

ANEJO nº 13
ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y TÚNELES

ANEJO DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y TÚNELES DE

ÍNDICE

1	GEOTECNIA DE LAS ESTRUCTURAS	2
1.1	Estructuras proyectadas.....	2
1.2	Justificación de la tipología de cimentación	5
2	GEOTECNIA DE LOS TÚNELES	5
2.1	Tramificación de las formaciones	6
2.1.1	<i>Formaciones y litologías presentes en los túneles</i>	<i>6</i>
2.2	Parámetros geotécnicos del macizo rocoso.....	7
2.2.1	<i>Macizos rocosos y Efecto Escala</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>Obtención de los parámetros geotécnicos del macizo</i>	<i>8</i>
2.2.3	<i>Clasificaciones geomecánicas</i>	<i>8</i>
2.2.4	<i>Aplicación de las clasificaciones geomecánicas</i>	<i>9</i>
2.3	Tipos de macizo rocoso.....	10
2.4	Estimación de los sostenimientos por métodos empíricos.....	12
2.5	Tramificación según tipo de sostenimiento	16
2.6	Cuadro resumen secciones tipo de sostenimiento.....	19
2.7	Tratamientos especiales.....	21
2.7.1	<i>Sobreexcavaciones</i>	<i>21</i>
2.7.2	<i>Desprendimientos en el avance</i>	<i>21</i>
2.7.3	<i>Presencia de Karsts</i>	<i>21</i>

APÉNDICES:

- 1.TÚNELES: SECCIONES TIPO
- 2.CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

ANEJO DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y TÚNELES.

1 GEOTECNIA DE LAS ESTRUCTURAS

1.1 Estructuras proyectadas

En las tablas adjuntas se recoge, para cada una de las alternativas de estudio, la solución de cimentación más idónea de las distintas estructuras consideradas en cada una de ellas.

En cada tabla aparece la denominación de la estructura, el tipo de estructura (P: Puente V: *viaducto*, P.S: *paso superior*, P.I. *paso inferior*), la litología afectada, la investigación disponible y el tipo de cimentación propuesta.

Tabla 1 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 1A

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	1A	O.F.95.9A	V	95+870	95+940	70,0	Terraplén/ Ct	T1-S1	superficial
1-3	1A	O.F.99.2A	PI			14,0	Ty	T1-S2, PS-107, EGT-238-1	superficial
1-3	1A	O.F.99.4A	V	99+310	99+570	260,0	Ty/Tv	T1-S2, PS-107, EGT-238-1	superficial en estribos profunda en pilas
1-3	1A	O.F. 99.7A	V	99+680	99+760	80,0	Ty/Tv	T-242	superficial
1-3	1A	O.F. 102.2A	V	102+160	102+295	135,0	Cmmc/Ty	T2B-S1; T-249	superficial y semiprofunda

Tabla 2 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 1B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
2	1B	O.F.96.1B	V	96+070	96+250	180,00	Ct/Qcol	T1-S1; T-229	superficial en estribos profunda en pilas
2	1B	O.F.99.8B	V	99+800	100+085	285,00	Ty/Tv	T1-S2; T-237; T-242	superficial en estribos profunda en pilas
2	1B	O.F.100.2B	V	100+200	100+290	90,00	Tv/Ty	T-242	Superficial
2	1B	O.F.100.4B	V	100+380	100+505	125,00	Ty	T-242	Superficial
2	1B	O.F.102.3B	V	102+255	102+415	160,00	Ccm/Cc	T.243; T-244; EGT-244	superficial en estribos profunda en pilas
2	1B	O.F.102.8B	V	102+710	102+860	150,00	Cc/Qcol	T-245; T-246	superficial en estribos profunda en pilas
2	1B	O.F.- 103.1B	V	103+040	103+135	95,00	Qcol	T2B-S1	superficial en estribos profunda en pilas
2	1B	O.F.- 103.3B	V	103+290	103+415	125,00	Cmmc	T2B-S1	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 3 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 2A

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	2A	O.F.103.7A	V	103+615	103+835	220,00	Qcol	SF-1	superficial y semiprofunda
1-3	2A	O.F.104.2A	V	104+145	104+215	70,00	Cb/Qcol	SF-1; CT-1; EGT-255-1	superficial y semiprofunda
1-3	2A	O.F.104.5A	V	104+495	104+995	500,00	Qcol/Ccmcm	T2B-S2; CT-2; T-257; T-259	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 4 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 2B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
2	2B	O.F.104.9B	V	104+815	104+900	85,00	Qcol	SF-1	superficial en estribos profunda en pilas
2	2B	O.F.105.3B	V	105+300	105+355	55,00	Cb/Qcol	SF-1; CT-1; T-255-1	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 5 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 3A

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	3A	O.F.107.0A	P	106+910	106+965	55,00	Qd	T2B-C2, SE-29	superficial en estribos profunda en pilas
1-3	3A	O.F.107.6A	V	107+525	107+807	282,00	Ty	T3BC-1, SE-30	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 6 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 3B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
2	3B	O.F.107.B	PS			55,00	Qcol/Ty	CT-6; CT-7	Semiprofunda
2	3B	O.F.108.3B	P	108+305	108+350	45,00	Qcol	SE-29; T2B-C2	superficial en estribos profunda en pilas
2	3B	O.F.109.0B	V	108+910	109+192	282,50	Qcol/Qt	T3BC-C1; SE-30;	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 7 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 4B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-2	4B	O.F.109.7B	V	109+645	109+840	195,00	Qt/Tcy	CD-8; SD-7; T3B-C2	superficial en estribos profunda en pilas
1-2	4B	O.F.110.4B	P	110+395	110+412	17,50	Qt	SF-6; CF-8	superficial
1-2	4B	O.F.110.5B	P	110+435	110+450	15,00	Qt	SF-6; CF-8	superficial
1-2	4B	O.F.111.7B	PS			41,00	Qcol	SE-33	superficial

Tabla 8 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 4C

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	4C	O.F.109.7BC	V	109+645	109+840	195,00	Qt/Tcy	CD-8; SD-7; T3B-C2	superficial en estribos profunda en pilas
1-3	4C	O.F.113.9C	V	N-260	N-260	190,00	Qt/Qalg	CT-13	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 9 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 5B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-2	5B	O.F.115.6B	P	115+605	115+650	45,00	Qt/Dp	EGT-271-1; C-331; T5CA-C1	superficial en estribos profunda en pilas
1-2	5B	O.F.115.9B	V	115+825	116+030	205,00	Qt/Qcol	C-332; CD-16; SD-3	superficial en estribos profunda en pilas
1-2	5B	O.F.116.4B	PS			17,0	Qt	C-333; T6-C1	superficial
1-2	5B	O.F.117.6B	V	117+510	117+900	390,00	Dp/Qt	T7A-S1; CD-190	superficial en estribos profunda en pilas
1-2	5B	O.F.118.0B	PS			87,00	Qd	CD-20	superficial

Tabla 10 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 5C

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
3	5C	O.F.117.5C	P	-	-	20	Qd/Dp	-	semiprofunda

Tabla 11 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 6B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-2	6B	O.F.120.7B	V	120+625	120+725	100,00	Qalg	C-336; P-315	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 12 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 6C

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	6C	O.F.120.6C	V	120+560	120+695	135,00	Qd/Dp	P-315	superficial en estribos profunda en pilas
1-3	6C	O.F.121.6C	V	121+570	121+695	125,00	Qd/Dc	CT-25, SE-35	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 13 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 7B

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
2	7B	O.F.125.3B	V	125+245	125+320	75,00	Qcol	CT-31; SF-8; EGT-278-1	superficial en estribos profunda en pilas
2	7B	O.F.125.8B	P	125+820	125+830	10,00	Qcol/Gd	T9-S1	superficial

Tabla 14 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 7C

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-3	7C	O.F.124.2C	V	124+170	124+485	315,00	Qd	CT-29; PT-6; ST-5	superficial en estribos profunda en pilas
1-3	7C	O.F.125.3C	P	125+260	125+285	25,00	Qcol	CT-31; SF-8	semiprofunda
1-3	7C	O.F.125.6C	V	125+585	126+040	455,00	Qcol	SF-8	superficial en estribos profunda en pilas

Tabla 15 Tipología de estructura y cimentación propuesta. TRAMO 8A

ALT.	TRAMO	ESTRUCT.	TIPO	PK INI	PK FIN	LONG. (m)	LITOLÓGÍA	CAMPAÑA DISPONIBLE	CIMENTACIÓN
1-2-3	8A	O.F.132.2A	V	132+140	132+320	180,00	Gr/Gd	T10-S1	superficial en estribos profunda en pilas

1.2 Justificación de la tipología de cimentación

Las diferentes estructuras propuestas, viaductos, puentes, pasos inferiores y pasos superiores presentan una tipología de cimentación prevista en función de las características del terreno de apoyo.

Se han considerado 3 tipologías de cimentaciones:

- **Superficiales:** Se consideran cimentaciones superficiales aquellas que apoyarán sobre formaciones rocosas. También aquellos estribos flotantes que se apoyarán en materiales compactados tipo terraplén. Estos tipos de cimentaciones son básicamente losas y zapatas de hormigón que apoyan en cotas superficiales o a poca profundidad tras un saneo. Se considera que todos los pasos superiores e inferiores como la mayoría de estribos de puentes y viaductos serán de este tipo.
- **Semiprofundas:** Las cimentaciones semiprofundas corresponden a zonas con rellenos localizados o unidades rocosa con niveles de alteración superficiales importantes. Este tipo de cimentaciones son básicamente pozos de cimentación y micropilotes. Se ha considerado que algunos estribos en media ladera, o en zonas con relleno, así como pilas de puentes y viaductos en zonas con rellenos no muy profundos serán de este tipo.
- **Profundas:** Las cimentaciones profundas se tendrán que ejecutar en aquellos puntos donde el terreno de cimentación son capas de materiales cuaternarios de poca capacidad portante de una cierta potencia, o unidades en roca con problemáticas de subsidencia o karstificación. Este tipo de cimentaciones corresponden a pilotes de hormigón. Se ha considerado la mayoría de las cimentaciones de pilas que apoyen en cursos fluviales o en pantanos tendrán que ser de este tipo.

2 GEOTECNIA DE LOS TÚNELES

El estudio geotécnico de los túneles requiere de una caracterización de las rocas y de los macizos rocosos y el estudio de su comportamiento mecánico y deformacional. La finalidad es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

Cuando se excava un macizo rocoso se modifican las condiciones iniciales del medio el cual responde a estos cambios deformándose y/o rompiéndose.

A nivel de macizo rocoso las deformaciones y roturas se suelen producir a favor de los planos de discontinuidad.

El conocimiento de las tensiones y las deformaciones que puede llegar a soportar el material rocoso, permite evaluar su comportamiento mecánico y abordar el diseño del túnel.

Para abordar este tipo de estudios se requiere de la cuantificación de los siguientes parámetros:

- Parámetros de la matriz rocosa: están definidos por sus propiedades físicas y son las que controlan sus características resistentes y deformacionales como resultado de su génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia.
- Caracterización de las discontinuidades: orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia a tracción de las juntas.
- Caracterización del macizo rocoso: es el resultado de la combinación de los parámetros de la matriz y las características de las discontinuidades.

La relación de túneles proyectados en los diferentes tramos del trazado, es la siguiente:

Tabla 16 Túneles propuestos en las diferentes alternativas

ALT	TÚNEL	TRAMO	PK INI	PK FIN	LONGITUD (m)
1-3	96.1A	1A	96+060	99+200	3140,00
1-3	100.0A		99+930	102+135	2205,00
1-3	102.4A	1A – 2A	102+315	103+235	920,00
2	96.4B	1B	96+345	98+085	1740,00
2	98.4B		98+325	98+675	350,00
2	101.1B		101+010	102+100	1090,00
2	103.5B	1B-2B	103+440	104+400	960,00
1-3	103.9A	2A	103+885	104+095	210,00
2	105.1B	2B	105+040	105+260	220,00
1-3	105.8A	3A	105+715	106+665	950,00
2	107.3B	3B	107+295	108+150	855,00
3	117.3C	5C	117+210	117+475	265,00
2-3	125.9B	7B	125+885	126+400	515,00
1	126.1C	7C	126+075	126+395	320,00

2.1 Tramificación de las formaciones

En este capítulo, se realizará un resumen de las distintas formaciones interceptadas por los túneles.

2.1.1 Formaciones y litologías presentes en los túneles

De acuerdo con el perfil geológico-geotécnico, las formaciones que se encuentran en los diferentes túneles, son las siguientes:

Tabla 17 Unidades atravesadas por los túneles propuestos

LITOLOGIA ATRAVESADA	EDAD	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Cc	Cretácico	Calizas, dolomía, limolitas calcáreas y areniscas calcáreas
Ccmcm	Cretácico	Margas y margocalizas
Ccar	Cretácico	Areniscas Calcáreas
Cd	Cretácico	Dolomías masivas
Jd	Jurásico	Calizas, dolomías y calcarenitas
Ty	Triásico	Arcillas versicolores y yesos
Dcp	Devónico	Calizas negras con pizarras
Dp	Devónico	Pizarras negras
Mi	R. Metamórficas	Cuarcitas con intrusiones graníticas. Skarn

En la tabla que se incluye a continuación se resume la ubicación y tramificación de cada una de las litologías que aparecen en el trazado de los túneles:

Tabla 18 Características de túneles propuestos

TÚNEL	LITOLOGÍA ATRAVESADA	PK INI	PK FIN	LONGITUD (m)		COBERTURA (m)	
				(m)	(%)	MIN (m)	MAX (m)
96.1A	Cc	96+060	96+455	395	12,58	44	150
	Ccmcm	96+455	96+685	230	7,32	105	125
	Ccar	96+685	97+681	996	31,72	150	310
	Ccmcm	97+681	98+053	372	11,85	135	180
	Cc	98+053	98+183	130	4,14	100	130
	Ccmcm	98+183	98+260	77	2,45	70	95
	Ty	98+260	99+200	940	29,94	70	95
100.0A	Cc	99+930	100+916	986	44,72	15	290
	Cccm	100+916	101+187	271	12,29	115	265
	Cc	101+187	102+093	906	41,09	40	235
	Cccm	102+093	102+135	42	1,90	10	15
102.4A	Ty	102+315	102+465	150	16,30	15	70
	Cc	102+465	103+235	770	83,70	15	135
103.9A	Cd	103+885	104+095	210	100,00	15	85
105.8A	Jd	105+715	106+429	714	75,16	15	135
	Ty	106+429	106+665	236	24,84	15	75
126.1C	Mi	126+075	126+091	16	5,00	50	110
	Dcp	126+091	126+395	304	95,00	15	115
96.4B	Cc	96+345	96+820	475	27,30	10	130
	Ccmcm	96+820	97+719	899	51,66	85	100
	Ccar	97+719	98+085	366	21,04	15	85
98.4B	Cc	98+325	98+660	335	95,71	20	65
	Ccmcm	98+660	98+675	15	4,29	7	16
101.1B	Cc	101+010	101+647	637	58,44	10	190
	Ccmcm	101+647	102+100	453	41,56	8	180
103.5B	Ty	103+440	103+602	162	16,88	5	80
	Cc	103+602	104+400	798	83,13	10	135
105.1B	Cc	105+040	105+101	61	27,73	5	10
	Cd	105+101	105+260	159	72,27	8	65
107.3B	Jd	107+295	107+969	674	78,83	7	140
	Ty	107+969	108+150	181	21,17	10	50
117.3C	Dp	117+210	117+475	265	100,00	7	30
125.9B	Mi	125+885	125+945	60	7,02	15	100
	Dcp	125+945	126+400	455	53,22	10	135

2.2 Parámetros geotécnicos del macizo rocoso

2.2.1 Macizos rocosos y Efecto Escala

Hasta ahora se han caracterizado por un lado las diferentes formaciones interceptadas y por otro lado las discontinuidades presentes en el terreno. Sin embargo, estas caracterizaciones no son en sí suficientes para determinar los parámetros que gobiernan el comportamiento del terreno. En efecto, hay que evaluar cómo se comporta conjuntamente el sistema discontinuidades - matriz rocosa, al que normalmente se le denomina *macizo rocoso*.

Un macizo rocoso es un medio heterogéneo y discontinuo, cuyas propiedades mecánicas y resistentes no pueden ser medidas en laboratorio, y deben de obtenerse *in situ*. La diferencia entre los valores de laboratorio y los medios *in situ* es muy apreciable, siendo estos últimos más pequeños que los del laboratorio. A esta diferencia se le conoce como *efecto escala*.

La justificación de la existencia de este efecto es sencilla y radica en la escala a la que se investiga en laboratorio y a la que luego se proyectan las obras de ingeniería subterránea. En el laboratorio se estudian probetas que, por lo general, tienen como máximo algunas decenas de centímetros de tamaño, y que están generalmente exentas de discontinuidades y heterogeneidades. Sin embargo, a escala de un túnel (varias decenas de metros) la presencia de fracturas y zonas alteradas rebaja el valor de las propiedades del terreno.

Las propiedades del macizo rocoso que más sufren el efecto escala son el *Módulo de deformación* y la *Resistencia a Compresión Simple*. Para valorar estos dos parámetros se han propuesto una serie de correlaciones empíricas basadas en la utilización de las clasificaciones geomecánicas y de los valores de estos parámetros obtenidos en laboratorio.

A continuación se obtendrán los valores de las clasificaciones geomecánicas para, posteriormente, aplicarlas a la obtención del módulo de deformación y la resistencia a compresión del macizo.

Finalmente, se definirán los tipos de macizo rocoso, en base a las clasificaciones geomecánicas.

2.2.2 Obtención de los parámetros geotécnicos del macizo

En este apartado se presenta de manera detallada la metodología usada para la determinación de los parámetros geotécnicos del macizo.

Se parte de las propiedades de la roca matriz intacta. Sin embargo, un macizo rocoso, especialmente si ha sufrido procesos de tectonización y está fracturado, puede tener un comportamiento geomecánico que diste mucho de las propiedades teóricas de la roca matriz. De hecho, la resistencia del macizo está fuertemente condicionada por las fracturas.

Con el fin de evaluar el comportamiento global se dispone de diferentes estrategias para obtener los parámetros del macizo y evaluar su calidad, teniendo en cuenta factores como: la fracturación, presencia de agua, disposición relativa del trazado respecto de las fracturas tectónicas, etc.

Las dos clasificaciones de macizos rocosos más extendidas son el RMR de Bieniawski (1976) y la Q de Barton (1974). Los dos métodos incorporan parámetros geológicos, geométricos y de diseño o ingenieriles para llegar a una valoración cuantitativa de la calidad geotécnica del macizo. Las dos metodologías se detallaran a continuación.

2.2.3 Clasificaciones geomecánicas

La clasificación geomecánica de los distintos materiales que se localizan a lo largo del trazado, resultaran muy útiles en la fase de Proyecto y a lo largo de la obra, fundamentalmente para valorar y seleccionar los sostenimientos más adecuados.

Se han seguido las clasificaciones geomecánicas siguientes:

Bieniawski (1979-1989), a partir de la cual se obtiene el índice RMR del macizo rocoso, que varía entre 0 y 100. Se estimará para cada litología el valor conocido como “básico”, es decir, sin aplicar la corrección por orientación de las diaclasas (que dependerá en el último término del sentido escogido para realizar la excavación).

Barton (1974), en el que se obtiene un índice numérico Q de calidad del macizo rocoso, que varía entre 0 y 100.

RMR (Bieniawski)

Este autor ha desarrollado un sistema de clasificación de terrenos, en base a más de 300 casos reales de túneles y minas. Actualmente se emplea la versión de 1989.

Para determinar el índice Bieniawski (RMR), se hace uso de seis parámetros de terreno:

- Resistencia a compresión simple de la roca.
- Índice de fracturación RQD.
- Espaciamiento de las discontinuidades.
- Estado de la discontinuidad.
- Presencia de agua
- Orientación de las discontinuidades.

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a cada uno de los seis parámetros enumerados.

También se ha obtenido el valor del índice GSI, que se deriva del RMR. Este nuevo índice resulta de calcular el RMR de la manera convencional, asignando al agua el valor numérico 10 y no incluyendo el valor de corrección de las discontinuidades con respecto del túnel.

Índice Q (Barton)

El índice Q o índice de Barton, fue desarrollado en Noruega (1974) por Barton, Lien y Lunde, del NGI (Instituto Geotécnico Noruego). Su desarrollo se basó en el análisis de cientos de túneles construidos principalmente en Escandinavia.

La clasificación geomecánica de Barton asigna a cada terreno un valor numérico, tanto mayor como mejor es la calidad geotécnica de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino que oscila entre 0.001 para terrenos muy malos y 1000 para terrenos muy buenos. El valor Q se obtiene de la siguiente expresión:

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

Donde:

- RQD= Rock Quality Designation
- Jn= Número de familias de juntas de macizo rocoso.
- Jr= Formación de las juntas
- Ja= Alteración de las paredes de las juntas
- JW= Presencia de agua
- SRF= Stress Reduction Factor

Para la obtención de estos parámetros Barton proporcionó unas sencillas tablas, donde en función de la descripción del macizo, se asignan valores a los parámetros.

Los valores del índice Q de Barton se ha representado en la guitarra geotécnica utilizando para ello la correlación a partir del RMR de Bieniawski según la siguiente expresión:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

2.2.4 Aplicación de las clasificaciones geomecánicas

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

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

Donde:

- σ_c = Resistencia a compresión simple de la roca intacta
- E_{GSI} = Módulo de deformación del macizo obtenido a partir de GSI

En este estudio se ha estimado este módulo para cada uno de los macizos rocosos constituidos por cada uno de los materiales.

Para el caso de la resistencia a compresión del macizo, se ha empleado la formulación de Hoek & Marinos (2000):

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

Donde:

- σ_{cmass} = Resistencia a compresión del macizo rocoso.
- σ_c = Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa
- m_i = Constante del Criterio de Rotura de Hoek & Brown
- GSI= "Geological Strength Index" del macizo rocoso del túnel

2.3 Tipos de macizo rocoso

Se han establecido un total de cinco tipos de macizo rocoso, denominados Tipo I, II, III, IV y V, que coinciden con las Clases Geomecánicas definidas por Bieniawski. La descripción de cada uno de los tipos de macizo se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 19 Clasificación del macizo según Bienawski

TIPO DE MACIZO	I	II	III	IV	V
Estructura	Macizo sano y compacto, en roca de alta resistencia	Macizo sano y compacto, en roca de resistencia media o alta, con juntas meteorizadas	Macizo con alteración moderada, en roca de resistencia media	Macizo muy alterado y de baja resistencia	Material degradado y muy alterado, con presencia de arcillas y brechas
Fracturación	Escasa o nula (RQD>>100)	Baja (RQD>75)	Moderada (RQD=75-25)	Alta (RQD<25)	Alta (RQD<25)
Presencia de agua	Escasa o nula	Macizo seco en general con presencia de humedades puntuales muy localizadas	Humedades y ligeros goteos que no inestabilizan el macizo	Humedades y filtraciones que pueden inestabilizar el macizo	Humedades y filtraciones intensas que pueden inestabilizar el macizo
RMR	100-80	80-60	60-40	40-20	Fallas

Se ha subdividido el trazado de los diferentes túneles en tramos litológicamente homogéneos. A cada uno de dichos tramos se le han asignado unos porcentajes que se considera que aparecerán para cada uno de los tipos de macizo definidos.

Se han contabilizado los siguientes porcentajes de cada tipo:

Tramo 1A

Tabla 20 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 1A

TÚNEL 96.1A			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	16,72	525
III	60-40	53,34	1675
IV	40-20	29,94	940
TÚNEL 100.0A			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	85,80	1892
III	60-40	14,20	313
TÚNEL 102.4A			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	16,30	150
IV	40-20	83,70	770

Tramo 1B

Tabla 21 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 1B

TÚNEL 96.4B			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	53,10	924
III	60-40	46,90	816
TÚNEL 98.9B			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	95,71	335
III	60-40	4,29	15
TÚNEL 101.1B			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	58,44	637
III	60-40	41,56	453

Tramo 2B

Tabla 22 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 2B

TÚNEL 103.5B			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	83,13	798
IV	40-20	16,87	162
TÚNEL 105.1B:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	100,00	220

Tramo 3A

Tabla 23 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 3A

TÚNEL 105.8A:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
III	60-40	75,16	714
IV	40-20	24,84	236

Tramo 3B

Tabla 24 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 3B

TÚNEL 107.3B:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
III	60-40	78,83	674
IV	40-20	21,17	181

Tramo 5C

Tabla 25 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 5C

TÚNEL 117.3C:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
III	60-40	37,73	100
IV	40-20	62,27	165

Tramo 7B

Tabla 26 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 7B

TÚNEL 125.9B:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	100,00	515

Tramo 7C

Tabla 27 Porcentaje de tipo de macizo rocosa para el TRAMO 7B

TÚNEL 126.1C:			
Tipo	RMR	%	Longitud (m)
II	80-60	100,00	320

2.4 Estimación de los sostenimientos por métodos empíricos

Los métodos empíricos proporcionan una aproximación al sostenimiento de los túneles y no se consideran un método de cálculo; sin embargo, pueden ser muy útiles en macizos rocosos fracturados, y como medio de establecer las propiedades del macizo y los sostenimientos requeridos. También son útiles para estimar costes del sostenimiento en las etapas de anteproyecto.

Los métodos empíricos para el cálculo de sostenimientos se basan en las clasificaciones RMR y Q. Su aplicación requiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Es necesario analizar la idoneidad de la clasificación geomecánica elegida en función de los datos geológicos, del comportamiento tensodeformacional del macizo y del proceso constructivo a utilizar.
- Los sostenimientos recomendados a partir de las clasificaciones representan las condiciones medias del tramo considerado, y no tienen en cuenta posibles extremos, por ejemplo los puntos singulares, ni rocas especiales (volcánicas, evaporitas, expansivas, etc.).

En la siguiente tabla se muestran los valores del índice RMR y del parámetro Q para cada una de las topologías de materiales, así como la clasificación cualitativa obtenida.

Tabla 28 Características de túneles propuestos

TÚNEL	UNIDAD	TALUD INSPECCION	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	PK INI	PK FIN	CALIDAD DE LA ROCA			CLASIFIC. BIENAWSKI	RIPABILIDAD	APROVECHAMIENTO MATERIAL	OBSERVACIONES
						RMR	Q	Estimada				
96.1A	Cc	T-229	EGT-229-1	96+060	96+455	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Ccmcm	T-230	-	96+455	96+685	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
	Ccar	T-231	EGT-231-1	96+685	97+681	57 (Clase III, media)	7	-	B	Voladura	Pedraplén	
	Ccmcm	T-232	-	97+681	98+053	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
	Cc	T-233	EGT-233-1	98+053	98+183	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Ccmcm	-	-	98+183	98+260	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
	Ty	T-237,T-238	EGT-238-1	98+260	99+200	-	-	Mala	D	Fácil-Moderada	Vertedero	
100.0A	Cc	-	-	99+930	100+916	-	-	Voladura	A	Voladura	Pedraplén	Falla cabalgante. Presencia de agua asociada a karstificación
	Cccm	-	-	100+916	101+187	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
	Cc	T-244,T-245	EGT-244-1	101+187	102+093	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	Estructura anticlinal
	Cccm	T-243	EGT-243-1	102+093	102+135	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	Unidad muy tectonizada
102.4A	Ty	-	-	102+315	102+465	-	-	Mala	D	Fácil-Moderada	Vertedero	
	Cc	T-252,T-253	EGT-253-1	102+465	103+235	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	Zona fallada. Aportes de agua.
103.9A	Cd	T-255	EGT-255-1	103+885	104+095	68 (Clase II-buena)	11	-	A	Voladura	Pedraplén	
105.8A	Jd	T-259	-	105+715	106+429	-	-	Media	B	Marginal-Voladura	Pedraplén	
	Ty	T-260,T-261	-	106+429	106+665	-	-	Mala	D	Fácil-Moderada	Vertedero	Problemas de disolución de Yesos
126.1C	Mi	T-277	EGT-277-1	126+075	126+091	62 (Clase II, buena)	7,4	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Dcp	T-279,T-280	EGT-273, EGT-274, EGT-279, EGT-280	126+091	126+395	68 (Clase II-buena)	5,93	-	A	Difícil-Voladura	Pedraplén	Estratificación perpendicular a la traza
96.4B	Cc	T-229	EGT-229-1	96+345	96+820	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Ccmcm	T-230	-	96+820	97+719	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
	Ccar	T-231	EGT-231-1	97+719	98+085	57 (Clase III, media)	7	-	B	Voladura	Pedraplén	
98.4B	Cc	T-233	EGT-233-1	98+325	98+660	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Ccmcm	-	-	98+660	98+675	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	
101.1B	Cc	-	-	101+010	101+647	-	-	Voladura	A	Voladura	Pedraplén	Falla cabalgante. Presencia de agua asociada a karstificación
	Ccmcm	T-243	EGT-243-1	101+647	102+100	-	-	Media-Buena	A	Marginal-Voladura	80% Todo-uno	Unidad muy tectonizada
103.5B	Ty	-	-	103+440	103+602	-	-	Mala	D	Fácil-Moderada	Vertedero	
	Cc	T-252,T-253	EGT-253-1	103+602	104+400	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	Zona fallada. Aportes de agua.
105.1B	Cc	-	-	105+040	105+101	70-80 (Clase II, buena)	15	-	A	Voladura	Pedraplén	Zona fallada. Aportes de agua.
	Cd	T-255	EGT-255-1	105+101	105+260	68 (Clase II-buena)	11	-	A	Voladura	Pedraplén	
107.3B	Jd	T-259	-	107+295	107+969	-	-	Media	B	Marginal-Voladura	Pedraplén	
	Ty	T-260,T-261	-	107+969	108+150	-	-	Mala	D	Fácil-Moderada	Vertedero	Problemas de disolución de Yesos
117.3C	Dp	-	-	117+210	117+475	50 (Clase III, moderada)	5,5	Media	B	Voladura	Pedraplén	
125.9B	Mi	T-277	EGT-277-1	125+885	125+945	62 (Clase II, buena)	7,4	-	A	Voladura	Pedraplén	
	Dcp	T-279,T-280	EGT-273, EGT-274, EGT-279, EGT-280	125+945	126+400	68 (Clase II-buena)	5,93	-	A	Difícil-Voladura	Pedraplén	Estratificación perpendicular a la traza

La nomenclatura establecida en la clasificación expuesta se corresponde a la siguiente división en función de la tipología del terreno:

Tabla 29 Clasificación del macizo RMR

CLASIFICACIÓN	TIPO DE TERRENO
A	Calidad bueno a media
B	Calidad media
C	Calidad media a baja
D	Calidad baja

Aplicando los criterios definidos en los métodos que se exponen a continuación es posible determinar las secciones tipo necesarias para cada una de las topologías del terreno establecidas.

MÉTODOS EMPÍRICOS

Método de Bieniawski

Bieniawski establece la tipología de sostenimiento requerida aplicable a túneles de 5 a 12 metros de luz, con tensiones verticales inferiores a los 300 kp/cm². Considera bulones de 20 mm de diámetro, inyectados con resina.

Se propone la siguiente clasificación:

CLASE DE ROCA	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO PRIMARIO		
		PERNOS (20 mm diámetro, totalmente inyectados)	GUNITADO	CERCHAS
TIPO I Roca muy buena RMR: 81-100	Sección completa, avance de 3 m		Generalmente no se requiere sostenimiento excepto en zonas puntuales	
TIPO II Roca buena RMR: 61-80	Sección completa 1-1,5 m de avance. sostenimiento completo a 20 m del frente	Localmente, pernos en la bóveda de 3 m de largo espaciados 2,5m y eventualmente con malla metálica	50 mm en la bóveda donde sea necesario	Ninguna
TIPO III Roca media RMR: 41-60	Media sección en avance y bataches en destroza. Avances de 1,5 a 3 m. Empezar el sostenimiento antes que plastifique. Completar el sostenimiento 10 metros por detrás del frente.	Pernos sistemáticos de 4 m de longitud, espaciados 1.5 -2 m en la bóveda y hastiales con malla electrosoldada en la clave	50 a 100 mm en la bóveda y 30 mm en los hastiales	Ninguna
TIPO IV Roca mala RMR: 21-40	Media sección en avance con pases de 1 a 1.5 m, bataches. Instalar el sostenimiento justo después de la excavación, a 10 metros del frente	Pernos sistemáticos de 4 a 5 m de longitud, espaciados 1 a 1.5 m en la bóveda y los hastiales con malla electrosoldada	100 a 150 mm en la bóveda y 100 mm en los hastiales	Entibación ligera ocasional con separaciones de 1.5 m
TIPO V Roca muy mala RMR: < 20	Múltiples galerías con avances entre 0.5 y 1.5 m en media sección. Instalación del sostenimiento justo después de la excavación. Hormigón proyectado lo más pronto posible antes que la roca empiece a plastificar.	Pernos sistemáticos de 5-6 m de longitud, espaciados 1-1.5 m,	150 a 200mm en la bóveda, 150 mm en los hastiales y 50 mm en el frente	Cerchas medianas a pesadas espaciadas 0.75 m con chapa de cierre en la solera

A partir del RMR se puede estimar la longitud de pase (longitud de avance sin sostenimiento, a partir de la siguiente figura). Por ejemplo, para un RMR=60 se obtiene una longitud de pase de 2m para un tiempo de estabilidad sin soporte de 41,7 días.

Tabla 30 Sostenimiento según índice RMR de Bienawski

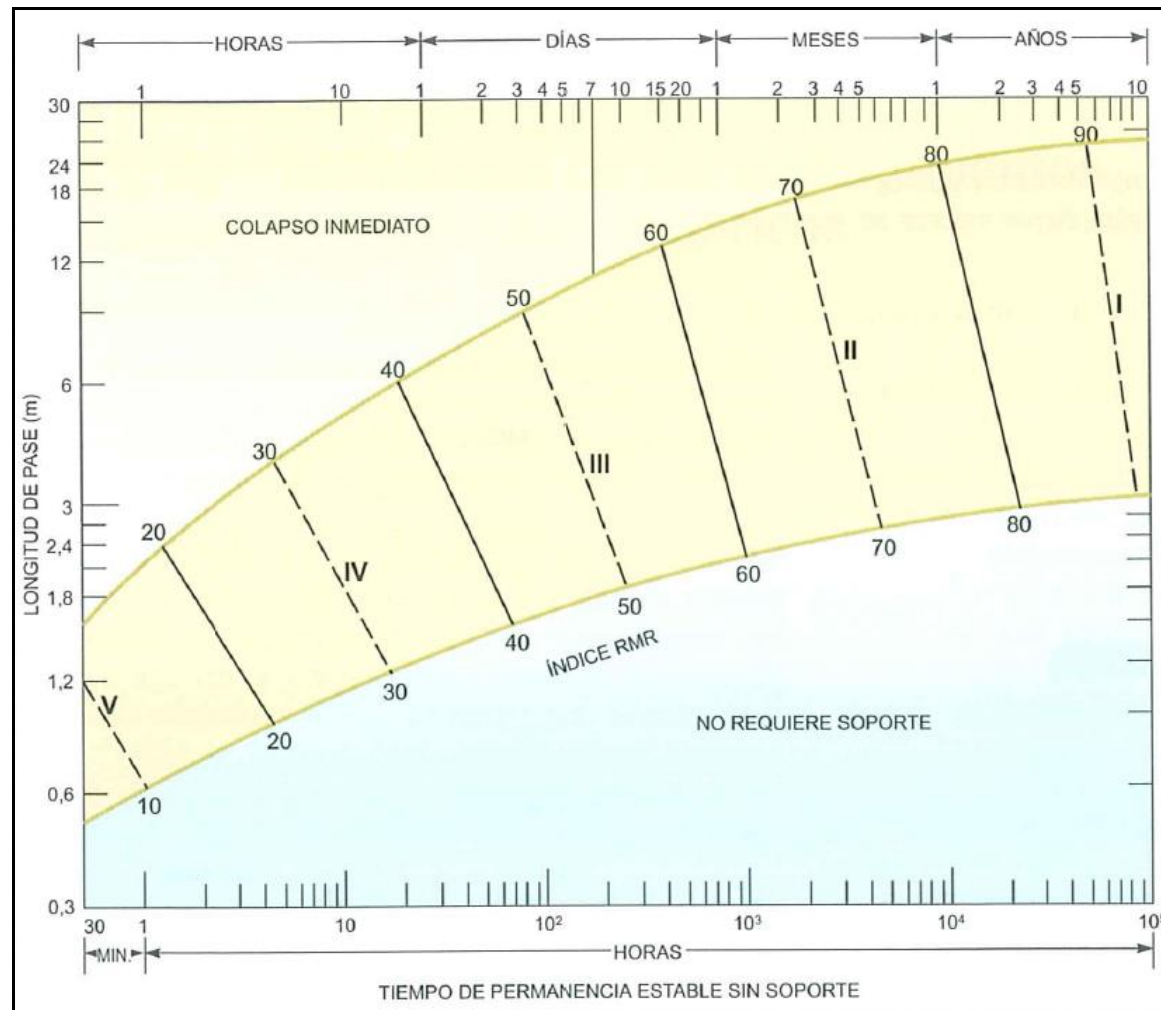


Figura 1. Longitud libre y tiempo de sostenimiento

Método de Romana

Según el criterio de Romana, el método de Bieniawski establece la tipología de sostenimiento en función de la clasificación del RMR, definiendo así 5 tipos de sostenimiento. Cada tipología cubre un intervalo de 20 puntos en la clasificación del RMR. Considera pues, que esta clasificación es escasa si se tiene en cuenta que la mayoría de macizos rocosos presentan valores de RMR entre 40 y 60, siendo muy diferentes rocas con un RMR=60 que las que presentan un RMR=40, y necesitando, por lo tanto, tipologías de sostenimiento también distintas.

Así, el Método de Romana propone una sustitución del sistema de 5 clases de Bieniawski por otro que contempla 10 subclases, con un rango de 10 puntos por clase.

En la tabla siguiente se muestra la clasificación propuesta:

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCHAS		MÉTODOS
		L (m)	b/m ²	s' (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S' (m)	ESPECIALES
100	Ia	-	-	-	-	-	-	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	1	BERNOLD PARAGUAS
90	Ib	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No					
80	IIa	3	0.10-0.25	Ocasional	5	1	Ocasional	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	1.5	BERNOLD PARAGUAS
70	IIb	3	0.25-0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si					
60	IIIa	3/4	0.44-0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2/3	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	1	BERNOLD PARAGUAS
50	IIIb	4	0.66-1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2/3	Si					
40	IVa	4/4.5	0.80-1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	0.75/1	BERNOLD PARAGUAS
30	IVb	4.5/5	1	1 x 1	20-30	3	Si					
20	Va	-	-	-	30-40	3/4	Si	DOBLE	FIBRAS	HEB	0.5-0.75	BERNOLD PARAGUAS
10	Vb	SISTEMAS ESPECIALES										

- Notas 1. Las unidades para el bulonado son: L, longitud en metros (m); densidad en bulones por m² (b/m²) y s, espaciamiento en metros (m)
- 2. La unidad para e, espesor mínimo de hormigón proyectado, es el centímetro (cm). No se ha tenido en cuenta la sobreexcavación.
- 3. El número de capas de hormigón proyectado incluye la capa de sellado
- 4. La unidad para S, separación entre cerchas, es el metro (m).
- 5. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
- 6. Las líneas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

Figura 2. Sostenimiento según método de Romana

Método de Barton

Por otro lado, el Método de Barton establece la tipología del sostenimiento en función del valor del índice Q, que representa la calidad del macizo rocoso, y del diámetro equivalente del túnel. Este método está definido por:

$$De = \frac{H(m)}{ESR}$$

Donde:

De: diámetro equivalente del túnel

H: abanico sin sostenimiento o altura (m)

ESR: Excavation support Ratio; factor que depende del tipo de excavación, cuyos valores se indican en el cuadro siguiente:

Tabla 31 Valores del índice ESR (Barton)

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

Una vez definidos el diámetro equivalente y el valor del índice Q se puede determinar la calidad del macizo rocoso y la tipología de sostenimiento necesario, estableciendo las correlaciones que se muestran en la siguiente figura:

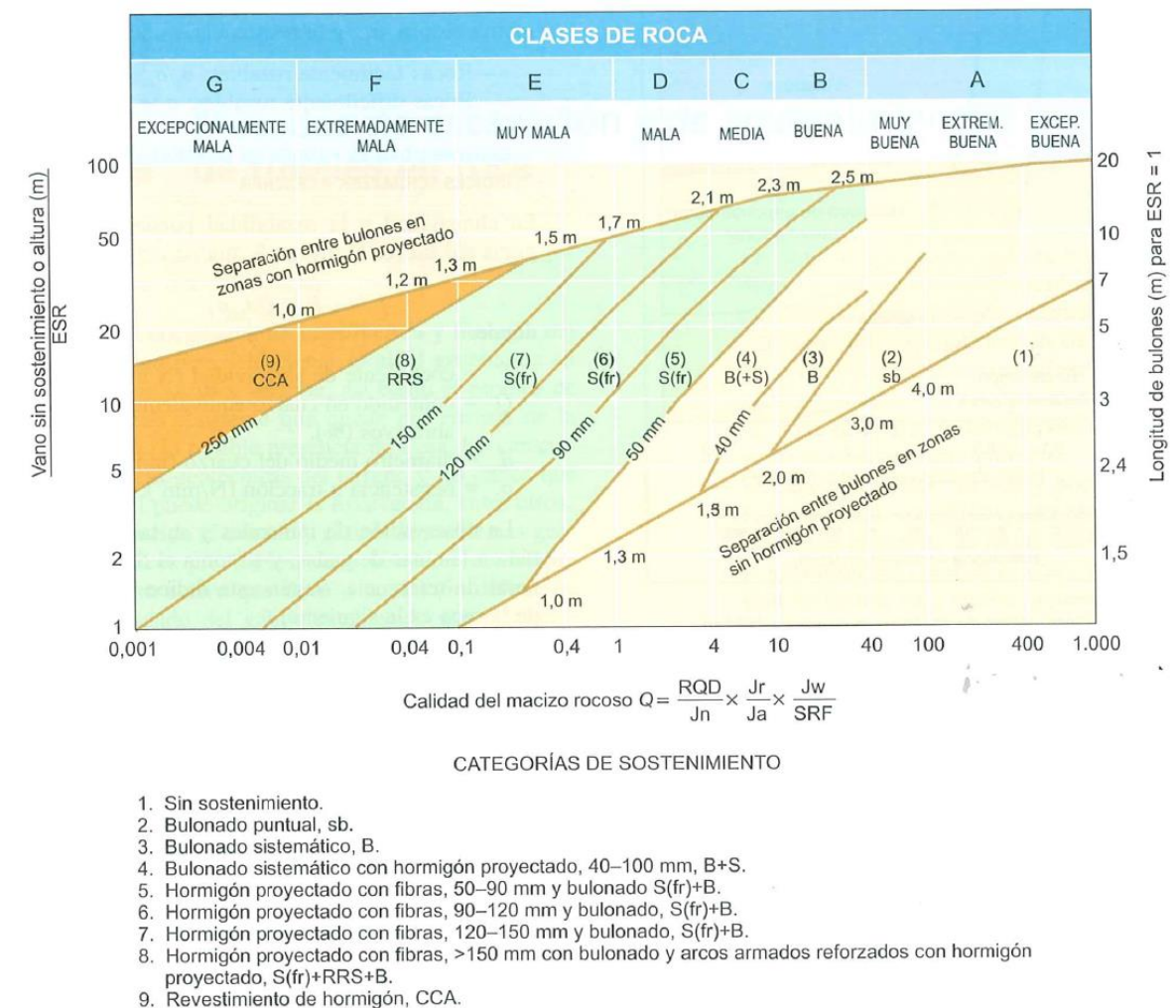


Figura 3. Sostenimiento de túneles según clasificación Q de Barton

2.5 Tramificación según tipo de sostenimiento

Se presenta una tabla resumen donde se muestra la información de cada túnel referente al tipo de sostenimiento por tramos:

Tabla 32 Características de túneles propuestos

TÚNEL 96.1A – TRAMO 1A			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
96+056	96+060	VISERA	4
96+060	96+080	V	20
96+080	96+685	I	605
96+685	97+681	II	996
97+681	98+260	I	579
98+260	99+180	IV	920
99+180	99+200	V	20
99+200	99+204	VISERA	4

TÚNEL 100.0A – TRAMO 1A			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
99+926	99+930	VISERA	4
99+930	99+950	V	20
99+950	100+916	I	966
100+916	101+187	II	271
101+187	102+093	I	906
102+093	102+115	II	22
102+115	102+135	V	20
102+135	102+139	VISERA	4

TÚNEL 102.4A – TRAMO 1A			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
102+311	102+315	VISERA	4
102+315	102+335	V	20
102+335	102+465	IV	130
102+465	103+215	I	750
103+215	103+235	V	20
103+235	103+239	VISERA	4

TÚNEL 103.9A – TRAMO 2A			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
103+881	103+885	VISERA	4
103+885	103+905	V	20
103+905	104+075	I	170
104+075	104+095	V	20
104+095	104+099	VISERA	4

TÚNEL 105.8A – TRAMO 3A			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
105+711	105+715	VISERA	4
105+715	105+735	V	20
105+735	106+429	II	694
106+429	106+645	III	216
106+645	106+665	V	20
106+665	106+669	VISERA	4

TÚNEL 126.1C – TRAMO 7C			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
126+071	126+075	VISERA	4
126+075	126+095	V	20
126+095	126+375	I	280
126+375	126+395	V	20
126+395	126+395	VISERA	4

TÚNEL 96.4B – TRAMO 1B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
96+341	96+345	VISERA	4
96+345	96+365	V	20
96+365	97+269	II	900
97+269	98+065	III	796
98+065	98+085	V	20
98+085	98+089	VISERA	4

TÚNEL 98.4B – TRAMO 1B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
98+321	98+325	VISERA	4
98+325	98+345	V	20
98+325	98+655	I	310
98+655	98+675	V	20
98+675	98+679	VISERA	4

TÚNEL 101.1B – TRAMO 1B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
101+006	101+010	VISERA	4
101+010	101+030	V	20
101+030	101+647	I	617
101+647	102+080	II	433
102+080	102+100	V	20
102+100	102+104	VISERA	4

TÚNEL 103.5B – TRAMO 1B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
103+436	103+440	VISERA	4
103+440	103+460	V	20
103+460	103+602	I	142
103+602	104+380	III	778
104+380	104+400	V	20
104+400	104+404	VISERA	4

TÚNEL 105.1B – TRAMO 2B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
105+036	105+040	VISERA	4
105+040	105+060	V	20
105+060	105+240	I	180
105+240	105+260	V	20
105+260	105+264	VISERA	4

TÚNEL 107.3B – TRAMO 3B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
107+291	107+295	VISERA	4
107+295	107+315	V	20
107+315	107+969	II	654
107+969	108+130	III	161
108+130	108+150	V	20
108+150	108+154	VISERA	4

TÚNEL 117.3C – TRAMO 5C			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
107+291	107+295	VISERA	4
107+295	107+315	V	20
107+969	108+130	III	217
108+130	108+150	V	20
108+150	108+154	VISERA	4

2.6 Cuadro resumen secciones tipo de sostenimiento

En la siguiente tabla se muestra la topología de sostenimiento definida para cada una de las secciones, así como la tipología de materiales a la que se tienen que aplicar estas secciones:

TÚNEL 125.9B – TRAMO 7B			
PK INI	PK FIN	TIPO DE SOSTENIMIENTO	LONGITUD TRAMO (m)
125+881	125+885	VISERA	4
125+885	125+905	V	20
125+905	126+880	I	975
126+380	126+400	V	20
126+400	126+404	VISERA	4

Tabla 33 Sostenimientos tipo de túneles.

SOSTENIMIENTO TIPO		I	II	III	IV	V
CLASIFICACIÓN MACIZO ROCOSO		TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D / ZONAS DE FALLA	EMBOQUILLES
RMR		60-80	45-60	35-45	<35	-
AVANCE	PRESOSTENIMIENTO	No	No	No	Paraguas pesado de micropilotes espaciados 0,5m. ST-52 Tubo: Ø101,5/88,9	Paraguas pesado de micropilotes espaciados 0,5m. ST-52 Tubo: Ø101,5/88,9
	MÉTODO EXCAVACIÓN (Longitud de pase)	VOLADURA Lp= 4,0m	VOLADURA Lp=3,5m	EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=1,5m	EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=1,0m	VOLADURA / EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=1,0m
	SELLADO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-30	5cm con fibras	5cm con fibras	5cm con fibras	5cm con fibras	5cm con fibras
	CERCHAS espaciado (m)	No	No	TH-29 espaciadas 1,5m	HEB-180 espaciadas 1,0m	HEB-180 espaciadas 1,0m
	BULONES L=4 m	Malla de 2x2m	Malla de 2x2m	Malla de 1,5x1,5m	Malla de 1,5x1,5m	Malla de 2x2m
	SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-30	5cm con fibras + 5cm sin fibras	10cm con fibras + 5cm sin fibras	10cm con fibras + 5cm sin fibras	20cm con fibras + malla de 150x150 y 6mm de diámetro + 5cm sin fibras	15cm con fibras + malla de 150x150 y 6mm de diámetro + 5cm sin fibras
	SOLERA PROVISIONAL CON HORMIGÓN EN MASSAHM-30	No	No	No	Contrabóveda provisional de 30cm de grosor	Contrabóveda provisional de 30cm de grosor
DESTROZA	MÉTODO EXCAVACIÓN (Longitud de pase)	SECCIONES TIPO I Y II, SE EXCAVAN A SECCIÓN COMPLETA		EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=15m	EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=15m	VOLADURA / EXCAVACIÓN MECÁNICA Lp=1,0m
	SELLADO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-30			5cm con fibras	5cm con fibras	5cm con fibras
	CERCHAS espaciado (m)			TH-29 espaciadas 1,5m	HEB-180 espaciadas 1,0m	HEB-180 espaciadas 1,0m
	BULONES L=4 m			Malla de 1,5x1,5m	Malla de 1,5x1,5m	No
	SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-30			10cm con fibras + 5cm sin fibras	20cm con fibras + malla de 150x150 y 6mm de diámetro + 5cm sin fibras	15cm con fibras + malla de 150x150 y 6mm de diámetro + 5cm sin fibras
ACABADOS		TODAS LAS SECCIONES TIPO, CON LÁMINA IMPERMEABILIZANTE				

2.7 Tratamientos especiales

Los túneles pueden requerir tratamientos especiales de forma puntual y, por tanto, se tienen que prever algunos para los puntos, según la parte del túnel (clave, solera o frente), donde puedan aparecer los problemas.

Las inestabilidades del terreno pueden ser motivadas por diferentes motivos, como son las sobreexcavaciones en el contorno del túnel anteriores a la instalación del sostenimiento, la presencia de karsts, aún que no es previsible la existencia de cuevas o galerías de gran tamaño; o la existencia de desprendimientos en la sección de avance.

2.7.1 Sobreexcavaciones

La sobreexcavación, por definición, es la excavación excesiva del túnel respecto al perímetro del perfil teórico de este. Puede estar provocado por una mala ejecución de la excavación del túnel, o por inestabilidades del terreno desarrollados antes que se aplique el sostenimiento.

Estas sobreexcavaciones pueden tener una dimensión pequeña, con volúmenes inferiores a los 5m³. Los tratamientos a aplicar en este caso son sencillos y se tratará de rellenar con hormigón proyectado hasta igualar la superficie definida por el perfil teórico.

En los casos de sobreexcavaciones de dimensiones moderadas, con un volumen superior a los 5m³, se tendrá que instalar cerchas hasta cubrir la longitud afectada por la sobreexcavación, cubriéndolo con chapa Bernold apoyadas sobre las cerchas. La sobreexcavación se rellenará con hormigón proyectado.

En los dos casos, después de rellenar el volumen sobreexcavado, se aplicará el sostenimiento correspondiente en cada caso.

2.7.2 Desprendimientos en el avance

Corresponde a las inestabilidades provocadas por rotura del frente de avance formando, en algunos casos, conos sobre la clave.

En el caso que nos ocupa, cuando el frente se haya estabilizado y no se desprenda más material, existiendo las condiciones de seguridad adecuadas para realizar trabajos en el túnel, se instalarán cerchas con poca separación entre ellas, cubriéndolas con hormigón proyectado.

Cuando se haya asegurado la zona, se rellenará la cavidad provocada por el desprendimiento con hormigón proyectado.

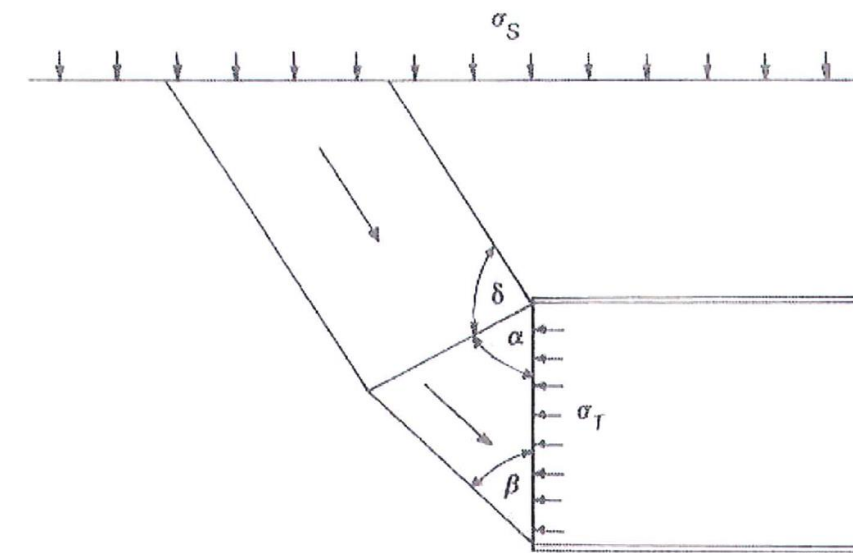


Figura 4. Mecanismo de rotura según el TCS frontal del túnel con deformación plana.

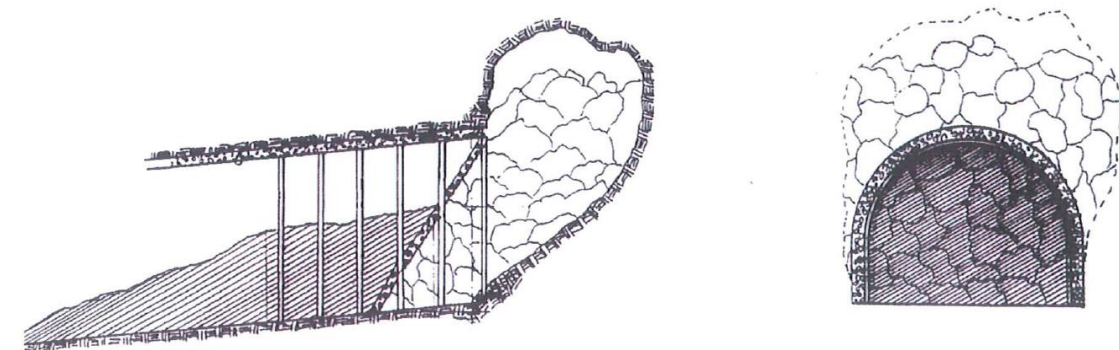


Figura 5. Ejemplo de rotura en el frente de la sección de avance.

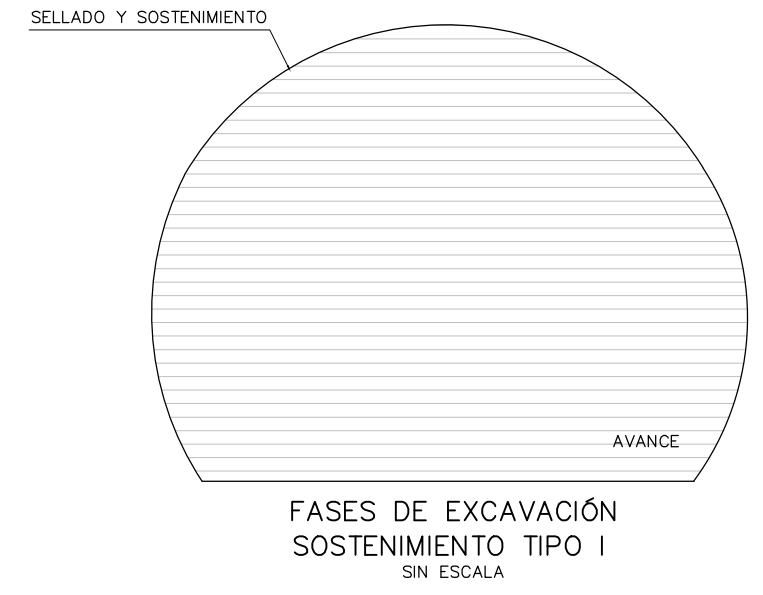
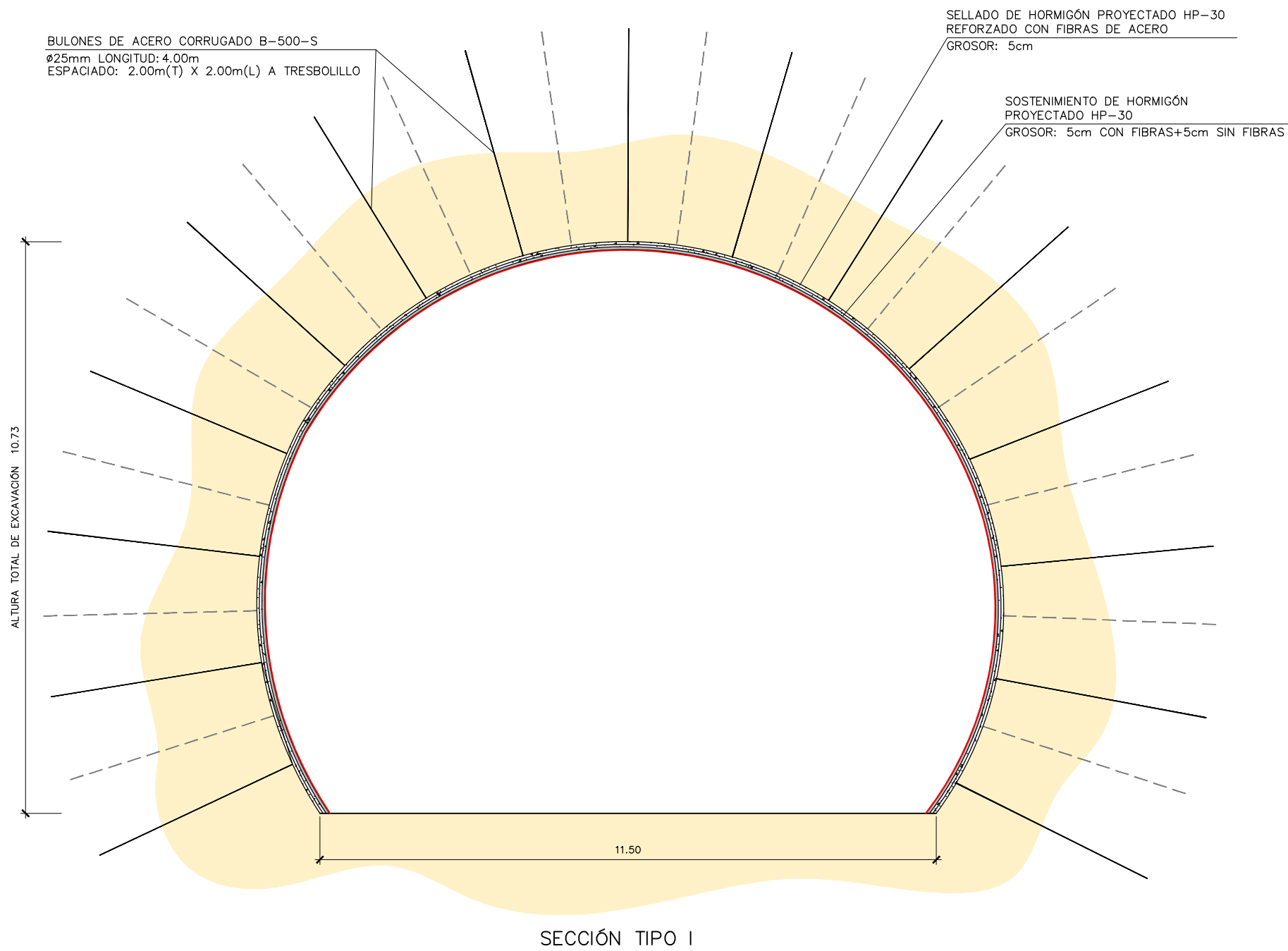
2.7.3 Presencia de Karsts

En las zonas del túnel donde se prevea la presencia de karsts se tendrán que realizar sondeos de reconocimiento.

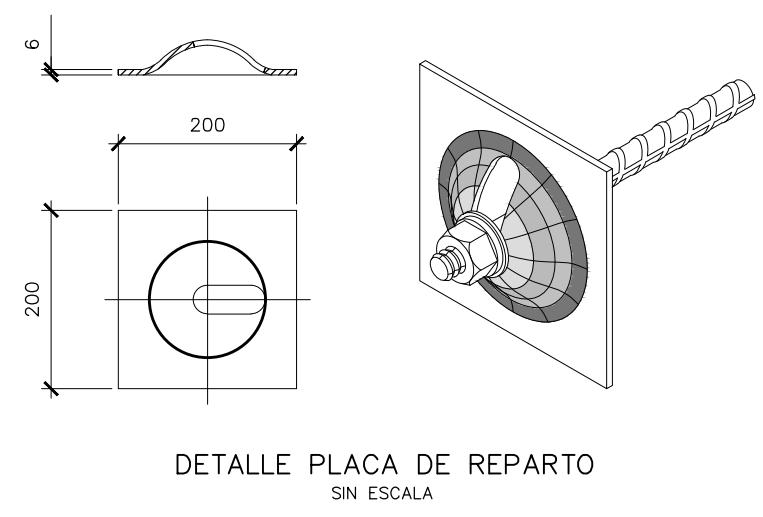
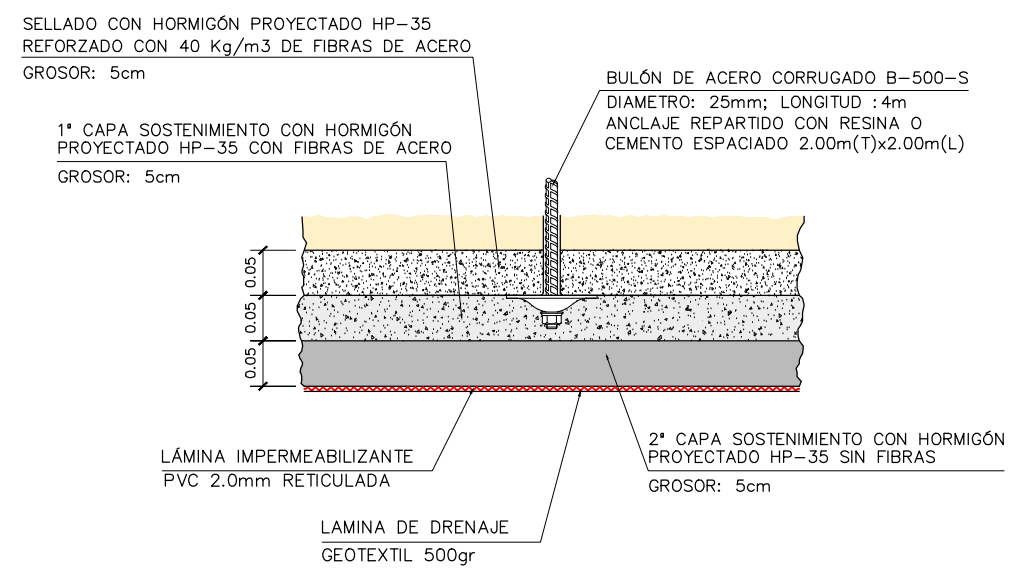
Las cavidades se pueden dar de formas muy diversas, por tanto, cada una de ellas se tendrá que tratar de forma independiente analizando la solución adecuada para cada una de ellas.

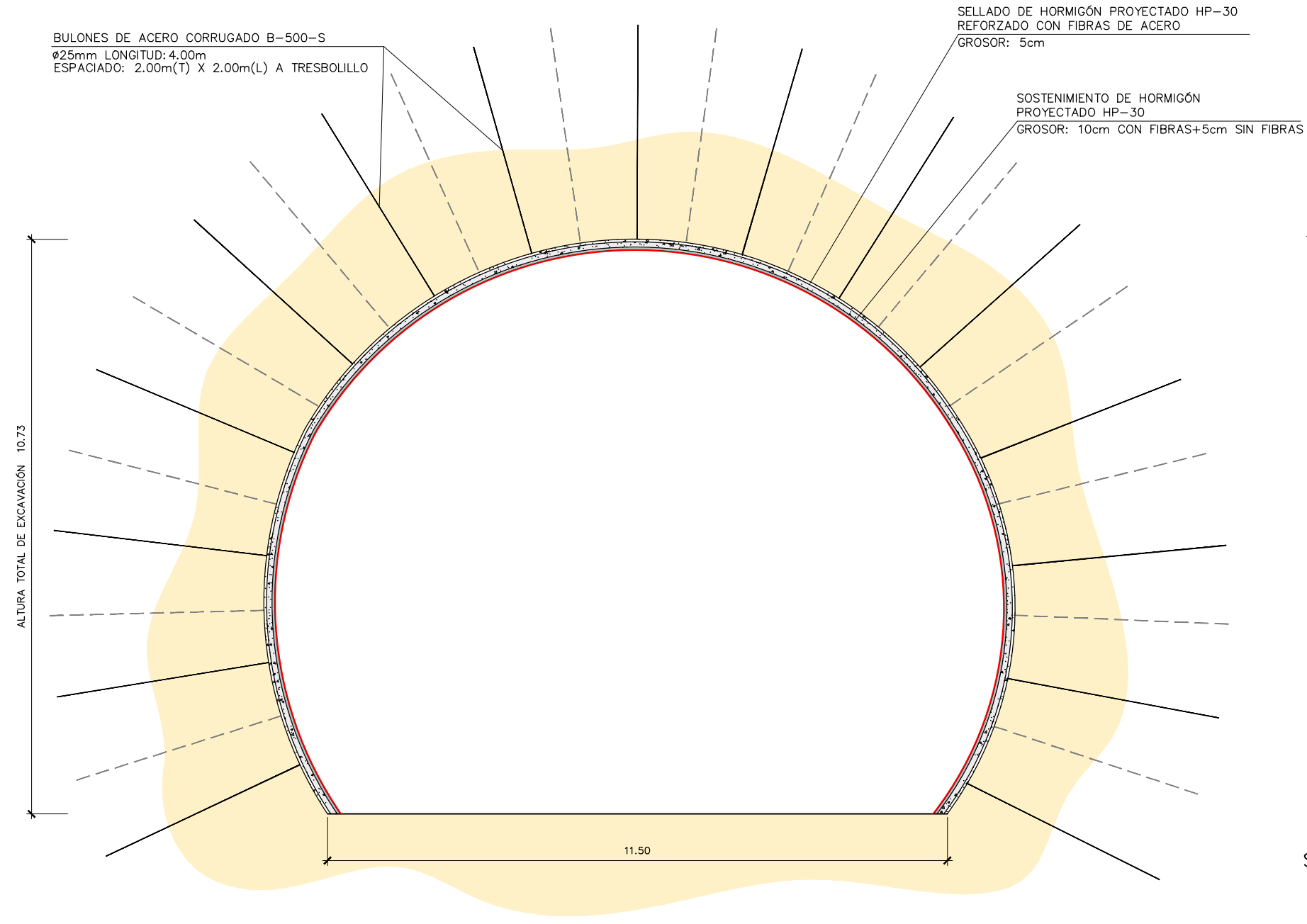
APÉNDICES

Apéndice 1:
TÚNELES: SECCIONES TIPO

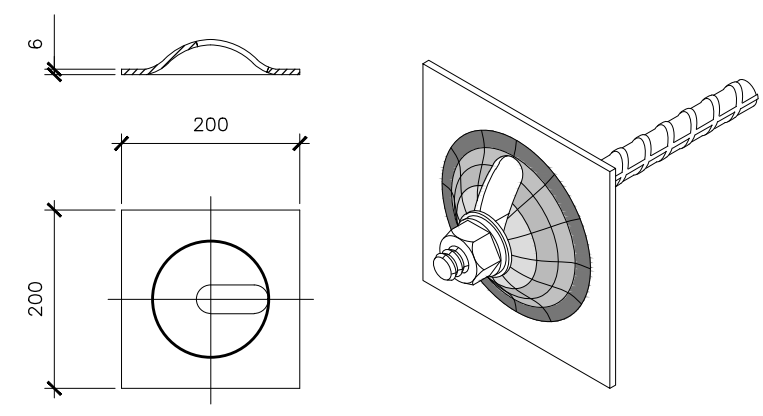


SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO (LONGITUDINALMENTE)
 SECCIÓN TIPO I
 SIN ESCALA

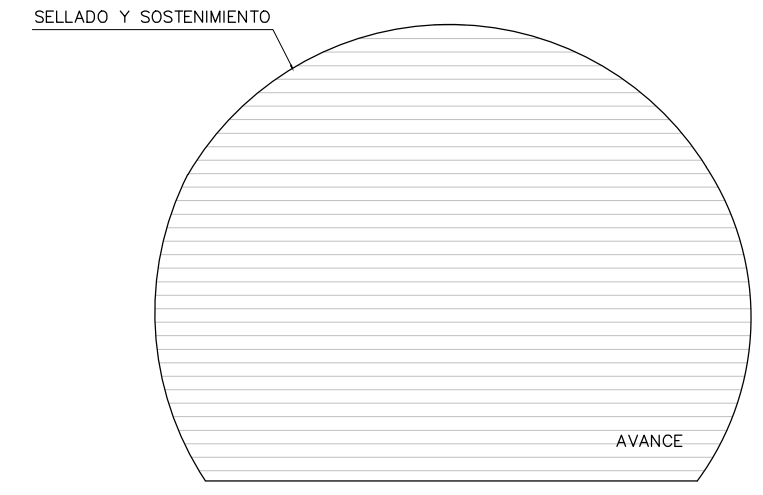




SECCIÓN TIPO II

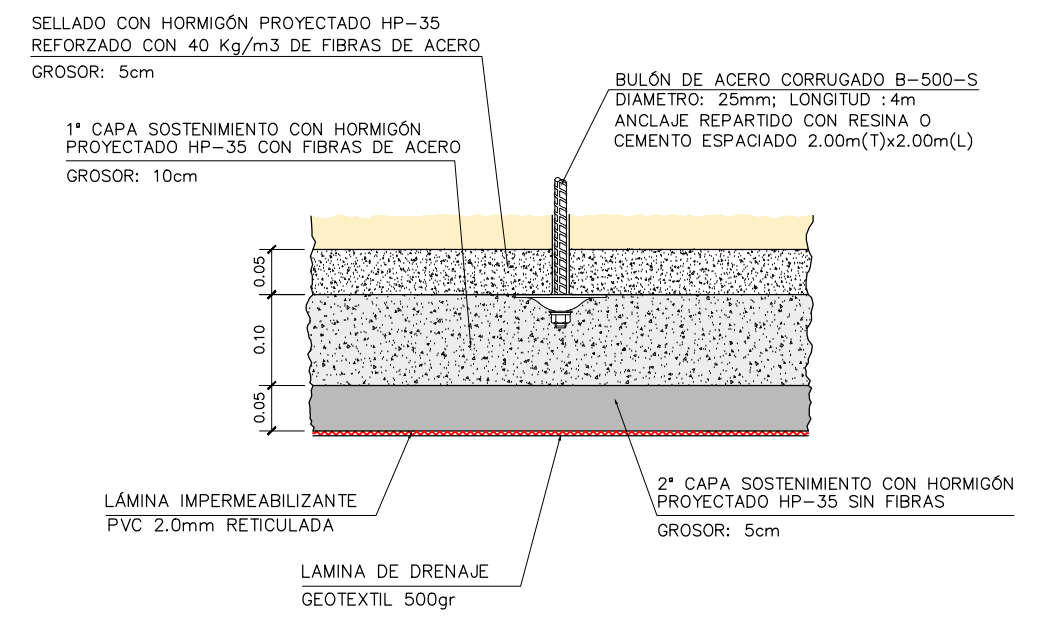


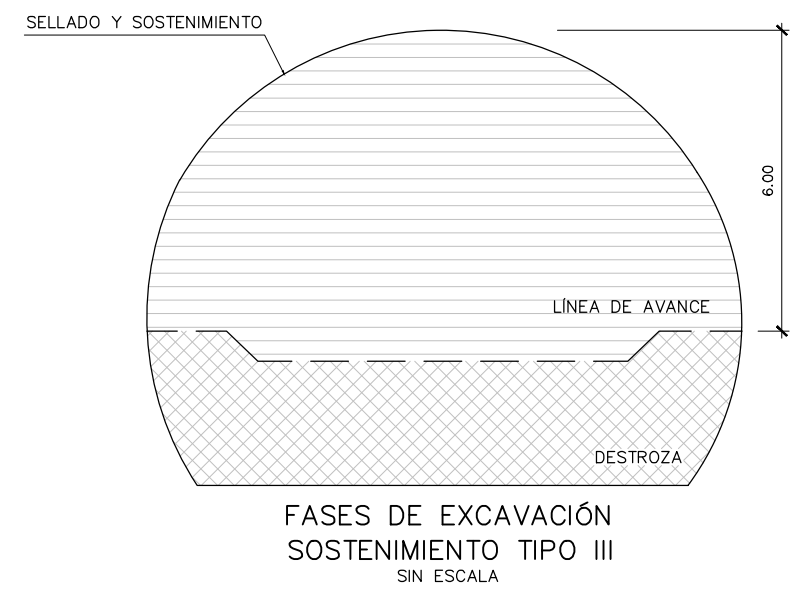
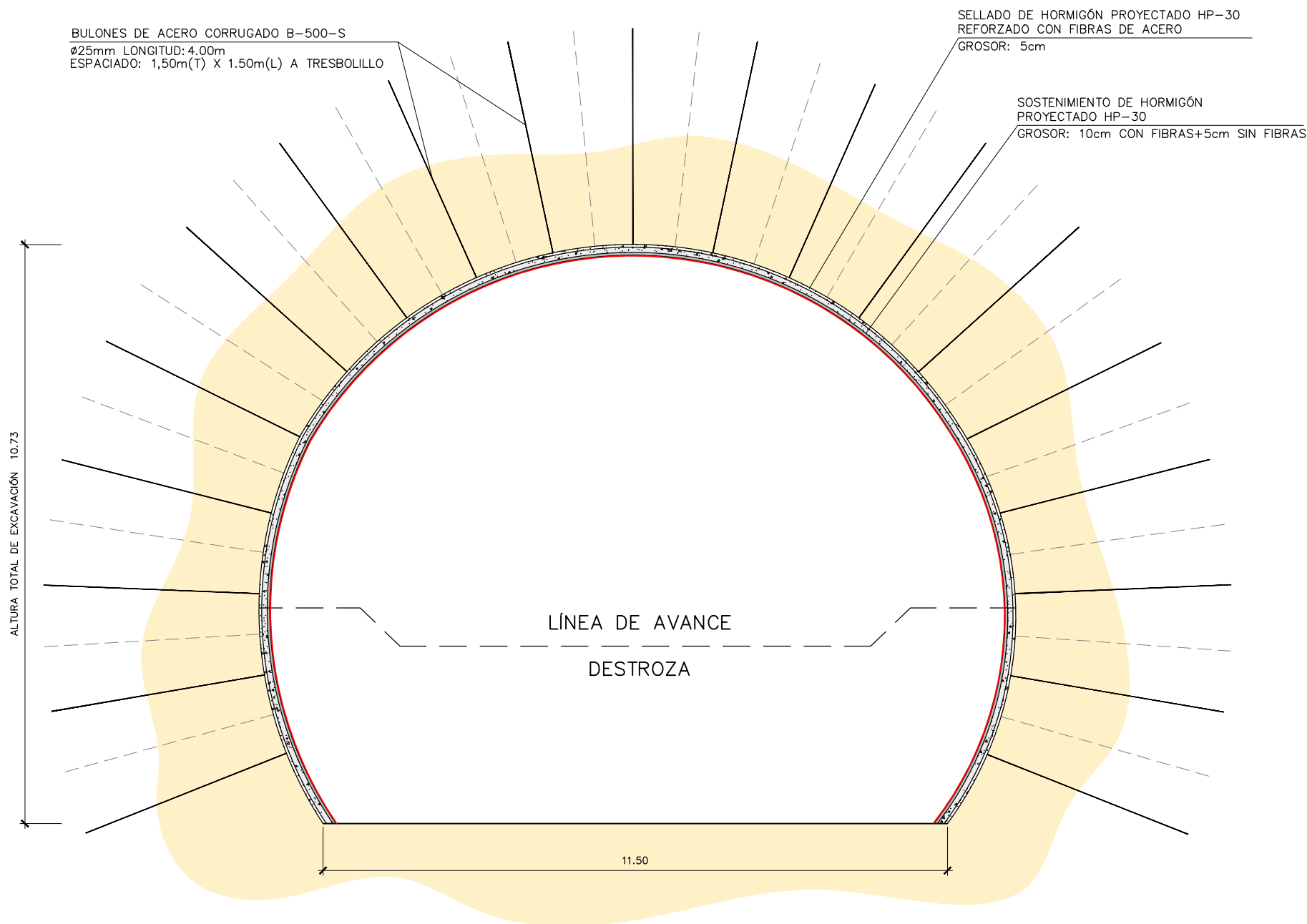
DETALLE PLACA DE REPARTO
 SIN ESCALA



FASES DE EXCAVACIÓN
 SOSTENIMIENTO TIPO II
 SIN ESCALA

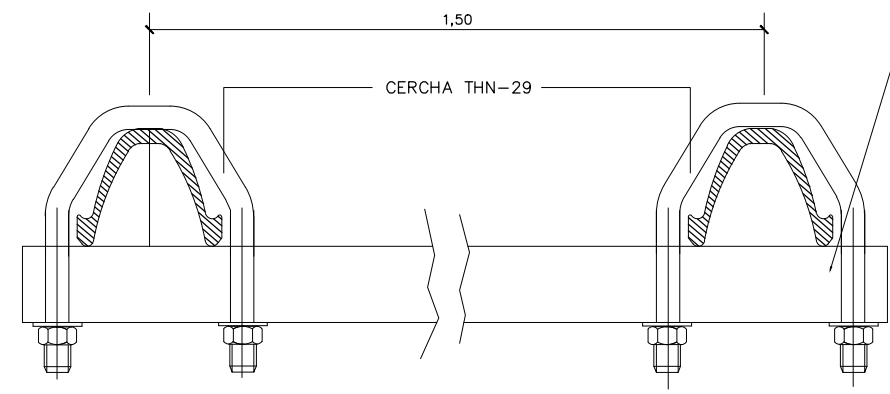
SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO (LONGITUDINALMENTE)
 SECCIÓN TIPO II
 SIN ESCALA



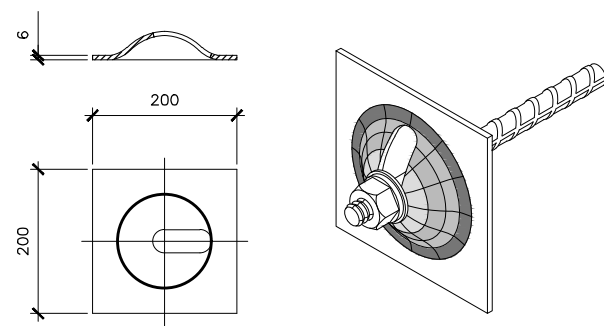


DETALLE SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO SECCIÓN TIPO III SIN ESCALA

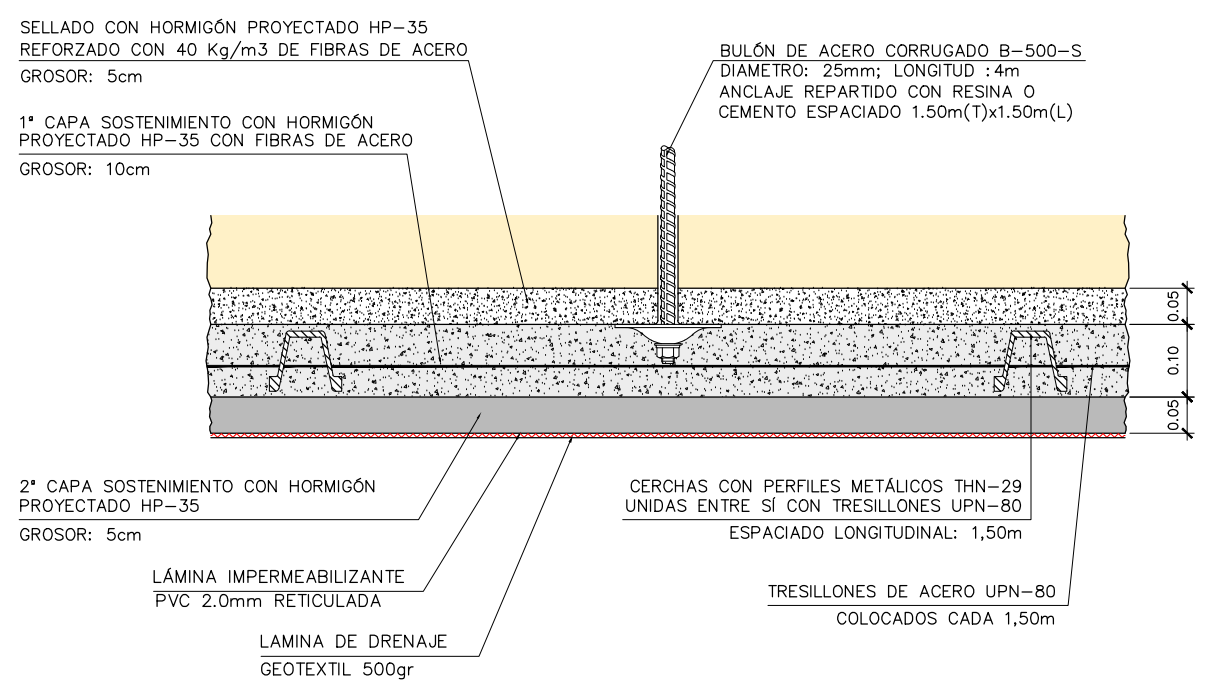
SECCIÓN TIPO III



DETALLE COL.LOCACIÓN TRESSILLONES SIN ESCALA



DETALLE PLACA DE REPARTO SIN ESCALA



SELLADO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 REFORZADO CON 40 Kg/m³ DE FIBRAS DE ACERO GROSOR: 5cm

1ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 CON FIBRAS DE ACERO GROSOR: 10cm

2ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 GROSOR: 5cm

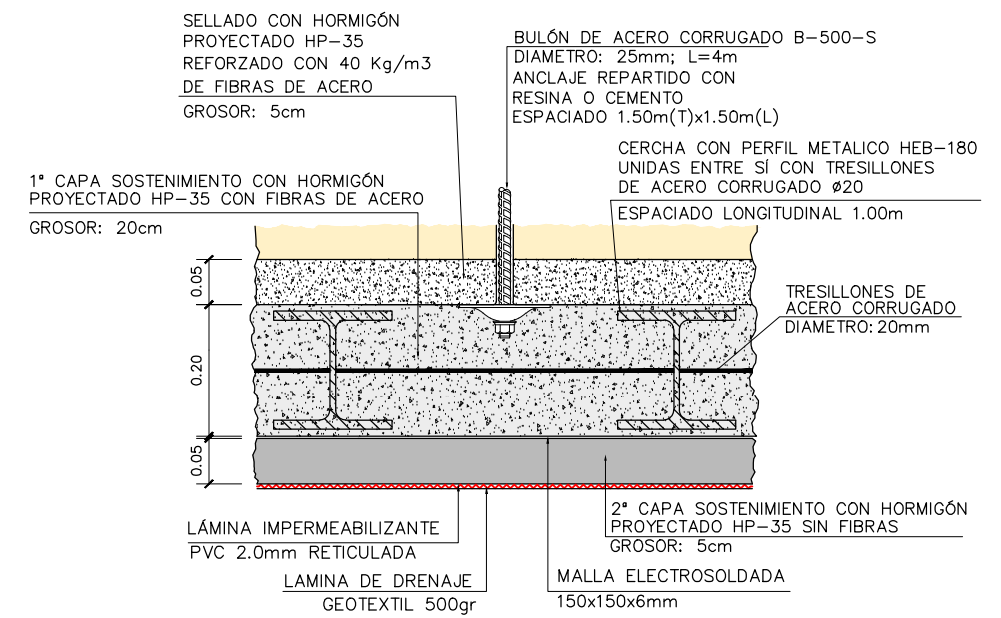
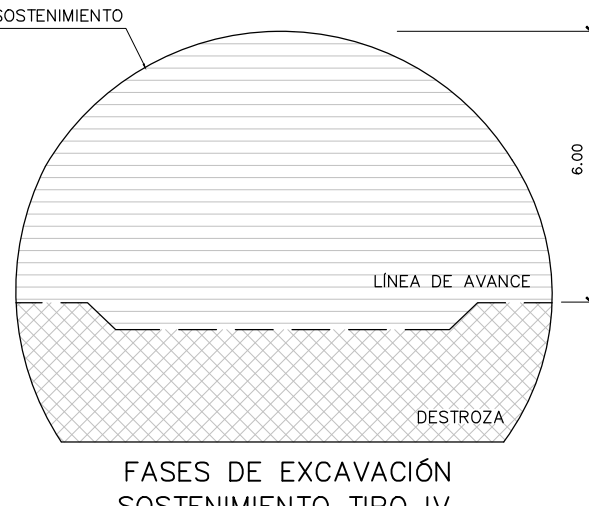
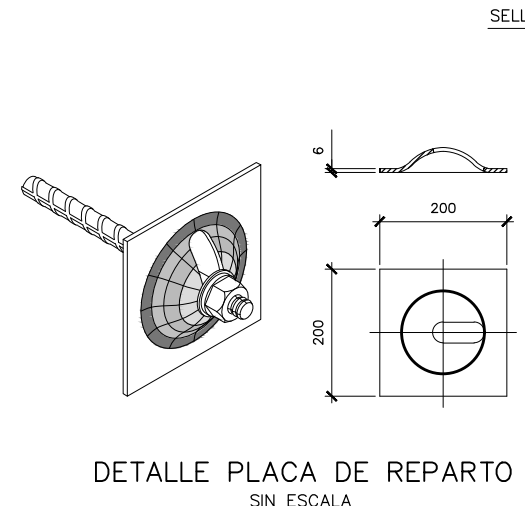
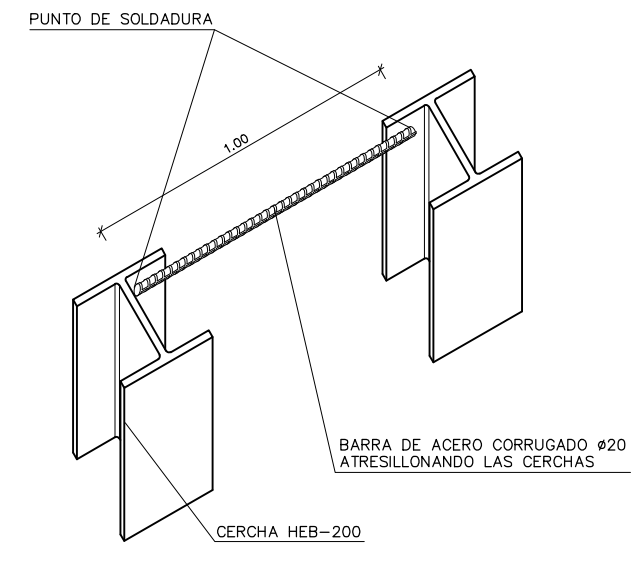
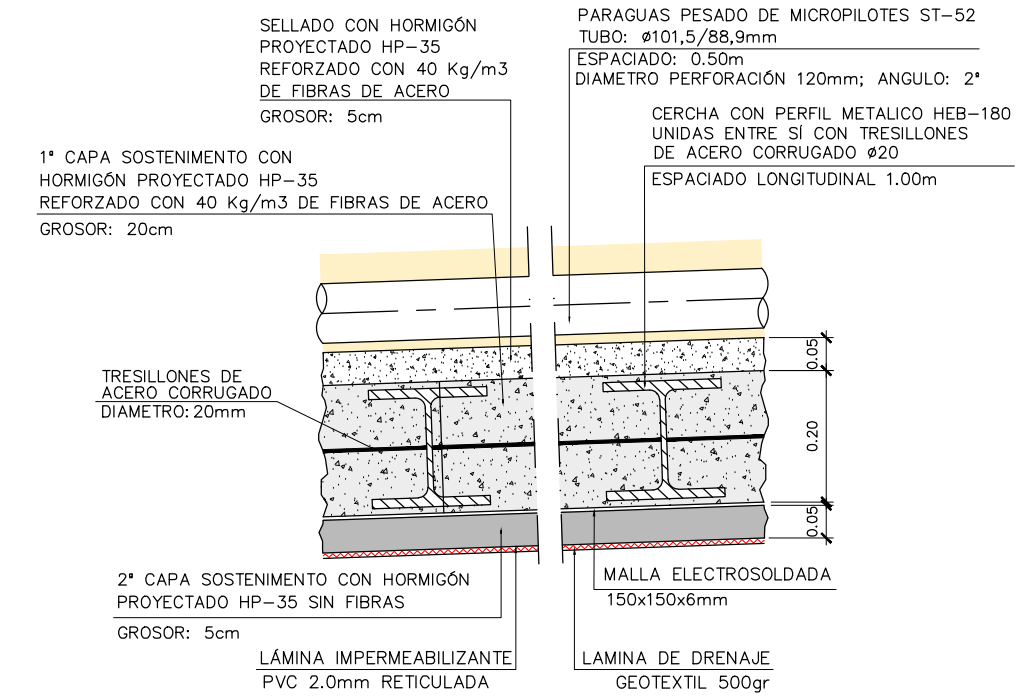
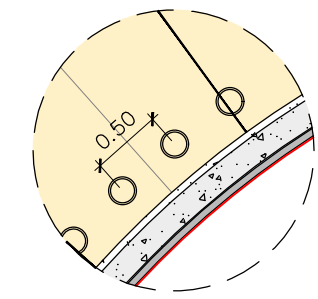
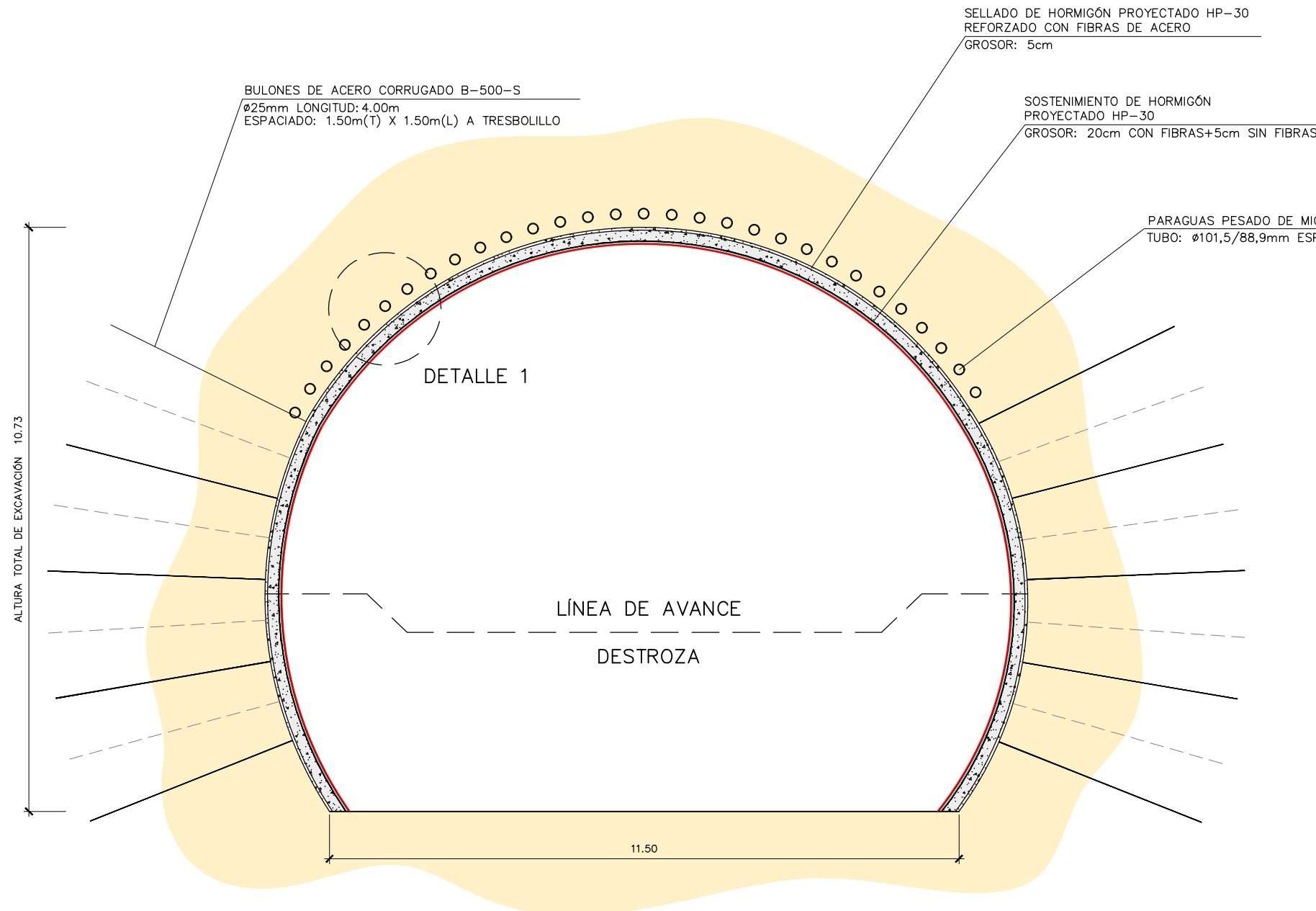
LÁMINA IMPERMEABILIZANTE PVC 2.0mm RETICULADA

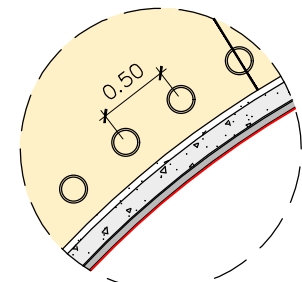
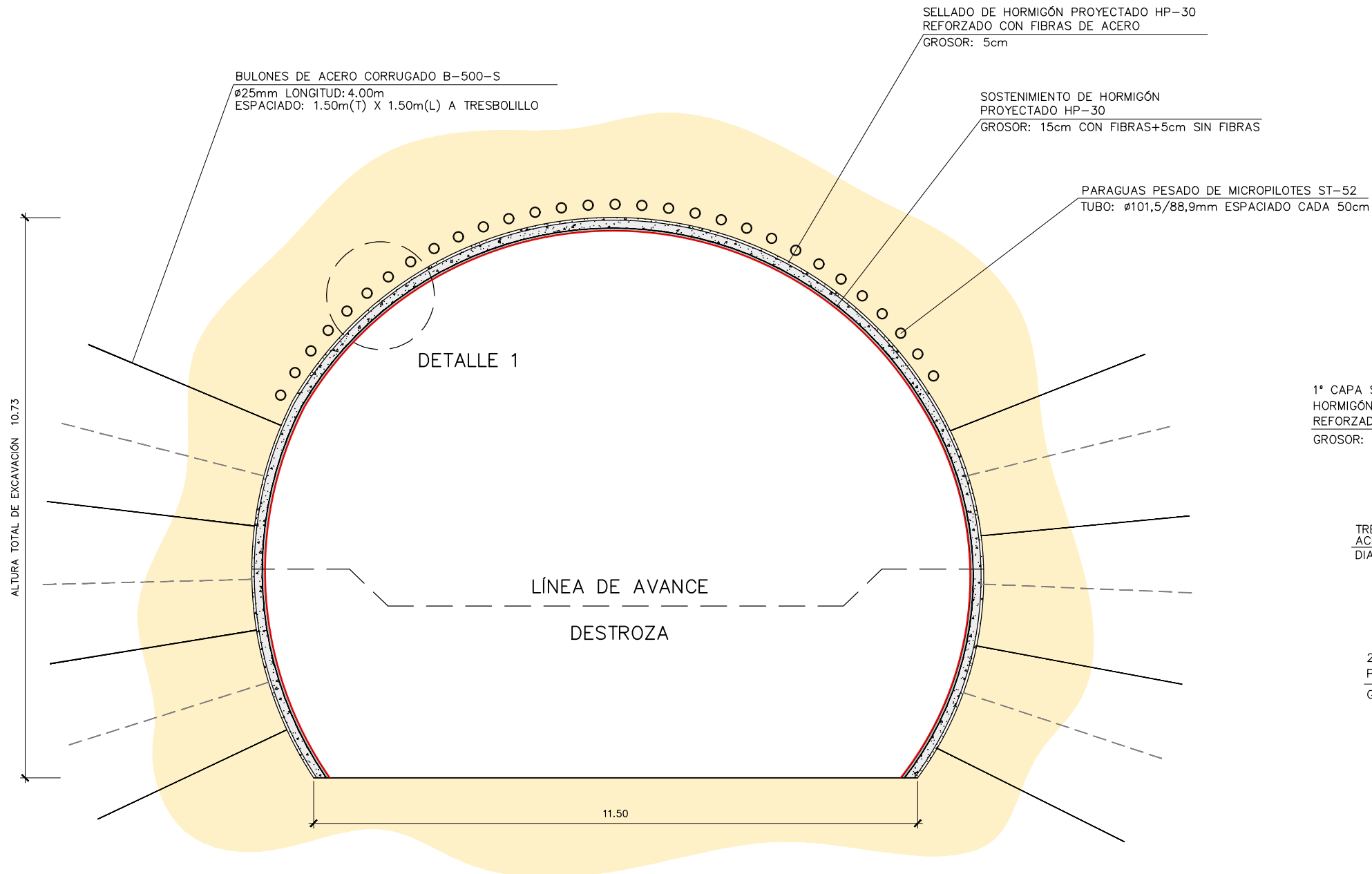
LAMINA DE DRENAJE GEOTEXTIL 500gr

BULÓN DE ACERO CORRUGADO B-500-S DIAMETRO: 25mm; LONGITUD : 4m ANCLAJE REPARTIDO CON RESINA O CEMENTO ESPACIADO 1.50m(T)x1.50m(L)

CERCHAS CON PERFILES METÁLICOS THN-29 UNIDAS ENTRE SÍ CON TRESSILLONES UPN-80 ESPACIADO LONGITUDINAL: 1,50m

TRESSILLONES DE ACERO UPN-80 COLOCADOS CADA 1,50m





DETALLE 1

BULONES DE ACERO CORRUGADO B-500-S
 Ø25mm LONGITUD: 4.00m
 ESPACIADO: 1.50m(T) X 1.50m(L) A TRESBOLILLO

SELLADO DE HORMIGÓN PROYECTADO HP-30
 REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO
 GROSOR: 5cm

SOSTENIMIENTO DE HORMIGÓN PROYECTADO HP-30
 GROSOR: 15cm CON FIBRAS+5cm SIN FIBRAS

PARAGUAS PESADO DE MICROPILOTES ST-52
 TUBO: Ø101,5/88,9mm ESPACIADO CADA 50cm

DETALLE 1

SELLADO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 REFORZADO CON 40 Kg/m³ DE FIBRAS DE ACERO
 GROSOR: 5cm

1ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 REFORZADO CON 40 Kg/m³ DE FIBRAS DE ACERO
 GROSOR: 15cm

PARAGUAS PESADO DE MICROPILOTES ST-52
 TUBO: Ø101,5/88,9mm
 ESPACIADO: 0.50m
 DIAMETRO PERFORACIÓN 120mm; ANGULO: 2°

CERCHA CON PERFIL METALICO HEB-180 UNIDAS ENTRE SÍ CON TRESILLONES DE ACERO CORRUGADO Ø20
 ESPACIADO LONGITUDINAL 1.00m

TRESILLONES DE ACERO CORRUGADO DIAMETRO: 20mm

2ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 SIN FIBRAS
 GROSOR: 5cm

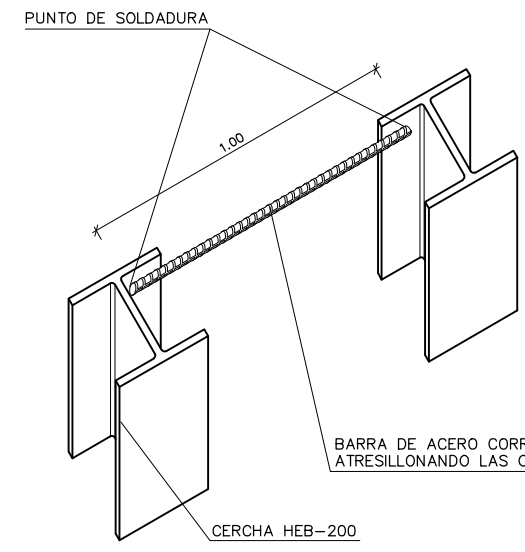
LÁMINA IMPERMEABILIZANTE PVC 2.0mm RETICULADA

MALLA ELECTROSOLDADA 150x150x6mm

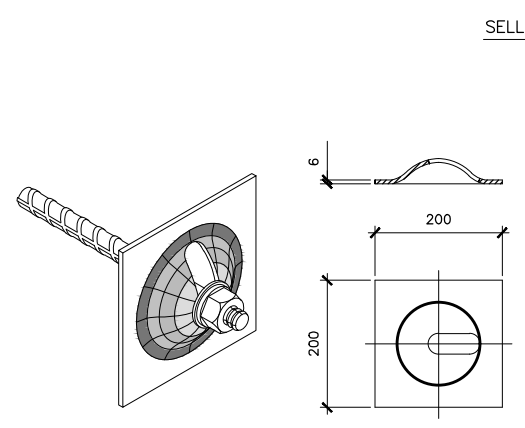
LÁMINA DE DRENAJE GEOTEXTIL 500gr

DETALLE SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO SECCIÓN TIPO V ZONA CLAVE SIN ESCALA

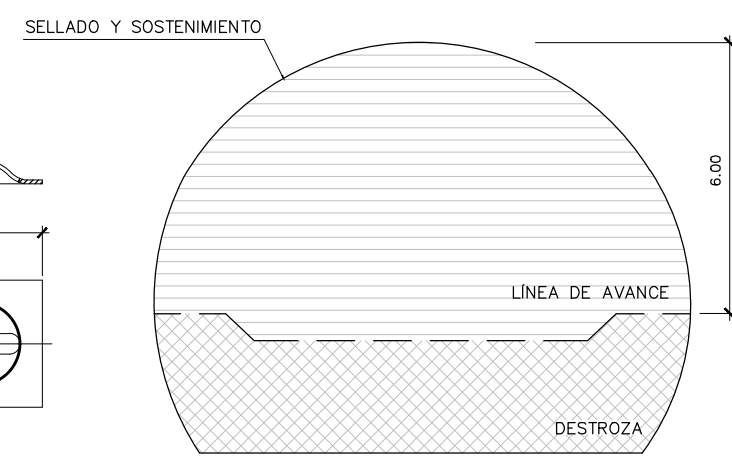
SECCIÓN TIPO V



DETALLE COLOCACIÓN TRESSILLONES SIN ESCALA



DETALLE PLACA DE REPARTO SIN ESCALA



FASES DE EXCAVACIÓN SOSTENIMIENTO TIPO V SIN ESCALA

SELLADO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 REFORZADO CON 40 Kg/m³ DE FIBRAS DE ACERO
 GROSOR: 5cm

1ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 CON FIBRAS DE ACERO
 GROSOR: 15cm

0.05
0.15
0.05

LÁMINA IMPERMEABILIZANTE PVC 2.0mm RETICULADA

LÁMINA DE DRENAJE GEOTEXTIL 500gr

BULÓN DE ACERO CORRUGADO B-500-S
 DIAMETRO: 25mm; L=4m
 ANCLAJE REPARTIDO CON RESINA O CEMENTO
 ESPACIADO 1.50m(T)x1.50m(L)

CERCHA CON PERFIL METALICO HEB-180 UNIDAS ENTRE SÍ CON TRESILLONES DE ACERO CORRUGADO Ø20
 ESPACIADO LONGITUDINAL 1.00m

TRESILLONES DE ACERO CORRUGADO DIAMETRO: 20mm

2ª CAPA SOSTENIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO HP-35 SIN FIBRAS
 GROSOR: 5cm

MALLA ELECTROSOLDADA 150x150x6mm

DETALLE SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO SECCIÓN TIPO V ZONA HASTIALES SIN ESCALA

Apéndice 2:
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	30
Presencia de agua:	0
Corrección por orientación:	-12
RMR:	57

BARTON	
RQD:	80
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	4
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	5
Q:	7,11

CLASE III: calidad media; cohesión estimada 2-3 kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	20
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-5
RMR:	72

BARTON	
RQD:	100
Índice de diaclasado (Jn):	4
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	0,75
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	28,13

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4 kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca excepcionalmente buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	30
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	82

<u>BARTON</u>	
RQD:	100
Índice de diaclasado (Jn):	4
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	75,00

CLASE II: calidad muy buena; cohesión estimada >4 kg/cm², ángulo de rozamiento estimado >45°

Roca muy buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	6
Espaciado de las fisuras:	8
Estado de las fisuras:	20
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	46

<u>BARTON</u>	
RQD:	30
Índice de diaclasado (Jn):	15
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	0,75
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	2,13

CLASE III: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca mala

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	30
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-2
RMR:	82

<u>BARTON</u>	
RQD:	90
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	4
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	0,5
Q:	15,00

CLASE I: calidad muy buena; cohesión estimada >4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado >45º

Roca buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	25
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	72

<u>BARTON</u>	
RQD:	100
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	4
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	17,78

CLASE I: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45º

Roca buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	25
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	64

BARTON	
RQD:	80
Índice de diaclasado (Jn):	6
Índice de rugosidad (Jr):	1,5
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	4,00

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	1
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	12
Estado de las fisuras:	22
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-2
RMR:	68

BARTON	
RQD:	99
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	11,00

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	1
RQD:	13
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	21
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-5
RMR:	55

<u>BARTON</u>	
RQD:	71
Índice de diaclasado (Jn):	12
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	8,88

CLASE III: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	13
Espaciado de las fisuras:	8
Estado de las fisuras:	22
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-12
RMR:	53

<u>BARTON</u>	
RQD:	60
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	1,5
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	5,00

CLASE III: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	12
Estado de las fisuras:	19
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-12
RMR:	63

<u>BARTON</u>	
RQD:	90
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	10,00

CLASE III: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	13
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	25
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	65

<u>BARTON</u>	
RQD:	60
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	4,00

CLASE III: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	30
Presencia de agua:	0
Corrección por orientación:	-12
RMR:	57

BARTON	
RQD:	80
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	4
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	5
Q:	7,11

CLASE III: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	30
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	82

BARTON	
RQD:	100
Índice de diaclasado (Jn):	4
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	75,00

CLASE I: calidad muy buena; cohesión estimada >4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado >45°

Roca muy buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	20
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-5
RMR:	72

<u>BARTON</u>	
RQD:	100
Índice de diaclasado (Jn):	4
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	0,75
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	28,13

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	25
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	64

<u>BARTON</u>	
RQD:	80
Índice de diaclasado (Jn):	6
Índice de rugosidad (Jr):	1,5
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	4,00

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	13
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	25
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	65

BARTON	
RQD:	60
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	4,00

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	2
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	23
Estado de las fisuras:	21
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-10
RMR:	68

BARTON	
RQD:	89
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	5,93

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	1
RQD:	17
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	29
Presencia de agua:	10
Corrección por orientación:	-5
RMR:	62

<u>BARTON</u>	
RQD:	80
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2,5
Q:	5,33

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	7
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	8
Estado de las fisuras:	15
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-2
RMR:	63

<u>BARTON</u>	
RQD:	95
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	5,28

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	2
RQD:	13
Espaciado de las fisuras:	10
Estado de las fisuras:	18
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-5
RMR:	53

BARTON	
RQD:	60
Índice de diaclasado (Jn):	15
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	8,00

CLASE II: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	9
Estado de las fisuras:	15
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	0
RMR:	71

BARTON	
RQD:	99
Índice de diaclasado (Jn):	4
Índice de rugosidad (Jr):	3
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	1
Q:	37,13

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca buena

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	12
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	13
Estado de las fisuras:	10
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-2
RMR:	68

<u>BARTON</u>	
RQD:	99
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	5,50

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media

CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm²

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

<u>BIENIAWSKI (1979)</u>	
Resistencia a compresión simple (Is):	2
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	15
Estado de las fisuras:	13
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-12
RMR:	53

<u>BARTON</u>	
RQD:	98
Índice de diaclasado (Jn):	9
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	2
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2
Q:	5,44

CLASE II: calidad media; cohesión estimada 2-3kg/cm², ángulo de rozamiento estimado 25-35°

Roca media

**CLASIFICACIONES
GEOMECÁNICAS PARA TÚNELES**



ESTACIÓN GEOMECÁNICA

UNIDAD LITOLÓGICA

GRADO DE METEORIZACIÓN

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Kg/cm2

RQD %

CLASIFICACION GEOMECÁNICA

BIENIAWSKI (1979)

Resistencia a compresión simple (Is):	1
RQD:	20
Espaciado de las fisuras:	13
Estado de las fisuras:	16
Presencia de agua:	15
Corrección por orientación:	-2

RMR:

BARTON

RQD:	99
Índice de diaclasado (Jn):	15
Índice de rugosidad (Jr):	2
Grado de alteración de las diaclasas (Ja):	1
Coefficient de presencia de agua (Jw):	1
Estado tensional del macizo (SRF):	2

Q:

CLASE II: calidad buena; cohesión estimada 3-4kg/cm2, ángulo de rozamiento estimado 35-45°

Roca media