores más de 700 km).
- Llenado de los huecos de los talleres de explotación con relleno.
- Llenado de los huecos y cámaras de los talleres con hundimiento.
- Llenado de las fracturas ocasionadas por la explotación tanto en el Carbonífero como en el Pérmico.
- Recarga de los niveles acuíferos pérmicos, fundamentalmente del conglomerado y de las margas oquerosas.

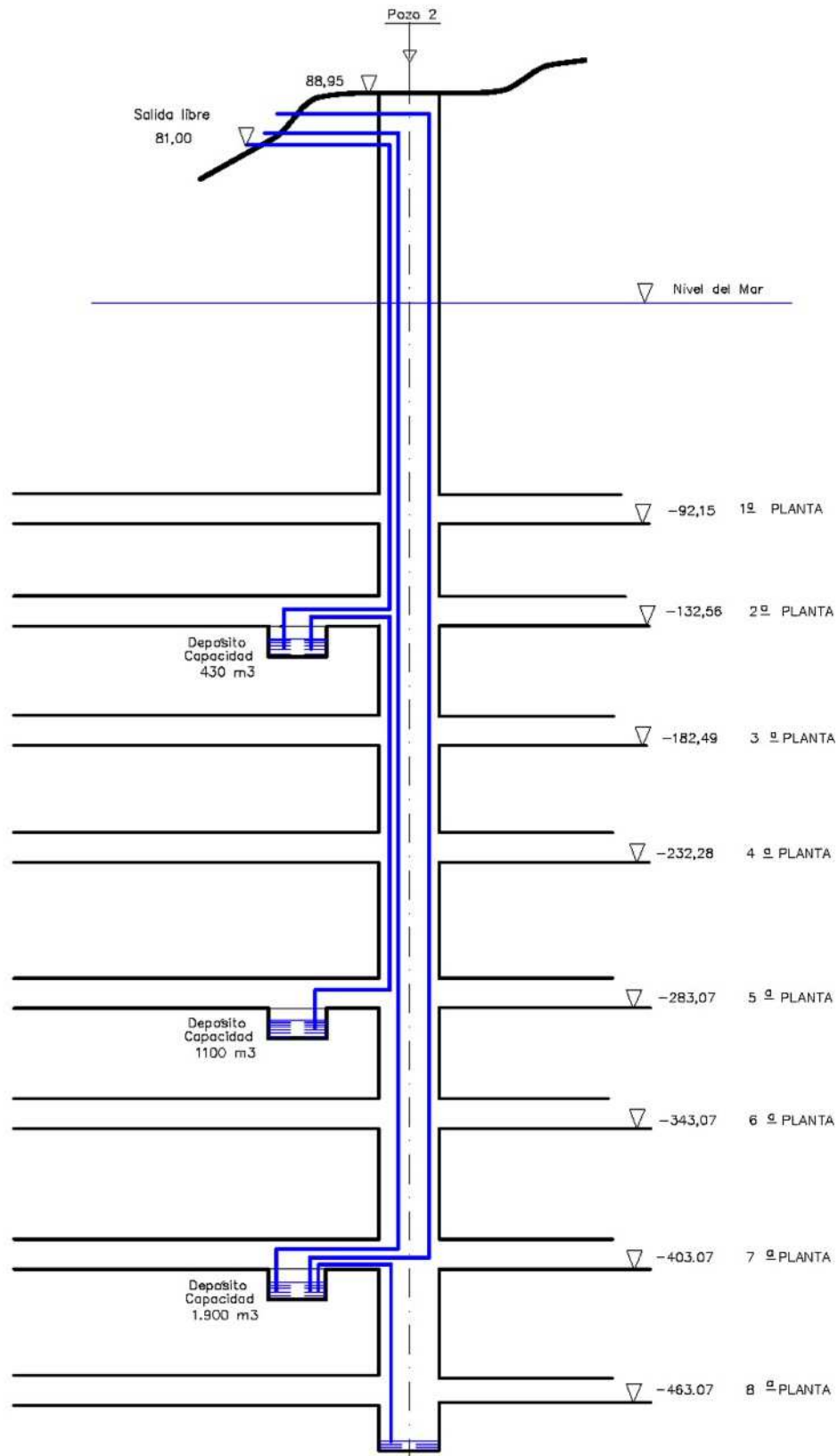


Imagen 35.- Esquema inicial de desagüe de la mina. Base documental Mina la Camocha

Una vez llenados estos huecos y llegando al nivel de equilibrio natural del acuífero, se volvería a la situación inicial, es decir antes del inicio de la explotación de carbón en el

yacimiento de Mina La Camocha, que se ha podido constatar en base a una investigación de campo y preguntando a la gente de mayor edad de los lugares más conflictivos. Con todo ello, se ha llegado a la conclusión de que previsiblemente habría zonas que hoy en día se encuentran secas y que podrían pasar a ser zonas de descarga del acuífero, y por tanto, a constituir nuevos humedales, siempre claro está, en ausencia de medias correctoras y de control adecuadas.

13.- EFECTOS HIDROLÓGICOS

La posibilidad de encharcamiento y creación de humedales una vez recuperada la situación inicial (semejante a la anterior al inicio de la actividad minera), podría afectar a zonas que actualmente se encuentran regularmente pobladas, con construcciones de todo tipo y relativamente modernas. Este efecto crearía una devaluación tanto de los terrenos como de las construcciones de la zona, por lo que se hace imprescindible para impedir tal situación, tomar preventivamente las medidas correctoras adecuadas, partiendo del hecho evidente de cierre de la mina y por tanto de la supresión del bombeo en el interior.

Debido al afloramiento del nivel piezométrico en algunas zonas, se producirá un cambio en las características geomecánicas del macizo rocoso y por tanto del suelo. Este cambio siempre sería negativo, más aún si estos cambios son diferenciales en el espacio, lo que implicaría un riesgo en la conservación de las construcciones existentes en este área. La presencia saturada de agua en el suelo también puede tener su influencia negativa en la conservación de las cimentaciones de las edificaciones.

Estas zonas de posible encharcamiento serían las siguientes:

- Zona al Norte del Arroyo Llantero, desde casi la entrada en el horst del yacimiento hasta su desembocadura en el río Piles, zona esta en la que también podría afectarse el otro margen del río.
- Zona al Oeste del río Piles, unos 500 metros antes de su entronque con el Llantero y hasta unos 1.000 metros después.

Asimismo se podría pensar en que con el llenado de todos los huecos existentes y el afloramiento del nivel piezométrico, se producirá un cierto efecto sobre los cauces fluviales de la zona. No obstante, como parece lógico, el caudal que se vertería con las soluciones o medidas correctoras que se propongan, no debería ser superior al caudal actual de bombeo, y por tanto, no habría un cambio significativo en las condiciones actuales. En la Confederación Hidrográfica del Norte, no existen aforos de estos cauces, por lo que se han tomado como base los aforos facilitados en la documentación a que se ha tenido acceso.

De acuerdo con los datos obtenidos de la campaña foronómica mediante micromolinetes realizada en junio de 1991, en el momento actual, el río Piles alcanza un caudal total de 206 l/s, lo que se traduce en que el aporte de la mina representa un 9,4% del caudal total y por tanto, si la situación futura no varía respecto a la actual, no debe de haber repercusión alguna en el citado río, y dada la pequeña incidencia que representan este porcentaje en el caudal total del río, el tiempo de llenado de la mina, y como consecuencia la falta de aporte durante este tiempo procedente de la mina, no tendrá relevancia significativa en las condiciones hídricas actuales del río Piles.

14.- ARCILLAS EXPANSIVAS Y YESOS

En el marco del presente estudio, uno de los puntos a considerar, en relación directa con el cese de la actividad minera y la inundación de las explotaciones por el agua procedente de los acuíferos superiores, es la posible existencia de arcillas expansivas y de yesos en dichas formaciones que por su naturaleza pudieran afectar a las estructuras y edificaciones del entorno de la mina.

El problema de los suelos expansivos existe prácticamente en todas partes del mundo (Jiménez, 1981 y Das, 2000) y España no está exenta del mismo. Sus resultados, es decir, el levantamiento, rotura y daño de pavimentos, edificaciones ligeras, revestimientos de canales y embalses ocasionan cuantiosas pérdidas (Delgado et al. 2009).

Las arcillas expansivas, pertenecen a un grupo mineralógico muy amplio de materiales de naturaleza química silíceas denominados silicatos. Dentro de estos, en función de la

distribución de los tetraedros de SiO_4 - se clasifican sistemáticamente dentro de los filosilicatos o silicatos laminares. Así, a grandes rasgos y en función del tipo de arcilla, entre lámina y lámina, se emplazarán en mayor o menor medida las moléculas de agua que producirán el hinchamiento.

Los materiales arcillosos que son susceptibles de sufrir hinchamiento o procesos de expansividad (Camacho, 2006), que permiten una entrada muy grande de agua entre las láminas de su estructura, son principalmente los pertenecientes al grupo de las esmectitas. Como apunte, indicar que cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación o separación de las láminas, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales, que dan lugar a propiedades especiales como las de los lodos estabilizadores tixotrópicos o bentonitas. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

Grupo de las esmectitas (arcillas expansivas más representativas)		
Montmorillonita	Nontronita	Saponita
$(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	$\text{Na}_{0,3}(\text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$(\text{Ca}, \text{Na})_{0,3}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Tabla 19.- Esmectitas

En general y de forma orientativa, el grado de expansividad se puede determinar en función de las propiedades geotécnicas de los suelos según el cuadro adjunto:

Expansividad	Límite de retracción	Índice de plasticidad	Límite líquido	Contenido en finos	Hinchamiento en superficie (cm)	Presión de hinchamiento (kg/cm^2)
Baja	>15	<15	<30	<30	0-1	<0,5
Media	11-15	15-30	30-45	30-60	1-2	0,5-1,2
Alta	<11	>30	>45	>60	2-3	>1,2

Tabla 20.- Propiedades geotécnicas de los suelos

Los yesos son, juntamente con las calizas, los materiales de precipitación química más abundantes en España. Se engloban en las formaciones evaporíticas resultantes de la precipitación de las sales disueltas en las aguas, marítimas o continentales, que proceden de la disolución de materiales rocosos que aportan los iones componentes de las sales.

El yeso en su forma natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sulfato cálcico bihidratado) se presenta en forma de yeso cristalino o fibroso y también en forma de anhidrita o karstenita, sulfato cálcico, CaSO_4 , presentando una estructura compacta y sacaroidea, que absorbe rápidamente el agua, ocasionando un incremento en su volumen hasta de 30% o 50%. El yeso cristaliza en la clase holoédrica o prismática del sistema monoclinico y se han reconocido y descrito hasta 30 formas cristalinas diferentes (García et al. 2011). Por tanto es altamente soluble en agua, pudiendo llegar a ser problemática su presencia, en cantidad, en la realización de infraestructuras y edificaciones, si no se toman las medidas oportunas.

Según se expone en la descripción geológica del yacimiento, en la zona de La Camocha y alrededores, la sedimentación pérmica comienza con el depósito de la denominada formación Caravia, formada por conglomerados, areniscas y limos en la base, a los que siguen caliches, brechas calizas, margas rojas y limos arcillosos y terminando con margas y arcillas superiores.

Por encima de ella se deposita la formación Fuentes, de edad Triásico superior o Jurásico inferior, compuesta por: arcillas marrones y pizarras negras expansivas con abundantes venillas y niveles de anhidrita y yeso fibroso y/o cristalino.

Debido al efecto de la tectónica Alpina, se produce un rejuego de las fallas de Llantonés, Granda y Matona, produciendo el levantamiento de los materiales situados entre ellas (“Horst de la Camocha”) y el hundimiento de los materiales situados a ambos lados (“Graben laterales o adyacentes”).

Como consecuencia de ello, los materiales situados en el Horst están fuertemente erosionados, desapareciendo los materiales de la formación Fuentes y el techo de la formación Caravia, como se puede ver en la imagen 37.

Con ello se produce la desaparición de los materiales en los cuales se sitúan las arcillas expansivas y yesos, como puede comprobarse en la descripción de las columnas litológicas de los sondeos citados.

Por tanto, se puede decir a tenor de los datos existentes, que en la zona de estudio no existen en cantidades significativas ni arcillas expansivas ni yesos que pudieran dar lugar a problemas estructurales en caso de que se produjera un ascenso piezométrico importante en la zona, por el abandono y cese de las labores mineras que se han llevado a cabo.

15.- CONTROL Y SEGUIMIENTO HIDROLÓGICO

Existen varios puntos y zonas donde poder comprobar el comportamiento del macizo rocoso desde el punto de vista hidrogeológico, debido al cese de bombeo del agua del pozo de Mina La Camocha.

Para el estudio indicado, que se centrará exclusivamente en los pozos 2 y 3, se diseña el siguiente itinerario:

- Localización de los piezómetros mediante coordenadas UTM con equipo GPS de campo.
- Medida de niveles piezométricos mediante hidronivel portátil.

Esto puede resumirse en el seguimiento de la evolución de los niveles de agua, mediante la introducción en el pozo de un piezómetro o freatómetro, que a través de medidas periódicas de dicho nivel, nos indique la velocidad de ascenso de las aguas en la estructura minera. Las medidas se realizaron con un equipo de control del tipo denominado freatómetro serie BFK, que resulta ideal para mediciones del nivel en pozos y depósitos.

Los freatómetros de la serie BFK se componen de un cable redondo (diam. 4.7 mm) de cuatro conductores, anima en kevlar, camisa en PVC con graduación cada centímetro, y funda de protección en poliuretano antirralladura. Entre sus características principales están:

- Diámetro sonda: 10 mm.
- Señalización acústica y visual al encontrar el nivel.
- Disponible dispositivo de señalización de fondo bajo encargo.

Se encuentran disponibles con cables de longitud estándar variable de 30 a 1000 metros, lo que cubrió sobradamente las necesidades reales del objetivo de este proyecto.

Para la toma de datos, en el tapón de los pozos nº 2 y nº 3 se ha dejado un registro formado por un tubo de 2" de diámetro, por donde se introduce la sonda de medida correspondiente.

Se realiza un control mensual de los niveles de agua en los puntos citados anteriormente, es decir, pozo nº 2 y pozo nº 3. Con los datos recogidos, se procede a realizar una interpretación de los resultados, para poder prever cual será el comportamiento de las aguas en el interior de la mina.

Se ha de significar la posibilidad de realizar medidas de control, exclusivamente como medidas de garantía, en los Pozos de Granda y Leorio, utilizados en la explotación de la mina como Pozos de retorno de ventilación, ante el hipotético caso de que exista en la estructura minera algún tipo de fenómeno que aisle partes de la propia estructura, y que produzcan algún tipo de inundación independizada, porque, si no sucediera esto, es lógico pensar que hasta que en el pozo nº 2 no se detecte el nivel de agua, a la cota de la

2ª planta, es prácticamente imposible poder detectar el nivel de agua en los pozos de ventilación anteriormente citados, tal y como se puede observar en la imagen 38.

15.1.- Evolución temporal de los niveles de agua

Se ha estimado ya con los datos disponibles, que el periodo de tiempo para restablecer la situación primitiva del entorno de Mina la Camocha, en cuanto al aspecto hidrogeológico es aproximadamente de ocho años y medio, en base a que con un aporte de unos 70 m³/año, es preciso rellenar los siguientes huecos:

- Actuales galerías en pie (aproximadamente 40 km).
- Galerías abandonadas (según los datos históricos de las planes de labores anuales, más de 700 km).
- Talleres de explotación con relleno.
- Llenado de huecos y cámaras de los talleres con hundimiento.
- Fracturas ocasionadas por la explotación tanto en el Carbonífero como en el Pérmico.
- Recarga de los niveles acuíferos pérmicos, fundamentalmente del conglomerado y las margas oquerosas.

Se precisan a continuación un poco más estos cálculos, siempre desde un marcado carácter conservador, y lógicamente con todos los condicionantes que un cálculo de este tipo basado en un modelo teórico puede conllevar.

Para ello, tan sólo se va a considerar el llenado de las labores de estructura minera, es decir, el llenado de las galerías tanto abandonadas como actualmente en pie, sin tener en cuenta todo el hueco susceptible de llenado en los talleres explotados, ni en el resto de zonas anteriormente citadas, pues no existe documentación suficiente para obtener los datos de superficie necesarios, ni se dispone de la posibilidad de acceder a las zonas que se deben inundar con la supresión del bombeo para obtenerla.

En cuanto a la sección útil de las galerías, se consideran 9 m² para las actualmente en pie (obviamente en embarques y anchurones, dicha sección es bastante mayor), y como media para las abandonadas, 7 m² de sección útil.

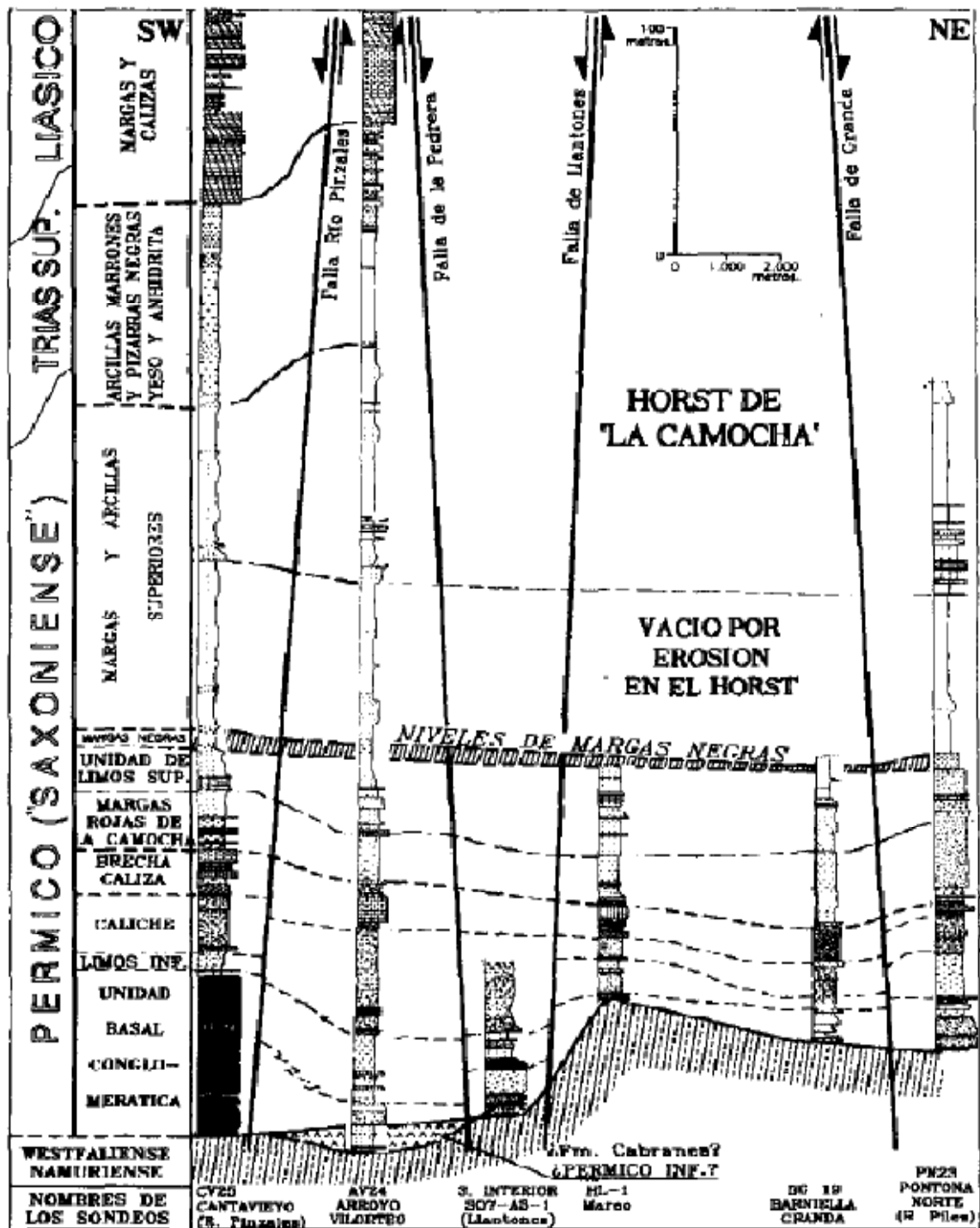


Imagen 37.- Correlación de sondeos y evolución tectónico-sedimentaria de la zona de la Camocha. Pieren et al. 1995

Tendremos pues, los siguientes volúmenes de huecos:

- Galerías en pie: $40.000 \text{ m} \times 9 \text{ m}^2 = 360.000 \text{ m}^3$
- Embarques y anchurones = 12.500 m^3 (Dato obtenido de los Planes de Labores)
- Galerías abandonadas: $700.000 \text{ m} \times 7 \text{ m}^2 = 4.900.000 \text{ m}^3$
- Total: $5.260.000 \text{ m}^3$

Considerando el caudal estimado como aporte a la mina, tendríamos:

- $70 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h/día} = 1.680 \text{ m}^3/\text{día}$

y por tanto se tendría

- $5.272.500 \text{ m}^3 : 1.680 \text{ m}^3/\text{día} \approx 3.139 \text{ días}$

lo que equivale a un periodo de unos ocho años y medio para restablecer la situación primitiva del entorno de la explotación, con posibles fenómenos de encharcamiento de diversa entidad, y de ahí, la necesidad de establecer controles y medidas correctoras.

15.2.- Registros de los niveles piezométricos

El nivel de base para comprobar la velocidad de ascenso de las aguas subterráneas, como consecuencia del abandono de las labores de bombeo en Mina la Camocha, se toma precisamente el que presentaba el agua a fecha 11 de noviembre de 2008, momento en el que la citada actividad de bombeo cesó. En ésta fecha el agua presentaba una cota de $-463,08 \text{ m}$ (respecto a la cota de superficie en la plaza de la mina), en la planta octava.

En la tabla 21 se indican las fechas de las mediciones, las coordenadas de ubicación de ambos puntos de medida, y se dan los siguientes resultados:

1. Altura sobre el nivel del mar del punto de posicionamiento del aparato de medida, coincidente con la boca de la tubería instalada en cada uno de los pozos.
2. Nivel piezométrico considerando la boca de las tuberías como origen de medidas.

3. Nivel de agua en la cota del pozo.

En la imagen 38 se representa a su vez un perfil de las cotas de las diferentes plantas de Mina la Camocha, así como su relación con los pozos de ventilación de Leorio y Granda.

Fecha	Pozo nº 2 USO 30 UTM X: 284.387,74; UTM Y: 4.818.194,59			Pozo nº 3 USO 30 UTM X: 284.537,32; UTM Y: 4.818.146,52		
	Altura (m.s.n.m.)	Nivel piezométrico medio (m por debajo boca tubería)	Nivel de agua Cota boca tubería	Altura (m.s.n.m.)	Nivel piezométrico medio (m por debajo boca tubería)	Nivel de agua Cota boca tubería
noviembre-08	88,95	552,02	-463,07	90,90	553,97	-463,07
enero-11	88,95	433,02	-344,07	90,90	436,41	-345,51
febrero-11	88,95	428,92	-339,97	90,90	431,85	-340,95
marzo-11	88,95	424,72	-335,77	90,90	427,58	-336,68
abril-11	88,95	424,62	-335,67	90,90	426,47	-335,57
mayo-11	88,95	424,47	-335,52	90,90	426,35	-335,45
junio-11	88,95	421,60	-332,65	90,90	423,48	-332,58
julio-11	88,95	417,59	-328,64	90,90	419,46	-328,56
agosto-11	88,95	413,26	-324,31	90,90	415,11	-324,21
septiembre-11	88,95	410,97	-322,02	90,90	412,83	-321,93
octubre-11	88,95	408,90	-319,95	90,90	410,82	-319,92

Tabla 21.- Resultado mediciones nivel de agua a cota de la boca de tubería de cada pozo

	Pozo	Cota terreno	Cota oct 2011	m faltan	Meses	Años
Granda	128,15	33,45	319,15	191,00	46,70	3,89
Leorio	132,20	70,80	319,15	186,95	45,71	3,81

Tabla 22.- Aproximación del tiempo restante para que comience la inundación de los pozos de ventilación

16.- POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS EFECTOS HIDROLÓGICOS.

El objetivo que se debe de pretender es mantener una altura en el nivel piezométrico del acuífero existente en el Pérmico, dentro del horst de La Camocha, más concretamente en el nivel de las margas oquerosas, es decir por encima de la capa calcárea que hace de muro a dicho acuífero, para que éste no llegue a aflorar en zonas que puedan perjudicar

la actividad que allí se viene desarrollando en la actualidad. Con el fin de lograrlo, puede actuarse realizando un drenaje natural desde el Pozo de ventilación de Granda.

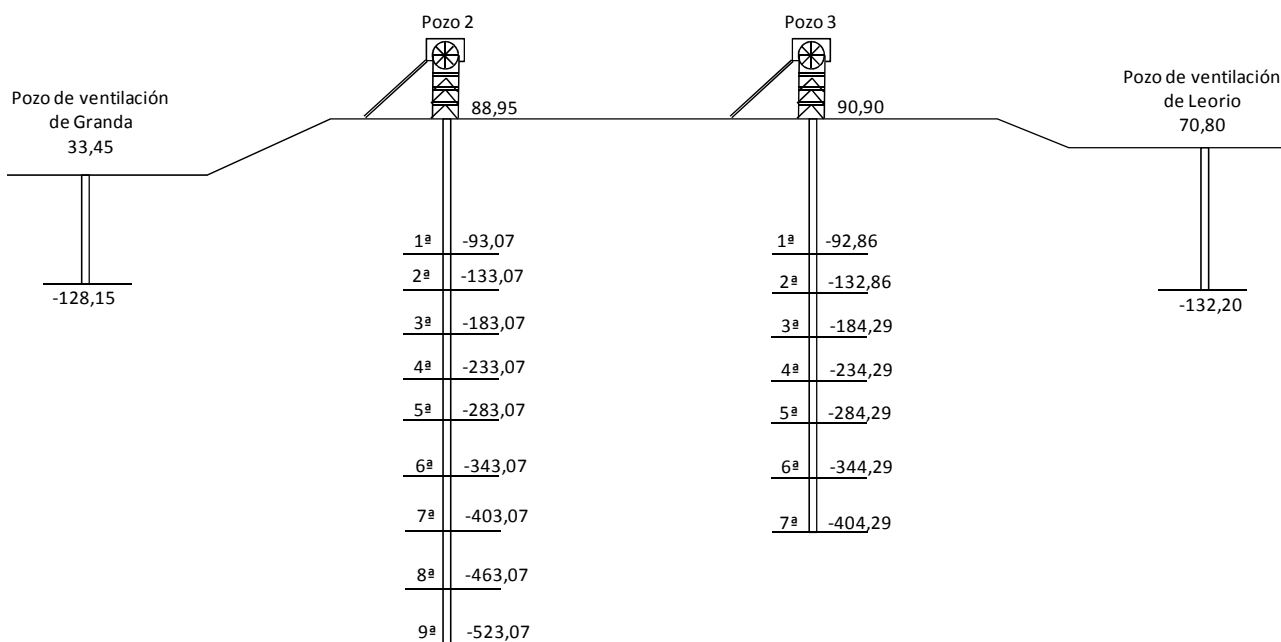


Imagen 38.- Perfil de plantas y pozos de ventilación (m.s.n.m.)

	Pozo	Cota terreno	Cota oct 2011	m faltan	Meses	Años
Granda	128,15	33,45	319,15	285,70	69,85	5,82

Tabla 23.- Aproximación del tiempo restante para anegar el exterior del pozo de Granda

Para ello se debería proyectar una toma de agua en el pozo Granda situado aproximadamente a cota 33 metros s.n.m., para ir a verter al río Piles, a un punto de cota aproximada 25 metros s.n.m, con lo cual estaríamos dentro del nivel piezométrico actualmente afectado por dicho río en la zona que nos ocupa (imagen 39), por lo que no existiría consecuencia alguna como resultado de la subida de nivel del agua procedente de la mina que pudiera ser diferente a la situación actual, lo que en definitiva, se traduce en una ausencia de encharcamientos o inundaciones diferentes a los que puedan existir en la actualidad.

Se proyecta a ésta profundidad, básicamente, porque es la cota más baja, que permite el drenaje natural hacia el río Piles, aparte de la viabilidad técnica de su ejecución.

Existe la posibilidad de acortar la longitud de tubería mediante la conducción al arroyo Llantones, pero la elección por llevarlo al río Piles se produce, en primer lugar, porque esta solución resulta más eficaz, pues permite bajar más el nivel piezométrico ya que

existe más diferencia de cota, y porque el escaso caudal que presenta el arroyo Llantonés podría verse afectado por la dilución del agua extraída de la mina, variando así sus características de calidad.

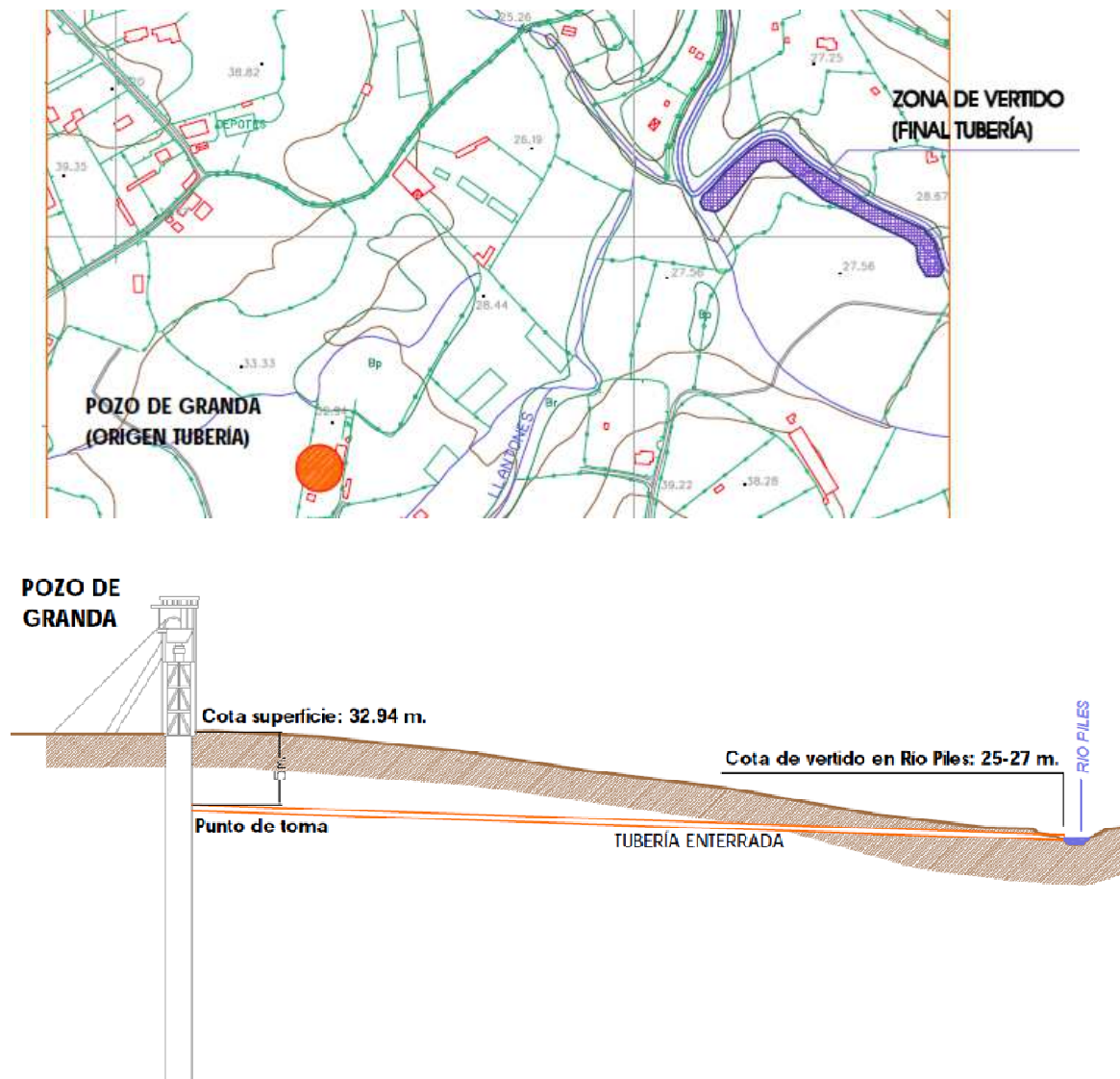


Imagen 39.- Medida correctora. Drenaje natural desde el pozo de ventilación de Granda

Se considera necesario citar el resto de motivos que llevan a la elección del pozo de ventilación de Granda como punto de salida de las aguas, estos son:

- a. Es el punto de cota más bajo de las instalaciones mineras de la empresa Mina la Camocha, S.A. con comunicación al exterior, mediante un pozo vertical hasta la 2ª planta de la mina.
- b. La proximidad al cauce del río Piles. La distancia más corta es aproximadamente de 470 m.

- c. Se dispone de un pozo hormigonado de amplio diámetro (más de 3 m) y más de 150 metros de profundidad, lo que en principio, parece asegurar su estabilidad.
- d. Al constituir uno de los retornos de ventilación de la mina, se encuentra comunicado con el resto de los pozos por galerías generales, de amplia sección y en buen estado de conservación y estabilidad, lo que hace más improbable la interrupción de la comunicación, y por tanto el aislamiento de una parte de la mina, y posible origen de embalses subterráneos independientes o con muy poca comunicación.

En el caso de que la solución anterior no fuese todo lo eficaz que se necesita, se podría recurrir al bombeo desde los sondeos propiedad de Mina La Camocha y que a día de hoy se encuentran con la instalación necesaria para su puesta en servicio. Son:

- a. El sondeo denominado “E” o sondeo “Vega”, que está situado frente a la antigua estación (actualmente en desuso) de bombeo y depuración de la mina; tiene un diámetro de perforación de 270 mm, y una profundidad aproximada de 90 metros. Ha sido entubado con tubería de hierro de 200 mm de diámetro, estando ranurado entre los metros 48 y 82 del mismo.
- b. El sondeo “H-9”, con una longitud total en torno a los 90 m. que se ha realizado en el paraje denominado de Los Franceses, en terrenos de la propia empresa, y justo al lado de un pequeño arroyo, que podría servir para la evacuación de las aguas. Está situado cerca del sondeo de investigación geológico - minera denominado "Los Franceses o S-20", tiene un diámetro de perforación de 500 mm, y ha sido entubado en tubería de hierro de 300 mm de diámetro, estando ranurado entre los metros 58 y 84 del mismo.
- c. El situado en los terrenos donde se encuentra el ventilador de Granda, con una profundidad de alrededor de 90 metros. En varias de las visitas efectuadas con motivo de la realización de esta tesis doctoral, se ha podido observar como el agua manaba por el sondeo de forma artesiana, tal y como se ilustra en la imagen 40.



Imagen 40.- Sondeo en las inmediaciones del pozo de ventilación de Granda. Surgencia artesiana

CAPÍTULO 5.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. ESCOMBRERAS DE MINA LA CAMOCHA

1.- INTRODUCCIÓN

A mayores de los efectos ya estudiados en capítulos anteriores (subsidencia e hidrología), la presencia de dos importantes escombreras, denominadas respectivamente escombrera Norte y Sur o de Bada, pueden ocasionar importantes efectos adversos en el lugar, entre los que a modo de lista indicativa, pueden citarse los siguientes:

1. Efectos medioambientales. Cuenca visual.
2. Efectos de inestabilidad de taludes.
3. Efectos contaminantes de los cauces fluviales y del acuífero por vertidos accidentales.
4. Compuestos orgánicos presentes en aguas de escombreras de carbón (Llamas et al., 2008).

Hay que considerar además que las escombreras de carbón presentan problemas específicos (López et al. 2002), debidos tanto a los materiales que las constituyen como a su comportamiento como depósito.

2.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO

En primer lugar se realizaron unas consideraciones teóricas y generales sobre la problemática de las escombreras de carbón, su definición, posibles tratamientos cara a la recuperación de los terrenos degradados, un somero análisis sobre la particularidad que pueden presentar estas escombreras en cuanto al riesgo de combustión y sus consecuencias.

Con estos antecedentes, se procedió a realizar el estudio propiamente dicho de las posibilidades de actuación en las escombreras Norte y Sur de Mina la Camocha, S.A., de forma individualizada, teniendo en cuenta las diferencias existentes tanto en su formación, como en los posibles tratamientos que se plantearán.

Para ello, se describe la situación actual de cada una de las dos escombreras, tanto desde el punto de vista de su composición, como de las características físicas (topografía,

volumen, etc.), para a continuación establecer las distintas posibilidades de actuación, de cara a controlar y conocer:

- Estabilidad de la escombrera
- Riesgo de combustión
- Recuperación de los espacios degradados
- Eliminación o disminución del impacto ambiental
- Valorización de los estériles
- Aprovechamiento del carbón existente

Para la realización de ésta tesis doctoral, se procedió a realizar un reconocimiento de toda la superficie de la escombrera, recogiendo una serie de muestras en varios puntos de la misma, que aunque es demasiado arriesgado afirmar que son representativas de todo el volumen de estériles allí depositados, dada la profundidad del propio depósito, si se pueden considerar bastante ajustadas a la realidad, en cuanto a la composición estrictamente a nivel superficial de la escombrera. Los resultados se resumen a continuación: % Humedad total = 4,43 -10,05; % Materias volátiles = 9,14- 9,63; % Cenizas = 86,07-88,02; % Azufre = 0,05-0,34; PCS (Kcal/kg) = 402-547.

Para la toma de muestras de la balsa de finos que se sitúa bajo la escombrera norte se tomaron muestras en el frente y zona al descubierto, para posteriormente analizarlos en el laboratorio de Carbominsa, dando valores comprendidos en los intervalos siguientes: % H = 14,46 - 15,22; % V = 18,67 – 23,62; %C = 43,41 – 61,03; %S = 1,52 – 1,75; PCS = 2.732 – 4.348.

3.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA PROBLEMÁTICA DE LAS ESCOMBRERAS.

Se denominan escombreras (Ayala y Rodriguez, 1986) a las acumulaciones de materiales gruesos procedentes de monteras o recubrimientos estériles, rechazo de las instalaciones de machaqueo, excavación de galerías, etc. En el caso de minería subterránea, como sucede en Mina la Camocha, S.A., estos estériles se producen como

consecuencia del material obtenido en la excavación de galerías y resto de infraestructura de la mina de interior, y de los procedentes del proceso de lavado y mejora de la calidad de los carbones obtenidos.

Los depósitos de estériles o escombreras, pueden clasificarse atendiendo a los siguientes criterios (Ayala y Vadillo, 2004):

1. Por sus dimensiones. Se considera escombrera cualquier acumulación de materiales que sobrepase los 25.000 m³ de volumen, 15 metros de altura entre su pie y la parte superior o coronación, o bien cuyo espesor de estéril sea superior a 10 m. En condiciones normales de homogeneidad y humedad del material se dividen en:
 - a. Grandes: Aquellas cuya altura sea superior a 30 metros.
 - b. Medianas: Aquellas cuya altura se sitúe entre 20 y 30 m.
 - c. Pequeñas. Cuya altura sea superior a 15m e inferior a 20m.
2. Por su emplazamiento. Se dividen en:
 - a. De vaguada, fondo de valle o cauce.
 - b. De ladera: Situadas sobre pendientes hasta el 8%.
 - c. De divisoria.
 - d. En llanura o exenta.
 - e. De relleno de corta o hueco minero.
3. Por el sistema de vertido. Se dividen en:
 - a. De vertido libre o por gravedad. En general no reglamentario, excepto en el caso de escombreras de pequeñas dimensiones o en el interior de minas activas siempre y cuando no existan riesgos de deslizamiento o inestabilidad.
 - b. De vertido libre por fases adosadas. Método más recomendable debido a su mayor estabilidad

- c. Escombreras con dique de retención en pie o tacón de escollera. Recomendable cuando los estériles a verter presenten diferentes litologías.
 - d. De vertido por fases ascendentes retranqueadas y superpuestas. Implican tongadas horizontales compactadas.
 - e. Estructuras mixtas. Aquellas que combina alguno de los métodos anteriores.
4. Por el método constructivo. Se dividen en:
- a. Por basculamiento final. Da lugar a franjas de material inclinadas de acuerdo con el ángulo de rozamiento interno del mismo.
 - b. Por tongadas horizontales compactadas. Método más general y recomendable debido a su mayor estabilidad.
5. Por su grado de riesgo potencial, estabilidad y coeficiente de seguridad. Debido a su posible deslizamiento, se dividen en:
- a. Clasificación por riesgo (Tipo A)
 - i. Escombreras tipo AI: Sin riesgos para personas, bienes, etc.
 - ii. Escombreras tipo AII: Riesgo moderado para personas, bienes, etc.
 - iii. Escombreras tipo AIII: Riesgo elevado para personas, bienes, etc.
 - b. Clasificación por seguridad ligada a la presencia de agua y problemas del cimentado (Tipo B)
 - i. Escombreras normales (Tipo BI). Sin efecto de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimentado.
 - ii. Escombreras sometidas a filtración (Tipo BII). Agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación.
 - iii. Escombreras en situación de inundación, inestabilidad por riesgo sísmico, etc (Tipo BIII)

Obviamente toda escombrera de forma general, ocupa un espacio que podemos considerar como espacio degradado, y que un vez cumplido su objetivo, es importante

tratar de recuperar de alguna forma. Clásicamente (Monterroso et al. 2004) los planes de restauración de suelos de mina han planteado como objetivos conseguir una cobertura vegetal estable, controlar la erosión y proteger la calidad de las aguas.

Cualquiera que sea la orientación, el alcance, el contenido y la metodología que se adopte, la recuperación de un espacio degradado se inicia como en cualquier intervención, con la generación de la idea de intervenir, sigue con una reflexión sobre la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de la intervención y continúa, explícita o implícitamente, con las siguientes fases típicas (Gómez, 2009):

- Fase de planificación: diseño de la imagen objetivo o Plan Maestro de la intervención.
- Fase de proyecto: elaboración de anteproyectos y de proyectos.
- Fase de construcción: ejecución de las obras proyectadas
- Fase de gestión: explotación o funcionamiento y conservación de lo ejecutado

Evidentemente, en este caso en particular, existe una situación ya real, sin poder interferir en ninguna fase previa de planificación y explotación, que permita optimizar la gestión medioambiental, y por tanto, debemos partir de un escenario de hechos consumados, para a partir de ahí, buscar la solución más idónea, sin perder de vista la racionalidad y coherencia en la forma de acometer dicha solución.

Se realizan a continuación unas someras consideraciones particularizadas para el caso de escombreras de residuos o estériles carbonosos, desde el punto de vista de la posible combustión de escombreras de estas características, que dado el tiempo e historial de los depósitos de Mina la Camocha, S.A., así como por las características observadas y en algunos casos objeto de análisis de los materiales allí depositados, no parece entrañar un riesgo importante en este aspecto, pero, que no por ello, no deberá ser tenido en cuenta a la hora de evaluar o analizar las posibles alternativas de tratamiento de este caso en particular. De hecho, parece ser que sucedió algún episodio de combustión, según información facilitada de forma verbal que no se ha podido confirmar “in situ” y que pudo deberse a que en esas zonas se procedía antiguamente a la quema de los restos de madera que se depositaba junto con los estériles

Según López Jimeno et al (2006), la combustión de escombreras de estériles de carbón es un fenómeno relativamente frecuente, especialmente en escombreras antiguas que han sido construidas basculando directamente el material desde el borde del talud a gran altura, y en las cuales el material queda suelto sin compactar. Estos incendios pueden mantenerse activos durante muchos años, e incluso décadas, en el propio interior de las escombreras.

La combustión puede desencadenarse accidentalmente por propagación de otro incendio cercano, o puede producirse por una combustión espontánea de los materiales de la escombrera, sin intervención directa de ningún factor externo, simplemente por un autocalentamiento de dichos materiales, lo que desemboca en una combustión.

Cuando la cantidad de oxígeno es limitada, puede producirse una combustión lenta sin llama. Este tipo de combustión puede continuar en el interior de la escombrera durante un largo periodo de tiempo, sin que se advierta en superficie ninguna evidencia.

La combustión de los materiales que conforman una escombrera conlleva una serie de riesgos para la seguridad y salud pública, entre los que pueden citarse: liberación de gases tóxicos, peligro de hundimientos y daños a las instalaciones.

Además, son causa de un gran impacto ambiental producido por la contaminación del aire y, en ocasiones, de las aguas superficiales debido al arrastre de partículas sólidas y también por la acidificación de las mismas. Asimismo, se crean problemas de revegetación por las características de estos materiales, que les configuran como un sustrato poco apto para la implantación y desarrollo de las especies vegetales, debido principalmente a la inhibición del crecimiento de las plantas a consecuencia de los gases.

Tal y como se ha citado ya, los materiales de escombrera pueden comenzar a arder de forma espontánea debido a un efecto de calentamiento originado por la oxidación química lenta de los materiales carbonosos que contenga. Los principales factores que pueden determinar la posibilidad de que se produzca la combustión espontánea son:

- Temperatura. La oxidación de los materiales carbonosos constituye una reacción exotérmica y si la velocidad a la cual se produce el calentamiento excede la velocidad a la que se disipa el calor, puede producirse un efecto de acumulación

que incremente progresivamente la temperatura de la escombrera que llegue a desencadenar un proceso de combustión sin llama. Este efecto se produce si existe suficiente oxígeno en el interior de la masa de estériles.

- Pirita. Es un componente relativamente habitual en las escombreras de estériles de carbón. Su oxidación es también una reacción fuertemente exotérmica, por lo que su presencia junto con materiales carbonosos incrementa el riesgo de que se produzca la combustión espontánea.
- Calidad del carbón. Los carbones de baja calidad son más reactivos y más susceptibles al autocalentamiento que los de buena calidad, ya que aquellos tienen menos carbono y mayor contenido en oxígeno que éstos.
- Contenido en carbón. Existen ciertas discrepancias respecto al papel que desempeña el contenido en carbón de los estériles en la combustión espontánea. Si el contenido en carbón es alto, es favorable para el calentamiento y entonces tiene lugar la combustión espontánea. No obstante, no puede asegurarse que cuando el contenido en carbón sea pequeño, desaparezca el riesgo. Debe tenerse en cuenta además, la tendencia que tienen algunos carbones a arder con mayor facilidad que otros.
- Humedad. La presencia de humedad libre es esencial para que se produzca la oxidación de la pirita, y su existencia puede acelerar el proceso de autocalentamiento. La existencia de un alto contenido de humedad en los carbones de baja calidad es indicativo de una tendencia marcada al autocalentamiento, y como, consecuencia, a la combustión espontánea.
- Volumen de huecos y tamaño de partículas. La existencia de huecos de determinado tamaño en una escombrera facilita la entrada de aire hacia el interior de ésta, aportando un suplemento constante de oxígeno que estimula las reacciones exotérmicas.

Cuando las escombreras están formadas por materiales de granulometría gruesa, el movimiento del aire a través de los huecos puede ser suficiente para disipar el calor en un volumen relativamente grande de material vertido. En las escombreras en las que predominan los materiales de granulometría fina, en las

cuales el movimiento del aire está dificultado por la inexistencia de huecos o por ser estos de tamaño excesivamente pequeño, el calor generado tiende a ser retenido. Sin embargo, en ellas el proceso de autocalentamiento puede cesar cuando se consume el oxígeno.

En escombreras formadas por materiales de tamaño intermedio, las condiciones para el autocalentamiento y la combustión espontánea son ideales. Se pueden formar zonas de alta temperatura, que eventualmente comiencen a arder.

La velocidad de oxidación y la acumulación de calor se incrementan cuando existe una alta proporción de partículas de grano fino, porque la relación superficie/volumen es muy alta.

Es evidente que para que se produzca la combustión espontánea es preciso un suministro de aire para propagar el proceso de oxidación y sostener el calentamiento. Por tanto una compactación enérgica reduciría el número de huecos, de forma tal que se imposibilite la presencia de aire para provocar el inicio de las reacciones. Es conocido el hecho de que las escombreras más modernas construidas con técnicas utilizadas en la construcción de carreteras, donde se incluye una buena compactación, no han presentado hasta ahora signos de autocombustión, incluso con contenidos en carbón de hasta un 20%. (Ejemplo: la escombrera experimental de Elsecar-South Yorkshire en Inglaterra, construida conforme a la Specification for Road and Bridge Works. Si a la compactación se añade el extendido de tierra vegetal en los taludes laterales y plataformas, la formación de vida orgánica en los mismos, reduciría aún más las posibilidades de entrada de oxígeno.

- Volumen de la escombrera. Un alto valor de la relación superficie/volumen favorecerá su inalterabilidad, dada la mayor facilidad de que dispone el calor para disiparse hacia el exterior.

Para la evaluación del riesgo de combustión espontánea, hay que tener en cuenta que existen muchos factores que influyen en que una escombrera sea combustible o no. Por ello existen diversas pruebas y ensayos de laboratorio que sirven para valorar el potencial de combustibilidad de los materiales, aunque los resultados de estas pruebas

deben ser considerados con cierta reserva, especialmente en cuanto al riesgo de combustión espontánea.

Uno de los parámetros más comúnmente utilizados para la determinación de la combustibilidad, es el del Poder calorífico, que es una medida de la cantidad de calor liberado por una muestra en combustión. Así, de forma general se considera que una muestra con un Poder calorífico de más de 2.400 kcal/kg es combustible y con 480 kcal/kg o menos no lo es. Las muestras con un Poder calorífico de de más de 1.680 kcal/kg, se considera que tienen riesgo de entrar en combustión sin llama, aunque en laboratorio, este fenómeno pueda ya suceder en muestras con menos de ese Poder Calorífico.

De forma somera, los principales riesgos intrínsecos de las escombreras en combustión, son:

- Emisión de gases tóxicos. CO, SO₂, CO₂ y SH
- Hundimientos superficiales. La combustión puede ocasionar fenómenos de subsidencia o hundimiento superficial al consumirse los materiales y formar cavidades ocultas que pueden colapsarse repentinamente.
- Riesgo de explosión. Si se utiliza el agua para controlar los incendios subsuperficiales, el uso de agua puede provocar explosiones, Las inyecciones de agua a presión, pueden conducir a la formación de vapor de agua. El carbón caliente en contacto con este vapor de agua puede formar el llamado gas de agua, que es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, que al mezclarse con el aire, cuando entra en combustión, puede explotar con gran violencia. La mezcla de polvo de carbón y aire, también es explosiva, de forma que en las escombreras que contiene una cantidad significativa de carbón, existe un riesgo de explosión si se produce una cantidad excesiva de polvo.
- Contaminación de las aguas. Un problema ambiental presente en muchos depósitos de estériles carbonosos es el de la generación de aguas ácidas, que tiene lugar cuando se produce la oxidación química de sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción bacteriana.

4.- CARACTERÍSTICAS DE ESTÉRILES DE CARBÓN

Según la Ley 10/1998, de Residuos de 21 de abril, tendrán en todo caso la consideración de residuos los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobado mediante la Decisión 94/36/CE de la Comisión, de 20 de diciembre de 1993. Por Resolución de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, de 17 de noviembre de 1998, se dispuso la publicación del CER en el BOE (BOE nº 7 de 8 de enero de 1999). Teniendo en cuenta que la mayor parte del material acumulado en escombreras son residuos de lavadero, los estériles negros y rojos deben incluirse como residuos con el código 01 02 02 (Residuos de preparación de minerales no metálicos) del Catálogo Europeo de Residuos (CER)

Durante el último tramo del siglo pasado y principios de éste, se han realizado abundantes trabajos de investigación sobre las características y aplicaciones generales de los estériles de mina, sobre todo por parte de la empresa HUNOSA, en colaboración con distintos organismos, en su mayoría financiados por OCICARBON y CIEMAT los cuales han permitido disponer de una serie de datos y herramientas, cara a definir las posibles aplicaciones de este tipo de material, por otra parte, tremendamente abundante, causante de grandes problemas medioambientales y de ocupación de terrenos, razón por la cual, resulta de sumo interés encontrar las fórmulas necesarias para su reutilización y por tanto, minimizar sus impactos ambientales.

Todos estos trabajos han permitido definir varias posibilidades cara a establecer su idoneidad de aplicación, particularizadas para el caso de estériles negros, que es el que corresponde en el tratamiento de las escombreras de MINA LA CAMOCHA, S.A.

PROPIEDAD	ESTERILES NEGROS
Peso específico de las partículas t/m ³	2,40-2,80
Densidad relativa	2,71-2,75
Absorción %	1,30-2,10
Plasticidad	LL: 26-29 LP: 19-20 IP: 7,00-9,00

Equivalente de arena	35-66
Proctor modificado	1,99-2,30
Densidad máxima t/m ³	6,00-10,00
Humedad óptima (%)	
C.B.R. Proctor modificado	24-41
Desgaste Los Angeles	23-32

Tabla 24.- Características de los estériles de carbón en Mina La Camocha. Base documental Mina la Camocha.

4.1.- Utilización como Áridos en construcción

1. Partiendo de que los estériles de mina (Fernández-Nespral, 2000) de carbón son aquellos materiales que se generan en la explotación, preparación y utilización del carbón y que una de sus aplicaciones es la utilización en técnica vial, pese a su carácter de áridos marginales desde el punto de vista del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3/75, pueden utilizarse en capas de grava- escoria alcanzándose valores de resistencia similares a los obtenidos con otros áridos (unos 20 kg/cm² a los 90 días)
2. Como áridos para la fabricación de hormigones, las resistencias obtenidas son sensiblemente inferiores a las obtenidas con áridos convencionales. No obstante en las pruebas realizadas se comprobó que se pueden adicionar cenizas volantes (Sánchez de Rojas, 1991) en sustitución del cemento hasta un porcentaje del 25% sin que afecte a la resistencia, y aunque no cumplen el Pliego de prescripciones para hormigones, se les puede dar un uso marginal en caminos vecinales y otras obras que no requieran grandes resistencias.
3. Respecto a su utilización como material de decoración, a través de muestras en Ferias y jardinería, resultó, que aunque el material negro tuvo menos aceptación que el rojo (actualmente usado por varios Ayuntamientos en jardinería), se usa en alcorques y para formar dibujos y figuras por contraste con el rojo.

4.2.- Utilización como materiales para capas de firmes.

Sinis (2002) expone las posibilidades de utilización en la construcción de firmes de carreteras de 10 residuos representativos: estériles de carbón, escorias de horno alto, escorias de acería LD, escorias negras de acería de horno de arco eléctrico, escorias y cenizas de centrales térmicas de carbón, residuos de construcción y demolición, neumáticos fuera de uso, escorias y cenizas de incineradoras de residuos sólidos urbanos, y residuos de demolición de firmes.

Las aplicaciones concretas de los estériles de carbón, son:

1. Los estériles negros tratados en planta industrial de clasificación, se pueden emplear (Fernández-Nespral, 2000) como material de subbase para tráfico T2, T3 y T4. Cuando el índice C.B.R. iguale o supere el valor de 20 y se reduce la plasticidad de los finos; también se podrán emplear en las aplicaciones de subbases granulares.
2. Los estériles estabilizados con cemento, pueden emplearse en subbases y bases de carretera, autovías, etc.
3. Estos hechos se corroboran por las obras en que ya se han empleado los estériles como materiales granulares o estabilizados con cemento: carretera Ujo-Caborana y Autovía Oviedo Campomanes, así como en las obras donde se viene empleando, carreteras comarcales, polígonos industriales, etc.

4.3.- Utilización como materia prima para la fabricación de materiales de pavimentación.

1. De los estudios efectuados, se concluye que los estériles de carbón una vez mezclados con otras materias primas, se pueden emplear en la fabricación de materiales para pavimentación: losetas, baldosas, adoquines y gres.

4.4.- Utilización como Sustratos en cultivos sin suelo.

En los últimos años y en varios países, principalmente del este de Europa (Zabaleta et al., 2002) se ha comenzado a investigar un nuevo campo para el aprovechamiento de los estériles generados en la extracción y lavado del carbón: la agricultura.

1. Los estériles de escombrera, tanto negros como rojos, son materiales perfectamente aptos para su utilización como sustratos en el cultivo hidropónico de tomate, solos en el caso de los estériles de escombrera o mezclados con turba en proporción del 85% de estériles para los procedentes del lavadero.
2. Los estériles de escombrera, tanto rojos como negros, son materiales perfectamente aptos para el cultivo hidropónico de la judía verde y la faba asturiana, consiguiendo producciones iguales o superiores a los de perlita.
3. Los estériles del lavadero, tal y como salen del mismo, debido a su salinidad, no son los más apropiados para cultivos tan exigentes en el contenido en sales como éstos.
4. Los estériles de carbón son materiales válidos para ser usados como componente básico del sustrato para el cultivo en maceta de coníferas y otras especies ornamentales.
5. Los estériles de lavadero en su estado natural no son aconsejables para el cultivo de especies sensibles al exceso de sales y al sodio en particular.
6. Los estériles de escombrera, tanto rojos como negros, consiguen a dosis en torno a un 50-60%, crecimientos iguales o superiores a otros sustratos convencionales que incorporan arena o algún otro material de similares características, para la mayoría de las especies ensayadas.

4.5.- Utilización en la Construcción de tierra armada

Los estudios realizados en este sentido han permitido concluir, que los estériles de escombrera, en general, pueden utilizarse en estructuras de tierra reforzada con refuerzos poliméricos: para los estériles de escombrera negros y parte de los rojos, no se han encontrado inconvenientes ni mecánicos ni de agresividad, que desaconsejen su utilización en rellenos y muros de tierra reforzada que eviten los elementos metálicos y se sustituyan por otros de naturaleza polimérica. El uso en obra pública es el sector en donde se pueden emplear mayores volúmenes de estériles (Jiménez, 2000).

Por lo que respecta a los muros tradicionales de tierra reforzada con flejes metálicos de acero galvanizado, algunos estériles de escombrera (particularmente negros) podrían ser empleados en obras no inundables en virtud de los resultados de los análisis electroquímicos llevados a cabo (por las características fisicomecánicas en general son válidos). Debe tenerse en cuenta que puede haber diferencias en los resultados entre unas muestras y otras de una misma escombrera y que, por lo tanto, debería llevarse a cabo un reconocimiento exhaustivo de la zona de la escombrera que se quisiera aprovechar para tal fin. Todo esto indica que es preferible acudir a sistemas de tierra reforzada con refuerzos de naturaleza polimérica, que han sido ideados y diseñados en los últimos años, precisamente con el fin de poder utilizar suelos potencialmente agresivos hacia las armaduras metálicas.

Todo lo dicho anteriormente, se ha corroborado, puesto que en la carretera Ujo-Caborana de la Comunidad Autónoma de Asturias se ha construido una estructura de tierra armada de unos 700 m de longitud donde se han empleado, aproximadamente, 120.000 t de estériles.

5.- ESTUDIO DE LA ESCOMBRERA NORTE

5.1.- Situación actual

Se trata de una escombrera de grandes dimensiones, formada por estériles de mina y lavadero, ubicada entre las instalaciones del lavadero de carbones de la empresa, al sur sureste, y al norte, limita con el arroyo Llantonos y la denominada Senda Verde, un camino de recreo a lo largo de gran parte del término municipal de Gijón, muy frecuentado. En cuanto a la parte noreste, la escombrera limita con las balsas de finos objeto de un estudio anterior para su eliminación.

Parte de la escombrera, sobre todo en su cara norte, se encuentra colonizada por especies vegetales y arbóreas, algunas muy consolidadas, principalmente matorral bajo y eucaliptos, con abundancia de helechos, aunque existen también pinos, abetos, avellanos, algún castaño y laurel.

A pesar de este grado de colonización, la escombrera presenta un impacto visual muy severo, con abundantes restos de madera y otros materiales diseminados por su superficie.



Imagen 41.- Límite norte de la escombrera. Arroyo Llantones y Senda Verde



Imagen 42.- Límite sur de la escombrera. Lavadero y resto de instalaciones

Una parte de la propia escombrera, de la cual se carece de datos para establecer con cierta exactitud su extensión, se sitúa sobre una antigua balsa o depósito de finos de carbón procedentes del tratamiento del carbón en el lavadero, que constituye una superficie de discontinuidad debido a su plasticidad, lo que le confiere una importante inestabilidad, que se analiza en el Estudio Geotécnico que acompaña al presente trabajo, y que se ha manifestado con algún episodio de corrimiento con resultado de daños para

las antiguas naves situadas a pie de escombrera en la cara norte, así como invasión del cauce del arroyo Llantones.



Imagen 43.- Límite noreste de la escombrera. Balsas de finos

En la actualidad puede observarse como en diferentes zonas de la superficie de la escombrera, aparecen grietas de cierta importancia (imágenes 45, 46 y 47), que, aumentando la captación e infiltración de las aguas procedentes de la pluviosidad, lógicamente auguran un riesgo notable para su estabilidad.



Imagen 44.- Detalle de colonización con eucaliptos y otras especies

Por otra parte a través de la superficie, en su parte más hacia el norte, discurre una línea eléctrica de AT con un apoyo (imagen 48) sobre la misma escombrera, que presenta

síntomas de inestabilidad observables a simple vista. Esta línea eléctrica, no sólo suministra corriente a las instalaciones de la propia empresa MINA LA CAMOCHA S.A, sino que lo hace a algunos núcleos urbanos de la zona.



Imagen 45.- Grietas en la escombrera



Imagen 46.- Escarpe provocado por una grieta deslizante

Se ha realizado un levantamiento topográfico de toda la zona que permite realizar la siguiente descripción geométrica de la escombrera:

Ocupa una superficie de unos 58.000 m², con una diferencia de cota máxima del orden de 51 metros, cubicándose un volumen total de estériles de 799.262 m³. En su parte norte existe una pista de aproximadamente cuatro metros de ancho y una longitud total de 578 metros, que determina la existencia de dos bermas, con una diferencia de cota aproximada de 12 metros.



Imagen 47.- Desenraizamiento de árboles como consecuencia del deslizamiento

El material que compone la escombrera está formado por rocas detríticas, asociadas a terrenos carboníferos de granulometría variable, procedentes del avance de las labores de interior de la mina, así como de los estériles producidos en el proceso de lavado de los carbones y restos de materiales carbonosos, procedentes de pasos de carbón o carboneros, no explotados en la mina, y que se extraen como material estéril y como resultado de la propia imperfección del sistema de lavado o tratamiento.



Imagen 48.- Detalle del apoyo de la línea eléctrica en la escombrera.

Asimismo existen restos de materiales inertes que no proceden de la mina, sino de otras obras o demoliciones realizadas en la zona, aunque no representan una cantidad significativa.

Así pues, si atendemos a la clasificación de escombreras descritas en capítulos anteriores, podemos concluir lo siguiente:

1. En cuanto a dimensiones. Se trata de una escombrera con más de 30 metros de altura desde el pie a la coronación (51m), y por tanto se puede considerar como Escombrera grande.
2. Emplazamiento. Se puede considerar como de ladera, pues se instala sobre una suave ladera hacia el arroyo Llantones, con pendiente inferior al 8%.
3. Sistema de vertido. Vertido libre por gravedad pudiendo derivar hacia lo que se considera estructura mixta, combinación de varios sistemas.
4. Método constructivo. Se puede considerar de basculamiento final. (Da lugar a franjas de material inclinadas de acuerdo con el ángulo de rozamiento interno del mismo).
5. Grado de riesgo potencial, estabilidad y coeficiente de seguridad. Se le asigna el tipo A II, Riesgo moderado para personas, bienes, etc.
6. Clasificación por seguridad ligada a la presencia de agua y problemas del cimiento (Tipo B). Se le puede asignar la categoría BII, Agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación. No se puede perder de vista el hecho de que independientemente de las filtraciones de agua observadas, la escombrera se ubica sobre una antigua balsa de finos.

5.2.- Características de los estériles

Se trata de rocas detríticas asociadas al minado del carbonífero; son: limolitas (60%), limolitas arenosas (13%), areniscas (12%), lutitas (13%) y restos carbonosos de imperfecciones de lavado (2%)

La granulometría de los fragmentos de roca estaría siempre por debajo de los 150 mm., con una fracción menor del 10-15% por encima de dicho tamaño, procedente fundamentalmente de las litologías más competentes (areniscas).

Las características medias del material referenciado son las siguientes:

Densidad	2,65 g/cm ³
Densidad del todo uno	2,65 g/cm ³
Humedad	5%
Cohesión efectiva	0-2 t/m ²
Angulo de rozamiento interno	30 – 35°
Hinchamiento medio	1,43%
Absorción Media	3,41%
Índice C.B.R.	10%

Tabla 25.- Características de los materiales constituyentes. Base documental Mina la Camocha.

Se han realizado varios tipos de ensayos desde el punto de vista geotécnico y desde el punto de vista del poder energético de dichos estériles. En cuanto al aspecto geotécnico, todas las muestras recogidas han dado unos resultados que básicamente coinciden con las características medias facilitadas por MINA LA CAMOCHA, S.A., anteriormente reseñadas, e incluso encajan en los intervalos de los parámetros generales expuestos en los distintos trabajos de investigación realizados, y de los cuales se ha hecho mención en capítulos anteriores.

En función del Poder Calorífico Superior (PCS) obtenido (entre 400 y 547 kcal/kg) podemos concluir que prácticamente el riesgo de combustión es inapreciable. De la misma forma se observa como el contenido en azufre es muy bajo, cosa por otra parte, constatable en los reconocimientos de campo efectuados, en los que prácticamente no se aprecian piritas ni minerales sulfurosos causantes en la mayor parte de los casos de la aparición de contenidos elevados de azufre, y una de las causas más frecuentes en la aparición de fenómenos de este tipo.

Por otra parte, indican que el valor energético de estos materiales en principio no presenta excesivo interés, y salvo acumulaciones locales de materiales en el interior de la escombrera que presenten unas calidades notablemente distintas, el uso energético de los estériles no debe constituir un objetivo preferente, y encaja perfectamente con la información suministrada por la dirección de Mina la Camocha, S.A., en la que se da tan sólo un 2% de materiales o restos de carbón.

Se ha realizado un reconocimiento litológico y demuestre aleatorio por toda la superficie accesible de la escombrera, del que han podido obtenerse unas conclusiones

que pueden resumirse en que los materiales que la componen son: Areniscas de grano grueso, medio y fino, lutitas, limolitas, calizas, margas, pizarras carbonosas y carbón.

Como puede apreciarse, estos resultados son muy similares a los facilitados por la Dirección de Mina la Camocha; resulta lógico suponer que al desconocer la zona de toma de muestras por parte de la empresa, se den resultados analíticos diferentes, apareciendo ahora por ejemplo las pizarras carbonosas, cuando antes no lo hacían.



Imagen 49.- Aspecto general de los niveles rojizos (Calcáreos)

También se han encontrado pequeños y escasos niveles de color rojizo (imagen 49), bien marcados, en la parte media de la escombrera formados por calizas rojas nodulosas y parcialmente margosas con restos de fósiles y recristalizaciones de espato calizo.

En cuanto al carbón existente en la escombrera, especialmente al nivel de reconocimiento en superficie, como se ha indicado anteriormente, no parece detectarse un porcentaje superior al 2% definido por la Dirección de Mina La Camocha, S.A. (tal y como se ha visto en las muestras tomadas y cuyos resultados se detallan en capítulos anteriores). Ello no es óbice, para que en un depósito de estas características, con muchos años de historia, y muy variadas condiciones de mercado de los carbones a lo largo de toda esa época, no se deba descartar que en algunas zonas la riqueza en contenido de carbón pueda ser más importante y significativa, de lo que a la vista de los datos disponibles en este momento se pueda evaluar.

5.3.- Características de la balsa de finos

Las informaciones suministradas por la dirección de Mina la Camocha, S.A. al redactor de este trabajo, dan cuenta de la existencia de una balsa de finos muy antigua, sobre la que se fue realizando el depósito de escombros que constituye la escombrera Norte.

La superficie real de esta antigua balsa, así como su profundidad son datos que en este momento se desconocen, y tan sólo se cuenta con informaciones de tipo verbal, con la inexactitud lógica que ello conlleva para una posible cubicación o evaluación de sus recursos. Los técnicos de la empresa cifran este tonelaje en una cantidad superior a 60.000 toneladas, con unas características medias de cenizas en torno al 45%.

Se trata de un carbón (con valores comprendidos en los intervalos siguientes: % H = 14,46 - 15,22; %V = 18,67 - 23,62; %C = 43,41 - 61,03; %S = 1,52 - 1,75; PCS = 2.732 - 4.348) en principio factible de comercialización, sólo o mezclado con otros carbones, que permite albergar buenas expectativas en cuanto a su valor, y por tanto resultará un parámetro determinante en el tratamiento que se pueda dar a la escombrera.

Es digno de resaltar que si partimos de un escenario teórico, de un volumen cierto de escombros de 799.262 m³ y estimamos, en un marcado carácter conservador (y en base a las informaciones verbales existentes) un tonelaje de 60.000 toneladas de carbón, estaríamos ante una hipotética retirada de todo el estéril para el aprovechamiento del carbón, en un ratio de 13,32 m³ de estéril/t de carbón, parámetro asumible desde el punto de vista de racionalidad económica y técnica en cualquier explotación a cielo abierto de carbón, máxime teniendo en cuenta que se trata de material suelto, que no precisa para el arranque de ningún proceso de perforación y voladura, y que como se verá más adelante existe la posibilidad de vertedero a distancia inferior a 1 km, aún, considerando que se trata de un carbón de contenido en cenizas del orden del 45% o superior.

5.4.- Estudio Geotécnico

En base al estudio geotécnico preliminar de estabilidad de la escombrera que se presenta como anexo de esta tesis, y visto el bajo factor de seguridad resultante de los cálculos y tras un reconocimiento exhaustivo del emplazamiento de la escombrera, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se pueden prever problemas de estabilidad general a medio y largo plazo en la escombrera, máxime teniendo en cuenta la base sobre la que se asienta, constituida por una balsa de finos de carbón en una parte significativa de su extensión.



Imagen 50.- Afloramiento de finos de carbón en la base de la escombrera

2. En las visitas y reconocimientos de campo efectuados se observaron pequeños problemas de estabilidad locales en los taludes debido a la existencia de taludes con pendientes locales superiores a los 32° que originan zonas de rotura y la aparición de grietas. Estos aparecen principalmente en la zona Norte y Oeste de la escombrera. De hecho, ya se ha citado el problema de deslizamiento acaecido en los años 90 en la citada zona norte, con resultado de daños a bienes e infraestructuras.
3. También se aprecia el efecto del agua de lluvia produciendo erosión en la escombrera lo que contribuye junto a la infiltración a una disminución de la estabilidad de la misma.



Imagen 51.- Aspecto general de la inestabilidad

Por tanto, se recomienda:

- La modificación de la geometría de los taludes para disminuir la pendiente general de los mismos.
- Realizar un sistema de drenajes que recoja el agua de escorrentía y que evite su infiltración mejorando así la estabilidad de la escombrera y reduciendo el posible riesgo de incendio en la misma.
- Caracterización del material sobre el que se cimienta y localización del nivel freático.



Imagen 52.- Grietas en la superficie de la escombrera



Imagen 53.- Efectos de la escorrentía superficial en la escombrera

Como se observa, estas recomendaciones se hacen desde el punto de vista exclusivo de la estabilidad de la escombrera, sin atender a las distintas posibilidades de manejo y gestión de los estériles, en función de varios factores, tales como el aprovechamiento del carbón existente en la base de la escombrera, el impacto paisajístico o visual, el uso posterior de los terrenos, la valorización de los propios estériles, etc. Lo que si queda claro y se deriva del estudio realizado, es la necesidad de actuación para corregir los riesgos existentes en la actualidad, cara al futuro a medio o largo plazo, y teniendo siempre presente el riesgo continuo que significará la existencia de la balsa en la base.

En este contexto de existencia de riesgo de rotura (ver estudio geotécnico), considerado como MEDIO, y clase III de estabilidad, y calificación de estabilidad 650 en la clasificación INESTEC, y teniendo en cuenta los factores anteriormente citados, se desarrollarán en capítulos posteriores las distintas alternativas planteadas para el tratamiento de la escombrera norte.

5.5.- Alternativas del tratamiento de la escombrera

Existen varias formas de acometer el tratamiento de la escombrera objeto de este estudio, las cuales han de estar condicionados por los parámetros tanto técnicos, como económicos y ambientales, siempre dentro de un contexto de racionalidad de las actuaciones propiamente dichas.

Para ello como es lógico, deberán contemplarse parámetros tales como, valorización de los estériles que conforman la escombrera, aprovechamiento del carbón existente en la balsa de finos de la base de la escombrera, liberación del suelo ocupado por los estériles, minimización del impacto ambiental, simple restauración y adecuación, etc.

Con estas premisas, se enfoca el tratamiento de estos estériles desde tres alternativas o formas de actuación claramente diferenciadas, describiendo las acciones necesarias para su realización, así como definiendo las ventajas e inconvenientes que se aprecian en cada una de ellas, lo que marcará una preferencia en las citadas alternativas.

Las tres alternativas seleccionadas son:

- Alternativa 1N. Eliminación total del depósito y su traslado fuera de las instalaciones de MINA LA CAMOCHA, S.A. Imagen 54.
- Alternativa 2N. Eliminación parcial del depósito mediante relleno de huecos existentes en las instalaciones de MINA LA CAMOCHA, S.A. Imagen 55.
- Alternativa 3N. Restauración “in situ” de la escombrera. Imagen 56.

De manera común para todas las actuaciones o alternativas, y como paso previo indispensable para acometer los trabajos, se requiere de una limpieza previa de todos los restos de cubierta vegetal y madera existentes en la superficie y otros materiales, tales como plásticos, hierros, etc, que se observan actualmente en la propia superficie, al objeto de trabajar con materiales auténticamente inertes en las fases sucesivas del tratamiento.

Lógicamente, esta operación habrá que realizarla de forma continua en los procesos que definen las dos primeras alternativas, pues éstas implican descubrir todo el material existente en el interior de la escombrera a medida que avanza el proceso de eliminación, y por tanto pueden estar apareciendo continuamente materiales de este tipo. Por el contrario, en la alternativa 3, esta operación se realizaría de forma parcial, pues tan sólo se removería una pequeña parte de los estériles depositados. Asimismo, y como actuación previa a cualquier tratamiento que se realice, se debe proceder a un estudio cara a la sustitución, eliminación o cualquier otra solución que se considere idónea, de la columna de alta tensión existente en la parte norte de la escombrera, y que como se ha citado anteriormente, presenta síntomas de inestabilidad.

5.5.1.- Alternativa 1N. Eliminación total del depósito y su traslado fuera de las instalaciones de Mina la Camocha, S.A.

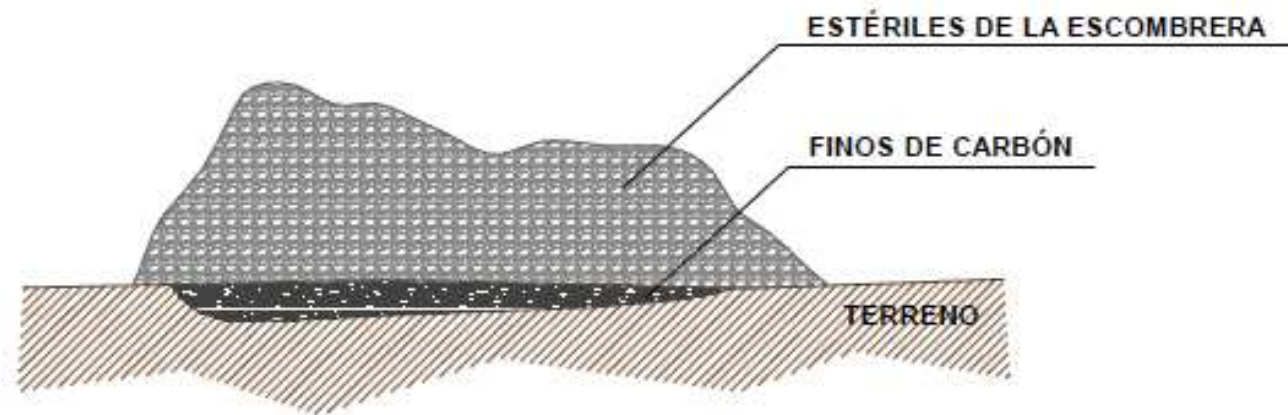
Partiendo de la base de que los estériles que conforman la escombrera poseen unas cualidades que los hacen aptos para una serie de usos alternativos y sobre todo y especialmente atendiendo al elevado volumen de depósito, como áridos en construcción, capas de firmes o rellenos, se plantea como primera alternativa o hipótesis, la total eliminación del depósito de escombros para su aplicación en dichos usos u otros que pudieran aparecer. Para ello, se debería prever un sistema de cribado móvil en la propia superficie de la escombrera, como tratamiento primario y único, al objeto de realizar una clasificación de tamaños, y que a la vez serviría para eliminar de cara a la adecuación de su tratamiento los materiales depositados en el interior de la escombrera que no se consideran inertes, tales como madera, neumáticos, hierros, plásticos etc.

Se podría alimentar esa planta móvil con una pala cargadora de neumáticos o una retroexcavadora de cadenas, arrancando directamente el material de la escombrera y procediendo a su acopio para el transporte seleccionado. Una vez tratados estos materiales, se cargarían a camiones para su transporte a destino final, de forma homogénea en cuanto a granulometría se refiere e incluso en función de las características o parámetros propios de cada zona o uso final.

Este sistema de trabajo permitiría un análisis y observación continua de todos los estériles, conociendo en cada momento las características que presentan, pudiendo seleccionar los usos que optimizarían su destino.

Especial importancia cobra el hecho de que con esta solución se podría conocer el contenido y calidad del carbón que pudiera existir en cada zona de la escombrera, y que evidentemente puedan representar un valor importante como producto energético.

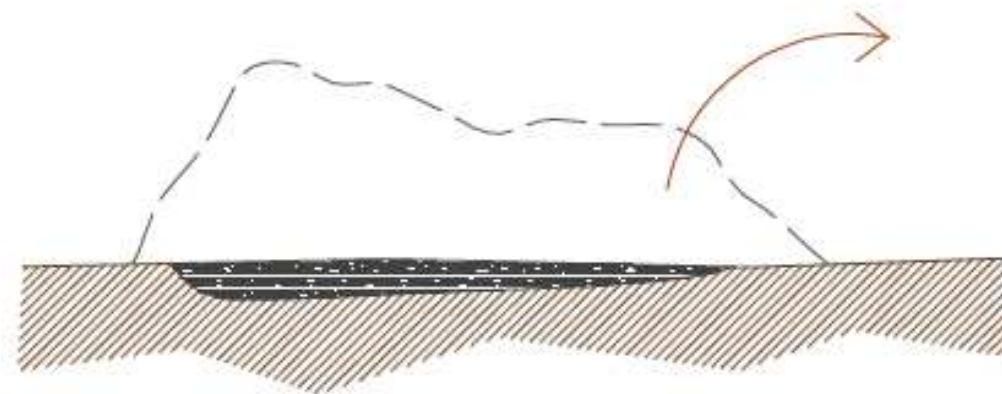
El tratamiento previo descrito, implica que aparte de un sobre coste económico en la operación, se tendrá un tope en la eliminación de la escombrera en cuanto al tiempo de duración, pues vendrá marcado por el rendimiento que se pueda obtener en el proceso de clasificación de los estériles, y por tanto tendrá un horizonte temporal más amplio, que si se transportase en bruto.



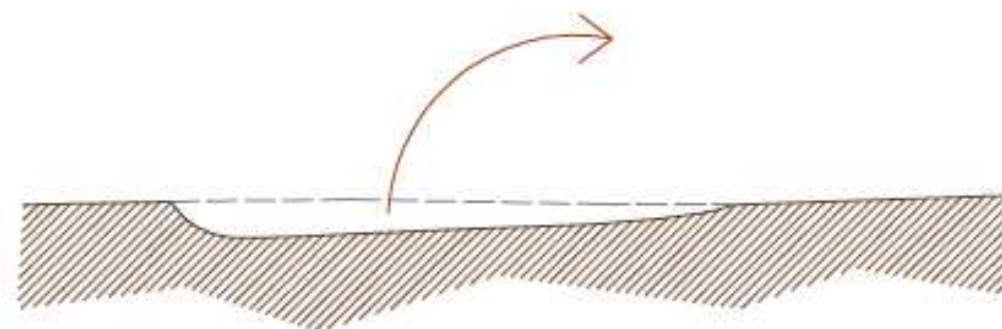
A. ESQUEMA DE LA SECCIÓN DE ESCOMBRERA NORTE EN ESTADO ACTUAL.



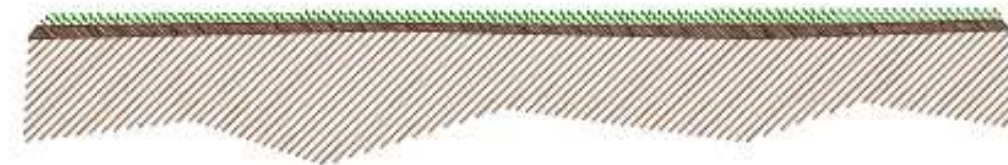
ZONA ACTUACIÓN. ESCOMBRERA NORTE



B. RETIRADA Y GESTIÓN DE ESTÉRILES DE LA ESCOMBRERA.



C. APROVECHAMIENTO DEL CARBÓN EXISTENTE EN LA ESCOMBRERA NORTE.



D. ADECUACIÓN DEL TERRENO PARA FUTUROS USOS

Imagen 54.- Esquemización de la alternativa 1N

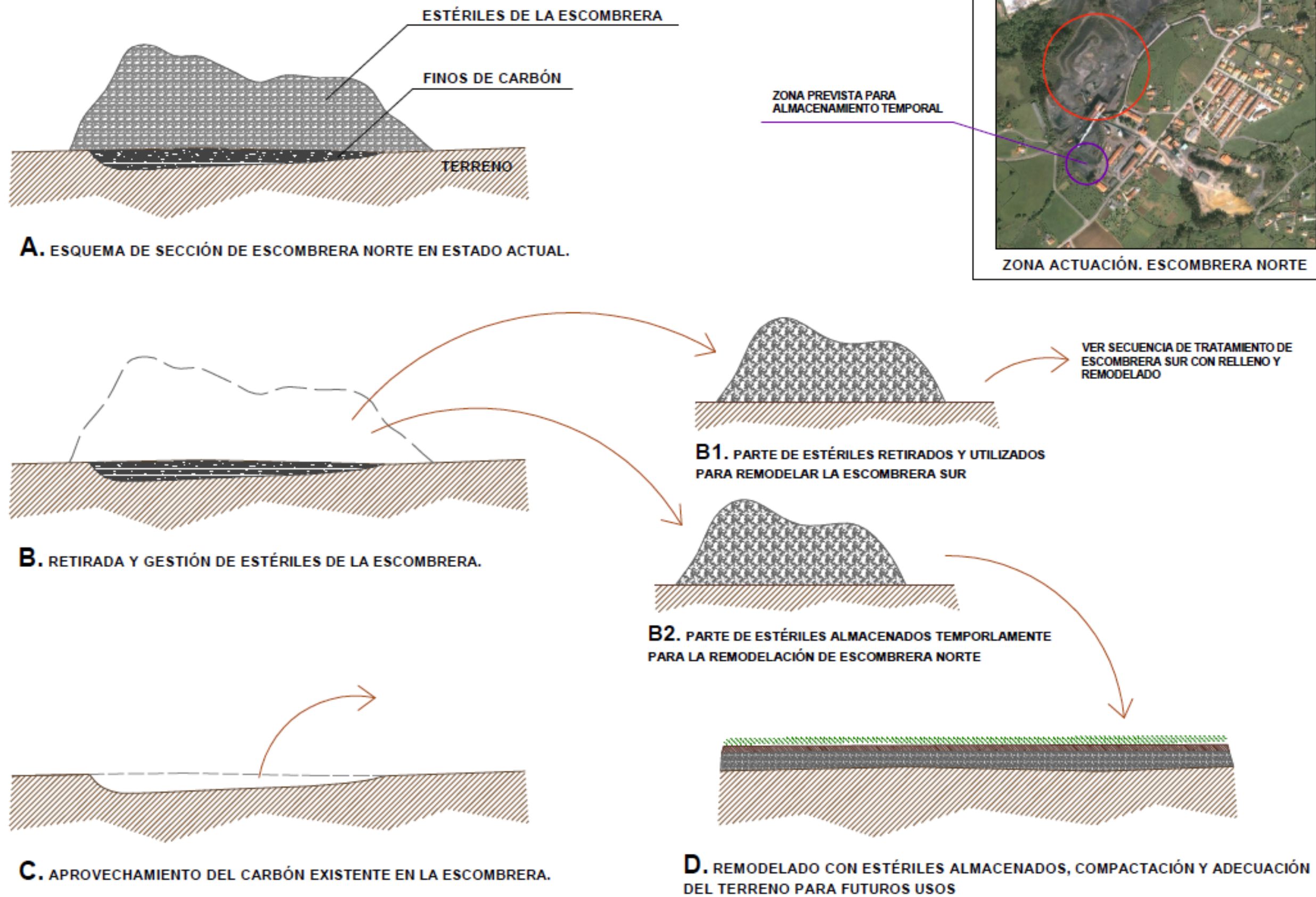
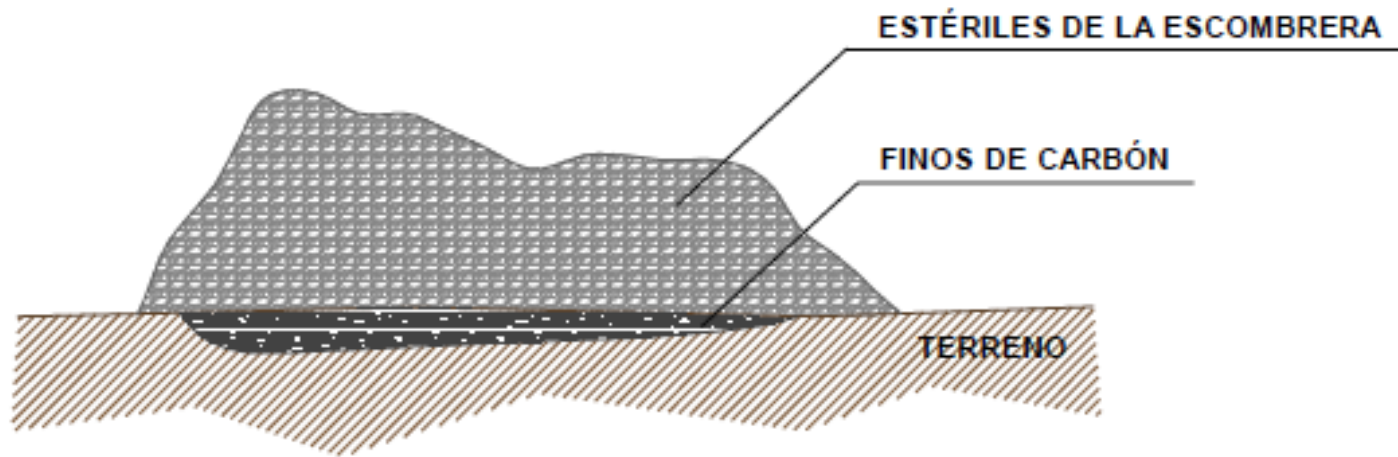


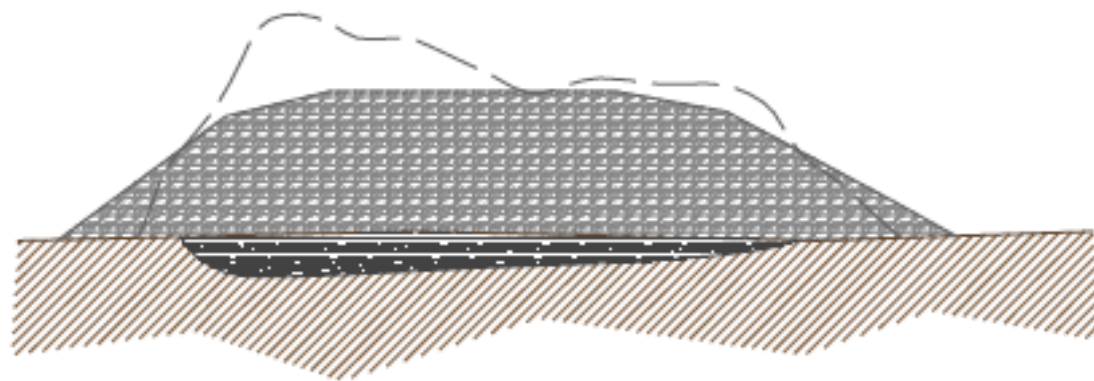
Imagen 55.- Esquemización de la alternativa 2N.



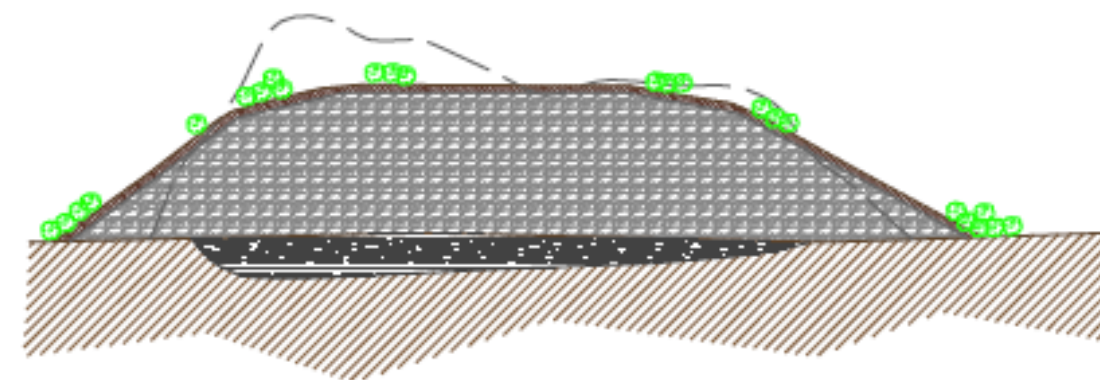
A. ESQUEMA DE SECCIÓN DE ESCOMBRERA NORTE EN ESTADO ACTUAL.



ZONA ACTUACIÓN. ESCOMBRERA NORTE



B. MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA REMODELADO DE LA ESCOMBRERA



C. EXTENDIDO DE CUBIERTA VEGETAL Y REVEGETACIÓN

Imagen 56.- Esquematización alternativa 3N.

Esta alternativa presenta las ventajas que se citan a continuación:

- Eliminación de todo tipo de riesgo de deslizamiento o inestabilidad en la propia escombrera.
- Eliminación de cualquier riesgo de contaminación, incendio, etc, pues todos los materiales que no son inertes, y que se pueden encontrar en el interior de la escombrera, se eliminan de la zona.
- Desaparición de cualquier impacto ambiental.
- Recuperación de todo el carbón existente en la balsa de finos que existe en la base de la escombrera.
- Liberación de una importante superficie de terreno, apta para todo tipo de usos.
- Posible valorización de los estériles existentes como aplicación en usos varios.
- Garantía de recuperación del carbón que pudiera existir en el interior de la escombrera.
- Ausencia de inversión significativa para la realización de las obras necesarias.
- Se evita cualquier coste en las labores de restauración.
- No es necesario vincular la operación al derribo de las estructuras adyacentes (Lavadero, silos, etc.)

Como inconvenientes, se pueden citar los siguientes:

- La extensión temporal de la operación, que, independientemente del tiempo empleado en todas las operaciones de clasificación, carga y transporte, se encuentra vinculado con el destino y uso de los materiales que puede originar irregularidad o intermitencia en su extracción de la zona.
- Las molestias ocasionadas al vecindario y a las vías públicas durante el tiempo que dure el proceso.

Obviamente, los inconvenientes son sustancialmente menores que las ventajas que este procedimiento conlleva, constituyendo a juicio del redactor de ésta Tesis Doctoral, la mejor e ideal solución para el objetivo que se está persiguiendo siempre y cuando exista

un mercado adecuado para estos materiales, o bien, exista algún tipo de vertedero capaz de acogerlos.

5.5.2.- Alternativa 2N. Eliminación parcial del depósito mediante relleno de huecos existentes en las instalaciones de Mina la Camocha, S.A.

En la denominada zona Sur o zona de Bada, donde se ubica la escombrera Sur, existe una zona de relieve bastante llano de aproximadamente 17.000.m², con un desnivel medio con respecto a la cota de la carretera San Martín de Huerces – Granda, del orden de 2,5 metros, y en la que se encuentran restos de instalaciones mineras.

Asimismo, existen varios huecos tanto en el frente de la escombrera, como en su parte norte, en los que se sitúan edificios en ruinas, como son el antiguo economato y la casa de máquinas, depuradora y algunas instalaciones, como tolvas metálicas, todos ellos susceptibles de derribo y por tanto, liberación de suelo. Todo este volumen de huecos o receptores posibles de estériles, ocupan un total de 330.000 m³.

Se plantea por tanto el relleno de todos estos huecos con los estériles procedentes de la escombrera norte, hasta su colmatación, debidamente compactados, con lo que aparte de acondicionar toda esta zona, resultaría susceptible de edificación de naves industriales, previos los estudios pertinentes, u otro uso que se quiera adoptar, siempre teniendo en cuenta la calidad de relleno que presentará el suelo en cuestión.

El transporte de todos estos materiales puede realizarse a través de las instalaciones de la propia empresa, tan sólo es preciso cruzar la carretera San Martín de Huerces – Granda por un punto, lo cual implica que se pueden utilizar camiones tipo Dumper de gran tonelaje, lo que implica un alto rendimiento de la operación y un ahorro de tiempo importante.

Si se tiene en cuenta que por las características de los estériles procedentes de la escombrera norte, que previamente se clasificarán y tratarán de la misma forma descrita en la alternativa anterior, se puede admitir un coeficiente de compactación del orden del 30%, esto equivale a que la zona puede dar cabida a un volumen de escombros de aproximadamente:

$$330.000 \times 1,30 = 429.000 \text{ m}^3$$



Imagen 57.- Vista parcial de hueco, instalaciones, economato y casa de máquinas

Por tanto, con la cubicación total realizada en capítulos anteriores de la escombrera norte, que asciende a 799.262 m^3 , sería preciso buscar una solución para un volumen del orden de 370.000 m^3 de estéril.

Evidentemente en este caso caben varias posibilidades, puesto que es posible que en el momento de acometer esta solución, parte de los estériles se puedan transportar fuera de las instalaciones de la propia empresa, si algún tipo de mercado lo demandase, lo que constituiría una especie de alternativa mixta de las dos que se están describiendo en este estudio. Asimismo, si se aprovecha carbón en cantidades significativas, ello implicaría una reducción en el volumen de estériles a tratar.

Ahora bien, esta es una situación “a priori” totalmente imprevisible, pues en el momento actual se desconoce cualquier dato referente a esta circunstancia, por lo que se tratará el problema desde el punto de vista de que todo el estéril debe ser gestionado dentro de las instalaciones, y sin destinarlo a uso exterior alguno. Toda variación en este sentido, no conseguirá otra cosa que mejorar y optimizar la solución planteada en esta alternativa.

Es por ello, por lo que se plantea la extracción de todo el escombros restante, apilándolo en la zona ocupada actualmente por el lavadero y demás instalaciones anexas, reflejadas en la fotografía anterior, que serán demolidas, con el único objetivo de aprovechar todo el carbón existente en la balsa que sirve de base a parte de la propia escombrera, para a continuación, extenderlo en toda la superficie, tanto la ocupada actualmente por aquella, como por las zonas del lavadero citadas, compactándolo en tongadas, lo que significa,

que si según la planimetría existente toda esta superficie tiene una extensión aproximada de 100.000 m², y que con el mismo criterio anterior de una compactación del orden del 30%, una altura media de relleno de:

$$370.000 \times 0,7 = 259.000 \text{ m}^3 \text{ compactados}$$

$$259.000 \text{ m}^3 : 100.000 \text{ m}^2 = 2,59 \text{ m.}$$



Imagen 58.- Vista del lavadero e instalaciones varias (Demolición)

Cifra que como se ve, permitiría la construcción de cualquier clase de edificación, previo las operaciones necesarias de cimentación y apoyo, y por tanto significaría que se ha recuperado todo el suelo ocupado por la escombrera norte.

Resta por gestionar un volumen de escombros del orden de 370.000 m³, los cuales habrán de ser distribuidos en la superficie de la escombrera y la zona ocupada por el lavadero y resto de instalaciones auxiliares habilitadas tradicionalmente para el tratamiento de los carbones.

Para la realización de este proceso, será condición indispensable o determinante la eliminación previa del lavadero y dichas estructuras, pues la zona ocupada por estas instalaciones habrá de ser la zona de acopio de materiales procedentes de la escombrera.

Por ello, se plantea la carga y el transporte de los estériles que no han sido llevados a la zona de Bada hasta la zona ocupada por el lavadero o denominada zona de acopio, iniciando la operación por el extremo Suroeste de dicha escombrera, que es por donde se encuentra el afloramiento de los finos de carbón, de tal forma, que con este

procedimiento, se vaya delimitando la extensión de la balsa de finos, y se pueda proceder a su extracción.

Finalmente, se está ante una superficie de aproximadamente 100.000 m² de terreno, uniforme, con un relleno compactado de una altura o espesor máximo de 2,59 m, apto para cualquier tipo de uso, en función del desarrollo futuro que se pretenda dar a la zona.

Tanto en lo que se refiere a esta alternativa como en la anterior, todas las actuaciones deberían realizarse previamente al tratamiento de las balsas de finos colindantes con la escombrera, puesto que de esta forma, se dispondría de una gran superficie de terreno para el manejo y tratamiento de los finos de carbón, lo que requiere una importante superficie para proceder al secado y mezcla con carbón de mejor calidad; hecho este que puede repetirse para el caso de los finos depositados en la base de la escombrera, que aunque posiblemente no requieran, por su calidad, un tratamiento tan intenso (secado y mezcla) como en el caso de las otras balsas, seguramente en algunos casos puntuales, sea preciso realizar un proceso similar.

Como ventajas indudables pueden citarse:

- Eliminación de todo tipo de riesgo de deslizamiento o inestabilidad en la propia escombrera.
- Eliminación de todos los elementos ajenos a los estériles de la escombrera, madera, hierros, plásticos etc.
- Desaparición de cualquier impacto ambiental, en la escombrera norte.
- Recuperación de todo el carbón existente en la balsa de finos que existe en la base de la escombrera.
- Liberación del suelo ocupado por la escombrera norte y su transformación para cualquier tipo de uso.
- Restauración y ampliación de la superficie disponible en la zona de Bada, correspondiente con la denominada escombrera sur.
- Posible valorización de parte de los estériles como aplicación en usos varios.

- Recuperación del carbón que pudiera existir en el interior de la escombrera, y que en el momento actual, es imposible su evaluación, sino es por un tratamiento de este tipo.
- Ausencia de inversión significativa para la realización de las obras necesarias.
- No existe influencia negativa en las infraestructuras de la zona.

Como inconvenientes pueden citarse:

- Requiere un mayor coste en el movimiento del estéril.
- Es necesaria vincular la operación al derribo de las estructuras adyacentes (Edificios, estructuras, Lavadero, silos, etc).
- Posibles molestias a los vecinos de la zona, (menores que cuando al mina funcionaba a pleno rendimiento) durante el tiempo que dure la obra, con formación de polvo, ruidos, etc.

Se trataría pues de una solución o alternativa que presenta grandes ventajas para el tratamiento conjunto de ambas escombreras, y que se cree que en la práctica sería la idónea, puesto que no resulta muy fácil en este momento llegar a una eliminación total fuera del ámbito de las instalaciones de Mina la Camocha, S.A. del gran volumen de estériles existentes, y que puede resultar de alguna forma intermedia o mixta entre la valorización total de los estériles, y una valorización parcial, más ajustada al mercado potencial de este tipo de material, presentando las mismas ventajas en cuanto al aprovechamiento del carbón y del suelo ocupado por la escombrera norte, dando lugar asimismo a un aumento significativo del suelo disponible y adaptado en la zona sur para usos ciertamente restringidos.

5.5.3 Alternativa 3N. Restauración “in situ” de la escombrera

Esta alternativa, básicamente consistiría en realizar una remodelación de los estériles, “in situ” sin traslado alguno, siguiendo los criterios marcados en el estudio geotécnico, para intentar dar más estabilidad al depósito, con una disminución de la pendiente o suavizado de los taludes, con la creación de una cubierta vegetal en toda la superficie, a base de especies arbóreas y arbustivas, autóctonas, cuya clase, densidad y composición, no es objeto de ésta Tesis Doctoral.

Quiere ello decir, que en función del uso que se quisiera dar en el futuro, así debería enfocarse el tratamiento a aplicar. Baste como ejemplo las plantaciones de manzanos para la fabricación de sidra en algunas escombreras de la empresa HUNOSA, plantaciones de arándanos, o simplemente que se pretenda eliminar el impacto ambiental mediante su transformación en área de ocio y recreo, etc.

Por ello a nivel de este estudio, no es preciso establecer las pautas necesarias para la restauración de la escombrera “in situ”, aunque si se puede afirmar, que a juicio del redactor de ésta Tesis Doctoral, esta hipótesis de trabajo no debería contemplarse, ya que presenta grandes inconvenientes, y muy pocas ventajas, pues prácticamente éstas se reducen a un menor coste en lo que concierne exclusivamente al tratamiento de la escombrera, y por el contrario los inconvenientes son muchos e importantes, tal como se apunta a continuación:

- No se garantiza la estabilidad a largo plazo, dado que la escombrera seguirá apoyada parcialmente sobre una base constituida por una balsa de finos, lo que siempre configurará una cierta inestabilidad, al constituir el contacto de dicha base, una superficie plástica de discontinuidad, que ejerce de superficie de despegue, debido a los aumentos de las presiones intersticiales originadas como consecuencia de la infiltración de las aguas. Hay que tener en cuenta, la ubicación de esta escombrera en una zona densamente poblada, residencial y de alto valor paisajístico, aledaña a la denominada Senda Verde, ruta turística muy transitada y prácticamente pegada a instalaciones industriales ajenas a la empresa.
- Aunque se limpiasen y retirase todos los materiales existentes en la superficie, tales como madera, hierros, plásticos, los que se encuentre en el interior de la misma, permanecerían en ella con el consiguiente riesgo potencial de contaminación. Asimismo, no sería posible actuar o realizar alguna labor tendente a minimizar los riesgos de incendio, que aunque ya se ha dicho que el riesgo de autocombustión o ignición espontánea es prácticamente inapreciable, la presencia de estos materiales en el seno de la escombrera, podrían implicar cierto riesgo de combustión.
- No sería posible la valorización de los estériles una vez que se hubiera procedido a su restauración, ni total ni parcialmente. De la misma forma, la posible existencia

de zonas con cierta riqueza en carbón, tal y como se ha apuntado anteriormente, sería irrelevante, pues no se podría valorizar.

- No se podría aprovechar y por tanto poner en valor económico el carbón existente en las balsas que constituyen una parte de la base de la escombrera.
- Con esta alternativa, no se liberaría suelo alguno para otros usos, lo que implica perder una gran superficie, por encima de los 60.000 m², en una zona con fuerte potencial de desarrollo urbano e industrial, constituyendo una limitación muy importante a cualquier plan que se intente llevar a cabo en la zona. Hay que reseñar, que el suavizado de taludes, implica un aumento de superficie afectada frente a la que en la actualidad ocupa la escombrera, ya que al disminuir la altura, se aumenta la superficie ocupada.

Así pues, todas estas razones son las que aconsejan tomar en cuenta cualquiera de las dos primeras alternativas, y desaconsejan recurrir a esta tercera en los términos anteriormente citados.

6.- ESTUDIO DE LA ESCOMBRERA SUR O BADA

6.1 Situación actual

Se trata de una escombrera situada en la parte sureste de las instalaciones de la empresa Mina la Camocha, S.A. y que ha sido utilizada hasta épocas recientes.

Se encuentra limitada al Sur y Este por el Arroyo de Santa Cecilia y la carretera local que une la localidad de Santa Cecilia y el poblado del Vaticano, al Norte por el poblado del Vaticano y la citada carretera y al Oeste por fincas y prados particulares y las instalaciones de la propia empresa divididas por la carretera de San Martín de Huerces - Granda.

En la parte norte de la escombrera, en las proximidades del poblado del Vaticano, se encuentran una serie de edificaciones (imagen 57) como son: economato, depuradora, tolvas, caseta del sondeo de Vega o E (que suministraba agua a la zona de duchas y

servicios de la empresa), los cuales habrán de ser demolidos y retirado para proceder a su restauración o remodelación.

Parte de la escombrera sobre todo, en sus límites norte, sur y este, se encuentra colonizada por especies vegetales y arbóreas (imágenes 59 y 60), algunas muy consolidadas, principalmente matorral bajo y eucaliptos, con abundancia de helechos, aunque existen también algunas otras especies en menor proporción como pueden ser pinos, avellanos, algún castaño y laurel, encontrándose especies herbáceas en gran proporción.

Toda la zona ocupa una superficie total de 42.650 m² y con una diferencia de cota o altura máxima del orden de 20 m., entre las cotas 65 y 85 metros s.n.m. cubicándose aproximadamente 170.000 m³ de escombros sobre la zona que se encuentra poco consolidada. La cota más baja corresponde a la parte este de la escombrera, mientras que en la parte norte (zona del economato y depuradora) se encuentra a cota 75 metros.

Tiene un diseño en forma de superficie plana que ocupa la mayoría de su extensión, terminando en una zona deprimida en forma de artesa que la bordea por la parte norte y este, alcanzándose en ésta el mayor desnivel.

La explanada superior, a cota media 85m, presenta un desnivel respecto a la carretera San Martín de Huerces-Granda de aproximadamente tres metros. Se encuentra fuertemente consolidada, sin presentar problemas de estabilidad.

El material que compone la escombrera, es muy similar o prácticamente el mismo que el descrito para la escombrera norte, que recordemos está formado por rocas detríticas de origen sedimentario, asociadas a terrenos carboníferos, de granulometría variable, procedentes del avance de las labores de interior de la mina, así como de los estériles producidos en el proceso de lavado de los carbones y restos de materiales carbonosos, procedentes de pasos de carbón o carboneros, no explotados en la mina, y que se extraen como material estéril, y de la propia imperfección del sistema de lavado o tratamiento. La litología de los materiales que la conforman está compuesta principalmente por esquistos lútficos, limolitas, margas, pizarras carbonosas, areniscas, calizas y carbón, siendo sus características o parámetros cuantitativos y cualitativos prácticamente iguales a los de la citada escombrera norte.



Imagen 59.- Especies arbóreas en el borde sur-Aª Sta. Cecilia.



Imagen 60.- Zona de la escombrera, parcialmente colonizada

La granulometría estaría generalmente por debajo de los 150 mm., con una fracción menor del 10/15% por encima de dicho tamaño, procedente fundamentalmente de las litologías más competentes (Areniscas), predominando los materiales poco competentes como pueden ser las pizarras carbonosas y los esquistos lutíticos.

En su parte superficial está formada por materiales diversos de rocas inertes procedentes de las labores de remodelación de las instalaciones de la propia empresa, y recubierto en su parte más llana por áridos de rodadura para el desempeño de las labores y trabajos diarios, y sobre los que se asienta alguna edificación, de poca importancia. (Entre ellas la nave destinada al almacenamiento y tratamiento de la madera para su uso en la mina).

Dicha escombrera fue construida sobre unas antiguas balsas de finos y carbón menudo, datando presumiblemente de los primeros tiempos de la explotación. Dichas balsas, según información suministrada por la propia empresa, presentaban una superficie del orden de 22.000 m² y una profundidad de 2,85 m. (profundidad irregular según versiones dadas por personal técnico de la mina, pues en su origen, sobre una capa arcillosa existente, se sacaba arcilla para su tratamiento en la cerámica existente en aquellos momentos, lo que originó algunos huecos, que se tradujeron posteriormente en acumulaciones de carbón fino en el proceso de ejecución de la balsa) habiéndose extraído de ellas un total de 101.230 toneladas brutas de carbón, sobre una superficie de 19.200 m² durante la década de los años 90, en que dichos depósitos de carbón fueron recuperados y explotados por compañías contratadas a tal efecto, por lo que prácticamente se extrajo todo el carbón.

Una vez que se retiró el carbón mencionado se originó un hueco que se rellenó parcialmente de escombros, presentando en la actualidad unas dimensiones de unos 18.000 m² con forma de artesa irregular, delimitado por unos montículos de estériles en los límites o perímetro de las antiguas balsas y que sería necesario reformar o allanar. Todo ello ha sido colonizado por vegetación. Parte de dicho hueco ha sido parcialmente utilizado para el vertido de estériles de las labores mineras, mezclado con tierra. Como puede observarse en el terreno, habrá de ser objeto de un tratamiento adecuado, que si no se retira todo el material, deberá ser rellenado o remodelado para proceder a su posterior restauración o adecuación en función de los usos futuros que se pretendan.

En la superficie de la escombrera, referido a la zona menos consolidada, no se han detectado ni observado restos de madera u otros materiales considerados no inertes.

Aunque evidentemente existe cierto impacto ambiental, éste es más reducido que en la escombrera norte, siendo más acusado en la parte del poblado del Vaticano, pues en el resto se encuentra bastante colonizado por especies arbustivas y arbóreas que lo enmascaran en gran medida. No obstante, todas las acciones que se citarán en capítulos siguientes, conducen a su minimización.

Con los mismos criterios expuestos para la escombrera norte, a continuación se va a clasificar esta escombrera:

- Dimensiones: Se trata de una escombrera con aproximadamente 20 metros de altura desde el pie a la coronación, y por tanto se puede considerar como Escombrera mediana.
- Emplazamiento: Se puede considerar como de ladera, pues se instala sobre una suave ladera hacia el arroyo Santa Cecilia.
- Sistema de vertido. Vertido libre por gravedad.
- Método constructivo: Se puede considerar de basculamiento final. (Da lugar a franjas de material inclinadas de acuerdo con el ángulo de rozamiento interno del mismo).
- Grado de riesgo potencial, estabilidad y coeficiente de seguridad: Se le asigna el tipo A I, Sin riesgo para personas, bienes, etc.
- Clasificación por seguridad ligada a la presencia de agua y problemas del cimientamiento (Tipo B): Se le puede asignar la categoría BI, Sin efecto de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimientamiento.

6.2.- Características de los estériles

La dirección técnica de la empresa Mina la Camocha, S.A., ha facilitado un somero estudio de los estériles depositados en las escombreras, según se ha indicado para el caso de la escombrera Norte, en el cual se afirma que los componentes fundamentales de las acumulaciones existentes en cuanto a las litologías se refieren, no es muy variado. Se trata de rocas detríticas asociadas a terrenos de edad carbonífera, cuyas principales características son las mismas que las ya se han mencionado en el caso anterior

Al igual que entonces, en el marco de ésta tesis, se procedió a realizar un reconocimiento de toda la superficie de la escombrera, recogiendo una serie de muestras en varios puntos de la misma, que aunque no pueden considerarse totalmente representativas de todo el volumen de estériles allí depositados, los resultados obtenidos se ajustan a los mismos parámetros que en el caso de la otra escombrera y de todos los estudios realizados con los estériles procedentes de escombreras de hulla citados en capítulos anteriores.

De la misma forma, en lo que concierne al análisis elemental de los estériles, encaminado al conocimiento de las propiedades desde el punto de vista energético de estos materiales, se han tomado quince muestras, analizadas en los laboratorios de Carbominsa y Larecom, y que han arrojado resultados prácticamente idénticos a los obtenidos en la escombrera norte, cosa absolutamente lógica dada la igual procedencia en términos generales de los citados materiales. Dichos resultados son:

% Humedad total	4,2 – 9,7
% Materias volátiles	8,9 – 9,7
% Cenizas	86,20-88,54
% Azufre	0,06-0,35
PCS (Kcal/kg)	400 - 536

Del mismo modo, visto el Poder Calorífico Superior (PCS) obtenido (entre 400 y 536 kcal/kg), podemos concluir que prácticamente el riesgo de combustión es inapreciable. Se sigue observando como el contenido en azufre es muy bajo, pues tampoco en este caso prácticamente se aprecian piritas, o minerales sulfurosos, ni se ha observado la presencia de sulfatos en la superficie de la escombrera (tonos blanquecinos).

Por otra parte, como era de esperar el valor energético de estos materiales en principio no presenta excesivo interés.

En este caso, y en lo que concierne al carbón existente en las balsas de finos, ya se indicado anteriormente, que según lo manifestado y la documentación a la que hemos tenido acceso, la práctica totalidad de los finos de carbón existentes se ha extraído con anterioridad.

6.3.- Estudio geotécnico

En base al estudio geotécnico preliminar de estabilidad de la escombrera, realizado con motivo de los Proyectos de Cese y Abandono de Labores en Mina la Camocha, S.A., por Minería, Hidrología y Proyectos, S.L., según la clasificación INESTEC, se obtiene una calificación de estabilidad de 400, lo que significa una clase de estabilidad de la escombrera de tipo II, con un riesgo de rotura baja. En función de ésta clasificación, se recomienda adoptar las siguientes medidas:

- La modificación de la geometría de los taludes para disminuir la pendiente general de los mismos.
- Realizar un sistema de drenajes que recoja el agua de escorrentía y que evite su infiltración mejorando así la estabilidad de la escombrera y reduciendo el posible riesgo de incendio en la misma.
- Si se procede a relleno con materiales de ajenos a la propia escombrera, se deberán compactar en tongadas de 0,5 cm, para eliminar todo riesgo de ignición.

De todas formas se puede concluir que con cualquiera de las alternativas que a continuación se describirán para el tratamiento de esta escombrera, y teniendo en cuenta la clasificación anteriormente realizada, su estabilidad no debería presentar problemas futuros.

No obstante se debería rebajar la pendiente de los taludes y sería muy aconsejable extender una cubierta vegetal en toda la superficie de los mismos al objeto de fijar el terreno.

Asimismo, debería establecerse una cuneta perimetral en la parte superior que resultase de la remodelación, con bajantes de hormigón a intervalos, al objeto de recogida controlada de las aguas de escorrentía, evitando su infiltración, aumentando la estabilidad, y reduciendo el de ya por sí muy escaso, riesgo de incendio.

6.4.- Alternativas del tratamiento de la escombrera Sur

En la superficie de escombrera o zona a tratar, se ubican una serie de edificaciones e instalaciones, como son: sierra, casetas diversas, tolvas, edificio de economato, casa de máquinas y depuradora y elementos de chatarra.

Previamente a cualquier actuación, debería procederse a su demolición, con el transporte de los restos a vertedero autorizado y gestionar los residuos originados según la legislación vigente. Asimismo, deberían retirarse todos los restos de chatarra y maquinaria, contemplados o no como activos propios de la empresa.

En este caso, al igual que para la escombrera norte, se van a plantear tres alternativas:

1. Alternativa 1S: Eliminación total del depósito de estériles. Imagen 61.
2. Alternativa 2S: Restauración de la escombrera en las circunstancias actuales. Imagen 62.
3. Alternativa 3S: Aporte de material procedente de la escombrera norte y posterior restauración. Imagen 63.

A continuación se describen sucintamente cada una de las tres alternativas citadas, estableciendo las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, que nos conduzcan a una priorización en cuanto a su aplicación.

6.4.1.- Alternativa 1S: Eliminación total del depósito de estériles.

Se trataría de eliminar toda la escombrera, mediante su carga y transporte fuera de las instalaciones de la empresa.

Aunque se ha venido expresando que prácticamente todo el carbón de las balsas de finos que existían en esta zona, habría sido extraído, no se puede descartar que pudiera quedar alguna cantidad sin extraer, con lo cual, al retirar todo el material, dicho carbón quedaría al descubierto, y podría valorizarse.

Citemos a continuación las ventajas e inconvenientes de esta alternativa, que como no podía ser de otra manera, serán similares a las expuestas para la citada escombrera norte.

- Eliminación de todo tipo de riesgo de deslizamiento o inestabilidad en la propia escombrera.
- Eliminación de cualquier riesgo de contaminación, incendio, etc, pues todos los materiales que no son inertes, y que se pueden encontrar en el interior de la escombrera, se eliminan de la zona.
- Desaparición de cualquier impacto ambiental.
- Recuperación de todo el carbón que pudiera no haberse extraído de la balsa de finos de la zona.
- Liberación de una importante superficie de terreno, apta para todo tipo de usos.

- Posible valorización de los estériles existentes como aplicación en usos varios.
- Ausencia de inversión significativa para la realización de las obras necesarias.
- Se evita cualquier coste en las labores de restauración.

Como inconvenientes, se pueden citar los siguientes:

- El tiempo de duración de la operación, que, independientemente del tiempo empleado en todas las operaciones de clasificación, carga y transporte, se encuentra vinculado con el destino y uso de los materiales, que puede implicar cierta discontinuidad e intermitencia en las operaciones de eliminación de los estériles
- Las molestias ocasionadas al vecindario de la zona y a las vías públicas durante el tiempo que dure el proceso.

Los inconvenientes son sustancialmente menores que las ventajas que este procedimiento conlleva, constituyendo a juicio del redactor de la tesis, la mejor e ideal solución para el objetivo que se está persiguiendo, evidentemente vinculado al mercado o existencia de vertederos capaces de absorber un volumen de estériles de estas características.

6.4.2.- Alternativa 2S: Restauración de la escombrera en las circunstancias actuales

Consiste en la remodelación de los estériles “in situ” sin transporte alguno fuera de la escombrera.

Como principales ventajas hemos de citar las siguientes:

- Es una actuación rápida con escasa influencia negativa durante su ejecución para el vecindario.
- No está sujeta a ninguna circunstancia externa (mercado, disponibilidad de vertedero, etc) para su realización.
- El coste de la operación es relativamente bajo.
- Se puede reducir el impacto ambiental de forma importante.

- Parte de este suelo, se puede utilizar en el futuro para ciertos usos, de tipo restringido.

Como inconvenientes podemos citar:

- Importante pérdida de suelo, frente a las otras dos alternativas.
- No se valorizan los estériles.
- En el caso de existir carbón en el seno de la escombrera, no se podría proceder a su puesta en valor económico.

De todas formas, en este caso no se desaconseja absolutamente la adopción de esta medida, aunque, de las tres que aquí se plantean, sería la más desfavorable, desde el punto de vista del conjunto de actuaciones en las dos escombreras.

6.4.3.- Alternativa 3S: Aporte de material procedente de la escombrera norte y posterior restauración.

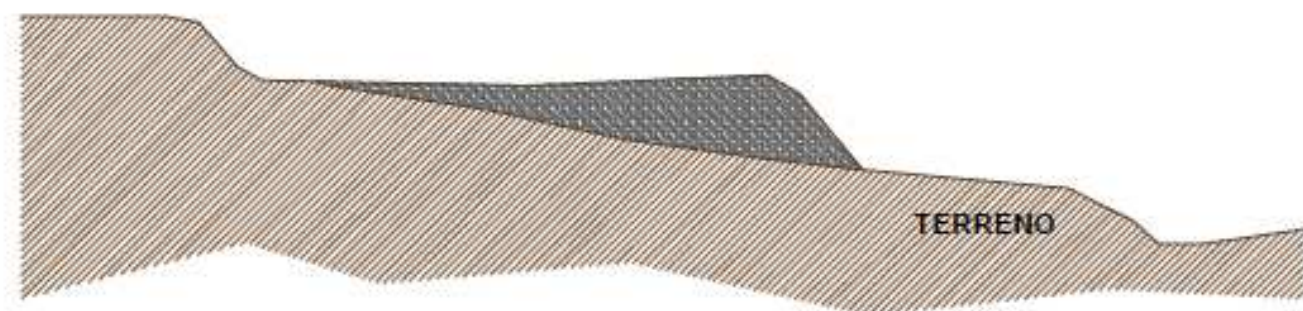
Esta alternativa ha sido descrita con detalle en el capítulo 5.5.2.

Destacar tan sólo, que frente a la alternativa anterior, y circunscrito el problema exclusivamente al caso de esta escombrera, presenta la ventaja del aumento notable del suelo, pues mantiene los mismos inconvenientes de no valorización de estériles y carbón.

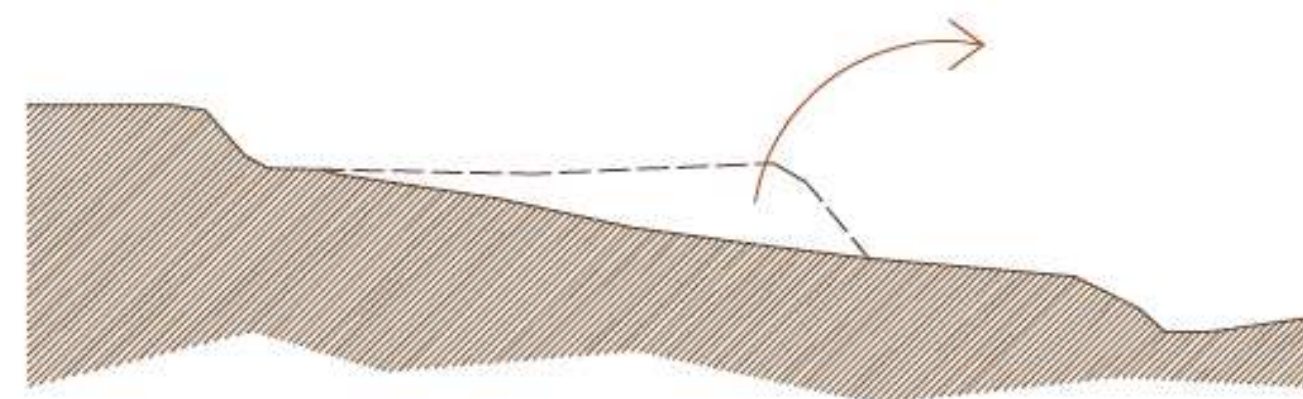
No obstante, tal y como se reflejaba en el capítulo anterior, desde el punto de vista de conjunto de tratamiento de todos los depósitos de estériles de Mina la Camocha, S.A., y considerando la dificultad que puede entrañar la gestión de un volumen tan importante de materiales, así como teniendo en cuenta que presenta la flexibilidad suficiente para constituir una alternativa intermedia, pues se puede retirar la parte de estos materiales que demande el mercado en el momento de adopción de la medida, podrá considerarse como la alternativa más viable de todas las expuestas.

7.- SIMULACION GRÁFICA DE LAS ALTERNATIVAS

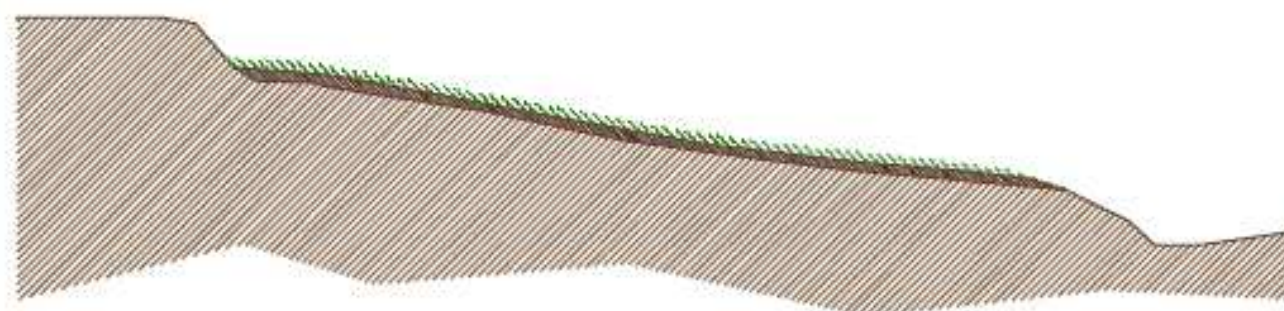
En la serie de ortofotos que se adjuntan a continuación, y a título meramente indicativo, se reflejan distintas simulaciones de las alternativas descritas anteriormente, al objeto de que se pueda visualizar una aproximación a los resultados perseguidos, teniendo en cuenta que se trata de una pura simulación teórica, que puede ser notablemente diferente a la situación real que se produzca, en función de las directrices que se marquen en el desarrollo futuro de esta zona, y que en el momento de redacción de este estudio no se conocen.



A. ESQUEMA DE SECCIÓN DE ESCOMBRERA SUR EN ESTADO ACTUAL.



B. RETIRADA Y GESTIÓN DE ESTÉRILES DE LA ESCOMBRERA

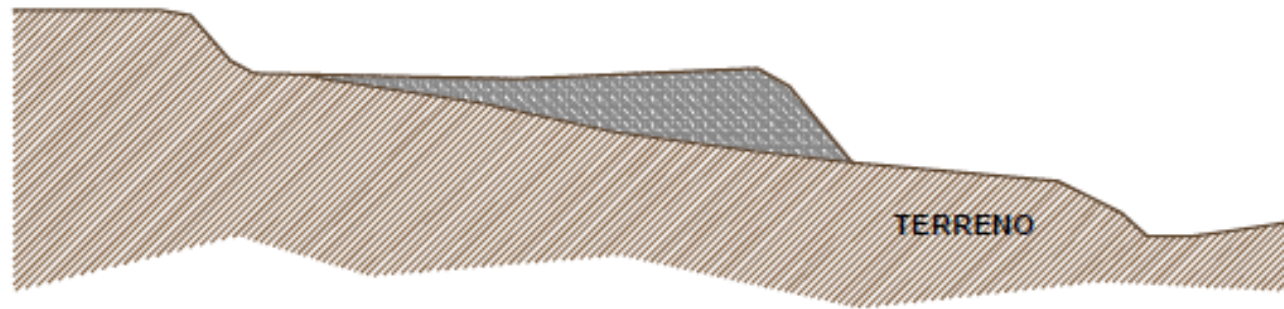


C. ADECUACIÓN DEL TERRENO PARA FUTUROS USOS

Imagen 61.- Esquematización alternativa 1S.



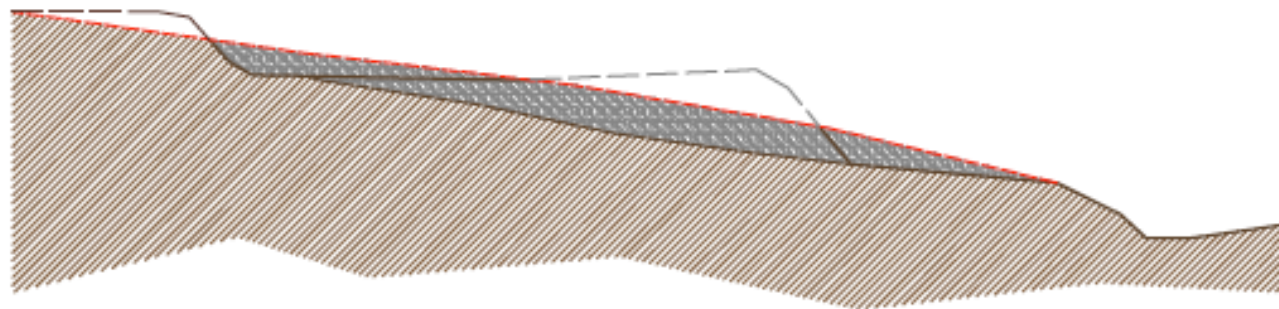
ZONA ACTUACIÓN. ESCOMBRERA SUR



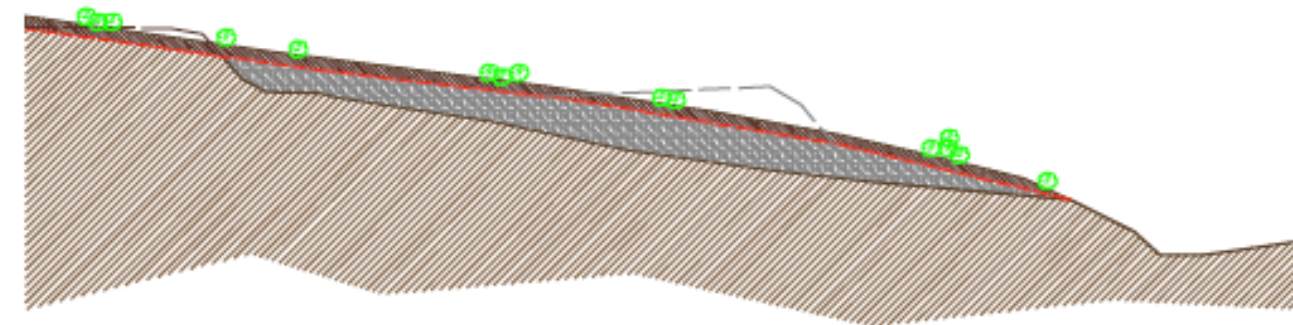
A. ESQUEMA DE SECCIÓN DE ESCOMBRERA SUR EN ESTADO ACTUAL.



ZONA ACTUACIÓN. ESCOMBRERA SUR

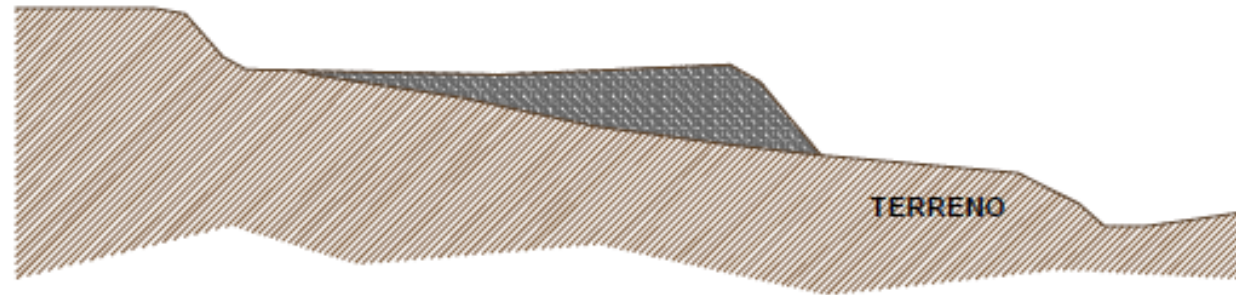


B. DISEÑO DE PERFIL Y MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA REMODELADO DE LA ESCOMBRERA

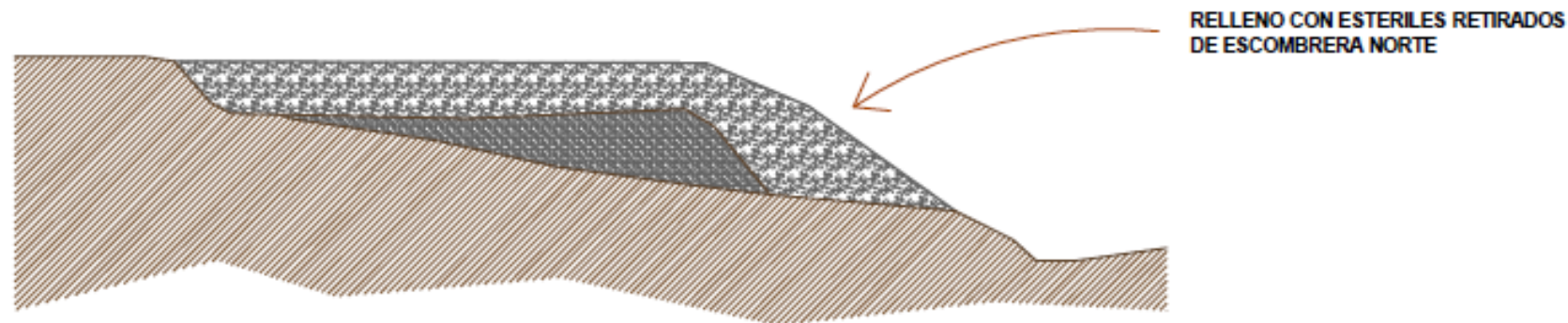


C. EXTENDIDO DE CUBIERTA VEGETAL Y ADECUACIÓN DEL TERRENO HASTA IMPLANTACIÓN DE USO DEFINITIVO.

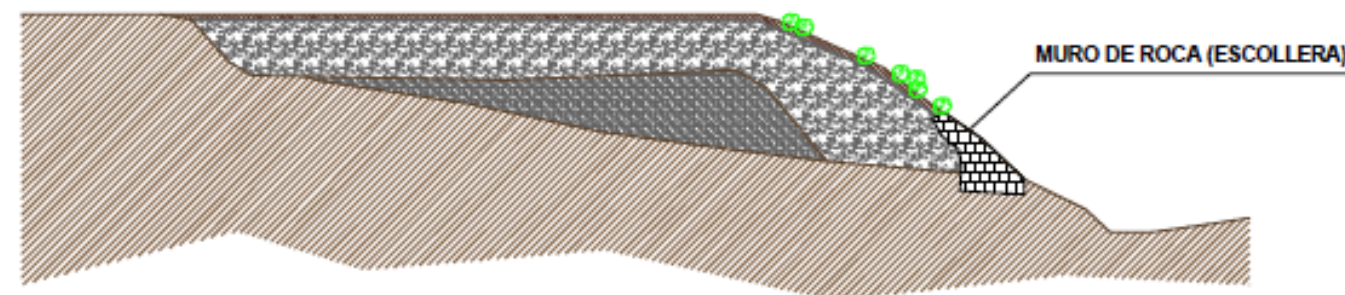
Imagen 62.- Esquematización alternativa 2S



A. ESQUEMA DE SECCIÓN DE ESCOMBRERA SUR EN ESTADO ACTUAL.



B. RELLENO DE HUECOS Y REMODELADO DE LA ESCOMBRERA



C. COLOCACIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN, EXTENDIDO DE CUBIERTA VEGETAL, REVEGETACIÓN DE TALUD Y ADECUACIÓN DEL TERRENO DE PLATAFORMA HASTA IMPLANTACIÓN DE USO DEFINITIVO

Imagen 63.- Esquematización alternativa 2N y 3S



Imagen 64.- Estado actual de las escombreras (delimitadas en rojo) y las balsas.



Imagen 65.- Simulación: Acondicionamiento urbanístico.



Imagen 66.- Simulación: Acondicionamiento uso natural.



Imagen 67.- Simulación uso recreativo.

CAPÍTULO 6.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. BALSAS DE LODOS DE MINA LA CAMOCHA

1.- INTRODUCCIÓN

El trabajo se enfoca a la total eliminación de las balsas de finos, por lo que no se contempla en ningún momento la posibilidad de actuaciones encaminadas a la no retirada del material que constituyen dichas balsas, estableciendo como óptimo la valorización como producto energético de los lodos o residuos de carbón finos-ultrafinos allí depositados, intentando definir sus parámetros de calidad y teniendo muy en cuenta la estabilidad de los diques existentes durante el proceso de eliminación mencionado.

2.- METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El esquema de trabajo seguido, ha consistido básicamente en la identificación física del depósito, la calidad de los materiales depositados, evaluación de los posibles tratamientos, sistemática o método de extracción, eliminación de los diques y análisis de la situación final.

Para ello, se ha realizado en primer lugar un levantamiento topográfico en detalle de toda la zona, que nos permite llegar a una cubicación de los finos allí depositados, así como la definición de todos los parámetros necesarios para la realización de los correspondientes estudios geotécnicos.

Se ha procedido a la recopilación de los datos de análisis de carbón que se han puesto a disposición del redactor de ésta Tesis Doctoral por personal técnico de la empresa, así como el estudio y análisis de algunos trabajos ya existentes.

Por esta razón y al objeto de contrastar los datos facilitados, se ha procedido a la recogida de nuevas muestras, tanto en julio de 2009 como en febrero de 2010, de forma aleatoria, con las limitaciones propias tanto de la escasa profundidad a que han sido tomadas como la época invernal en que se desarrolla parte del estudio, que no permite el acceso a toda la zona ocupada por la balsa de finos, y que se describen en el capítulo correspondiente, las cuales han sido analizadas en un Laboratorio Oficial, Larecom. Toda esta gama de datos y resultados de los análisis de las muestras de carbón, permiten vislumbrar con un cierto grado de aproximación, una estimación del valor que como

producto energético poseen estos materiales, así como definir los posibles tratamientos necesarios para su comercialización en el mercado actual del carbón térmico en España.

La eliminación de este depósito conllevaría tres ventajas fundamentales:

- Permite el aprovechamiento comercial del producto en función de su calidad.
- Libera una importante superficie de suelo.
- Elimina por completo cualquier riesgo presente o futuro de rotura de la presa.

Finalmente de una forma somera, se describirán las acciones de restauración de la superficie una vez eliminada la balsa, en función de los distintos usos que se pretenda dar al terreno.

3.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS

Se trata de una presa de lodos, recrecida artificialmente de estériles, de grandes dimensiones, que contiene los finos de carbón procedentes del lavadero, y que se depositaban en ella para su decantación. Está limitada por tres lados por diques, mientras que el cuarto, se apoya directamente sobre terreno natural (imagen 68).

Los lodos se disponen en dos compartimentos o zonas, con una diferencia de cota media de aproximadamente tres metros, separados por un dique, que denominaremos en adelante dique central.

Las dimensiones de las balsas, obtenidas por levantamiento topográfico, son:

- Superficie total: 59.681 m²
- Superficie ocupada por los diques exteriores: 22.358 m²
- Superficie ocupada por el dique central: 3.918 m²
- Superficie ocupada por finos en zona 1: 12.030 m²
- Profundidad media zona 1: 11-13 m
- Superficie ocupada por finos zona 2: 25.377 m²

- Profundidad media zona 2: 8-11 m



Imagen 68.- Representación panorámica de las balsas de lodos

Con estos datos, y aplicando una densidad a los finos de carbón, en función de sus características de $1,9 \text{ t/m}^3$, se obtiene un tonelaje total de:

- Volumen de finos en zona 1: 168.187 m^3
- Volumen de finos en zona 2: 259.829 m^3
- Volumen total: 428.016 m^3
- Densidad: $1,9 \text{ t/m}^3$
- Tonelaje total: $813.230,4 \text{ t}$

Para el cálculo de los volúmenes se ha supuesto una pendiente de talud interior de los diques de 1:1 y una interpolación entre los dos extremos del terreno natural para definir la profundidad. Asimismo, no se tiene en cuenta, por desconocerse tal circunstancia, si en su formación, el depósito de finos se inició sobre la superficie existente, o bien sobre una primitiva balsa, lo que incidiría de forma sensible en el volumen de finos existentes.

Operando del mismo modo para el estéril, pero tomando una densidad de $2,65 \text{ t/m}^3$, se puede calcular el volumen de estéril existente en los diques tanto exteriores como central, obteniendo el siguiente resultado:

- Volumen diques zona 1: 63.112 m^3
- Volumen diques zona 2: 134.426 m^3
- Volumen dique central: 32.835 m^3

- Total volumen de estéril: 230.373 m³
- Densidad 2,65 t/m³
- Total Estéril: 610.478 t

3.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS DIQUES DE CONTENCIÓN

De acuerdo con las características geométricas, los diques perimetrales de las dos zonas tienen una longitud total de 414 metros, y el central de 115 metros. La pendiente media de talud exterior es aproximadamente 3:2, con una anchura media aproximada en la coronación de 5 metros en el caso del dique central y en el perimetral de 4 metros, con un anchurón en la zona noreste del dique de contención de 67 metros de avance por 15 metros de anchura.

Dado que no es posible conocer con exactitud la secuencia de construcción de los diques, se ha supuesto, como se indicó anteriormente, una pendiente media y constante de 1:1 en el talud interior, y en cuanto al fondo, se ha interpolado entre los contactos con el terreno natural de los extremos.



Imagen 69.- Talud perimetral de las balsas

Los materiales que componen los diques tanto exteriores, como el central, son fundamentalmente materiales estériles procedentes del interior de la mina, compuestos, en cuanto a litologías se refiere, por rocas detríticas de origen sedimentario, asociados a terrenos de edad carbonífera.

La granulometría está generalmente por debajo de los 150 mm, con una fracción <10/15% por encima de dicho tamaño, procedente fundamentalmente de las litologías más competentes (Areniscas). Las características medias del material, en cuanto a los parámetros más representativos son las siguientes:

- Densidad 2,65 g/cm³
- Densidad del todo uno 2,65 g/cm³
- Humedad 5%
- Cohesión efectiva 0 – 2 T/m²
- Angulo de Rozamiento interno 30 – 35°
- Hinchamiento medio 1,43%
- Absorción media 3,41%
- Índice C.B.R. 10

4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS FINOS DE CARBÓN

La calidad media de los finos depositados en el depósito, facilitada por la Dirección de Mina la Camocha, se resume a continuación:

- Cenizas 68%
- Volátiles 5,8%
- Humedad 22%
- Azufre 1%
- PCS 2.966
- PCI 1.327

En la información facilitada, llama la atención el hecho de que en los materiales depositados en los años 60 y primeros de los 70, el contenido en cenizas oscilaba entre el 50 y el 60%, mientras en los años posteriores al mejorar la eficiencia del lavado, la calidad de estos finos decrece.

Dado que los datos facilitados por la empresa carecían de las mínimas garantías en cuanto a representatividad de la muestra, pues se desconocía los puntos de toma de muestra, así como la profundidad de dicha toma, se procedió a la recogida de una serie de muestras (imagen 70) en verano de 2009 para su análisis en el Laboratorio Regional de Combustibles de la Junta de Castilla y León (Larecom), en concreto cuatro en la denominada zona nº 1 (balsa más cercana a la escombrera) y otras cuatro en la zona nº 2 (más alejada a la escombrera), a una profundidad media de 1 metro, y de un peso aproximado cada una de 1kg, cuyos resultados se recogen en las tablas 26 y 27.

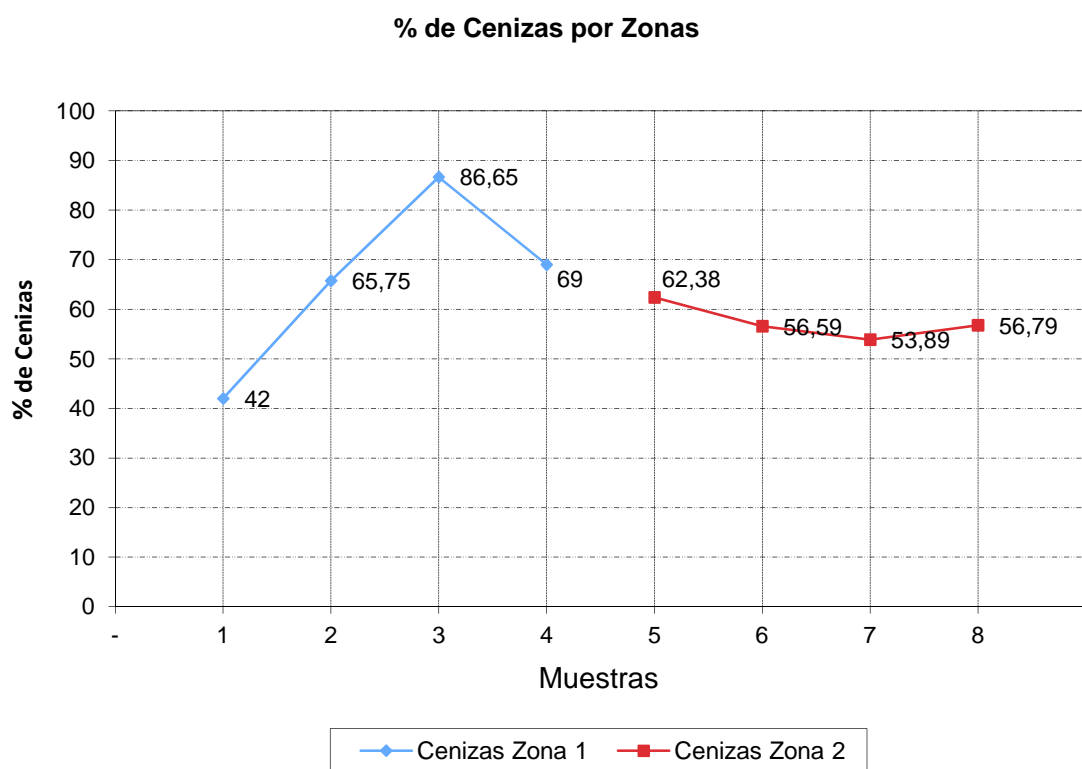
Se aprecia como en la zona nº 1 existe una importante dispersión de datos (esquema 1), con carbones que van desde el 42% de cenizas hasta prácticamente el 87%. En el caso de la muestra que presenta un contenido del 42% de cenizas, sí se puede observar un resultado bastante atípico, si tenemos en cuenta el contenido en volátiles (22%) demasiado alto para un carbón de estas características. No obstante, en el caso de la zona nº 2, sí se aprecia una uniformidad en todos los resultados, que parece indicar, que por lo menos, en la capa superior de la zona, de espesor aproximado un metro, el material depositado presenta unas características, en cuanto al contenido en cenizas se refiere, del orden del 57 %, lo cual permite augurar buenas posibilidades de valorización energética.

Muestra	UTM X	UTM Y	% C	% V	% H	PCS	% S
1	284.430,23	4.818.545,13	42	22,81	12,3	4670	1,19
2	284.409,96	4.818.603,54	65,74	16,10	10,3	2535	1,04
3	284.431,01	4.818.643,76	86,65	9,81	8,8	585	0,70
4	284.462,57	4.818.605,53	69	15,13	12,9	2240	0,87

Tabla 26.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 1. UTM uso 30. Verano de 2009

Muestra	UTM X	UTM Y	% C	% V	% H	PCS	% S
5	284.503,77	4.818.651,59	62,38				
6	284.529,29	4.818.729,74	56,59				
7	284.575,93	4.818.735,17	53,89				
8	284.600,22	4.818.680,09	56,79				

Tabla 27.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 2. UTM uso 30. Verano 2009



Esquema 1.- Representación del porcentaje de cenizas en zonas 1 y 2



Imagen 70.- Toma de muestras

Durante el invierno de 2010 se volvió a realizar una campaña de toma de muestras en las dos zonas en que se ha dividido el depósito, con la misma limitación de la profundidad, pero intentando que, por lo menos a nivel superficial las muestras fueran un reflejo lo más aproximado posible del material depositado, por lo menos en la capa de espesor de un metro, que fue el nivel donde se tomaron las muestras.

Dichas muestras se han analizado en el Larecom, en el mes de febrero de 2010, y los resultados obtenidos se describen en las tablas 29 y 30:

Muestra	UTM X	UTM Y	% C	% V	% H	% S
1A	284.432,33	4.818.546,23	80,15	11,54	12,01	1,01
2A	284.412,25	4.818.599,01	78,50	13,12	14,32	0,93
3A	284.429,11	4.818.642,66	78,40	11,83	16,31	0,88
4A	284.463,37	4.818.603,33	75,19	12,24	15,20	0,82

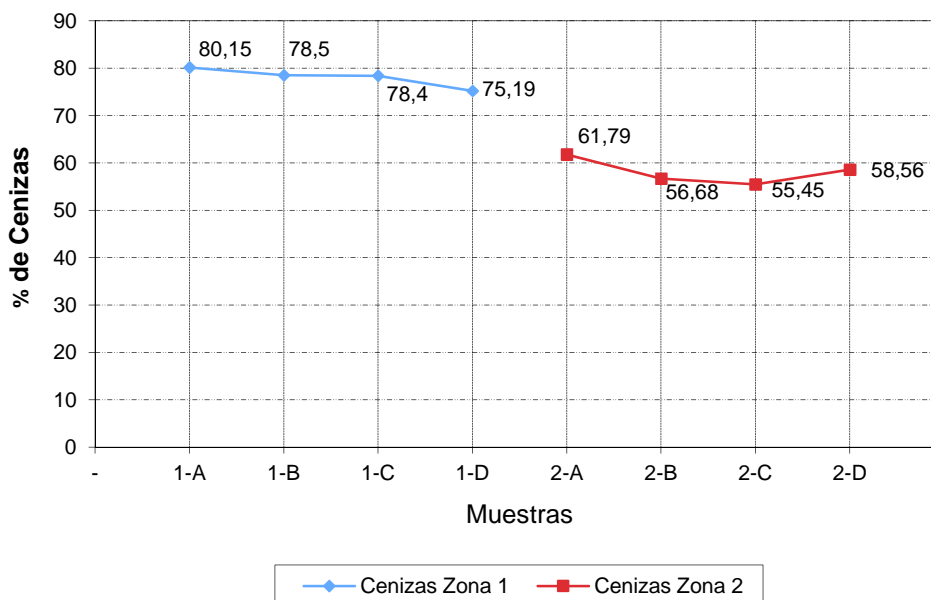
Tabla 28.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 1. UTM uso 30. Invierno 2010

Muestra	UTM X	UTM Y	% C	% V	% H	% S
5A	284.500,70	4.818.652,73	61,79	17,59	30,45	0,73
6A	284.528,31	4.818.731,64	56,68	14,23	20,14	0,85
7A	284.573,95	4.818.733,18	55,45	13,35	19,85	1,02
8A	284.601,52	4.818.678,29	58,56	12,27	22,33	0,93

Tabla 29.- Analítica muestras de finos de carbón en zona 2. UTM uso 30. Invierno 2010

Observando los resultados anteriores, se comprueba una mayor homogeneización en cuanto a las cifras obtenidas, y se aprecia, como, en la zona 1, la calidad es bastante peor que en la zona 2, que continua manteniendo unas buenas expectativas en cuanto a su valorización energética se refiere.

% de Cenizas por Zonas



Esquema 2.- Representación del porcentaje de cenizas en zonas 1 y 2. Invierno de 2010

En el esquema 2 se refleja el contenido en cenizas del total de las muestras tomadas en las dos zonas, a una profundidad media de 1 metro. En cuanto al resto de los parámetros analizados, se observa como la humedad es bastante constante, y relativamente baja,

salvo las tomadas en la zona 2, en época invernal, que se encontraba con bastante agua en la superficie.

Finalmente, en cuanto al contenido en azufre, si hacemos abstracción de la citada muestra nº 1, se observa que es bastante regular, en torno a una media del 0,90 %

5.- EXTRACCIÓN DE LOS FINOS

Esta tesis, en lo que a este apartado se refiere, está orientada a la eliminación total de los depósitos de finos existentes, buscando tres objetivos claramente diferenciados:

1. Adecuación de una superficie afectada por una actividad industrial, con la rehabilitación de los terrenos que ocupa y su reintegración en el medio ambiente circundante.
2. Valorización energética de un recurso existente como residuo de una actividad minera.
3. Eliminación del riesgo medioambiental, económico y social, que se pudiera ocasionar con la rotura de los diques de contención de las balsas de lodos y la consecuente liberación de los materiales constituyentes de las citadas balsas.

Obviamente, en el estado actual de conocimientos de las características de los materiales depositados, en el cual se desconoce el grado de humedad e impermeabilidad de aquellos en profundidad, para la eliminación física de las balsas, hay que tener en cuenta el estudio geotécnico de estabilidad de los diques, y que ha de ayudar a marcar las pautas de actuación para la eliminación total del depósito, a fin de realizar ésta con las máximas garantías de estabilidad posible.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio geotécnico de estabilidad de los dique, se puede concluir que la presa será estable durante su desmantelamiento atendiendo a unas precauciones básicas, como es el mantener controlado el nivel piezométrico en el interior de la presa e ir reduciendo la altura de los diques de la misma a medida que se avance en su eliminación.

De forma general para todos los métodos de extracción que se proponen a continuación, previamente al inicio de cualquier operación, se instalará un sistema de bombeo que

elimine todo el agua superficial, que, sobre todo en la zona 1, prácticamente existe durante todo el año, para una vez seca la superficie proceder a realizar las operaciones de extracción de los lodos, habiendo eliminado previamente la posible inestabilidad que la presencia de agua produciría al infiltrarse hacia cotas inferiores de los diques.

Asimismo, común también para todos los métodos, se propone la extracción de una franja de finos, de aproximadamente siete metros de anchura, a lo largo de todo el perímetro del depósito limitado por los diques, tanto en la zona 1 como en la zona 2, con una profundidad media de 4 metros, altura indicada para garantizar la estabilidad de los diques, de acuerdo con el estudio geotécnico ya mencionado anteriormente. Con la realización de esta zanja se dispondrá de una cuneta perimetral, de 7 metros de anchura y 4 metros de profundidad, lo que ha de permitir conseguir los siguientes objetivos:

1. Conocimiento de las condiciones de humedad y plasticidad de los materiales depositados a esa cota.
2. La cuneta actuará como colector de las aguas, tanto pluviométricas, como las derivadas de la propia humedad de los materiales depositados, sobre todo en las proximidad de la zanja, y por tanto, será más fácil su bombeo al exterior del depósito.
3. Definirá un frente inicial de arranque y carga a lo largo de todo el perímetro de las dos zonas del depósito.

En la imagen 72 se refleja el diseño propuesto para la realización de la citada franja o cuneta perimetral.

En la zona sureste no se contempla la realización de zanja perimetral, pues debido a que se trata de terreno natural, desde él se planifica la apertura de los frentes de extracción.

Con la información suministrada por la ejecución de la zanja perimetral, se podrá valorar la posibilidad de instalación de una o varias bombas de lodos, que si el grado de humedad es importante, pueda intentar desecar lo más posible la superficie. Obviamente habrá que tener en cuenta las condiciones de vertido de esas aguas, por lo que el agua sucia con los lodos de menor fracción bombeadas, al igual que con el agua superficial, relativamente limpia citada anteriormente, podría dirigirse hacia el depósito o tanque espesador (imagen 71) construido con hormigón, y que se sitúa en la parte posterior del

lavadero, para su decantación y posterior vertido de aguas limpia a los cauces naturales, con una capacidad de 2.000 m³.



Imagen 71.- Tanque espesador

1ª Extracción por tongadas (Imagen 73)

Si las condiciones de plasticidad, humedad y consistencia de los materiales depositados permitieran el trabajo de la maquinaria, tanto de arranque y carga como de transporte sobre toda la superficie de los mismos, se procedería a su extracción por tongadas sucesivas, con un espesor de 4 m, fijado por el estudio geotécnico de estabilidad de los diques, según la secuencia reflejada en los gráficos adjuntos.

Como parece lógico, se debería iniciar la extracción de las tongadas desde la parte sureste, que coincide con el talud natural de la ladera sobre la que se apoya el propio depósito, lo que implica que las máquinas iniciarían el trabajo sobre terreno firme, y se minimizaría la longitud de transporte.

Una vez extraída esta primera tongada de 4 metros de profundidad, se procedería a retirar una rebanada de los diques de este mismo espesor, de acuerdo con los parámetros y conclusiones del estudio geotécnico, y así sucesivamente.

El sistema descrito es el más sencillo, de mejor rendimiento y menor coste, a la vez que permite disponer de una superficie libre importante, lo que contribuye al secado de las capas inferiores. Lógicamente, requiere de unas condiciones iniciales de plasticidad y humedad muy exigentes para dar la consistencia necesaria para el trabajo de la maquinaria sobre dicha superficie.

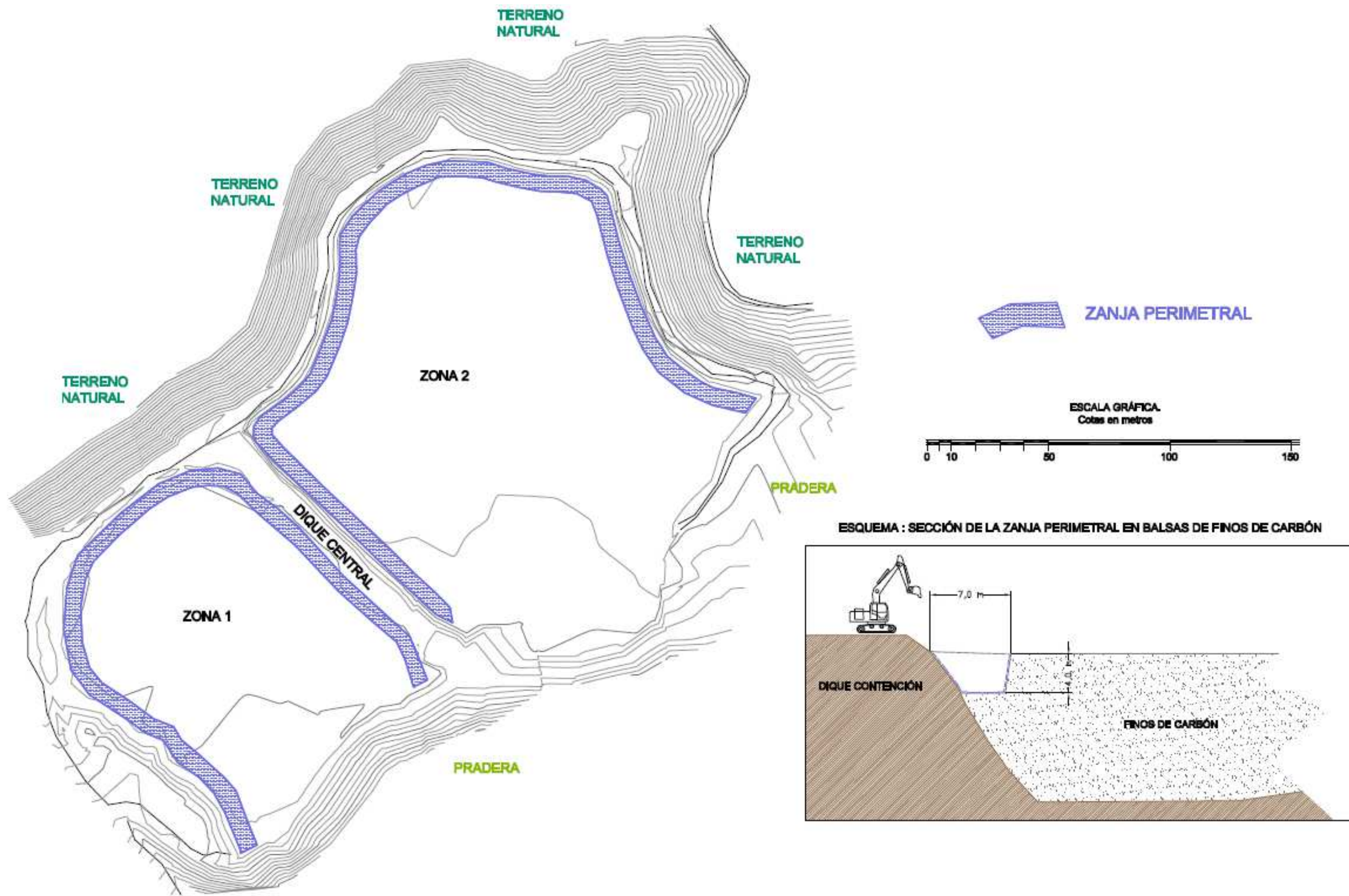


Imagen 72.- Diseño propuesto para franja perimetral

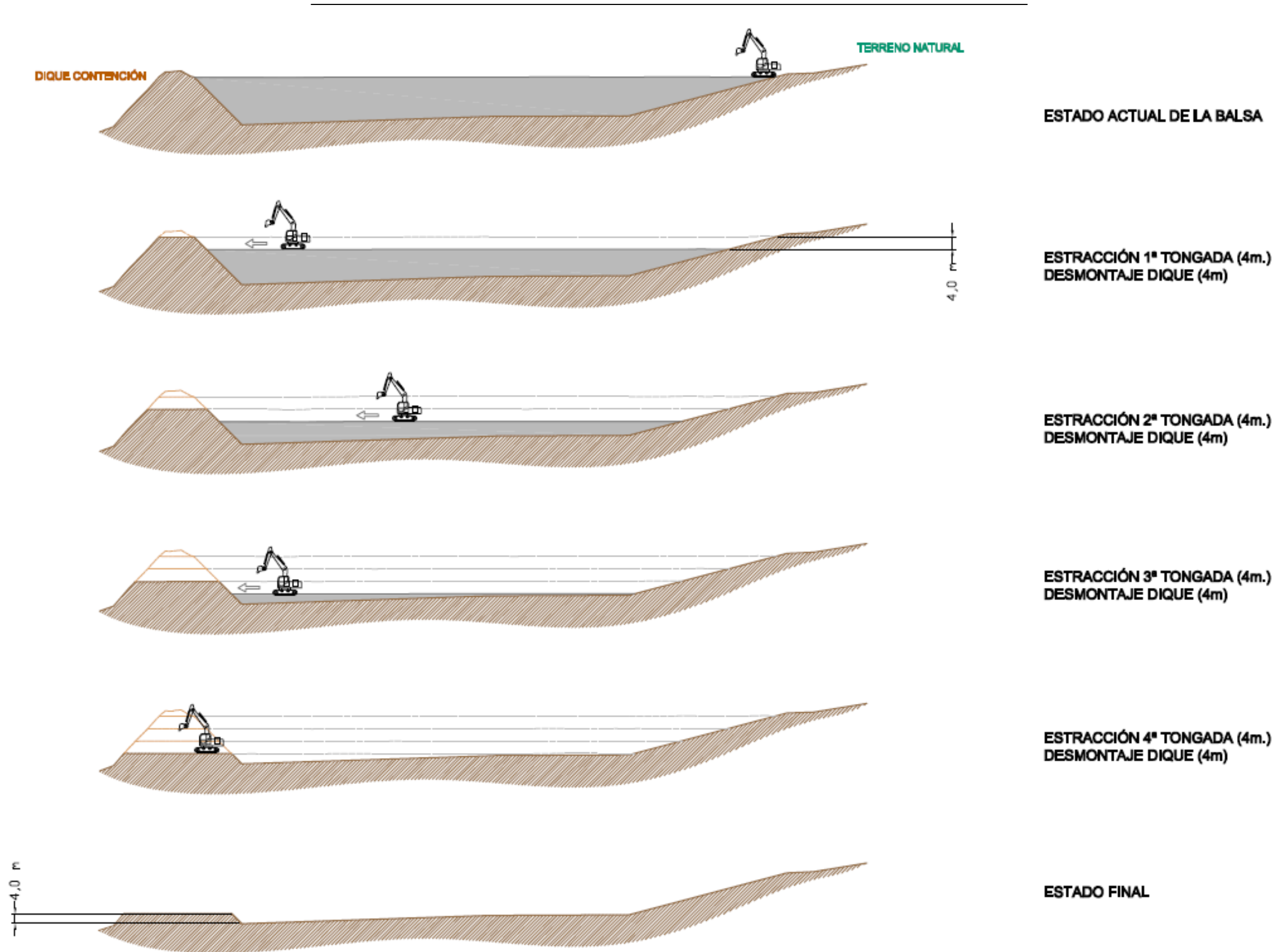


Imagen 73.- Extracción por tongadas

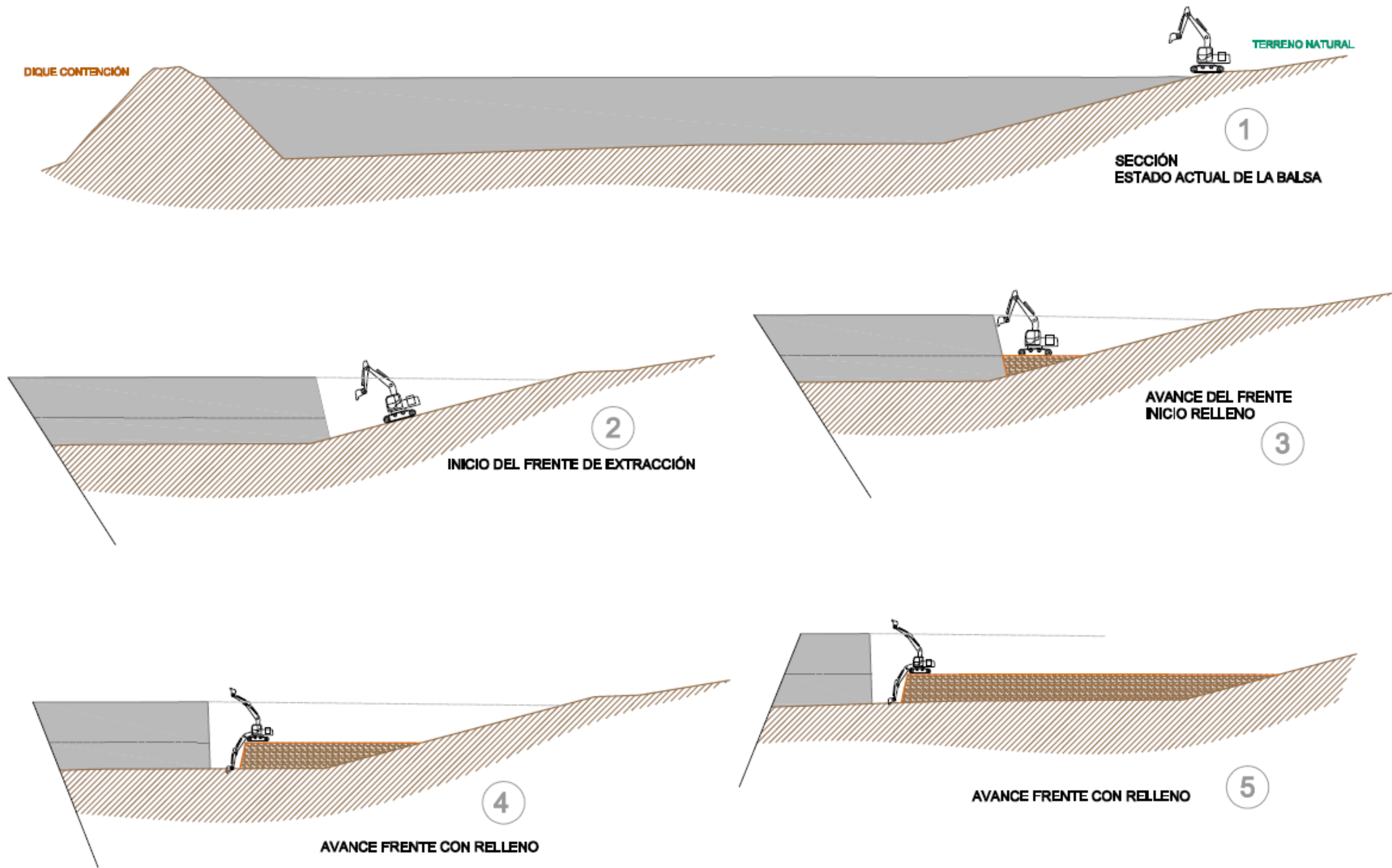


Imagen 74.- Extracción por frente único con relleno

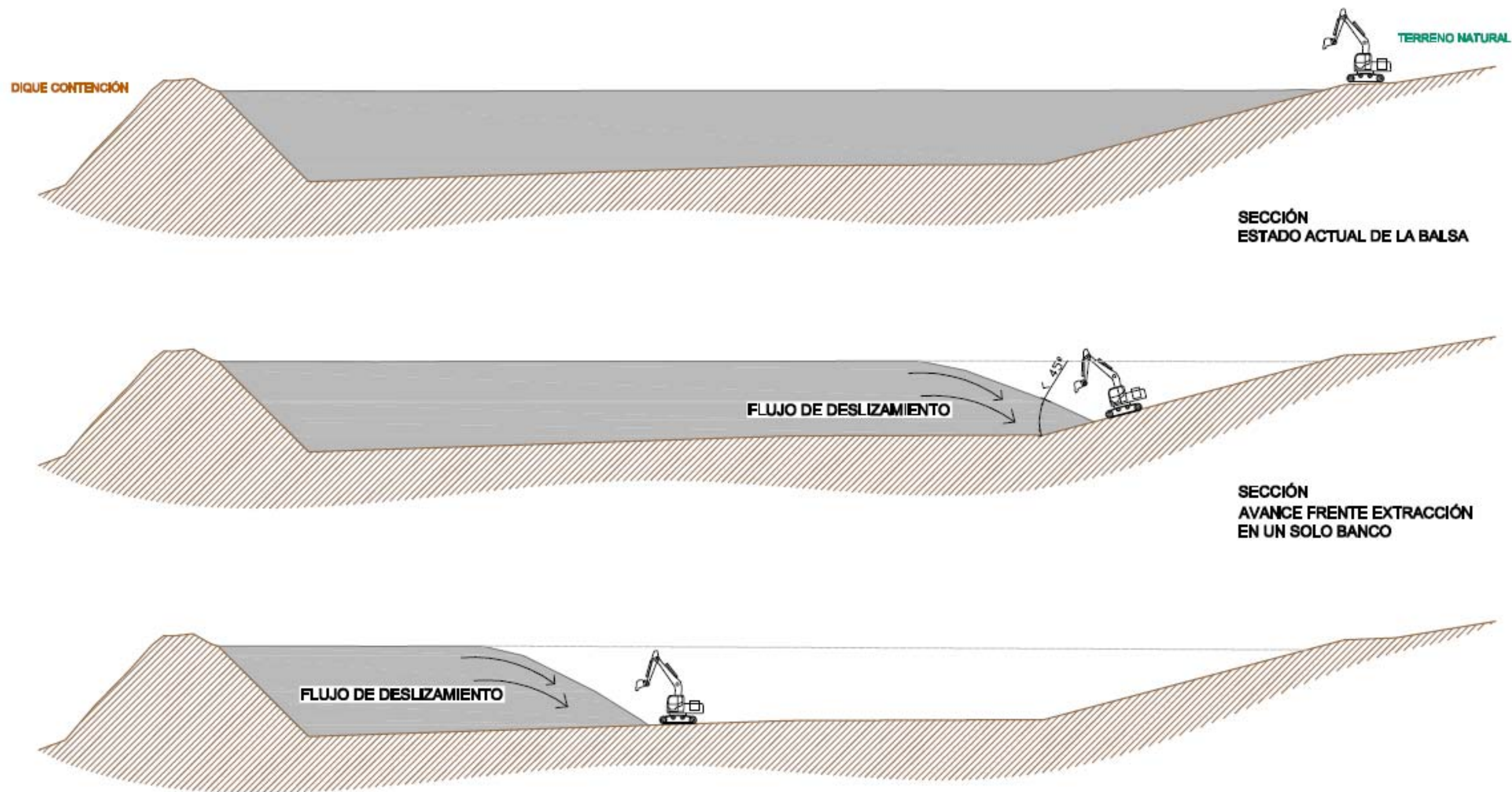


Imagen 75.- Extracción por frente único sin relleno

2º Extracción por frente único con relleno (Imagen 74)

En el caso de que las condiciones del material no permitan la extracción por el sistema descrito anteriormente, bien sea porque la humedad o plasticidad de los finos depositados, o porque la consistencia del conjunto, no garantice el desarrollo de las labores con un grado de seguridad aceptable, se propone otro sistema de extracción consistente en la apertura de un frente único largo que abarque la longitud de cada zona en que está dividido el depósito, desde la parte sureste aprovechando el terreno natural y realizando un relleno con materiales procedentes de los diques para el avance de la extracción.

3ª Extracción por frente único sin relleno (Imagen 75)

Señalar que el sistema descrito anteriormente se aplica como modelo teórico, admitiendo que el ángulo de reposo de los finos es de 90°, lo que constituye la situación más desfavorable, puesto que, en el caso más que probable de que dicho ángulo esté por debajo de 45°, la extracción se podría realizar en un solo frente sin relleno, incluso con una máquina de mayores dimensiones, pues prácticamente trabajaría permanentemente en terreno natural, procediendo al rebaje de los diques de forma simultánea, en cumplimiento de las conclusiones del estudio geotécnico realizado.

6.- SISTEMAS DE TRATAMIENTO

El material que se extraiga necesita de un tratamiento posterior para su reutilización. Evidentemente, su destino estará íntimamente ligado a las características que presente, fundamentalmente en lo concerniente a su poder calorífico, en función de los parámetros de calidad, contenido en cenizas, volátiles, humedad y azufre, puesto que si estos parámetros reflejan un umbral que permita su aprovechamiento como producto energético, con un tratamiento previo y posterior mezcla con otros carbones, representaría una importante valorización del producto obtenido.

Los sistemas de tratamiento de finos de estas características, se agrupan, para el caso concreto al que concierne esta Tesis Doctoral, en dos:

1. Lavado de los finos: Se puede realizar mediante lavadero de canales, u otros métodos de lavado (celdas de flotación por espumas, equipos concentradores en base a la diferencia de densidad de las distintas partículas, p.ej Espiral Humpreys, Concentrador multigravimétrico Mozley, etc.).

En principio, este sistema de tratamiento, requiere de una instalación de relativa importancia y por tanto afrontar un volumen de inversión, que dada la situación particular en que se encuentra la empresa, en un proceso de disolución, no parece razonable. Obviamente, la situación del actual lavadero de la empresa no permite realizar actividad alguna de lavado.

Por otra parte hay que tener en cuenta que estos sistemas de lavado, aunque permiten la obtención de un producto con poco contenido en cenizas, trabajan con un rendimiento asimismo bajo, lo que implica una generación de estériles muy apreciable (en torno al 50%), que conlleva el problema añadido de gestión de estos estériles, el cual colisiona de manera frontal con el objetivo que se persigue en este momento, y que no es otro que la eliminación de la mayor parte de los materiales existentes en la zona, cara a un eventual aprovechamiento del suelo, al margen de cualquier actividad minera.

2. Tratamiento en bruto de los finos: Fundamentalmente, en este caso se trata de realizar un proceso de desecación o deshidratación de los materiales depositados en forma de finos de carbón en las zonas en que se divide la presa, para su posterior manejo, bien sea para mezcla con otros carbones y su comercialización en el mercado térmico, bien sea para su incorporación a la escombrera u otros usos diferentes, en caso de ser inviable su aprovechamiento como producto energético.

La utilización de estos materiales (Zabaleta et al., 1990) en agricultura y más concretamente en la rama de horticultura, abre expectativas importantes a tener en cuenta en caso de no ser posible el uso energético de los finos de carbón.

En ningún caso es objeto de ésta Tesis Doctoral el decantarse por uno de los métodos descritos, debiendo entenderse éstos como una mera orientación sobre sistemas de tratamiento.

CAPÍTULO 7.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL DE LA ESCOMBRERA NORTE

1.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL

Habida cuenta de la extensión superficial que representan las instalaciones de mina la camocha, S.A., se analiza la afección visual desde la escombrera norte, punto cota más elevada.

En España, existe una gran variedad de figuras de protección a zonas que por sus características particulares, representan una singularidad respecto del medio ambiente que las rodea. Gran parte de estas zonas, bien en su delimitación geográfica, o en los alrededores, están afectadas por instalaciones industriales convenientemente legalizadas. Aún así, el devenir de los años y el cambio en la forma de vida y las nuevas normativas, ocasiona en múltiples situaciones un choque de intereses entre la actividad industrial y las distintas zonas de protección o con, incluso, las actualmente consideradas de alto valor paisajístico sin protección específica.

Con éste estudio se pretende aplicar una metodología para evaluar el impacto visual que generan las actividades industriales sobre el medio ambiente que las rodea.

De acuerdo con la bibliografía existente actualmente, se puede afirmar que no se trata de dictar formas exactas de estudio, si no de explorar posibilidades (Aguiló et al. 1992). El paisaje es una realidad amplia que necesita estudios de muy diversos tipos. Por ello, es preciso aceptar la polivalencia del término (Ramos 1986) y tratarlo con flexibilidad. De hecho, el objeto de análisis es el mismo, la realidad territorial, y lo que varía es el objetivo y la forma de estudio, obteniéndose aspectos distintos pero complementarios del proyecto.

El estudio del impacto paisajístico se desarrollará mediante SIG (Sistema de Información Geográfica), herramienta que permite manipulación, geoposicionamiento e interacción de datos (Ruiz et al. 2006). Se parte de toda la información facilitada por el territorio, que junto con la planimetría y topografía de la zona, visores geográficos, etc., permiten la construcción de una plataforma de datos geográficos que facilita la obtención de todas y cada una de las visuales que definirán los puntos desde los que se puede vislumbrar la escombrera norte de Mina la Camocha, S.A.

Lo primero que se realizará será el mapa de visibilidad desde la escombrera, de modo que al interceptar la superficie de toda la cuenca visual con las visuales desde ésta, obtengamos resaltados todos y cada uno de los puntos que se aprecian desde ella.

El punto desde el que se determina la cuenca visual se basa en la cota más alta de la escombrera, más la altura promedio de una persona en España, 1,75 metros. Las coordenadas de dicho origen de toma de visuales son:

USO 30 UTM X: 284.292,97 UTM Y: 4.818.476,08

Hay que considerar a su vez parámetros que delimitan las condiciones de visibilidad, influyendo notablemente en las características visuales básicas (Aguiló et al. 1992), como es el caso de:

- Distancia: A medida que los objetos se alejan del observador sus detalles van dejando de percibirse, hasta que llega un momento en el que el objeto completo no se ve. Esto indica claramente, y como es absolutamente lógico, que a mayor distancia del objeto, menor es la nitidez de la percepción visual.

Según Steinitz (1979), la variación de la nitidez producida por la distancia, se puede ponderar con pesos por cada umbral de nitidez, dependiendo de la claridad del día y de la ligereza de la atmósfera. En España (Ramos y cols. 1976), se puede considerar de 2.000 a 3.000 metros como límite de distancia visual.

- Ángulo de incidencia visual: Analiza la percepción que se tiene, en este caso del relieve, en función de que las vistas sean frontales u oblicuas. Normalmente, cuando el eje de visión es perpendicular al perfil que se contempla, es cuando mejor se ve, siendo por tanto la visión frontal la que otorga una mejor apreciación del medio observado.
- Condiciones atmosféricas: Las condiciones atmosféricas modifican las propiedades visuales en las diferentes unidades del paisaje, tal es el caso de por ejemplo, la nubosidad, que reduce el contraste interno de la vista, reduciendo la intensidad de los tintes y la presencia de nieve o hielo, aumentando la geometría de las formas dando lugar a una organización espacial más focalizada.

- Iluminación: Se subdivide en tres posibilidades:
 - Luz frontal, cuando está ubicada detrás del observador y frente al objeto observado, reduciendo sombras al mínimo, achatando las superficies y haciéndolas perder perspectiva; en cambio da una gran nitidez a los colores, apareciendo más claros y brillantes.
 - Luz lateral: Favorece el contraste luz y sombra, favoreciendo las líneas, la textura y la visión en relieve.
 - Luz posterior, detrás del objeto observado, dejándolo en sombra, perdiendo contraste pero acentuando la silueta.

Hay que señalar que éste estudio se realiza partiendo de las premisas más favorables a la visión, por lo que los resultados obtenidos se deberán considerar como los de mayor visibilidad posible.

Una vez definidos los puntos y las condiciones en los que se analizará la cuenca visual, es necesario definir éste concepto, entendiendo entonces que la cuenca visual (Espín, 2010) se define en función de un punto central que puede ser un determinado objeto y comprende todos aquellos puntos desde los que se puede contemplar el objeto considerado. Para la definición geométrica de la cuenca visual se asume la visibilidad en todas las direcciones posibles (360°) y un dominio nítido de la vista humana de alrededor de 3.500 m. En realidad, el dominio visual puede llegar a alcanzar los 12.000 m con facilidad, siendo función de las condiciones atmosféricas y de la iluminación (Hernández y García, 2001).

Partiendo de los datos recabados en puntos anteriores, y en función de la distancia y la superficie, se dimensionará la cuenca visual, obteniendo un dato numérico que dará como resultado una aproximación a la afección visual de la escombrera sobre el medio ambiente que la rodea.

Para ello, se ponderan las zonas de impacto visual, que según Espín (2010), se dividen en las que presentan un impacto visual importante, hasta 3.500 m., impacto visual medio, hasta 7.000 m. e impacto visual bajo hasta 10.000 m. Por encima de ésta distancia no se considera impacto visual.

No obstante, en nuestro caso, la ciudad de Gijón se encuentra en su mayor parte a una distancia superior a 5 kms, con lo cual, y con marcado carácter conservador, se aplicarán los mismos criterios de importancia de impacto a 5.000 metros que los considerados a 3.500 metros.

Se prepararán anillos de distancia, de modo que se cumpla con la definición de cuenca visual (360°), desde todos y cada uno de los puntos en los que resulta visible la escombrera origen, con el radio correspondiente a la distancia deseada, cuidando que el área interior de cada anillo quede perfectamente llena por los anillos menores (Quijada Muñoz, J. et al. 2008).

Por tanto, se realizarán 2 anillos desde el punto referenciado anteriormente mediante coordenadas UTM, uno de radio inferior a 5.000 m. y otro de radio inferior a 7.500 m.

A continuación, en una tabla se cuantificará la cuenca visual calculada desde ese punto. Con éstos datos se estará en condiciones de indicar, dentro de cada uno de los anillos, el porcentaje de la cuenca visual desde el punto considerado.

1.1.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

Todo el proceso técnico se ha llevado a cabo con las herramientas proporcionadas por el software ArcGis de la compañía ESRI. Los datos iniciales han sido proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional, www.ign.es, obteniéndose a través de su sistema de descargas online. Para la realización de los cálculos de las diferentes cuencas visuales se ha establecido un punto correspondiente a la cota más alta de la escombrera norte, y desde dicho punto se trazaron radios de 5 km y 7,5 km para establecer los campos visuales sobre los que realizar el trabajo.

METODOLOGÍA ARCMAP

1. Obtención de los datos iniciales

Primeramente, se accedió a la página web del Instituto Geográfico Nacional de donde se descargaron los shape correspondientes a las curvas de nivel de la zona de estudio.

2. Preparación de las curvas de nivel

Dado que la superficie de estudio es superior al shape con la curvas de nivel, se procedió a añadir el resto de shapes con sus curvas de nivel y poder cubrir toda la zona a estudiar. Una vez terminado de añadir dichos shapes, se unieron mediante la herramienta Fusionar, obteniendo así un sólo shape con todas las curvas de nivel de la superficie de interés.

3. Creación de la superficie TIN

Una vez añadido dicho shape con las curvas de nivel al espacio de trabajo del software ArcMap, se convirtieron a una superficie TIN para la obtención del Modelo Digital del Terreno. Para ello se utilizó la herramienta Crear TIN a partir de entidades.

4. Creación de la superficie RÁSTER

Desde la superficie TIN se obtuvo la superficie Ráster necesaria para los cálculos con la herramienta Conversión -> De TIN a ráster ubicada en la extensión Herramientas de 3D Analyst.

5. Obtención del polígono de recorte con radio 7,5 km

Accediendo a la aplicación ArcCatalog, se creó un nuevo shape de polígonos para poder trazar la circunferencia con radio 7,5 km que se buscaba. Como este shape de polígonos se encontraba vacío, se añadió al espacio de trabajo en ArcMap y se editó añadiendo una circunferencia con centro en el punto seleccionado, se dibujó un radio de 7,5 km y se guardaron los cambios teniendo como resultado un shape de circunferencia y radio 7,5 km.

6. Delimitación de la escombrera norte.

Se creó un shape con la delimitación de la superficie de la escombrera norte. Para ello, se volvió a utilizar la aplicación ArcCatalog con un proceso similar al anterior. Se creó una nueva capa de polígonos vacía. Después se añadió a la aplicación ArcMap, se comenzó la edición del shape y se procedió a la delimitación de la escombrera. Se guardaron los cambios y se detuvo la edición obteniéndose así el shape correspondiente a la escombrera norte.

7. Cálculo de las cuencas visuales

Para su determinación, se utilizó la herramienta Cuenca Visual localizada dentro de Superficie Ráster de la extensión Herramientas de 3D Analyst.

Para la obtención del polígono de recorte de radio 5km, se repitió el proceso descrito anteriormente.

METODOLOGIA ARSCENE

Para las visualizaciones en 3 dimensiones se utilizó el software ArcScene, aprovechando los datos obtenidos mediante ArcMap.

1. Añadir imagen ráster.

Se utilizó la imagen ráster inicial que se produjo en el paso 4 de la metodología de ArcMap.

2. Añadir TIN

También se añadió el TIN generado en el paso 3 de la metodología de ArcMap.

3. Cuencas visuales

Se utilizaron los ráster de la cuenca visual obtenida con ArcMap, añadiéndolos al TIN en ArcScene. Después, en las propiedades de la cuenca visual se procedió a ajustar la altura base para que se adaptaran a la superficie del TIN.

5. Ortofotografía

Para añadir las ortofotografías a la zona de estudio, se descargaron directamente del PNOA. Una vez descargadas, se proyectaron mediante ArcCatalog entrando en las propiedades de cada archivo y cambiando el sistema de coordenadas para hacerlas coincidir con el TIN. Se escogió el sistema de coordenadas ETRS 1989 zona 29N.b Tras esto y por último, se añadieron a ArcScene y se ajustaron tanto en altura base como en resolución. Mediante los menús de vuelo y navegación, se obtuvieron las vistas en 3 dimensiones.

1.2.- RESULTADOS

Cuando calculamos la cuenca visual en un área de x kms., (siguiendo un modelo informático basado en SIG), sabemos que la superficie total será $A=\pi \times r^2$, de modo que la suma de la superficie de la cuenca visual no ocupada por la escombrera, y la ocupada, debe coincidir (aproximadamente, ya que será función de los números decimales introducidos en la fórmula anterior para el número π) con el resultado de la expresión matemática anterior.

Calculamos a continuación los datos superficiales correspondientes a los dos radios estudiados, con lo que podemos comprobar el resultado del modelo seguido:

1. $r=5.000 \text{ m}; A=\pi \times r^2= 3,1416 \times 5.000^2= 78.500.000 \text{ m}^2$
2. $r=7.500 \text{ m}; A=\pi \times r^2= 3,1416 \times 7.000^2= 176.715.000 \text{ m}^2$

Los resultados obtenidos siguiendo la metodología indicada en los puntos anteriores, se representan en la tabla 30 y en las imágenes 76, 77, 78 y 79.

ANÁLISIS CUENCA VISUAL ESCOMBRERA NORTE						
ANILLO	SUPERFICE DE LA C.V. ¹ VISIBLE (has)	SUPERFICE DE LA C.V. NO VISIBLE (has)	$A = \pi \times r^2$ (has)	% Error	% C.V. OCUPADO P.R.	% C.V. NO OCUPADO P.R.
r <5.000 m.	1.231,38	6.617,33	7.850,00	0,016	15,69	84,31
r <7.500 m.	1.892,72	15.767,01	17.671,5	0,066	10,71	89,23

Tabla 30.- Análisis de la cuenca visual

¹ Superficie cuenca visual en hectáreas desde punto de observación calculada mediante SIG

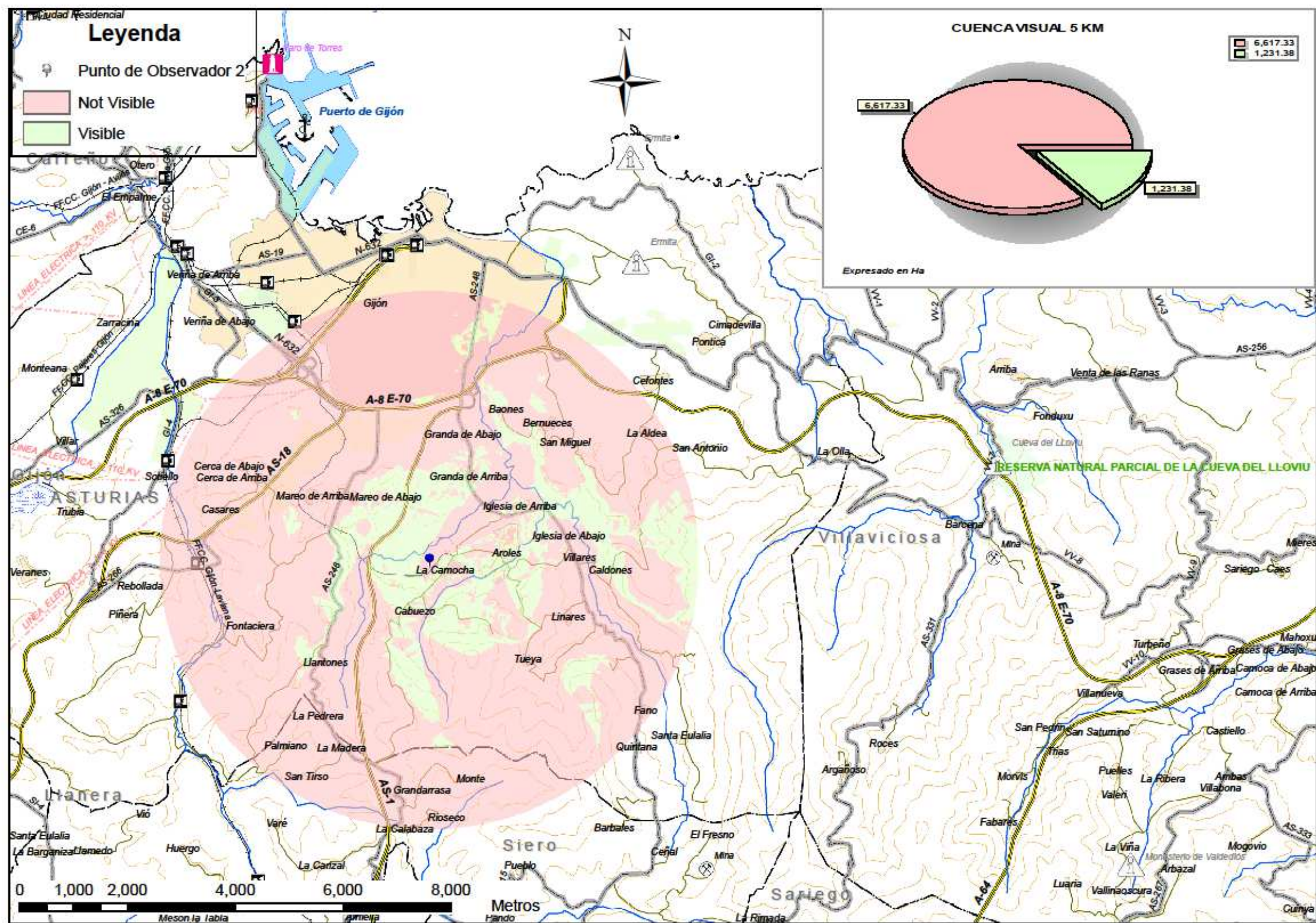


Imagen 76.- Cuenca visual en radio de 5 kms.

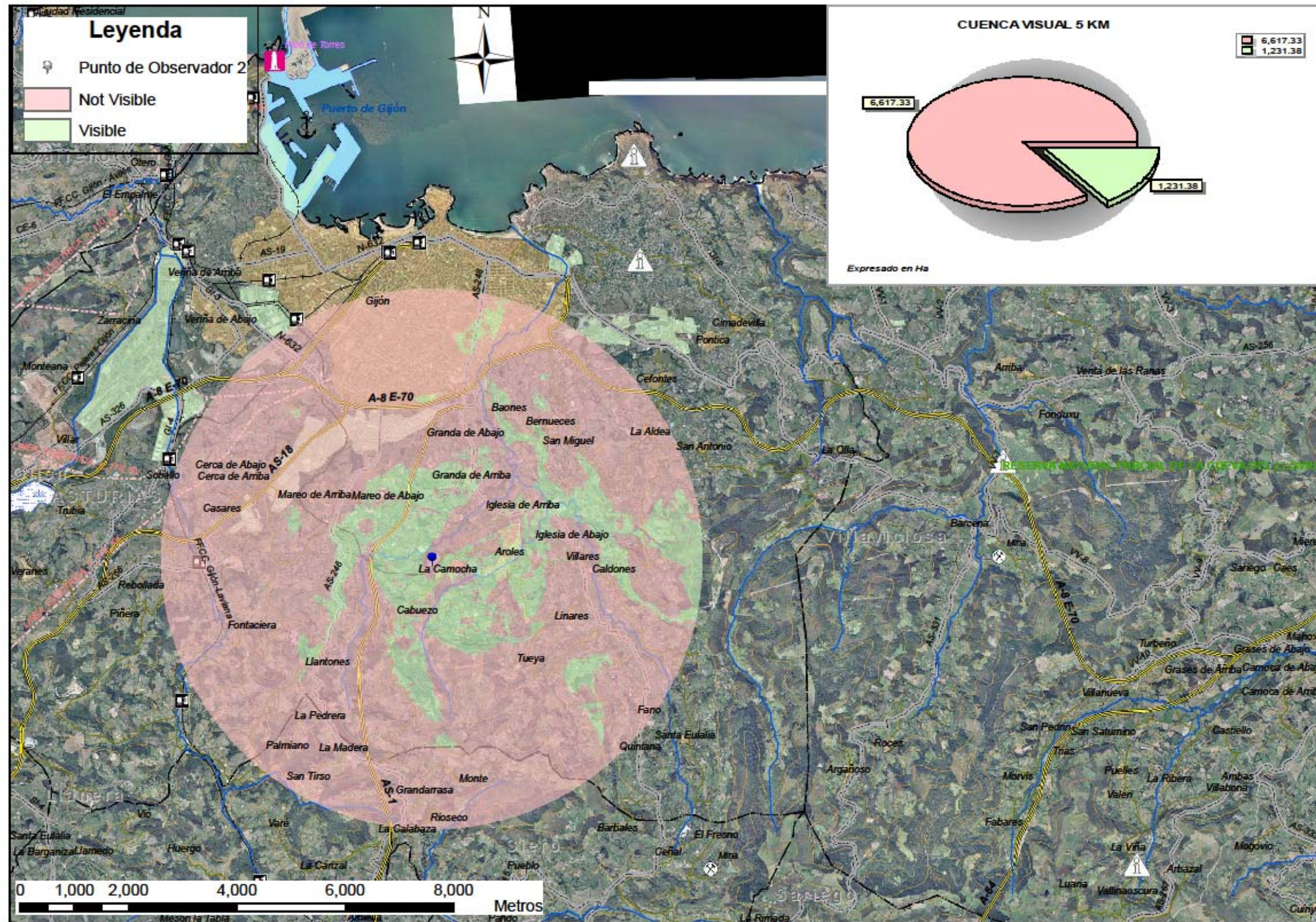


Imagen 77.- Ortofoto cuenca visual en radio de 5 kms.

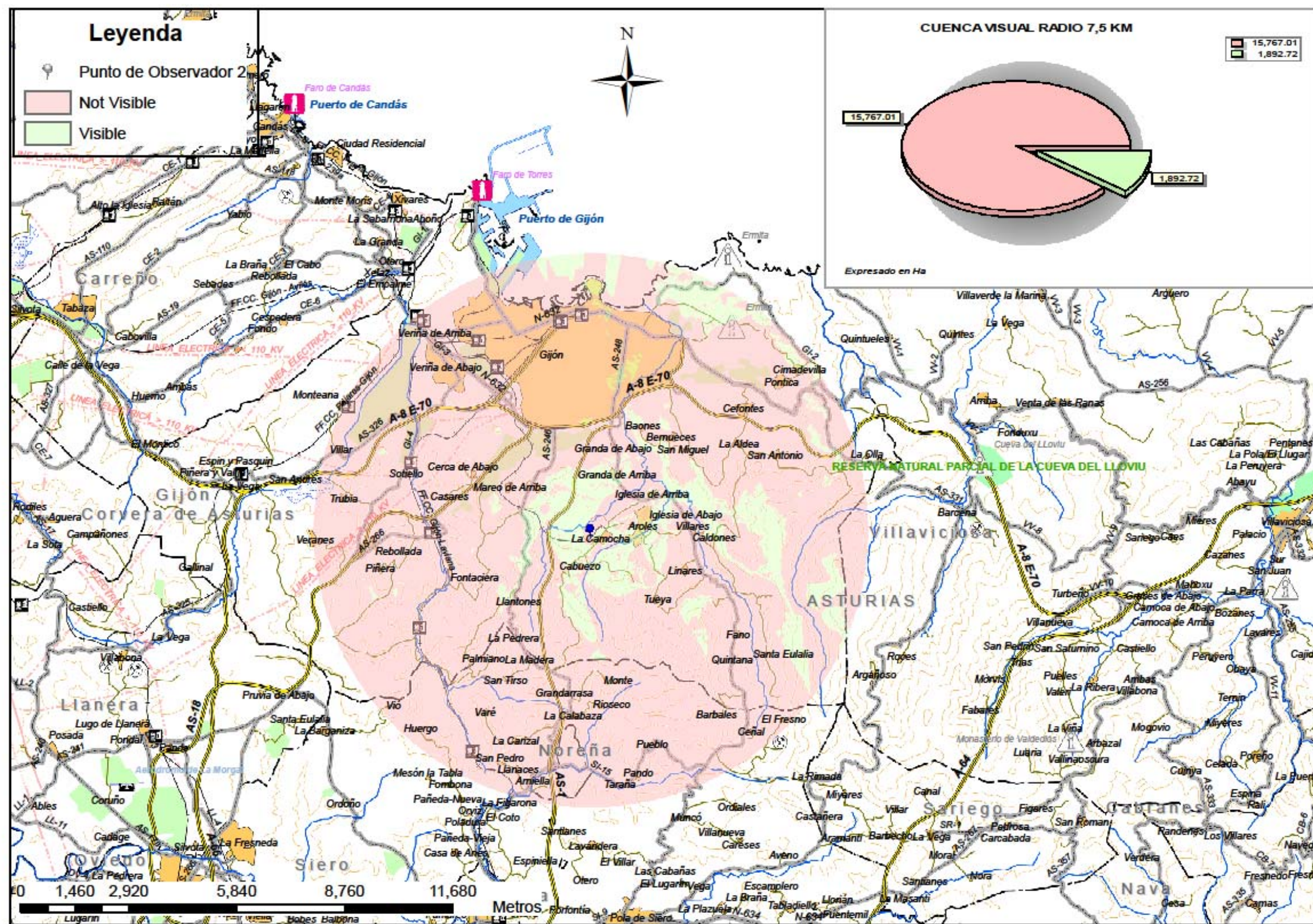


Imagen 78.- Cuenca visual en radio de 7,5 kms.

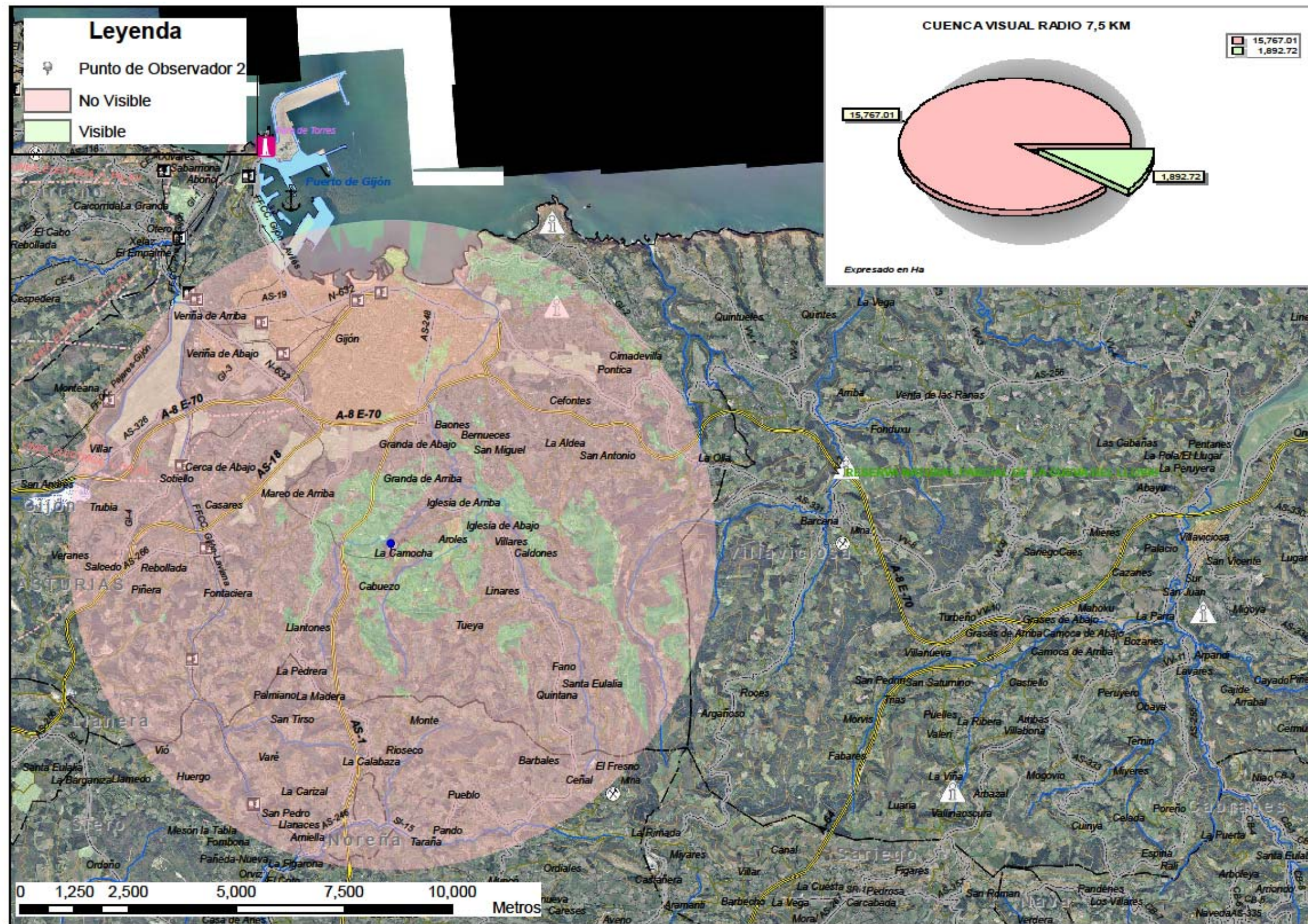


Imagen 79.- Ortofoto cuenca visual en radio de 7,5 km.

CAPÍTULO 8.- CONCLUSIONES

1.- CONCLUSIONES AL ESTUDIO DE AFECTACIÓN DE LA SUBSIDENCIA.

1. Las mediciones superficiales efectuadas en la zona sobre la influencia en la superficie de las labores mineras a partir de la década de los años noventa, no han sobrepasado nunca las previsiones obtenidas con los métodos matemáticos utilizados, que reflejan un descenso máximo de 105 mm en el centro de la cubeta de hundimiento, por lo que éstos últimos han resultado absolutamente fiables, lo que se ve a su vez refrendado por la ausencia de daños típicos debidos a fenómenos de subsidencia, tanto en edificios, como en vías de comunicación, como en otros tipos de instalaciones (conducciones de agua, líneas eléctricas, etc.).
2. Se cree que la gran losa constituida por los terrenos del Pérmico, tanto por lo que se refiere a su constitución geológica, como a su elevado espesor, comprendido entre 150 y 200 m, como a su asentamiento prácticamente horizontal sobre las rocas que constituyen los hastiales del Carbonífero, ha contribuido enormemente a minimizar, cuando no a eliminar los posibles efectos de la subsidencia.
3. La previsible inundación de todas las labores mineras como consecuencia del cese del desagüe de la mina, supondrá un sostenimiento hidráulico adicional, debido a la presión hidrostática, que redundará en unas mejores condiciones del equilibrio tensional en el macizo rocoso.
4. Los valores de las deformaciones de tracción (de $0,1 \times 10^{-3}$ a $0,5 \times 10^{-3}$) de compresión (de $0,5 \times 10^{-3}$ a $1,5 \times 10^{-3}$) calculadas para los terrenos superficiales situados sobre las labores de explotación de Mina La Camocha, y que se han reflejado y analizado convenientemente en este estudio, se encuentran dentro de los límites permitidos por las normas utilizadas por la mayoría de los países de nuestro entorno.

2.- ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA AFECTADA POR LA SUPRESIÓN DEL BOMBEO EXISTENTE EN MINA LA CAMOCHA, S.A.

1. La recarga del acuífero multicapa pérmico se realiza a través de las precipitaciones caídas directamente sobre la superficie, además de las aportaciones laterales, de no demasiada importancia, procedentes de los acuíferos carbonatados existentes en el Jurásico. El agua procedente de la lluvia (41 hm^3) recarga inicialmente los materiales superficiales que rápidamente hacen ascender el nivel piezométrico, para posteriormente transmitir verticalmente y de una forma difusa el agua al acuífero inferior o principal de las margas oquerosas.

Del control de los niveles piezométricos realizado en el año 2011, se observa que el nivel del agua ha subido desde enero hasta octubre aproximadamente 25,5 m, por lo que, en octubre de 2011, fecha de realización del último control, el nivel se encontraba a unos 320 metros por debajo de la boca de las tuberías.

2. La descarga del acuífero multicapa se realiza fundamentalmente por la evapotranspiración, infiltraciones a la mina, drenaje directo hacia el río Piles y pequeños manantiales.
3. El trazado de las líneas de flujo junto con los datos de piezometría disponibles en el área ocupada por el horst, ponen de manifiesto la evidencia de un flujo de las aguas subterráneas con una componente vertical como consecuencia de la existencia de varios niveles piezométricos en profundidad (limos arcillosos superiores, margas y conglomerados), así como unas componentes horizontales de flujo que responden a la disposición de la propia estructura, con un gradiente general de dirección SO-NE.
4. Por lo que respecta al Carbonífero, se puede decir que estos materiales presentan una baja permeabilidad (del orden de 10^{-10} m/s), lo que unido a que la Falla de Llantonos en la zona SO parece sellar bastante bien su contacto con el Pérmico, justifica los relativamente pequeños caudales que se drenaban en la mina, del orden de $70 \text{ m}^3/\text{hora}$.
5. Desde el punto de vista hidrogeológico, y debido a la inundación de los huecos mineros producido por la supresión del bombeo, se prevé que la zona afectada por el laboreo minero volverá a su situación inicial transcurridos aproximadamente 8 años y medio. Éste dato se obtiene partiendo de los

aproximadamente 5.260.000 m³ que cuantifican los huecos del interior de la mina, y de que el bombeo extraía 70 m³/h.

3.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. ESCOMBRERAS DE MINA LA CAMOCHA, S.A.

1. Se ha realizado una caracterización de los estériles mediante análisis y reconocimientos en superficie que han arrojado resultados similares a los facilitados por la Dirección de Mina la Camocha, y que se encuentran dentro de los parámetros dados por los distintos trabajos de investigación realizados, concluyendo que son susceptibles de utilización en diversos campos, sobre todo para su uso en terraplenes de carreteras y obras civiles, así como en rellenos de estructura de tierra reforzada, y por tanto presentan posibilidades de valorización.
2. En lo que se refiere a la caracterización energética, estos materiales tienen un contenido en cenizas muy alto (>86%), por lo que su valor energético en principio no presenta excesivo interés, salvo acumulaciones locales de materiales en el interior de la escombrera; tienen un Poder Calorífico Superior muy bajo <547 kcal/kg y un contenido en azufre también muy bajo <0,34%, lo que implica un riesgo de autocombustión prácticamente inapreciable.
3. La extensión de la balsa de finos que se encuentra bajo una parte de la escombrera norte se desconoce. Sólo se dispone de los datos obtenidos en el muestreo realizado en la zona que aflora, cuyos resultados permiten augurar una buenas condiciones de comercialización del carbón, y puede resultar un factor determinante en la elección de la alternativa de tratamiento a dar a la escombrera.
4. Las Alternativas de tratamiento de la escombrera 1N y 1S (eliminación del vertido y su valorización) se podrían considerar ideales; ahora bien, en la práctica, se considera poco probable poder eliminar y valorizar fuera de las instalaciones de la empresa un volumen tan grande de estériles, razón por la cual, y desde el punto de vista de conjunto del tratamiento de las dos

escombreras, la solución idónea será la llamada 2N (eliminación parcial del depósito mediante relleno de huecos existentes en las instalaciones), pues permite incluso como variante, el aprovechamiento y valorización parcial de los estériles, en caso de que las condiciones de mercado así lo permita.

4.- EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. BALSAS DE LODOS DE MINA LA CAMOCHA, S.A.

El trabajo desarrollado se enfoca a la total eliminación de las balsas de finos, por lo que no se contempla en ningún momento la posibilidad de actuaciones encaminadas a la no retirada del material que constituyen dichas balsas.

1. La eliminación que se propone del depósito de finos, reporta tres ventajas fundamentales:
 - a. Aprovechamiento comercial de todo o parte del producto
 - b. Liberación de una importante superficie de suelo, apto para otros usos.
 - c. Eliminación de cualquier riesgo de rotura de la presa, presente o futuro.
2. Los resultados obtenidos en la analítica de las muestras tomadas para la realización de esta tesis doctoral ofrecen importantes diferencias, en algunos casos determinantes en la posibilidad de aprovechamiento del producto como valor energético. Sería por tanto necesario conocer las características de humedad y plasticidad del material en profundidad, así como su potencia total, por lo que resultaría aconsejable ampliar el muestreo de cara a eliminar estos interrogantes.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio geotécnico, se puede concluir que la presa será estable durante su desmantelamiento atendiendo a unas precauciones básicas como es el mantener controlado el nivel piezométrico en el interior de la presa y reduciendo la altura de la presa a medida que sea posible.
4. En lo que se refiere a la extracción de los finos para la total eliminación del depósito, y previamente a cualquier acción, se propone una desecación del agua

superficial mediante bombeo y la posterior realización de una zanja perimetral a lo largo de todos los diques, para proceder a la extracción propiamente dicha, en base a tres posibles métodos o sistemas:

- a. Extracción por tongadas.
 - b. Extracción por frente único con relleno.
 - c. Extracción por frente único sin relleno.
5. Se debe tener en cuenta, una vez caracterizados los finos, que en caso de no ser posible su uso energético, existe otra posibilidad de aprovechamiento de los residuos de las balsas para su uso como fertilizante o acondicionador de suelos destinados a la agricultura.

5.- ESTUDIO DE LA CUENCA VISUAL DE LA ESCOMBRERA NORTE

Del análisis de los resultados del estudio de la cuenca visual, se aprecia cómo en el margen espacial analizado aparece una afección visual al medio de un 15,69% y de un 10,71%, a unas distancias del punto considerado de 5 y 7,5 kms. respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Fernández, M. I. (2004). Tesis Doctoral, Predicción y control de subsidencia por excavaciones subterráneas. Universidad de Oviedo, 281 p. ISBN: 84-8317-436-7.
- Archivo Histórico de Mina la Camocha, 2010. Mina la Camocha, S.A. Informes internos.
- Areces, J.L., Pieren A., Toraño, J., Rodríguez, R. (1994). Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias). Boletín Geológico y Minero, vol. 105, nº 2, 49-59.
- Ayala Carcedo, F. J., Vadillo, L. (2004). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Guías y Manuales nº 2, 359 p. ISBN: 84-7840-019-21.
- Ayala Carcedo, F.J., Rodríguez Ortíz, J. M. (1986). Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros. Instituto Geológico y Minero de España. 182 p. ISBN: 84-7474-348-6
- Bello García, A. (1995). Tesis Doctoral, Aspectos Gráficos en la Predicción de Subsidencia. Universidad de Oviedo, 200 p. <http://www6.uniovi.es/sciguio.1/public/tesis/subsid.pdf>
- Benitez, A. (1963). Captación de aguas subterráneas. Editorial Dossat, 636 p. ISBN: 84-237-0055-4
- Bouwer, M., Rice, R.C. (1976). Slug Test for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely of Partially Penetrating Well. Water Resources Reseafxh, vol. 12, nº 3, 423–428.
- Camacho Tauta, J. F., Reyes Ortíz, O.J., Mayorga Antolinez, C., Méndez G., D.F. (2006). Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia. Ciencia e ingeniería Neogranadina, vol. 16, nº 2, 45-53.
- CGS y CEPESA (1992). Estudio hidrogeológico del entorno de la Mina La Camocha. Informe final. Madrid. Informes internos Mina La Camocha, S.A.

- Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D., Papadopulos, S.S. (1967). Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water, *Water Resources Research*, vol. 3, nº. 1, 263-269.
- Corrales, I., Flor, G., Pello, J. y Peón, A. (1985). Facies y secuencias sedimentarias en el carbonífero de La Camocha (Gijón, NO de España). *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, 15, 19-27.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Ed. Omega. 2 Vol. 2359 p. ISBN: 84-2820-4470.
- Das, B. M. (2000). *Principios de la ingeniería de cimentaciones. Cimentaciones sobre suelos difíciles*. International Thompson Editores, 862 p. ISBN: 970-686-035-5.
- Delgado Martínez, D., Quevedo Sotolongo, G. (2009). Aplicación y validación de una metodología integral para la evaluación de la expansividad de suelos arcillosos. *Ingeniería*, Revista Académica de la Fi-Uady, vol 13, nº 1, 5-13.
- Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA) (1992). Informe final. Estudio Hidrogeológico del entorno de la Mina “La Camocha”. Informes internos Mina La Camocha, S.A.
- Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA) (1992). Informe final. Investigación Geológico – Minera de carbón en “La Camocha”. Informes internos Mina La Camocha, S.A.
- Felgueroso, L (1932). Trabajos realizados por la Sociedad Felgueroso para reconocer los terrenos hulleros que se extienden bajo estratos triásicos del concejo de Gijón y noticia sobre la profundización del Pozo La Camocha, consecuencia de aquellos trabajos. Primer Congreso de la Agrupación de Ingenieros de Minas del Noroeste de España (Diciembre de 1931), 85-109, 4 lam.
- Fernandez-Nespral Pérez, C (2000). Utilización de estériles en capas de base de carreteras. V Congreso Nacional de firmes: las capas de base para firmes de carreteras. Asociación Española de la Carretera. 113-39
- Garcia Romero, E., Suarez, M. (2010) On The Chemical Composition of Sepiolite and Palygorskite. *Clays and Clay Minerals*, vol. 58, nº 1, 1-20.
- García-Ruiz, J.M., Van Driessche, A., Delgado, J.M., Canals, A., Ossorio, M. (2011). Morfología de los cristales gigantes de yeso. *Macla* nº 15, 13-14.

- Gómez Orea, D. (2009). El enfoque de ordenación territorial en la recuperación de un espacio afectado por la minería. Universidad Politécnica de Madrid. Panel Minería y Ordenación del Territorio, 361-378.
- Gutiérrez Claverol, M., Torres, M., Luque, C. (2002). El subsuelo de Gijón. Aspectos geológicos. CQ Lecer, S.L., Librería Cervantes, 462 p. ISBN: 84-9236-0844.
- Heredia, N. (1984). La Estructura de la Escama de Villar de Vildas (Manto de Somiedo, Zona Cantábrica). Trabajos de Geología. Universidad de Oviedo, 14, 65-78.
- Hernández Sampelayo, P. (1944). Datos para el estudio de las Hojas del Mapa Geológico 1:50.000. (Gijón 14 y Oviedo 29). Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 111 p, 17 lam.
- IGME (1984). Investigación hidrogeológica de la cuenca norte: Asturias. Colección de Informes del Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, 81 p. Madrid.
- Jacob, C. E. (1940). On the flow of water in a elastic artesian aquifer. Transactions American Geophysical Union, vol. 21, pt. 2, 574-586.
- Jacob, C. E. (1963). Determining the permeability of water-table aquifers. U.S. Geological Survey Water-supply Paper, núm. 1.536-1, 245-271.
- Jiménez Benayas, S. (2000). V Congreso Nacional de Firmes: Las capas de base para firmes de carreteras. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León. Asociación Española de la Carretera, 197-202.
- Jiménez Salas, J. A. (1981). Geotecnia y cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia. Primera parte. Madrid: Editorial Rueda, 2ª edición, 2 volúmenes, 2104 p. ISBN: 84-7207-0172.
- Julivert, M. (1971). Décollement tectonics in the Hercynian-Cordillera of NO Spain. American Journal of Science, vol. 270, núm. 1, pp. 1-29.
- Keinhorst, H. (1934). Considerations on the Problem of Mining Damages. Glückauf, 70, 149-145.
- Knothe, S. (1957). Observations of surface movements under influence of mining and their theoretical interpretation. European Congress on Ground Movement. Leeds. 210-218.
- Kratzsch, H. (1983). Mining subsidence engineering. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag. 543 p. ISBN: 3-5401-1930-2.

- Llamas Borrajo, F., Canoira López, L., García Martínez, M. J., Ortega Romero, M., Llamas Lois, A. y Diaz Bautista, M. A. (2008) Compuestos orgánicos presentes en aguas de escombreras de carbón. In: Pendás Fernández, F. Investigación y gestión de los recursos del subsuelo. Libro homenaje. Hidrogeología y aguas subterráneas, M 50000-2008 (27). Instituto Geológico y Minero de España, IGME, 545- 564. ISBN: 84-7840-773-6
- López Fernández, C., Torres Alonso, M., Gutiérrez Claverol, M. (2002). Los movimientos del terreno en las laderas del valle del río Caudal y la incidencia de las escombreras del carbón en los mismos. Trabajos de Geología. Universidad de Oviedo, 23. 35-52.
- López Jimeno, C., Aduvire Pataca, O., Escribano Bombín, M., García Bermúdez, P., Mataix Gonzalez, C., Vaquero Díaz, I. (2006). Manual de Construcción y Restauración de Escombreras. E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid, 663 p. ISBN: 84-96140-20-2.
- Mapa Geológico de España, E: 1:50.000; Instituto Geológico y Minero de España; Segunda serie, primera edición. Hoja número 14. Villaviciosa. 30 p. ISBN: 84-7840-312-4.
- Martínez García, E. (1983). El Pérmico de la Región Cantábrica. Carbonífero y Pérmico de España. Instituto Geológico y Minero de España, 389-402.
- Martínez García, E., Coquel, R., Gutiérrez Claverol, M., Quiroga, J.L. (1998). Edad del tramo de transición entre el Pérmico y el Jurásico en el área de Gijón (Asturias, NW de España). Geogaceta, 24, 215-218.
- Martínez García, E., Wagner, R.H., García Ramos, J.C. (1991). La Cobertera Paleozoica Post-Hercínica en el Oriente de Asturias (NW de España). Geogaceta, 10, 160-162.
- Menéndez Casares, E., González Fernández, B., Gutiérrez Claverol, M., García Ramos, J.C. (2004). Precisiones sobre los acuíferos de la cuenca jurásica asturiana (NO España). Trabajos de Geología. Universidad de Oviedo, 24, 119-126.
- Monterroso, C., Gil Bueno, A., Perez Varela, S., Macías, F. (2004). Restauración de suelos de mina: contribución a la fijación de carbono en el ecosistema terrestre. Edafología. Vol. 11, nº 2, 135-148.

- Navarro García, G., Navarro Balya, S. (2003). *Química Agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa, 490 p. ISBN: 84-8476-1556.
- Pérez Álvarez, R., Fernández Maroto, G., Fernández López, D., Husillos Rodríguez, R. (2013). La fractura hidráulica. Retos y problemática asociada a su aplicación. *Revista Dyna*, vol. 88, nº 1, 726-732.
- Pieren, A.P., Areces, J.L., Toraño, J., Martínez García E. (1995). Estratigrafía y estructura de los materiales permotriásicos del sector Gijón-La Collada (Asturias). *Cuadernos de Geología Ibérica*, vol. 19, 309-335.
- Proyectos de cese y abandono de Mina la Camocha, S.A. (2008). *Minería, Hidrología y Proyectos*, S.L. Mina la Camocha, S.A. Informes Internos.
- Rambaud Pérez, C., del Olmo Alonso, C., Ramírez Oyanguren, P., Celada Tamames, B., Campos de Orellana, A. J. (1986). *Hundimientos mineros, métodos de cálculo*. Instituto Geológico y Minero de España, 328 p. ISBN: 8474743834.
- Rodríguez Díez, R. (1999). Tesis Doctoral: Subsidencia en la explotación de Capas de Carbón Inclinadas y Verticales. Teoría de la Múltiple Cubeta de Hundimiento y Modelo de Predicción Mediante Funciones Perfil. Universidad de Oviedo. 245 p. ISBN: 84-8317-283-4.
- Salomon, M.D.G. (1963). Elastic Analysis of displacements and stresses induced by mining of seam or reef deposits. *Journal. South African Institute Mining Metallurgy*, vol.65, 319-338.
- Sanchez de Rojas, M.I., Luxan, M.P. de Frías, M. García, N. (1991). Métodos de ensayo, relativos a las especificaciones, aplicados a las cenizas volantes como componentes en el hormigón. Asociación Nacional de Químicas de España. *Revista Química e Industria* vol. 37, nº 1, 22-26.
- Sinis Fernandez, F. (2002). Utilización de residuos en la construcción de capas de firmes de carreteras. Centro de estudios y experimentación de obras públicas (Cedex), Centro de Estudios de Carreteras. *Ingeniería Civil*. 71-85.
- Suarez Vega, L. C. (1974). *Estratigrafía del Jurásico de Asturias*. Gráficas Summa. 368 p. ISBN: 84-500-6600-X.
- Terzaghi, K. y Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition*. John Wiley & Sons, New York, 729 p. ISBN: 0-471-08658-4.

- Theim, G. (1906). Hydrogeologische Methoden. 1-56 p.
- Theis C.V., Brown R. H., Meyer R.R. (1963). Estimating the transmissibility of aquifers from the specific capacity of wells. Methods of Determining Permeability. Transmissibility and Draw-down. U.S. Geological Survey. Water Supply Paper núm. 1536-1, 331-341.
- Theis. C. V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Transactions American Geophysical Union, vol. 16, 519-524.
- Truyols, J. (1983). El Carbonífero del NW de España. Carbonífero y Pérmico de España (Coord. C. Martínez Díaz). Instituto Geológico y Minero de España, 27-115.
- Whetton, J.T., King, H.J. (1958). Mechanics of mine subsidence. Colliery Engineer, 35, 247-252.
- Zabaleta Mendizabal, I., García Gonzalez de Lena, J., Fueyo Olmo, M.A. (1990). Estado actual de las investigaciones sobre aplicaciones agrícolas de los estériles de carbón. Consejería de Agricultura y Pesca. Principado de Asturias, 22 p.

ANEJO I.- ESTUDIO PRELIMINAR DE ESTABILIDAD DE ESCOMBRERA

1.- OBJETO

El objeto del presente informe es hacer un estudio preliminar de la estabilidad de la escombrera norte de la Mina La Camocha, determinando las posibilidades de rotura y/o deslizamiento de la misma.

2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En primer lugar se procederá a la clasificación de grado de estabilidad de la escombrera mediante la metodología del índice INESTEC, que nos permitirá, en una primera aproximación, conocer la clase de estabilidad que ésta presenta.

En segundo lugar procederemos a realizar un cálculo de la estabilidad de la escombrera mediante un método de equilibrio limite (M.E.L.), como por ejemplo el método de BISHOP modificado para calcular el factor de seguridad de las secciones características de la escombrera, aplicando el software GEOSLOPE.

2.1.- Datos de partida.

2.1.1.- Geometría

La escombrera objeto de estudio se encuentra situada en la explotación minera de Mina la Camocha, en la provincia de Asturias, y se trata de una escombrera de diseño troncocónico de aproximadamente 51 m de altura con un vial perimetral que permite el acceso a su parte superior.

2.1.2.- Materiales

El material que compone la escombrera procede de la explotación minera y del lavadero de Mina la Camocha, con las siguientes características geotécnicas:

Escombros:

- Fricción (Φ)= 30-35°
- Cohesión (c)= 0-20kN/m²

- Peso específico (γ)=26,5kN/m³

Finos de las balsas situadas al norte de la escombrera:

- Fricción (Φ)= 16°
- Cohesión (c)= 22kN/m²
- Peso específico (γ)=11,4kN/m³

En lo referente al material sobre el que está apoyado la escombrera, no se disponen de ensayos de caracterización del mismo, por lo que se consideran los parámetros típicos de un suelo del tipo Limos Arcilloso, a saber:

- Fricción (Φ)= 25°
- Cohesión (c)= 20,5kN/m²
- Peso específico (γ)=14,4kN/m³

El nivel freático aflora en las balsas de finos y en general se encuentra a unos 8 m de profundidad respecto a la cota de la plaza de la mina.

3.- CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE ESTABILIDAD DE LA ESCOMBRERA ÍNDICE INESTEC

Una forma de valorar el grado de estabilidad de una escombrera consiste en asignar una puntuación a cada uno de los factores que afectan a la estabilidad de la misma, En función de un intervalo de las distintas condiciones se hace una descripción cualitativa y se le puntúa según un rango de valores. El grado de estabilidad total de la escombrera se calcula sumando los valores individuales de todos los factores; la puntuación máxima que se puede alcanzar es de 1800.

Aplicada la metodología anteriormente citada obtenemos una puntuación de 650 puntos dándonos una clasificación de estabilidad **tipo III** es decir **riesgo de rotura medio**. En la tabla 1 se pueden ver las puntuaciones aplicadas, así como las recomendaciones de diseño a tener en cuenta para hacer un posterior estudio de detalle de la estabilidad de la escombrera.

CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE ESTABILIDAD DE ESCOMBRERAS		
ÍNDICE INESTEC		
Altura del vertido	Media 50m-100m	50
Volumen Vertido	Pequeño < 1Mm ³	0
Talud de Vertido	Escarpado >35°	100
Pendiente del cimientto	Suave <10°	0
Grado de confinamiento	* Talud convexo en planta o perfil * Vertido en ladera o divisoria sin confinamiento * No aterrazado o banqueo en desarrollo	100
Tipo de cimientto	* Suelos blandos. Capacidad portante blanda * Presión de poro adversa bajo carga * Condiciones hidrológicas adversas. Surgencias y manantiales * Resistencia sensible a esfuerzos cortantes, licueflación potencial	100
Calidad del material vertido	* Predominantemente rocas débiles de baja durabilidad * Más del 25% finos, estériles de cobertera	200
Método de construcción	* Tongadas menores de 25 m, plataformas ampliadas * Vertido desde los contornos * Construcción ascendente * Banqueado a aterrazado	0
Condiciones piezometricas	* Presión piezométrica media, algunas filtraciones en el cimientto * Posible desarrollo limitado de superficie freática en la escombrera * Precipitaciones medias * Alta infiltración en escombreras * Capas de nieve o hielo discontinuas en escombrera	100
Ritmo de vertido	* Menor de 25 m ³ por m lineal de cresta por día * Ritmo de avance de la cresta de 0,1 a 1 m por día	0
Sismicidad	* Sismicidad baja	0
CALIFICACION DE ESTABILIDAD DE LA ESCOMBRERA INESTEC		650
CLASE DE ESTABILIDAD DE ESCOMBRERA		III
RIESGO DE ROTURA		MEDIO
RECOMENDACIONES PARA LA INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> * Investigación del emplazamiento detallada * Pueden requerirse pozos, sondeos y otras investigaciones in-situ * Pueden necesitarse muestras inalteradas * Ensayos de laboratorio detallados, incluyendo propiedades índice, resistencia al corte, durabilidad, etc. * La estabilidad influye y afecta al diseño * Análisis de estabilidad detallado, requiriendo posiblemente un estudio paramétrico * Puede ser necesario un diseño detallado para su aprobación y certificado de clausura * Restricciones moderadas en la construcción (ritmo de vertido, altura de recrecimiento, calidad de materiales, etc. * Auscultación con instrumentación amplia para confirmar el diseño, documentar el comportamiento y establecer límites de carga 		

4.- CALCULO PRELIMINAR DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES

4.1.- Secciones tipo

Para la realización de los cálculos de estabilidad de taludes se ha procedido a la modelización de dos secciones tipo de la escombrera, una de ellas en dirección este-oeste (imagen 81 y la otra en dirección norte-sur imagen 80).

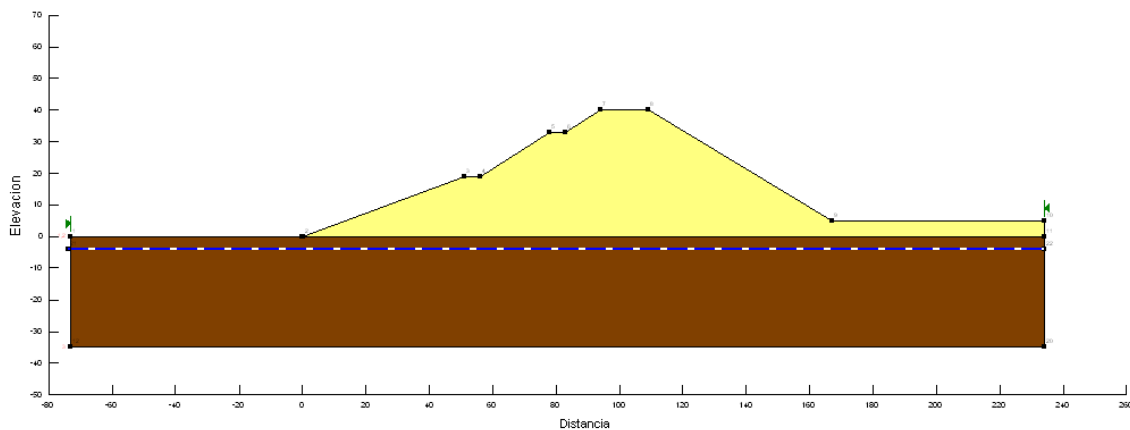


Imagen 80.- Sección tipo dirección este-oeste

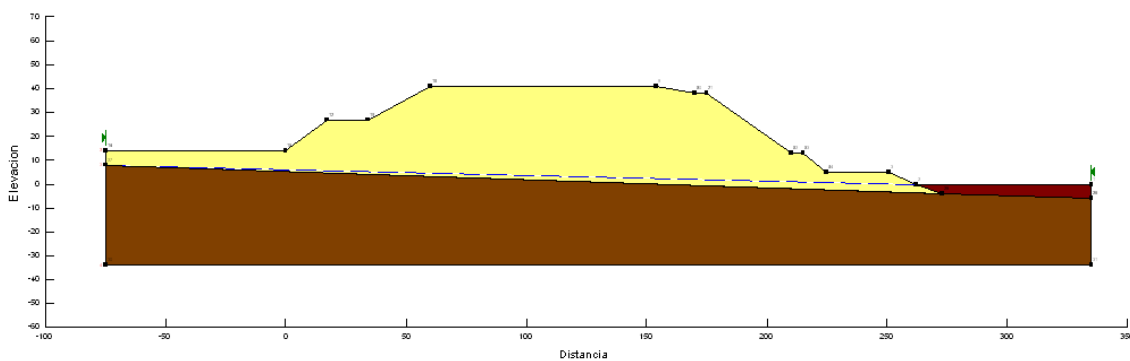


Imagen 81.- Sección tipo dirección norte-sur

4.2.- Hipótesis I

La hipótesis I contempla la rotura del talud este-oeste hacia el oeste; una vez realizado el cálculo, conforme al método de Bishop, vemos que el factor de seguridad resulta de 1,103.

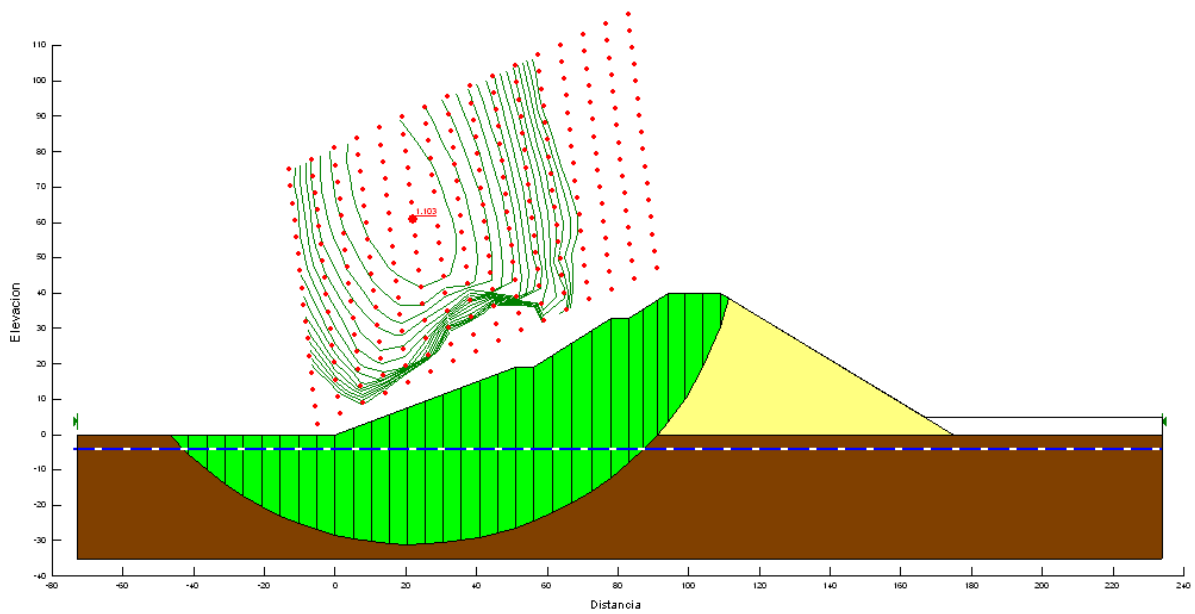


Imagen 82.- Hipótesis 1

4.2.- Hipótesis II

La hipótesis II contempla la rotura del talud este-oeste en dirección este; una vez realizado el cálculo, conforme al método Bishop, se obtiene un factor de seguridad de 1,119.

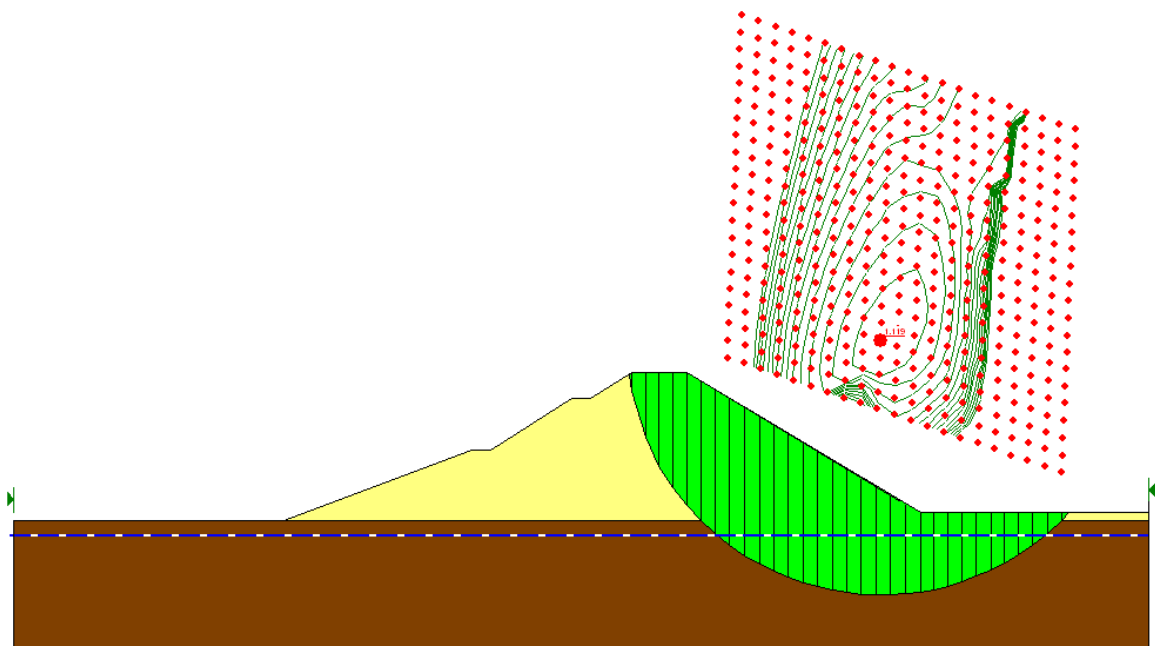


Imagen 83.- Hipótesis 2

4.3.- Hipótesis III

La hipótesis III contempla la rotura del talud Norte-Sur hacia el Norte; una vez realizado el cálculo, conforme al método de Bishop, se aprecia que el factor de seguridad es de 1,25.

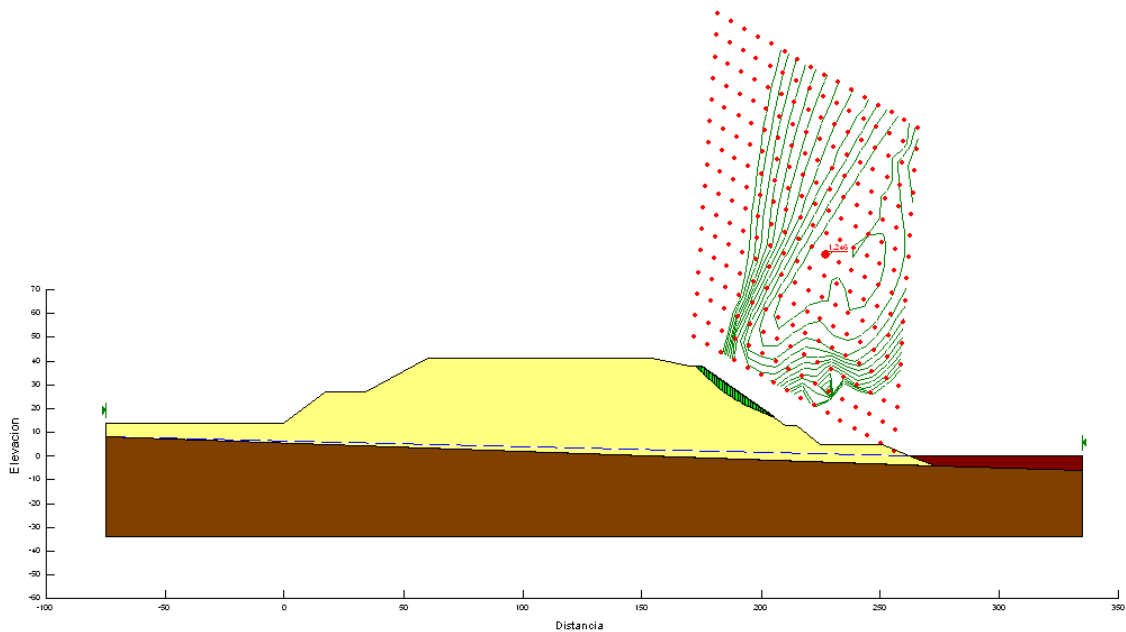


Imagen 84.- Hipótesis 3

4.4.- Hipótesis IV

La hipótesis IV contempla la rotura del talud Norte-Sur hacia el Norte; una vez realizado el cálculo por el método de Bishop, se observa que el factor de seguridad es de 1,369.

5.- CONCLUSIONES

Conforme al bajo factor de seguridad resultante de los cálculos y tras un reconocimiento exhaustivo del emplazamiento de la escombrera, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se manifestarán problemas de estabilidad general, a medio-largo plazo.

2. Tras las visitas y reconocimientos de campo efectuados en la zona, se observaron pequeños problemas de estabilidad locales debido a pendientes superiores a los 32° , lo que origina zonas de rotura y la consiguiente aparición de grietas. Aparecen principalmente en la zona Norte y Oeste de la escombrera.
3. También se aprecia una importante erosión debida al efecto del agua de lluvia, lo que contribuye, junto a la infiltración, a una disminución de la estabilidad.

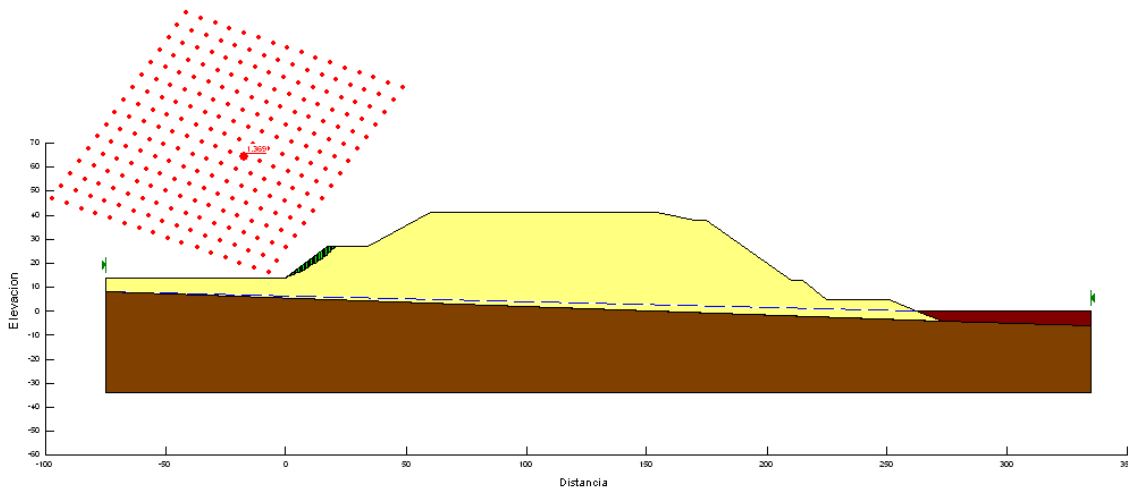


Imagen 85.- Hipótesis 4

6.- RECOMENDACIONES

Visto el bajo factor de seguridad resultante de los cálculos (Terzaghi y Peck, 1967), se exponen las siguientes recomendaciones:

- La modificación de la geometría de los taludes para disminuir la pendiente general de los mismos.
- Realizar un sistema de drenajes que recoja el agua de escorrentía y que evite su infiltración, mejorando así la estabilidad de la escombrera y reduciendo el posible riesgo de incendio en la misma.
- Caracterización del material sobre el que se cimienta y localización del nivel freático.

ANEJO II.- CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESA DE LODOS

1.- OBJETO

El objeto del presente estudio es determinar la estabilidad de la presa de finos de la explotación minera La Camocha, situada en el término municipal de Granda, en la provincia de Asturias, durante el proceso de la retirada de los finos de carbón.

2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para la determinación de la estabilidad de los taludes de la presa se dividirá el estudio en dos partes:

1. Determinación del nivel piezométrico en la presa de lodos en régimen estacionario y la evolución del mismo durante la eliminación de los finos.
2. Estudio de estabilidad del talud aguas arriba de la presa.

La metodología de cálculo seguida ha sido la siguiente:

- Determinación del nivel piezométrico:
 - Se determina la geometría de una sección tipo de la presa.
 - Se procede a modelizar mediante elementos finitos la presa.
 - Se determina las condiciones de contorno iniciales en régimen estacionario de la presa.
 - Se determina la variación de las condiciones de contorno en función del tiempo para determinar cómo variará el nivel piezométrico en el interior de la presa durante el vaciado de los finos.
 - Por último se integra el problema y se resuelve para las condiciones de contorno anteriormente determinadas.
- Determinación de estabilidad del talud de la presa aguas arriba:
 - Se determina la geometría de una sección tipo de la presa.

- Una vez modelada mediante el método de Bishop modificado se determina la estabilidad del talud, teniendo en cuenta la evolución del nivel piezométrico en el interior de la presa calculado anteriormente durante los distintos estadios de la deconstrucción.

Para la aplicación de ésta metodología de cálculo se utiliza el programa SEEP/W para modelizar tanto en régimen permanente como estacionario la evolución del nivel piezométrico en el interior de la balsa de lodos.

Una vez determinada la evolución de dicho nivel piezométrico, se utilizan los datos de salida del software en otro programa informático, GEOSLOPE, para, mediante la aplicación de un método de equilibrio límite, método de Bishop modificado, determinar la estabilidad de la presa en las diferentes etapas de su desmantelamiento.

2.1- Datos de partida

2.1.1- Geometría

La presa está constituida por material procedente de los escombros generados en la explotación de la empresa Mina La Camocha S.A. En lo referente a su geometría consta de una playa de 6m aproximadamente en la coronación con una altura media de 19m y con unos taludes con las siguientes pendientes:

- Aguas arriba 1H:1V
- Aguas abajo: 3H:2V

2.1.2.- Materiales

Los materiales que componen la presa son inertes procedentes de la explotación de Mina La Camocha, S.A con las siguientes características geotécnicas:

Escombros:

- Fricción (Φ)= 30-35°
- Cohesión (c)= 0-20kN/m²

- Peso específico (γ)=26,5kN/m³

Finos:

- Fricción (Φ)= 16°
- Cohesión (c)= 22kN/m²
- Peso específico (γ)=11,4kN/m³

Funciones de conductividad hidráulica:

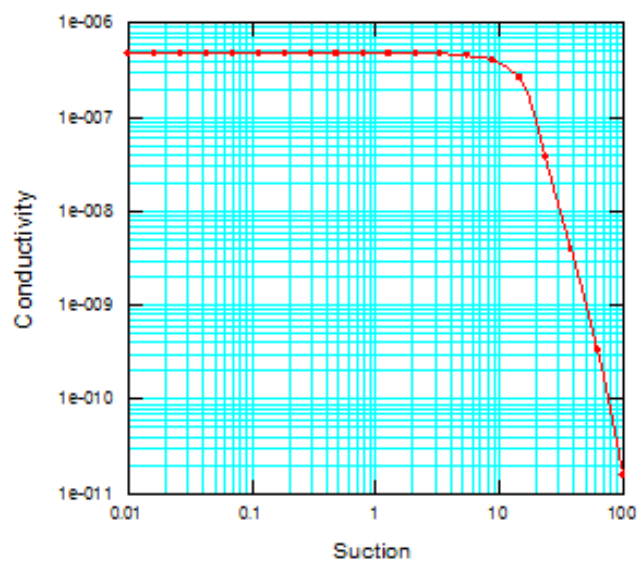


Imagen 86.- Funciones de conductividad hidráulica

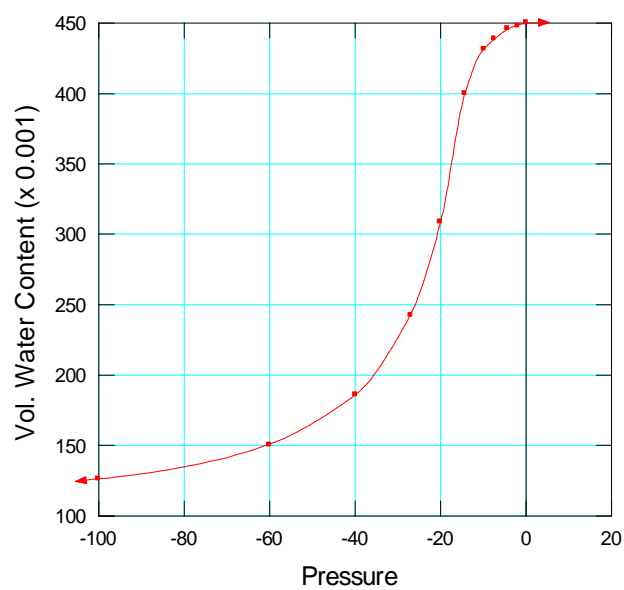


Imagen 87.- Función volumen-presión

3.- DETERMINACIÓN DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO

3.1.- Modelizado de la presa

Mediante el software de cálculo por elementos finitos se procede a crear un modelo de la presa de lodos de manera que se pueda simular el comportamiento hidráulico de la misma.

Para ello en primer lugar se determina una sección tipo de la presa para poder determinar las características geométricas de la misma, de cara a que el modelo sea representativo de su comportamiento.

La geometría escogida se representa en la imagen 88.

- Aguas arriba 1H:1V
- Aguas abajo: 3H:2V
- Altura 19m
- Playa 6 m

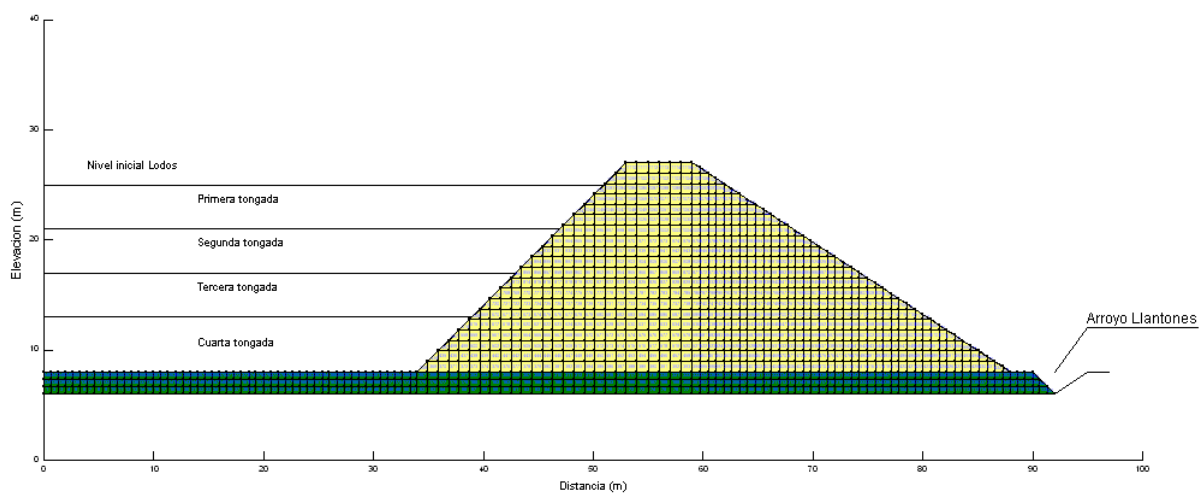


Imagen 88.- Sección tipo de la presa

3.1.1.- Condiciones de contorno

Una vez modelizada la geometría de la presa y creada la malla de elementos se procede a establecer las condiciones de contorno del cálculo. De manera que disponemos de 2 casos:

Régimen permanente o condiciones iniciales de la presa. Para el cálculo de las condiciones iniciales se presupone que el nivel piezométrico se encuentra a la misma altura que los finos de carbón; se toma esta referencia ya que aunque habitualmente el nivel piezométrico estará por debajo del nivel de los finos es conocido en este tipo de materiales que, al poseer una humedad muy elevada, el nivel piezométrico es capaz de variar de una forma muy rápida con pequeños aportes de agua por lo que es conveniente considerar la situación más desfavorable a la hora de ejecutar el cálculo.

- Régimen transitorio durante el vaciado de los finos de la presa. Para calcular la evolución del nivel piezométrico no se debe aplicar en los nodos situados aguas arriba un valor constante, sino se debe definir una función dependiente del tiempo que nos permita modelizar correctamente como va evolucionar el nivel piezométrico en la cara de la presa. Para hacer esto definimos una función escalonada de manera que se considera la eliminación de un nivel de 4 m de lodos cada 2 meses. Este descenso va a ser mucho más rápido del previsto debido a la elevada cantidad de finos a retirar, no obstante, permite mantener el trabajo del lado de la seguridad en el cálculo.

La función se puede ver en la imagen 89, en la que están representadas en abscisas el tiempo en segundos y en ordenadas el nivel piezométrico en m; cuando la elevación de algún nodo está por encima del nivel piezométrico, se considera la condición de caudal=0 ($Q=0$).

3.2.- Resultados en régimen permanente

Una vez modelizado el problema se procedió al cálculo del mismo mediante software informático obteniéndose los siguientes resultados.

- Convergencia:

En la imagen 90 se puede observar como en las distintas iteraciones del problema el valor residual tiende a 0, lo que indica una correcta convergencia del problema.

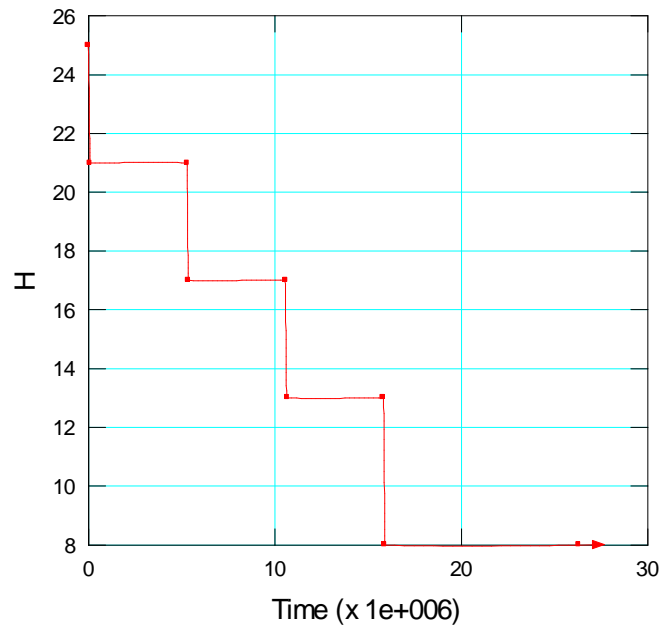


Imagen 89.- Nivel piezométrico y tiempo

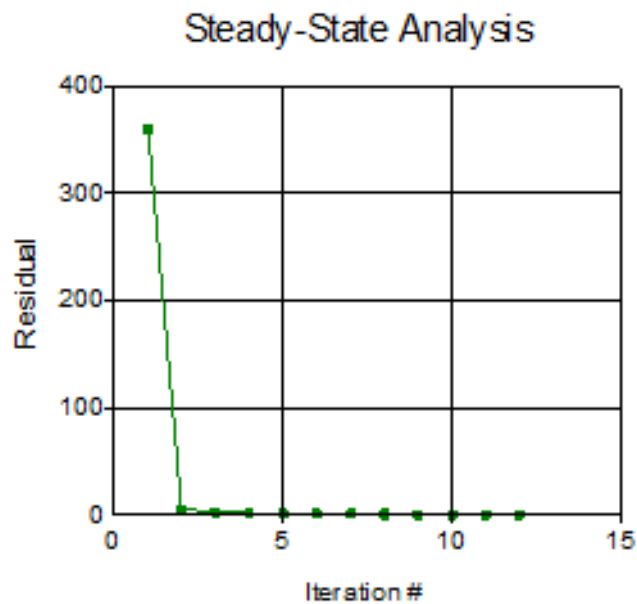


Imagen 90.- Convergencia

En las imágenes 91, 92 y 93 se puede observar la posición estimada del nivel piezométrico en el interior de la presa así como los vectores de flujo del agua.

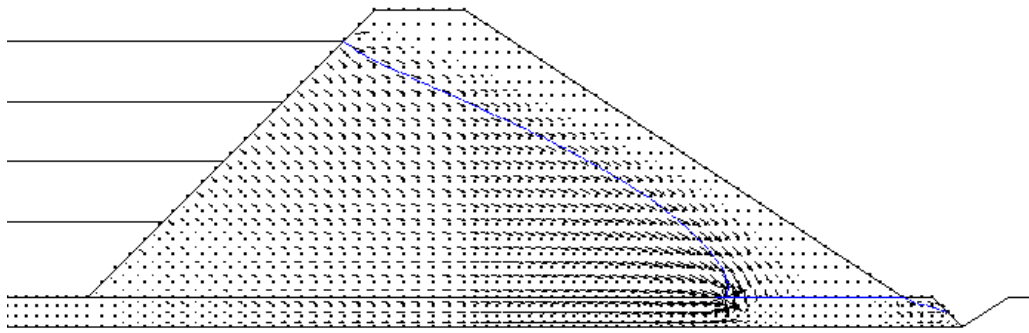


Imagen 91.- Nivel piezométrico y vectores de flujo

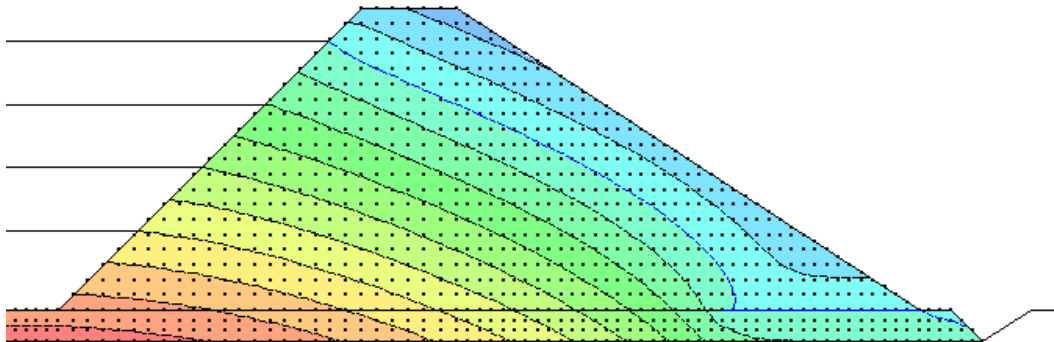


Imagen 92.- Posición nivel piezométrico y vectores de flujo del agua

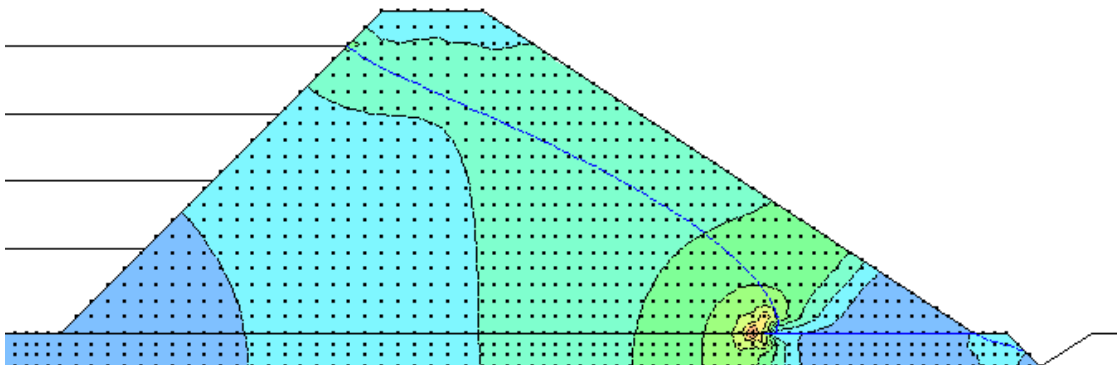


Imagen 93.- Posición nivel piezométrico y vectores de flujo del agua

3.3.- Resultados en régimen transitorio

Una vez determinadas las condiciones iniciales para el cálculo en régimen transitorio, se procede a realizar el cálculo para la determinación de la variación del nivel piezométrico, a medida que va variando el nivel de los lodos según la función anteriormente determinada. Para ello se procede a establecer la variación del nivel freático cada 15 días.

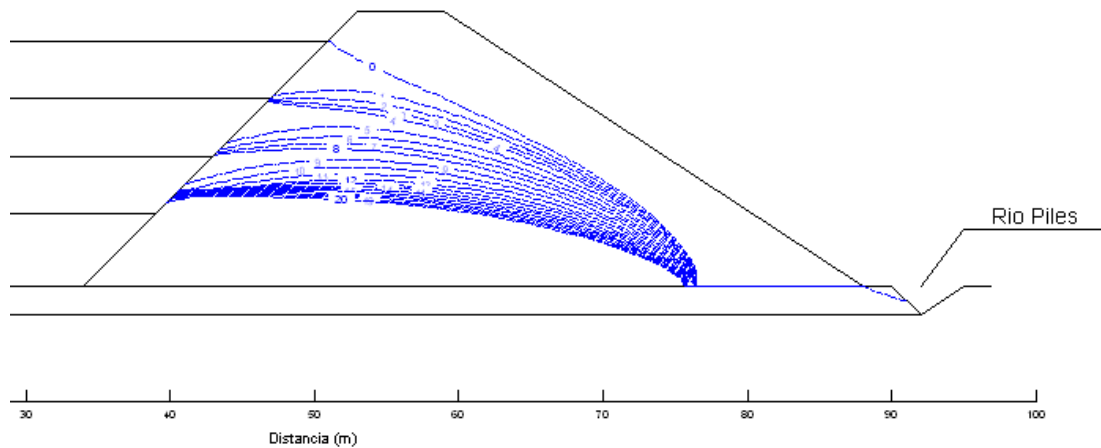


Imagen 94.- descenso del nivel piezométrico con el descenso del nivel de lodos

Como se observa en la imagen 94, el nivel piezométrico desciende a un ritmo inferior al del descenso de los lodos, lo que puede provocar la inestabilidad del talud situado aguas arriba de la presa.

4.- ESTABILIDAD DE LA PRESA DURANTE LA DECONSTRUCCIÓN

4.1.- Objeto

El objeto del presente estudio es determinar la estabilidad de la presa durante el vaciado de la misma.

Se calculara la estabilidad del talud situado aguas arriba de la presa, ya que se considera que se estabilidad global está sobradamente probada tras el transcurrir de todos los años de servicio sin síntomas de inestabilidad.

4.2.- Metodología de cálculo

Para la ejecución del cálculo se procederá a determinar la estabilidad de la presa en diferentes estadios de su eliminación teniendo en cuenta la evolución del nivel freático de la misma calculada en puntos anteriores. Para ello se procederá al cálculo después de la eliminación de cada uno de los 4 niveles de finos de carbón.

El cálculo de la estabilidad se realizará por el método de Bishop obteniendo el factor de seguridad del talud objeto de estudio.

4.3.- Estado inicial

En la imagen 95 se puede ver el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra en su estado inicial y con los finos de carbón en su nivel original; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 2,496. En la imagen 96 se puede ver la superficie de rotura más probable.

4.4.- Retirada de tongadas

4.4.1.- Retirada de la primera tongada.

En la imagen 97 se puede ver el modelo utilizado en el cálculo con la presa en su estado inicial y con los finos de carbón cuatro metros por debajo de su nivel inicial; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 1,420; En la imagen 98 se observa la superficie de rotura más probable.

4.4.2.- Retirada de la segunda tongada.

En la imagen 99 se aprecia el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra en su estado inicial y con los finos de carbón ocho metros por debajo de su nivel inicial; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 1,129; en la imagen 100 aparece la superficie de rotura más probable.

En la imagen 101 se puede ver el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra ya parcialmente desmontada y con los finos de carbón 8 metros por debajo de su nivel inicial; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 1,386; en la imagen 102 se observa la superficie de rotura más probable.

4.4.3.- Retirada de la tercera tongada

En la imagen 103 se representa el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra en su estado inicial y con los finos de carbón 12 metros por debajo de su nivel

inicial, una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 0,969; en la imagen 104 aparece la superficie de rotura más probable.

En la imagen 105 se puede ver el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra parcialmente desmontada y con los finos de carbón 12 metros por debajo de su nivel inicial; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 1,610, figurando en la imagen 106 la superficie de rotura más probable.

4.4.4.- Retirada de la cuarta tongada

En la imagen 107 se puede ver el modelo utilizado en el cálculo cuando la presa se encuentra parcialmente desmontada y con los finos totalmente retirados; una vez realizado el cálculo se obtiene un factor de seguridad de 1,578; en la imagen 108 se puede ver la superficie de rotura más probable.

4.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se puede observar en la tabla 31 como el factor de seguridad va descendiendo a medida que el nivel de los lodos desciende, lo que provoca que el nivel piezométrico quede colgado por encima del nivel de los mismos. Una vez que el nivel piezométrico alcance su nuevo nivel de equilibrio, el factor de seguridad aumentará.

Caso	Descenso finos (m)	Altura de la presa (m)	Factor seguridad
1	0	19	2,496
2	4	19	1,423
3	8	19	1,129
4	8	13	1,391
5	12	19	0,974
6	12	9	1,610
7	19	6	1,581

Tabla 31.- Análisis de resultados

El factor de seguridad se debería mantener por encima de 1,3 (Terzaghi y Peck, 1967) por lo que los casos 3 y 5 no serían válidos. Para mejorar el factor de seguridad en estos

casos se propone el rebajar la altura de la presa hasta 9 y 6 m respectivamente, con lo que el factor de seguridad aumenta hasta valores aceptables.

Tipo de rotura	Tipo de problema	Factor de Seguridad
Corte	Trabajos de tierra	1,3-1,5
	Estructuras de tierra	1,5-2
	Cimentaciones	2-3
Filtraciones	Levantamientos	1,5-2,5
Filtraciones	Erosión interna, salida del gradiente	3-5

Tabla 32.- Factores de Seguridad Mínimos (Terzaghi y Peck, 1967)

4.6.- CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la presa será estable durante su desmantelamiento, atendiendo a unas precauciones básicas, como es el mantener controlado el nivel piezométrico en el interior de la presa y reduciendo su altura a medida que se avance con los trabajos de deconstrucción.

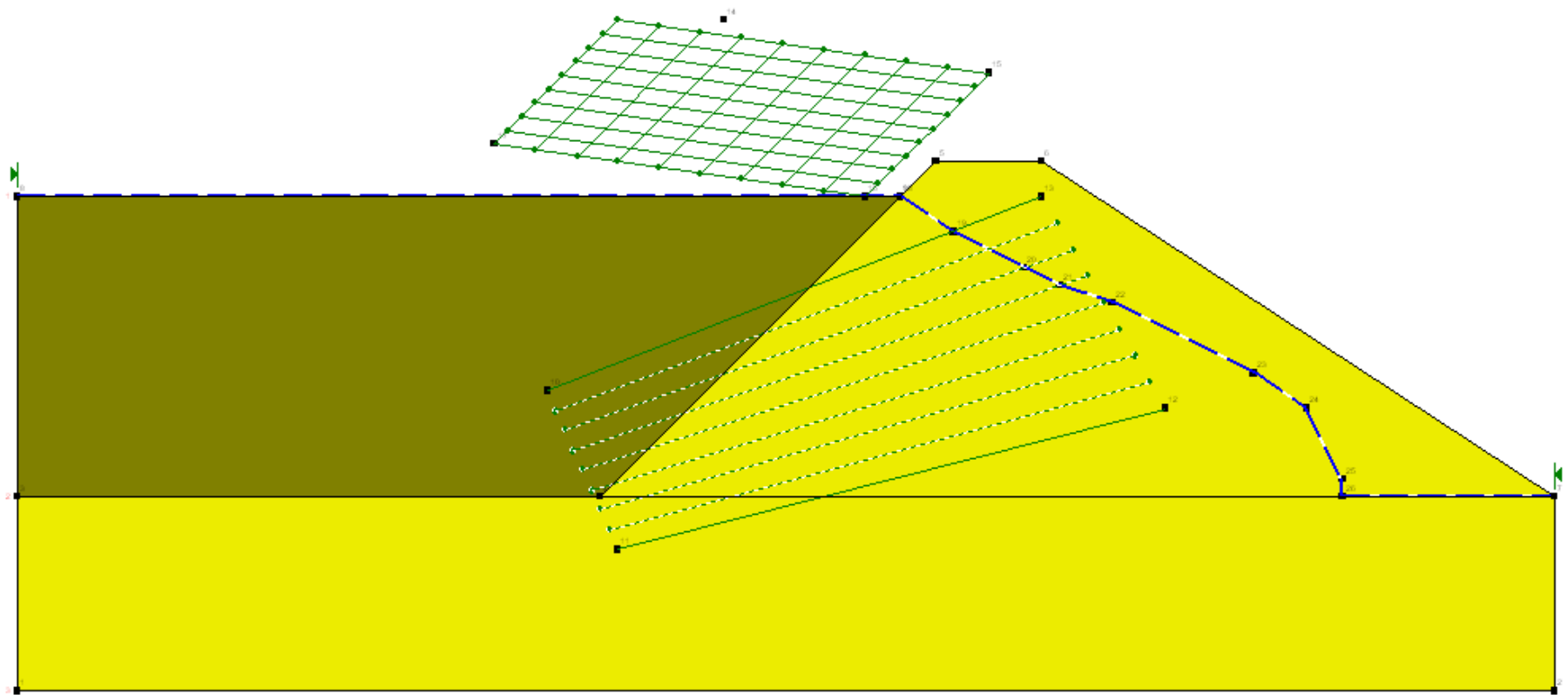


Imagen 95.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial

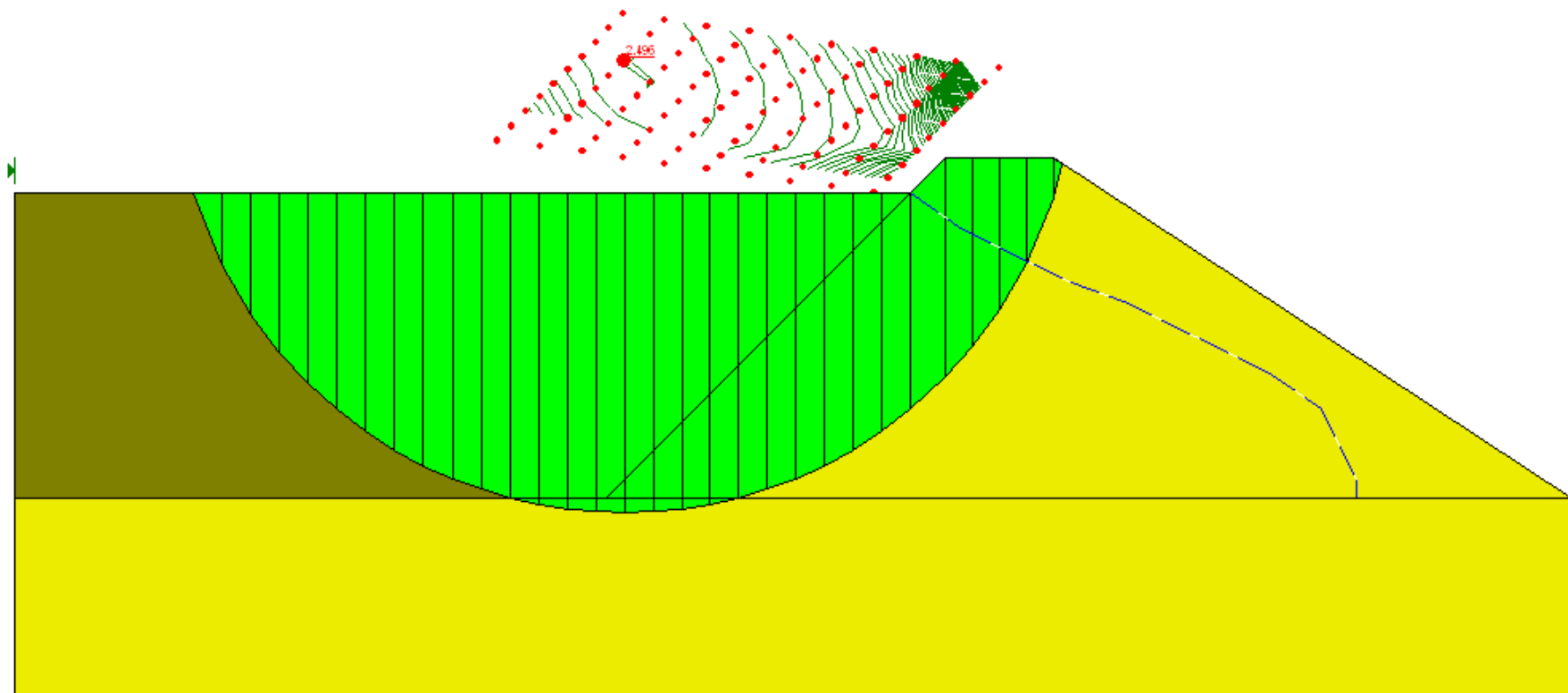


Imagen 96.- Superficie de rotura más probable

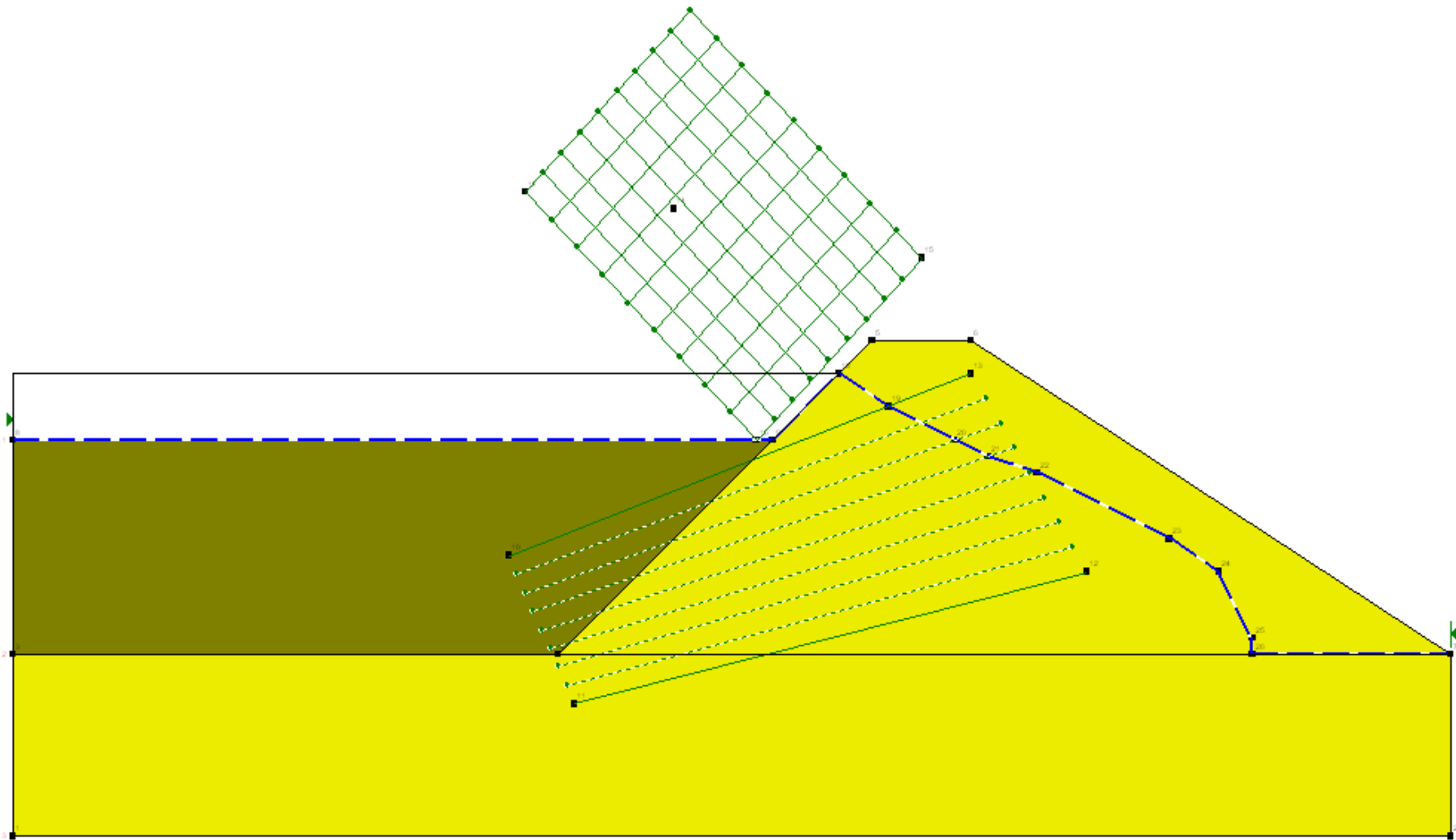


Imagen 97.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 1ª tongada

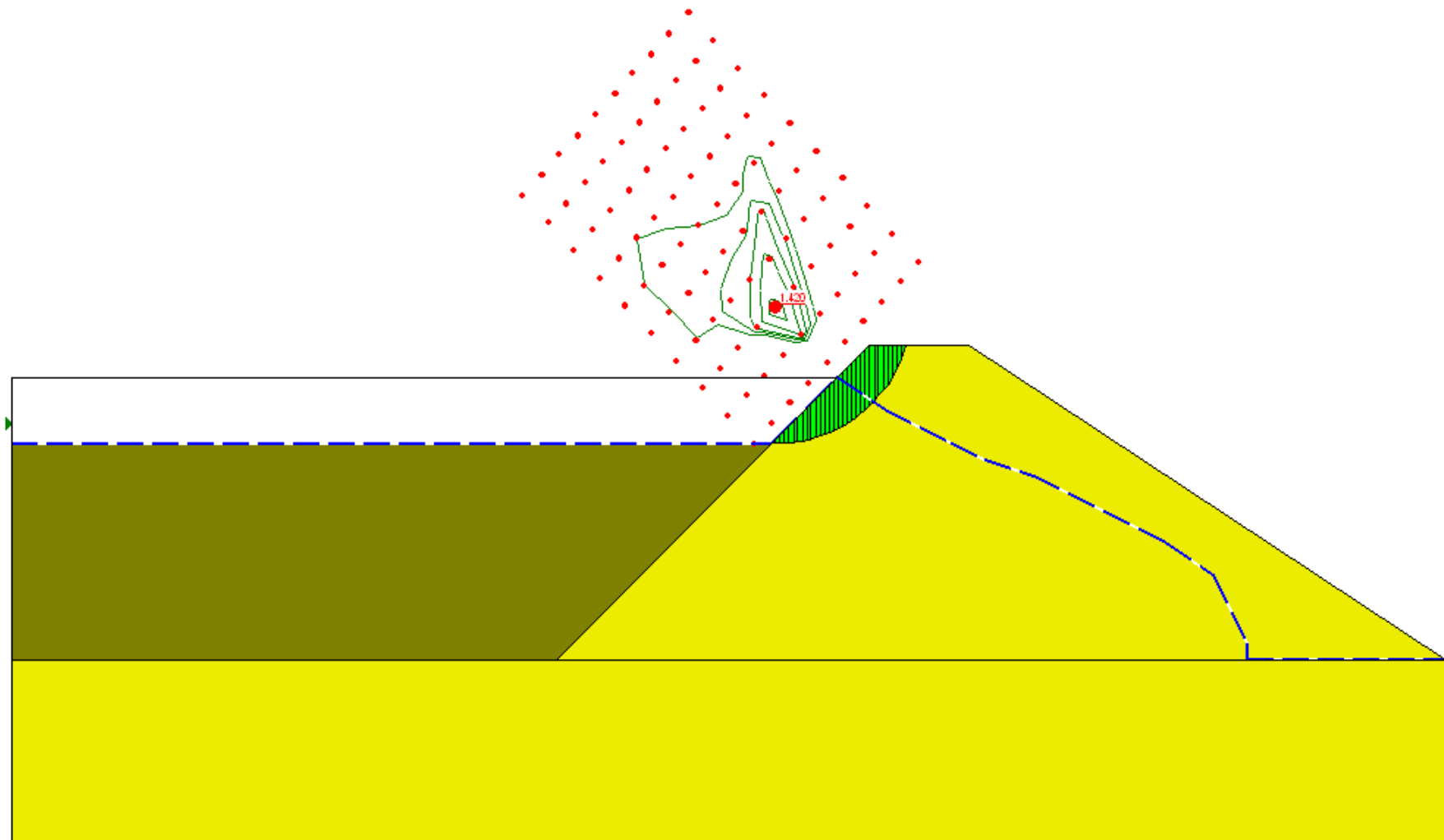


Imagen 98.- Superficie de rotura más probable. 1ª tongada

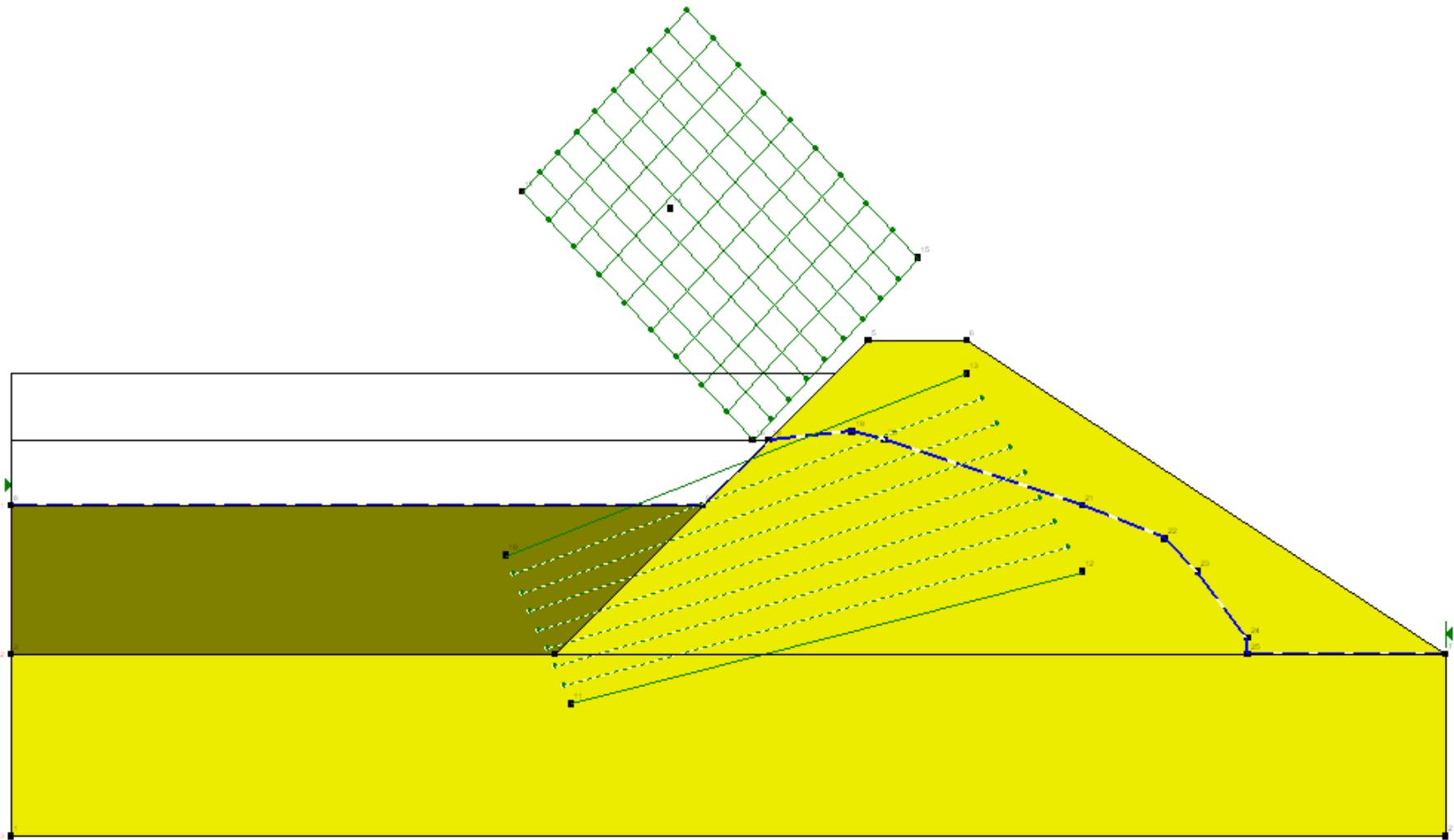


Imagen 99.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 2ª tongada

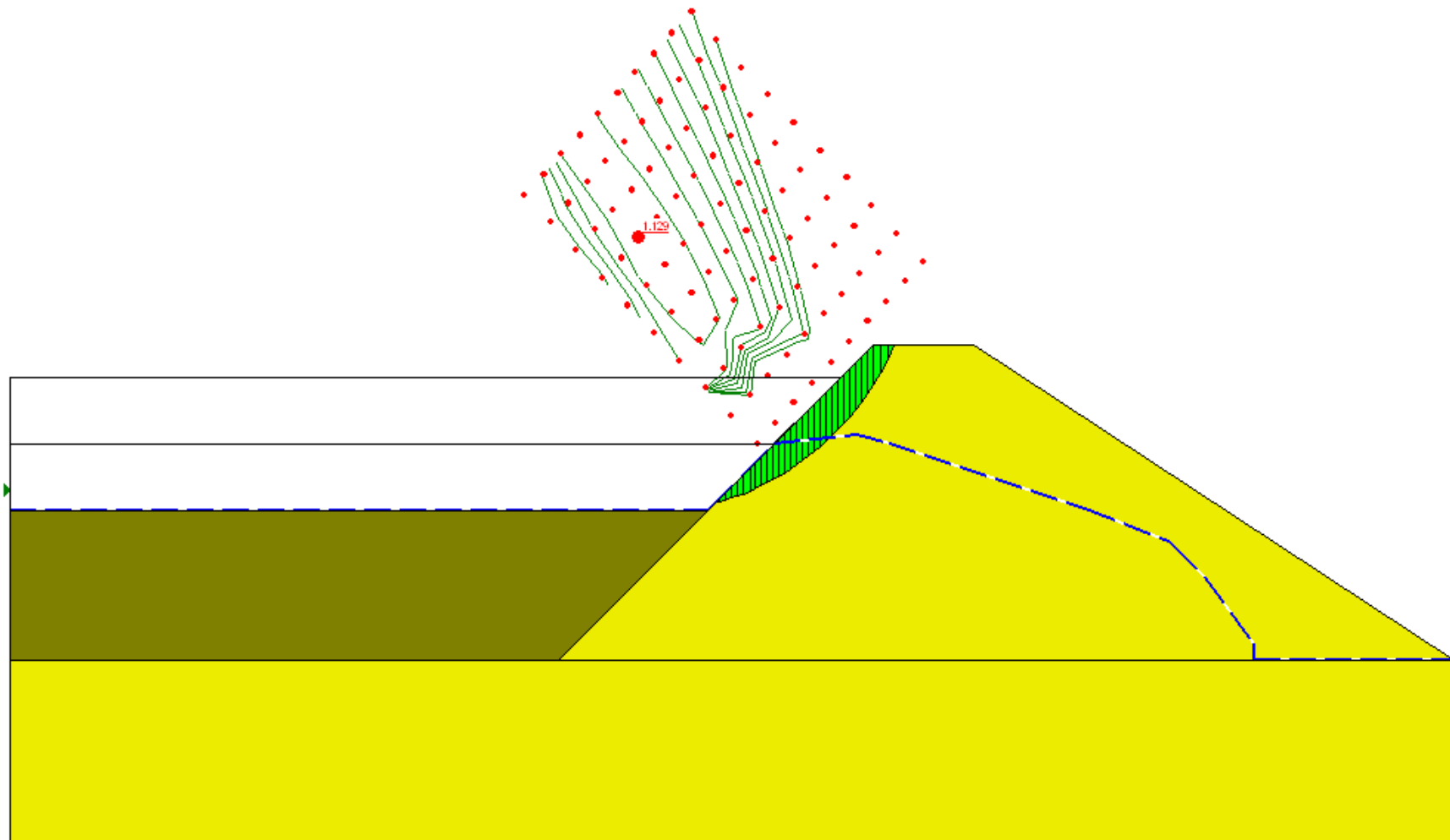


Imagen 100.- Superficie de rotura más probable. 2ª tongada

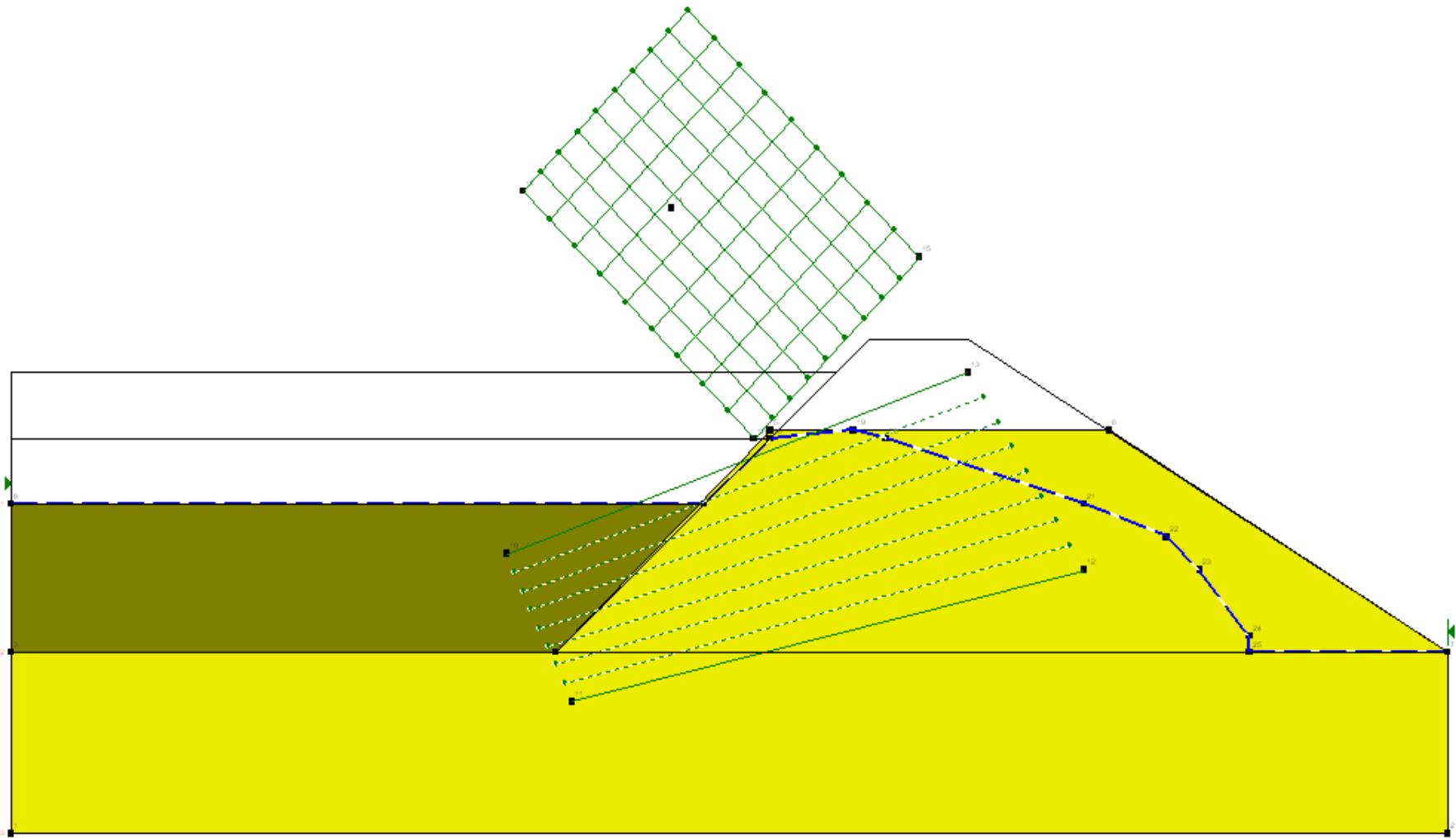


Imagen 101.- Modelo de cálculo con la presa parcialmente desmontada. 8m

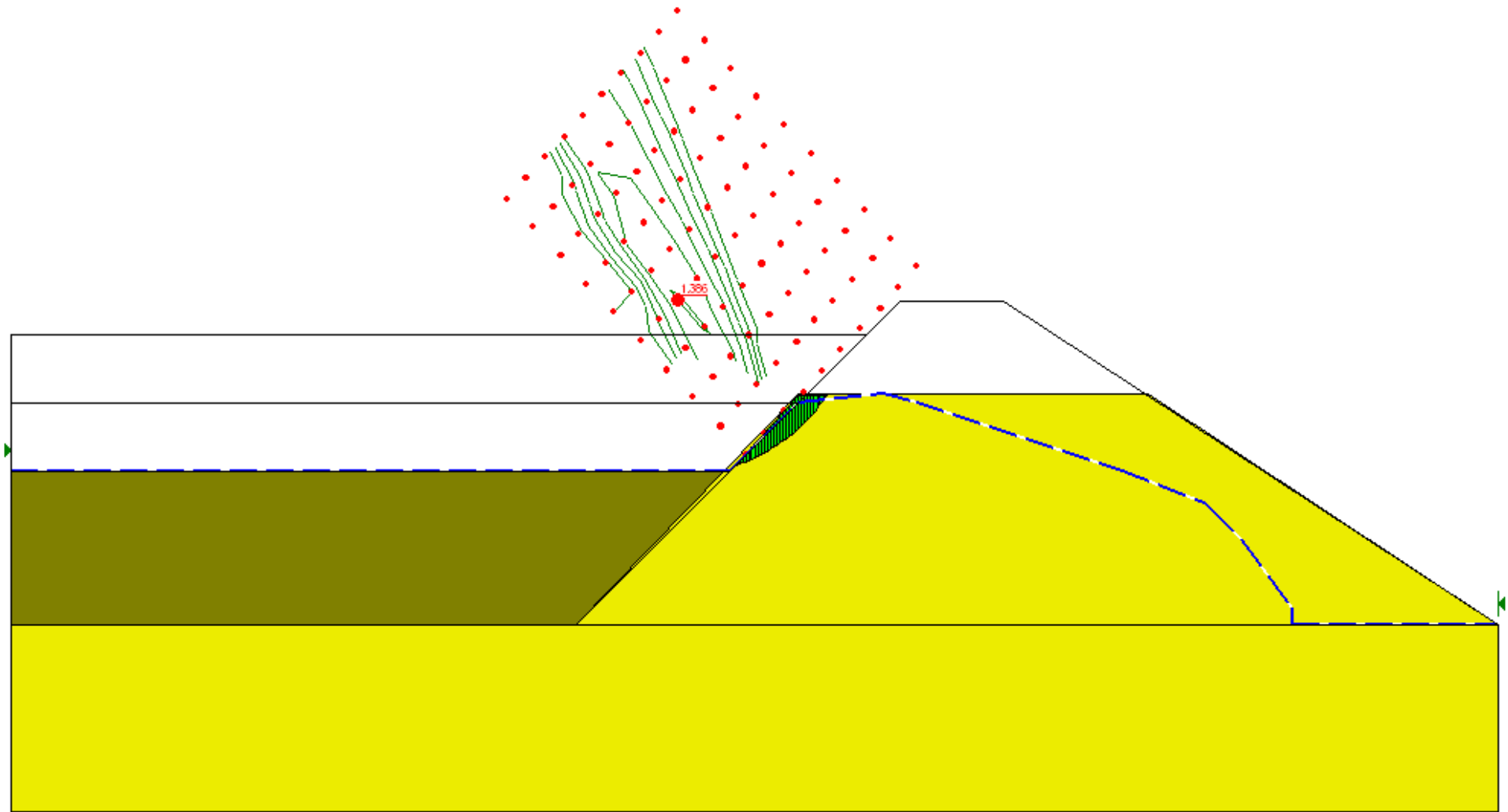


Imagen 102.- Superficie de rotura más probable. Parcialmente desmontada. 8m

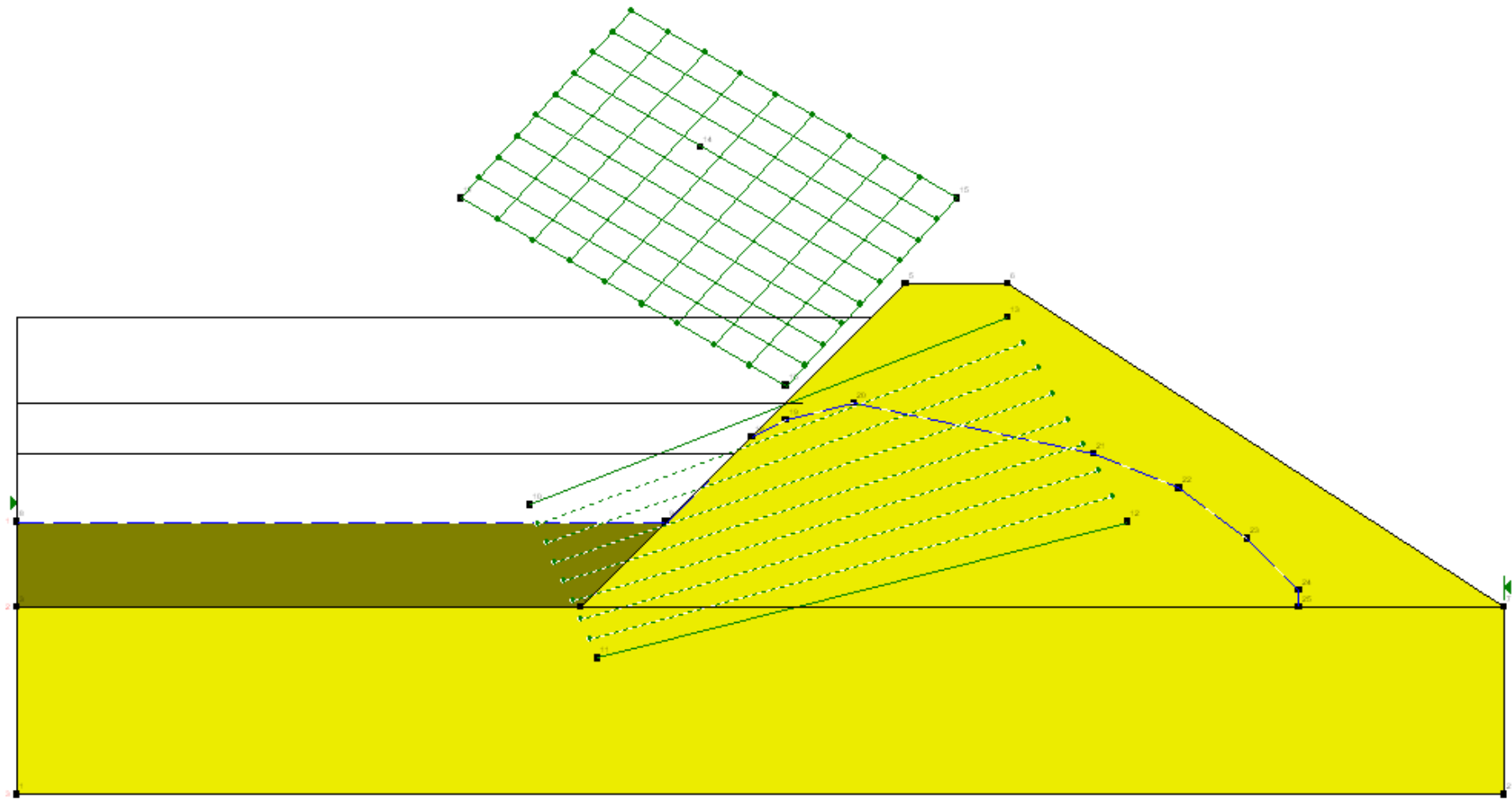


Imagen 103.- Modelo de cálculo con la presa en su estado inicial. 3ª tongada

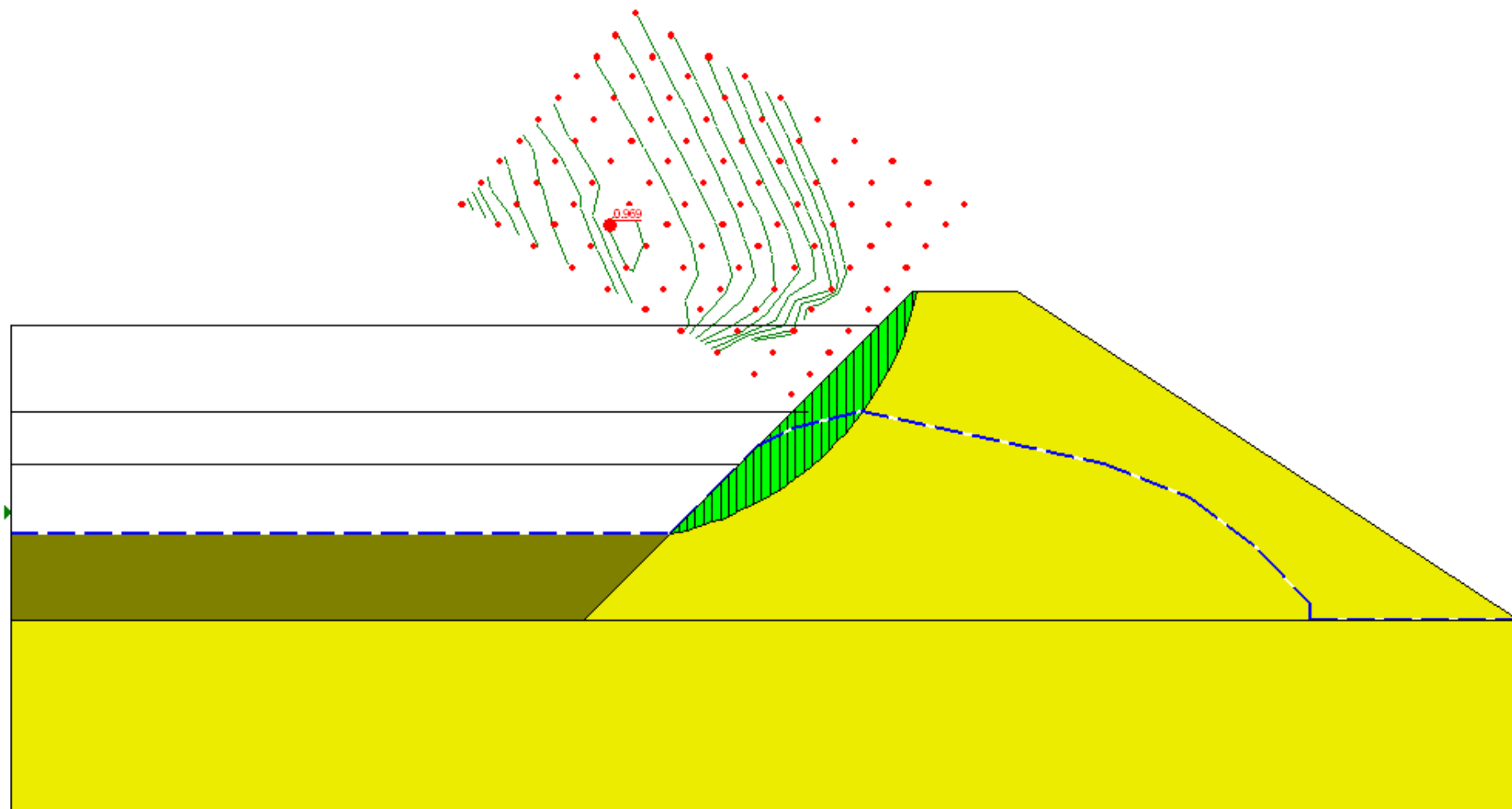


Imagen 104.- Superficie de rotura más probable. 3ª tongada

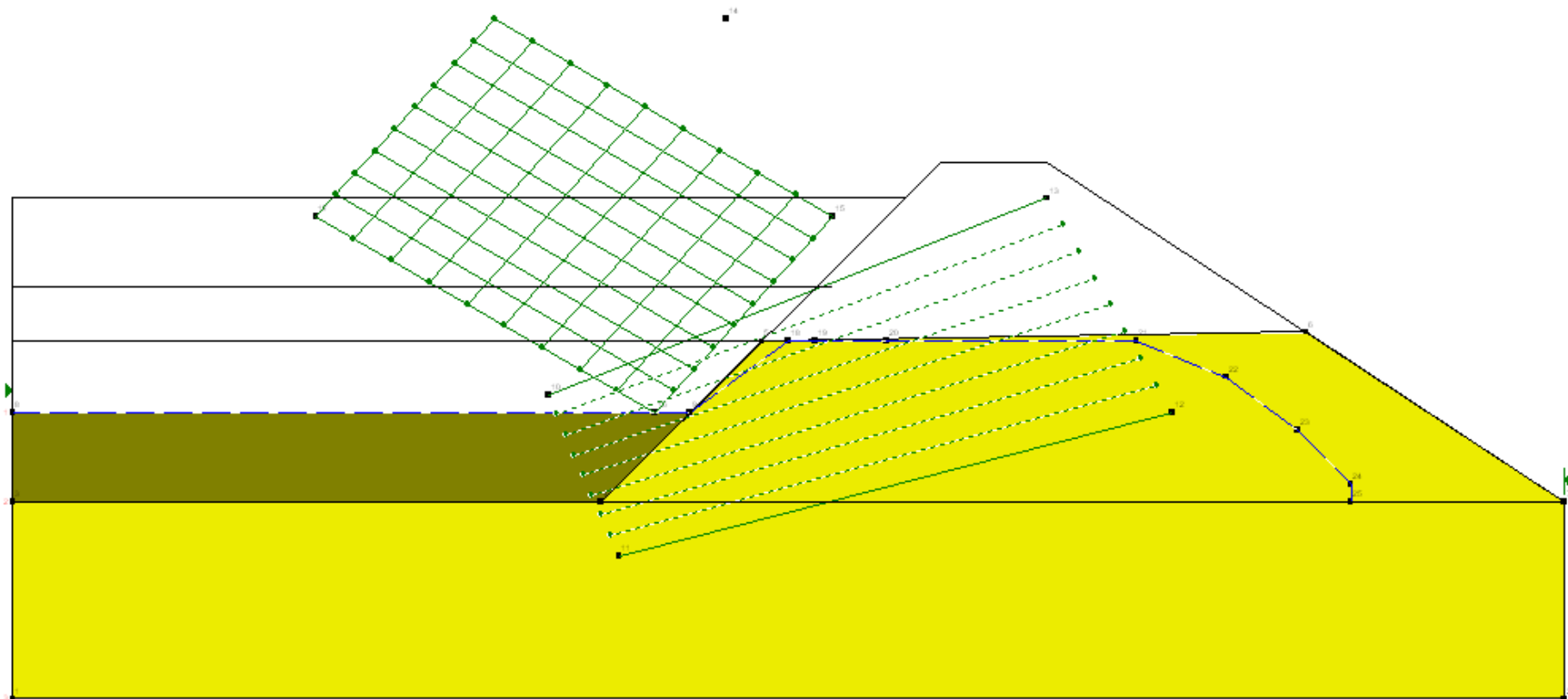


Imagen 105.- Modelo de cálculo. Parcialmente desmontada. 12 m

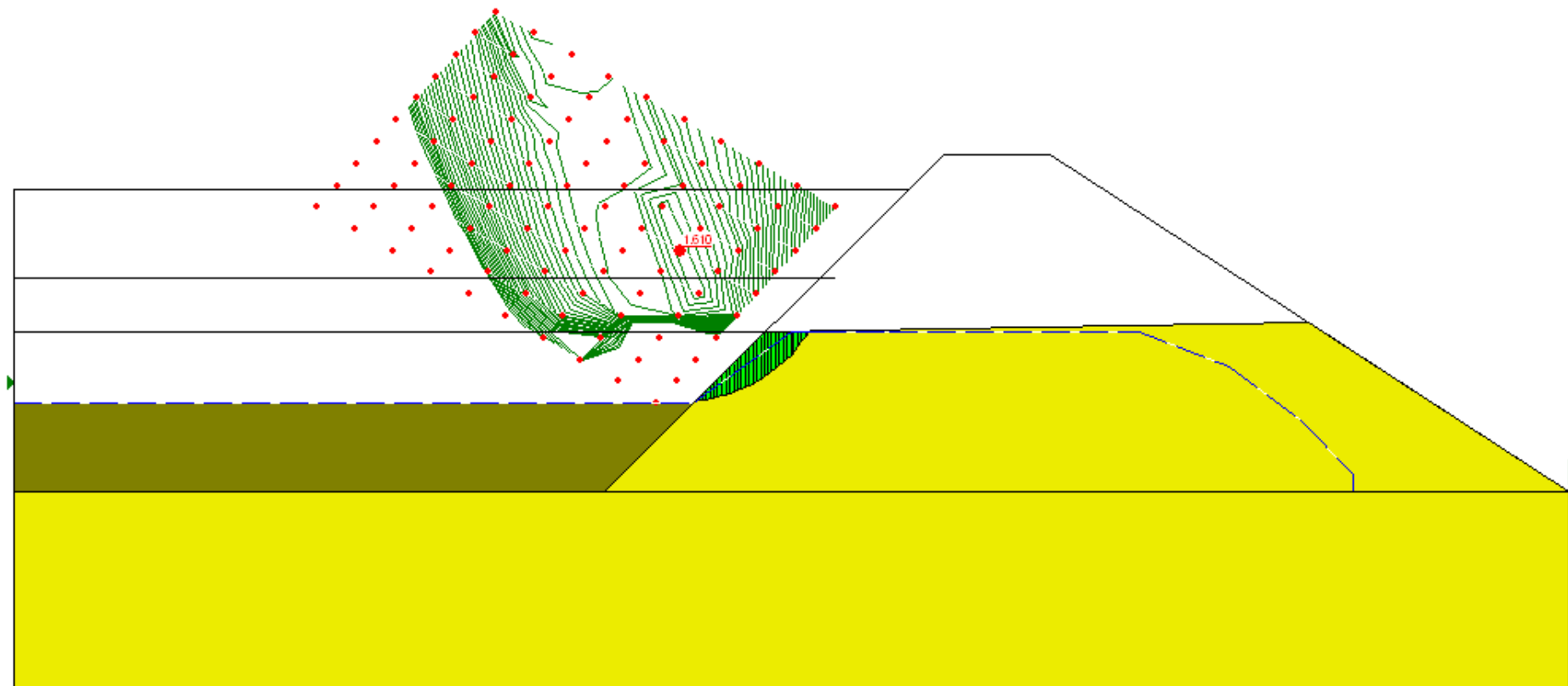


Imagen 106.- Superficie de rotura más probable. Parcialmente desmontada. 12 m

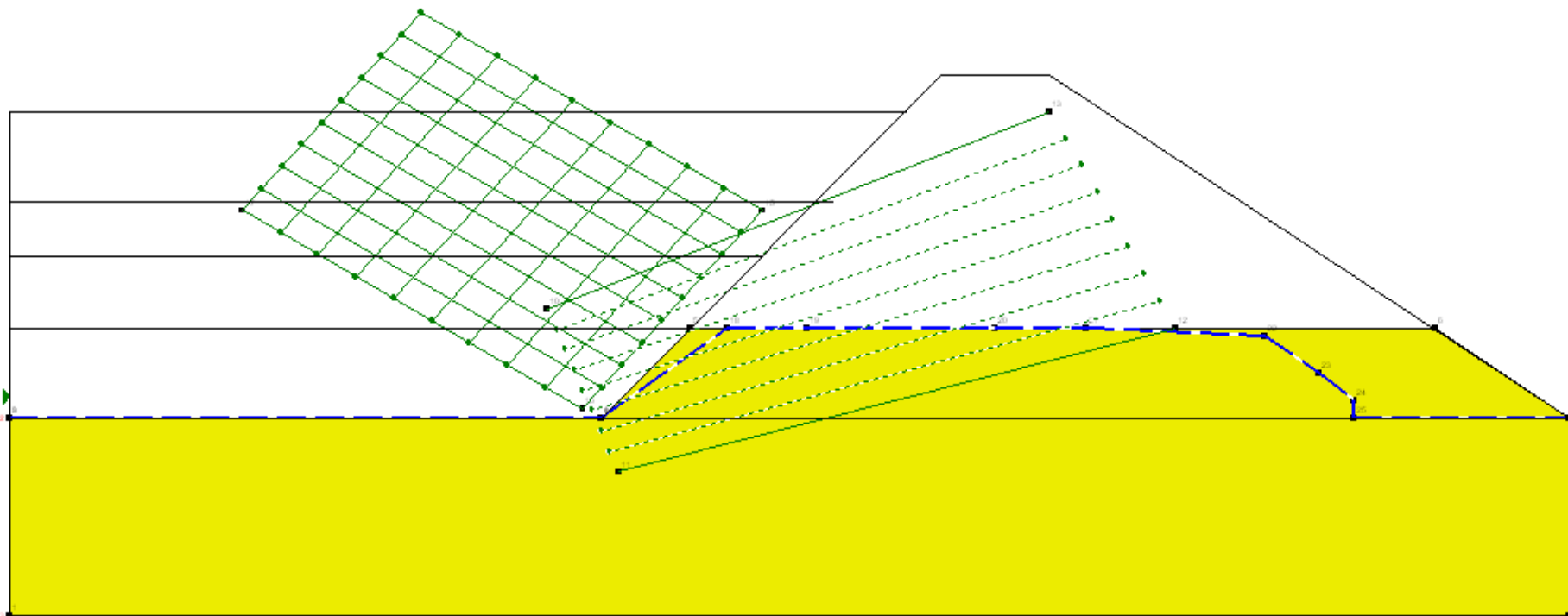


Imagen 107.- Modelo de cálculo. Parcialmente desmontada. 4ª tongada

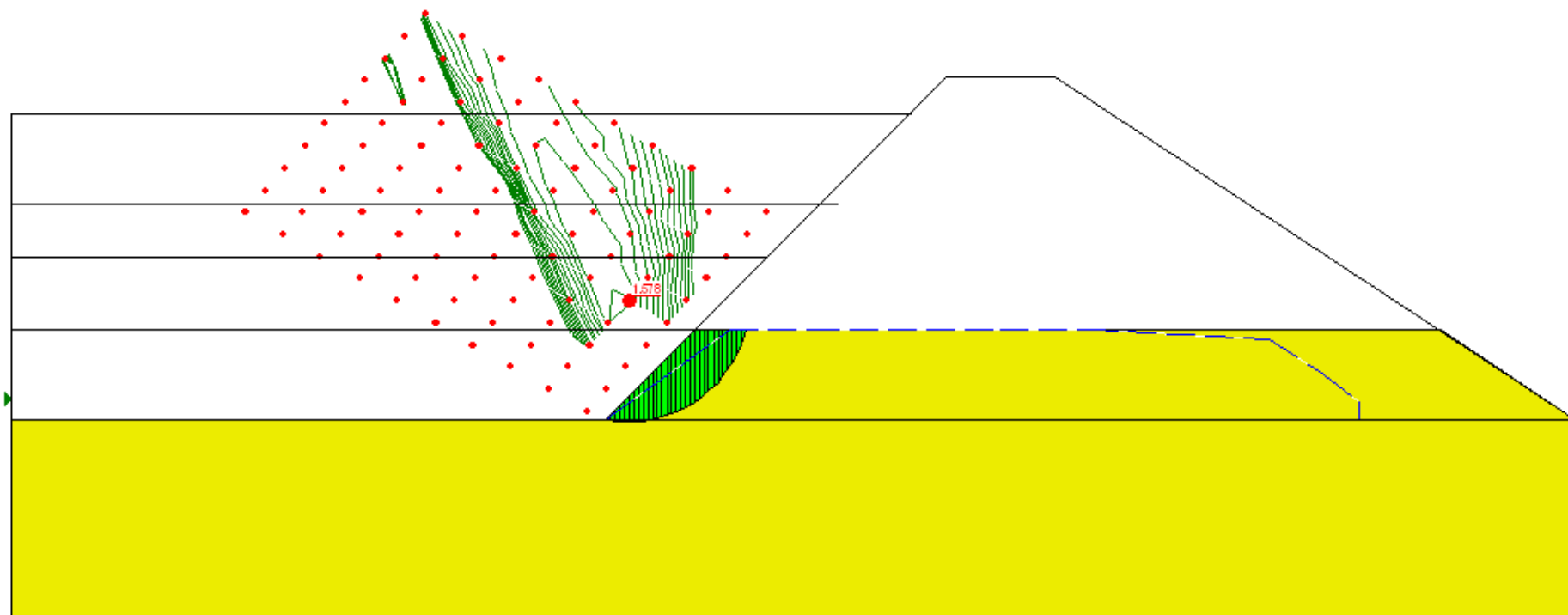


Imagen 108.- Superficie de rotura más probable. 4ª tongada