

<p style="text-align: center;">CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DEL CORNO</p> <p style="text-align: center;">LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID – GALICIA.</p>
--

ÍNDICE

- 1. LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID – GALICIA**
- 2. EL VIEJO TÚNEL DEL CORNO. LÍNEA DE FERROCARRIL MADRID – CORUÑA**
- 3. EL TÚNEL DEL CORNO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID – GALICIA**
 - 3.1. Ámbito geográfico y descripción de la obra**
 - 3.2. El proyecto del túnel**
 - 3.3. Aspectos singulares: cruces bajo línea convencional**
 - 3.3.1. Cruce bajo Túnel de Forcadiña
 - 3.3.2. Cruce bajo Túnel de El Molino
 - 3.3.3. Cruce bajo Túnel de Sierra Pequeña
 - 3.3.4. Planteamiento para el paso bajo túneles existentes
 - 3.3.4.1. Estudio de la afección a los túneles convencionales
 - 3.3.4.2. Propuesta de auscultación
 - 3.4. Construcción**
 - 3.4.1. Preparación de caminos
 - 3.4.2. Emboquilles
 - 3.4.3. Instalaciones
 - 3.4.4. Procedimiento constructivo
 - 3.4.5. Desarrollo de los trabajos: incidencias

1. LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID – GALICIA

La construcción de la Línea de Alta velocidad Madrid-Galicia, encuadrada en el Corredor Norte - Noroeste, es la actuación de alta velocidad más importante que ejecuta actualmente ADIF. Esta infraestructura está llamada a potenciar las comunicaciones ferroviarias entre Galicia y el Madrid, consiguiendo tiempos de viaje entre Madrid y Santiago de Compostela en el entorno de las tres horas y tres horas y media hasta A Coruña.

La línea, de unos 550 kilómetros de longitud hasta Santiago, 610 a A Coruña, tiene actualmente operativos 224 kilómetros correspondientes al tramo inicial Madrid-Olmedo (en servicio desde diciembre de 2007) y al tramo final Ourense-Santiago de Compostela (en servicio desde diciembre de 2011), que entronca con el Eje Atlántico en servicio hasta A Coruña (Santiago-A Coruña, 61,7 km). Los 326 kilómetros del tramo central entre Olmedo y Ourense se encuentran prácticamente en su totalidad en ejecución.

En este tramo se trabaja para construir el trazado que contará con doble vía electrificada con ancho UIC (1.435 mm) y señalización ERTMS niveles 1 y 2, con radios mínimos de 6.000 metros y pendientes máximas de 20 milésimas, apto para una velocidad máxima de proyecto de 350 km/h. En total, el tramo completo incluye 40 túneles y 68 viaductos, la mayoría entre Lubián y Ourense. A partir del límite entre Castilla y León y Galicia se enfrenta con un accidentado relieve, que en el pasado imposibilitó la conexión ferroviaria entre la meseta y Galicia hasta 1.957 mediante la línea convencional que hoy presta servicio.

En el presente artículo vamos a aproximarnos a los aspectos más relevantes de la construcción del túnel del Corno de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Galicia, tramo Lubián – Ourense. Pero antes haremos una reseña sobre lo que fue la construcción del túnel de O Corno perteneciente a la línea ferroviaria convencional Madrid – Galicia. Aquella fue una obra extraordinaria, habida cuenta de la escasa tecnificación y precariedad de medios para abordar tan difícil empresa. Más de sesenta años después Adif acomete el ambicioso reto de unir Madrid y A Coruña con una Línea de Alta Velocidad empleando las técnicas más modernas disponibles, siendo premisas la seguridad, la sostenibilidad y máximo respeto al medio ambiente.

2. EL VIEJO TÚNEL DEL CORNO. LÍNEA DE FERROCARRIL MADRID – CORUÑA

El tramo Puebla de Sanabria – Ourense, perteneciente al tramo Zamora – Ourense de la línea del ferrocarril convencional que une Madrid y Coruña, destaca por su gran número de túneles, que suman una longitud de 45 km y atraviesan los macizos del Padornelo, La Canda y Manzaneda.

Se inició la obra en 1.927, con un plazo estimado de cinco años para su construcción, pero se inauguró en 1.957, treinta años después. Ello da idea de la extraordinaria dificultad que presentó la obra, enorme desafío técnico para la época debido a la precariedad de medios, a la escarpada orografía, a la climatología adversa y, también, a las convulsiones políticas vividas aquellos años.

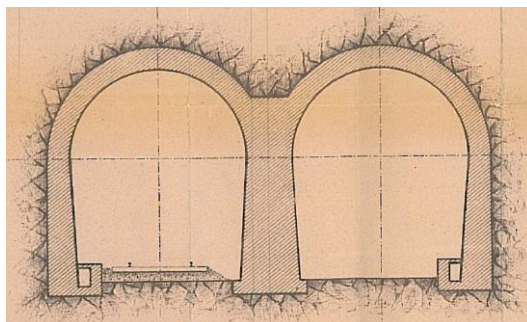
Especialmente compleja fue la construcción del tramo de Ourense comprendido entre las estaciones de Cerdedeo y Alberquería, para el que se construyeron diez túneles denominados con los números 60 a 70, que suman una longitud total de 8.250 m.

Entre estos túneles, uno destaca con nombre propio debido a las dificultades que originó a ingenieros y constructores y, sobre todo, por la cantidad de vidas humanas que se cobró entre sus trabajadores: es el túnel número 62, el túnel de El Corno.

El túnel del Corno atraviesa el macizo ourensano bajo montañas que alcanzan los 1.000 m de altitud en un paisaje agreste en que se suceden cumbres y valles de clima continental.

Su longitud es de 2.491 m. Al igual que el resto de túneles proyectados en la línea contemplaba sección para vía doble, pero se desistió del propósito debido a las difíciles condiciones que presentaban los trabajos de perforación y revestimiento, y a la perspectiva de que no fuera rentable a corto plazo una segunda vía.

Así, el túnel del Corno, cuya construcción se inició con dos galerías gemelas, terminó siendo realizado con sección de vía única. No obstante se excavó una galería paralela al túnel principal, que no se completó a falta de 1 km para su cale.



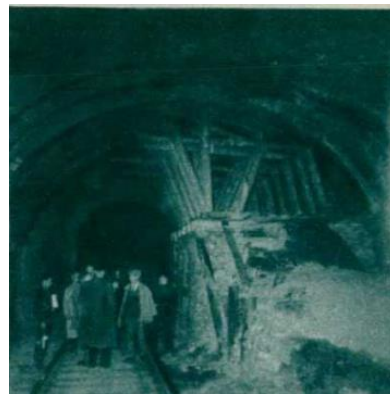
Tanto el túnel como la galería lateral se encuentran revestidos. Los hastiales fueron revestidos con mampostería y la bóveda con un anillo de hormigón de 30 – 40 cm de espesor. Los sistemas de bombeo de hormigón no tenían gran eficiencia, lo que generaba huecos entre revestimiento y terreno que rellenaban posteriormente a mano mediante “ripio” o material menudo de la propia excavación.

Las numerosas vías de agua y los hundimientos hacían muy inestable la excavación y casi imposible la puesta en obra de hormigón de calidad con las técnicas disponibles. Se realizaron inyecciones de hormigón en grietas y fisuras de la montaña para consolidar el terreno, pero la poca tecnificación de los

equipos no conseguía los resultados necesarios provocando, por el contrario, vertidos masivos de lechadas y hormigones a los ríos circundantes.

La construcción de la obra fue confiada a la sociedad del ferrocarril Medina del Campo – Zamora – Orense – Vigo (MZOV).

El método constructivo empleado en el túnel del Corno, como en gran parte de los túneles del tramo Zamora Ourense, fue similar al Belga que se conoce en la actualidad con apertura de bóveda por tramos, hormigonado posterior de la misma y construcción de hastiales por bataches, generalmente de mampostería.



La escarpada orografía de montaña hacía penoso cualquier recorrido y hubieron de instalarse dos cables y blondines para subir hasta los emboquilles la dinamita, materiales, comida para los animales, etc.

Para optimizar el transporte se construiría más tarde la “Pista Do Marroquí”, camino de montaña hecho a base de voladuras y muros de contención de escollera, que con una longitud de 22 km se extiende entre el pueblo de Cerdedelo y la estación ferroviaria de Alberguería, dando acceso a los emboquilles de los túneles del tramo. Hoy día sigue prestando servicio como pista sin pavimentar, de escasa anchura, que serpentea por la ladera de la montaña a una cota que llega hasta los 1.000 m.

La mano de obra empleada en los túneles procedía de los pueblos de alrededor. Eran tiempos de muy escasa tecnificación en los trabajos, de candiles de carburo, de perforación manual en seco, de animales de tiro y carretas para el acarreo del material y el desescombro.

Conceptos como el medio ambiente o la seguridad estaban al margen del trabajo. Así, pueden verse aun hoy las huellas del desescombro de los túneles ladera debajo de la montaña, tapizadas con la pizarra escavada hasta llegar a los regatos y fondos de las vaguadas. Los vertidos masivos de lechadas también se sucedieron llegando hasta los cursos fluviales del territorio.

Los trabajos de perforación y explanación fueron desarrollados en unas condiciones técnicas y humanas muy precarias, escasa especialización y poca tecnificación. El barrenado y la perforación se hacían a mano y en seco, lo que originaba ambientes cargados de polvo. Tras años de trabajo, a veces sólo meses, ocasionó la muy extendida enfermedad que llamaron "mal de la vía", hoy conocida como silicosis, por la cual fallecieron muchos trabajadores de los túneles.



3. EL TÚNEL DEL CORNO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID – GALICIA

En julio de 2012 han comenzado las obras de construcción del Túnel del Corno de la L.A.V., con un plazo previsto de 36 meses. El túnel lo constituyen dos túneles paralelos de vía única, separados 30 m entre ejes, que se excava mediante el Nuevo Método Austríaco bajo monteras máximas de 340 m en pizarras, filitas y cuarzofilitas.

Cada túnel, vía izquierda y vía derecha, han sido objeto de contratos independientes que comparten una Asistencia Técnica común. Se resume en la tabla siguiente:

TRAMO	CONTRATISTA		ASISTENCIA TÉCNICA	
	UTE	EMPRESAS INTEGRANTES	UTE	EMPRESAS INTEGRANTES
CERDEDELO – PRADO VÍA IZQUIERDA	CERDEDELO - PRADO UTE	COPROSA, RUBAU, INSERSA	UTE TÚNEL CORNO	GINPROSA, INZAMAC, SERS
TÚNEL CORNO VÍA DERECHA	UTE CORNO VÍA DERECHA	ISOLUX CORSÁN, TABOADA Y RAMOS		

3.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO

La obra se desarrolla al sur de la provincia de Ourense, junto a la cuenca del río Támega en las estribaciones montañosas de las sierras de San Mamede y Fial das Corzas. Administrativamente la obra está ubicada en los concellos de Laza y Vilar de Barrio.

Es un entorno agreste de montaña que llega hasta los 1.000 de cota, en el que predomina el clima continental, con frecuentes nevadas invernales y precipitaciones medias que superan los 1.300 mm anuales.

El trazado de la obra se desarrolla en sentido este – oeste siguiendo un recorrido muy próximo a la línea ferroviaria convencional Madrid – A Coruña, con la que tiene puntos de cruce y paralelismo pero siempre a cota inferior que ésta.

3.2. EL PROYECTO DEL TÚNEL

El Túnel del Corno se configura con dos túneles paralelos de vía única separados 30 m entre sí. La longitud del túnel es de 8.574 m para el tubo de vía izquierda y 8.570 m para la vía derecha, incluyendo los falsos túneles. La montera máxima sobre clave de túnel es de 340 m y presenta una pendiente descendente hacia el oeste con máximo de 9 milésimas. El procedimiento de construcción del túnel es el Nuevo Método Austríaco con excavación mediante voladura y mecánica.

	Falso túnel Este			Túnel mina			Falso túnel Oeste			Longitud (m)
	PK inicio	PK final	Longitud (m)	PK inicio	PK final	Longitud (m)	PK inicio	PK final	Longitud (m)	
V.I.	400+205	400+227	22	400+227	408+746	8519	408+746	408+779	33	8574
V.D.	400+213	400+238	25	400+238	408+749	8511	408+749	408+783	34	8570

Longitudes y PK de los túneles de V.I. y V.D. del Corno

La sección útil de cada túnel es de 52 m², y la máxima sección excavada es de 71 m². Ambos tubos se comunican mediante 26 galerías transversales, de las cuales 21 sirven como galerías de evacuación entre ambos tubos y 5 serán galerías para instalaciones del túnel en explotación. La sección de las galerías transversales proyectadas es de 25 m².

La excavación del túnel se acometerá desde sus dos bocas, este y oeste. Además el proyecto contempla la ejecución de un ataque intermedio, que consiste en una galería para alcanzar la zona central del túnel desde la que se abrirán otros dos frentes de ataque que avanzarán hacia los emboquilles extremos. Así, la ejecución del túnel se proyecta con cuatro frentes de excavación.

Principales magnitudes de obra (ambos túneles)		
EXCAVACIÓN TÚNEL EN MINA	2.160.258,00	m ³
BULONES DE EXPANSIÓN	614.047,16	m
BULONES DE FIBRA DE VIDRIO	51.541,10	m
CERCHA TIPO TH-29	10.663,71	m
CERCHA TIPO HEB-160	19.838,76	m
HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/35	80.189,77	m ³
HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN REVESTIMIENTO, LOSAS Y CONTRABÓVEDA	244.428,97	m ³
HORMIGÓN NO ESTRUCTURAL EN ACERAS Y RELLENOS	69.708,80	m ³
LÁMINA Y GEOTEXTIL EN IMPERMEABILIZACIÓN	363.834,17	m ²
MICROPILOTE	19.654,74	m
FIBRA DE ACERO ESTRUCTURAL	2.870.838,79	Kg

• GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

El Túnel de El Corno atraviesa en su trazado las formaciones Grupo Nogueira, Pizarras de Luarca y Cuarцитas y Filitas del Invernadeiro, todas ellas pertenecientes a la zona "galaico-castellana" del Macizo Hespérico de la Península.

Inicialmente se cruzan brevemente las filitas del Grupo Nogueira, pasando a continuación a atravesar las Pizarras de Luarca, a lo largo de 1265m. El contacto entre ambas unidades es el Cabalgamiento de Verín.

El macizo atravesado se encuentra afectado por algunas fallas de pequeña importancia reconocidas en los sondeos y zonas con fracturación importante en tramos puntuales. Destacan el cabalgamiento de Verín en torno al pK 400+200 y la falla de Toro en el pK 401+500. Esta última desplaza el cabalgamiento, de forma que éste se atraviesa dos veces por el trazado.

La Galería de ataque intermedio prevista en el pK 404+418 atraviesa prácticamente en la totalidad de su trazado Pizarras de Luarca

Desde el punto de vista geomecánico, en el proyecto, se consideró que las rocas con grados de meteorización IV y V tienen comportamiento próximo a los suelos y como tal se han caracterizado. Adicionalmente las litologías descritas en la descripción geológica se han clasificado por litotipos.

- GRUPO 1: Unidad Invernadeiro, caracterizada por alternancias de cuarcitas y filitas sanas a moderadamente meteorizadas. Litotipos OQP, OQF, y Fe (GM-I-II-III).
- GRUPO 2: Pizarras y filitas sanas a moderadamente meteorizadas. Litotipos OP; SFA, SAR, SL (GM-I-II-III).
- GRUPO 3: Unidad Invernadeiro meteorizada. Litotipos OQP, OQF, Fe, (GM. IV-V).
- GRUPO 4: Pizarras y filitas meteorizadas. Litotipos OP y SFA, SAR y SL (GM. IV-V).
- GRUPO 5: Formaciones cuaternarias: depósitos coluviales (Qc), depósitos aluviales (QAl), rellenos (R) y vertidos (V).

Caracterización del macizo rocoso

La caracterización del macizo rocoso se ha realizado a partir de ensayos de laboratorio y, posteriormente, de su minoración basándose en el RMR. Se han realizado ensayos de compresión simple, de tracción indirecta y de compresión simple.

Dado el fuerte carácter anisótropo de las litologías propio de rocas con esquistosidad y/o pizarrosidad, se ha realizado un análisis no solo estadístico sino también considerando esta anisotropía, y por lo tanto la relación entre la aplicación de la carga en el ensayo y la esquistosidad.

Análisis de las discontinuidades estructurales

A grandes rasgos, el plano principal corresponde a la esquistosidad. La orientación predominante es de oblicua a subparalela con respecto al trazado de los túneles.

Este plano principal, está acompañado por 3 a 4 familias de juntas subverticales o de alto buzamiento, con continuidad baja a media, que se combinan con la esquistosidad o estratificación principal para originar inestabilidades en roca.

Desde el punto de vista estructural, se han definido dos tramos con las siguientes familias de juntas (indicando dirección de buzamiento/buzamiento):

Tramo A (de pK 400+235 a pK 405+360): J1 (219/71), J2 (259/52), J3 (314/84) y J4 (054/37)

Tramo B (de pK 405+360 a pK 409+080): J1 (068/31), J2 (191/72), J3 (317/84), J4 (225/84) y J5 (264/86)

Hidrogeología

El río Támega no se ve afectado como tal por las obras de los túneles, tan sólo las cabeceras de los afluentes de la cuenca del Támega. El proyecto incorpora ensayos de permeabilidad y caracterización de los materiales por los que atraviesan los túneles, así como la localización de puntos de agua (manantiales y surgencias) que ha permitido confirmar la no afección a la hidrogeología de las zonas por las cuales atraviesan los túneles.

• TRAMIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL TÚNEL

Se ha realizado una tramificación geotécnica y constructiva del túnel en función de la litología y estructura del macizo, la posición del nivel freático, la permeabilidad del macizo y las zonas de falla, la estimación de la calidad del macizo (clasificación geomecánica) y las características geotécnicas de los materiales.

En la tabla se muestran los porcentajes de cada tipo de terreno de acuerdo a las clasificaciones geomecánicas y características geotécnicas más relevantes.

Rango RMR	>60	50-60	40-50	30-40	<30
Túnel del Corno	20,7 %	42,4 %	30,6 %	2,5 %	3,7 %

Para cada rango de terreno se ha adoptado la hipótesis pésima en la combinación montera – índice de calidad GSI, en base a la tramificación geotécnica realizada. Los parámetros obtenidos en este análisis se adoptan como parámetros característicos de cada una de las clases de terreno.

- ### MÉTODO CONSTRUCTIVO

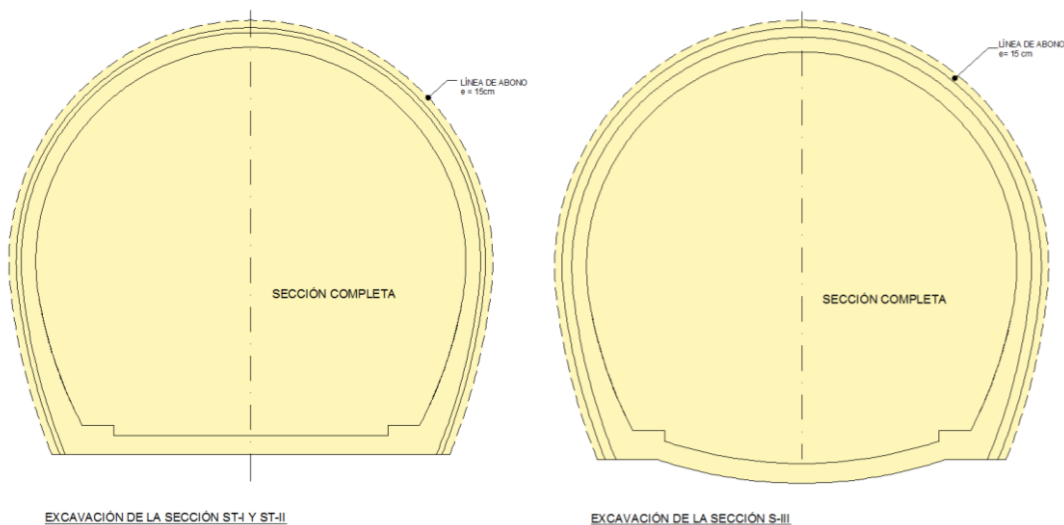
La excavación, tanto de los dos tubos del túnel de El Corno, como de la galería de ataque intermedia y de los centros de transformación, se realizará principalmente mediante el método de perforación y voladura, siguiendo los principios del NATM. .

Fases de excavación

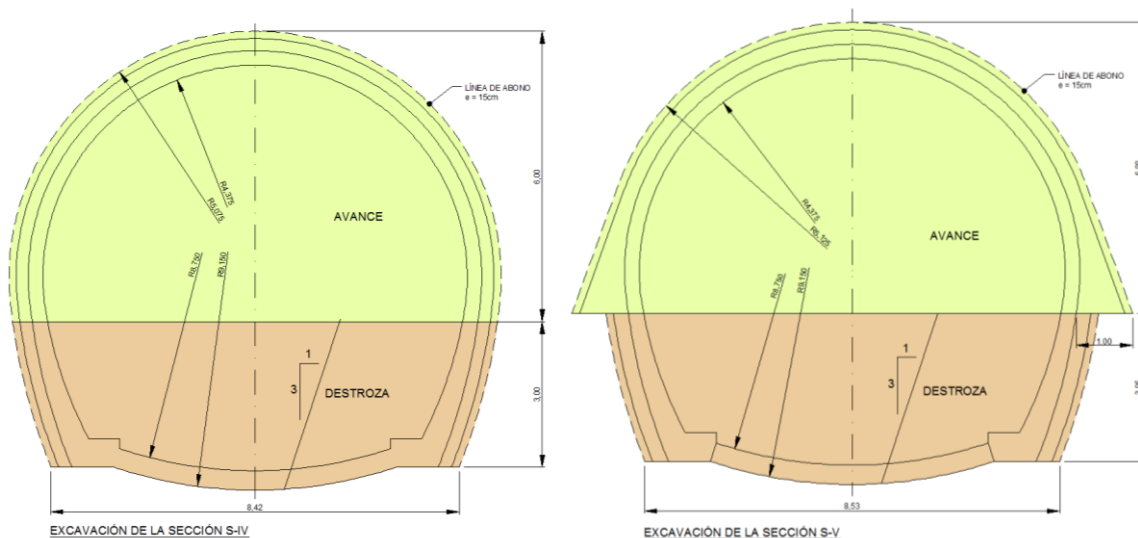
Dada la reducida sección de excavación del túnel, en torno a 71 m², y que los equipos de perforación pueden cubrir la totalidad de la sección, se ha optado por la excavación a sección completa en terrenos en los que el RMR sea de 40 puntos o superior. Para terrenos cuyo RMR sea inferior a 40 se plantea la excavación en fases de avance y destroza.

Se ha diseñado contrabóveda para terrenos en los que el RMR sea inferior a 50, y losa plana de 40 cm cuando el RMR es 50 ó superior.

En las siguientes figuras se muestran las fases de excavación para las distintas secciones definidas.



Fases de excavación de las secciones I, II y III. Sección completa



Fases de excavación de las secciones IV y V. Avance y destroza

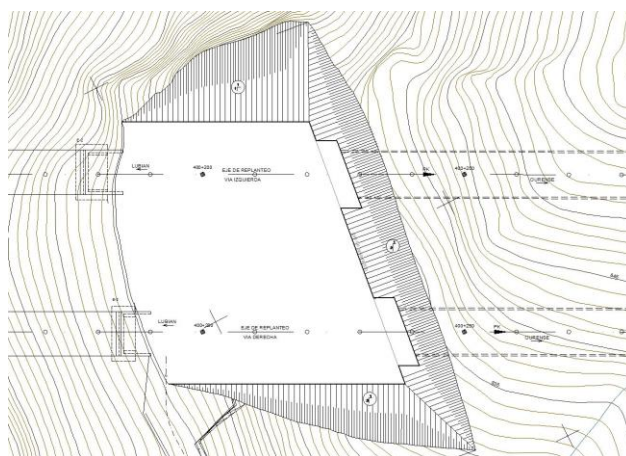
Se ha optado por la excavación a sección completa en una fase para la galería de ataque intermedio (52 m² de sección) y para las galerías transversales de comunicación (25 m² de sección).

- **EMBOQUILLES**

Emboquille Oeste

El emboquille Oeste se excava en cuarcitas y filitas sanas de la Unidad Invernadero, aunque con alto grado de fracturación que da tamaños de bloques centimétricos. La altura del talud frontal del emboquille excavado es 53 m. Para este emboquille se ha proyectado un talud frontal de 1(H):3(V) y retaluzado al 1(H):1(V) para los 13 m superiores. El estudio de proyecto concluye que el talud es autoestable, si bien previó una capa de hormigón proyectado HMP-35 de 10 cm de espesor. El sostenimiento diseñado en proyecto ha sido modificado en fase de construcción como se explicará en el epígrafe de construcción.

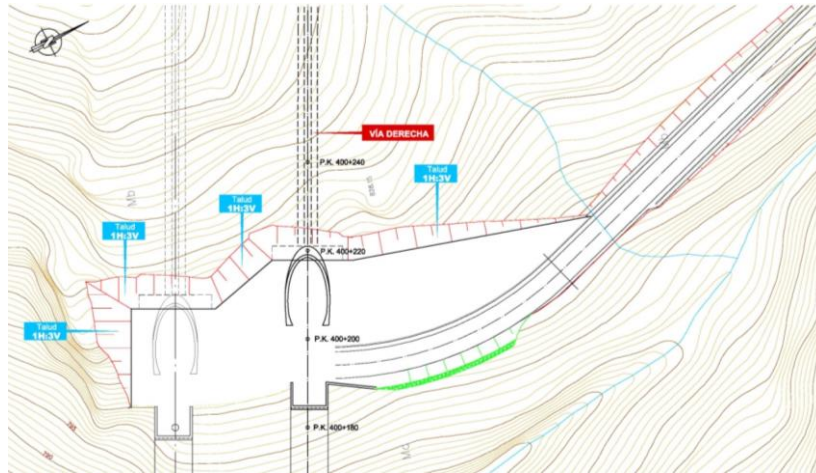
La restitución del talud natural se logra parcialmente mediante el relleno sobre las estructuras de falsos túneles.



Planta del emboquille Oeste definido en el Proyecto Constructivo

Emboquille Este

Los materiales en los que se ha excavado este emboquille son filitas y liditas de la formación Nogueira. La altura del talud frontal del emboquille es de 23 m. Se ha adoptado un talud frontal de 1(H):3(V) en el emboquille Este y, dado que no se han observado espesores importantes de suelos, no se ha dispuesto ningún retaluzado. El sostenimiento del talud frontal fue diseñado con una malla de bulones, mallazo y gunita. La restitución del talud natural se logra mediante el relleno sobre las estructuras de falsos túneles. La geometría descrita se muestra en la **Figura 4**.



Definición geométrica del emboquille Este

• DISEÑO DE LOS SOSTENIMIENTOS

Para realizar el diseño del sostenimiento de un túnel se ha atendido en primer lugar a la clasificación geomecánica del macizo, posteriormente se han analizado las inestabilidades por existencia de bloques y por último se han comprobado los sostenimientos con programas de elementos finitos.

- **Clasificaciones geomecánicas:** métodos empíricos basados en la experiencia en otros túneles, que dan un prediseño muy ajustado del sostenimiento a instalar.

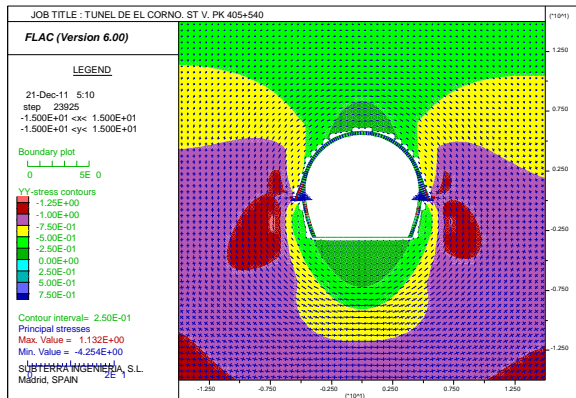
El diseño tuvo en cuenta las clasificaciones Sistema Rock Mass Rating RMR de Bieniawski y el Sistema Q de Barton. Basados en las recomendaciones del Ábaco elaborado por Grinstad y Barton (1993) y a la experiencia acumulada en este tipo de obras se proponen unos sostenimientos iniciales que se consideran adecuados.

- **Cálculo de bloques:** basados en la teoría de bloques, que determina dónde pueden existir bloques peligrosos en un macizo rocoso interceptado por diferentes discontinuidades. Los bloques se forman por la intersección de juntas y fracturas en el macizo rocoso. Estos cálculos, complementarios a los métodos numéricos, son meramente cinemáticos de la estabilidad de bloques de roca, considerando su peso y la resistencia la corte de las juntas o discontinuidades que singularizan dichos bloques. En este proyecto se ha empleado el programa de Rocscience, UNWEDGE.

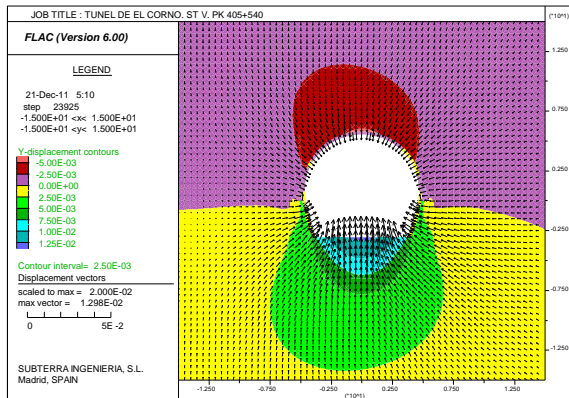
- **Métodos numéricos:** una vez predefinidos los sostenimientos con los criterios basados en las clasificaciones geomecánicas, se aplican métodos basados en el análisis de simulaciones numéricas utilizando códigos de elementos de contorno. Por último los métodos numéricos permiten la ejecución de cálculos tenso deformacionales, muy afinados tal como se presenta más adelante. En este proyecto se ha empleado el programa FLAC 2D y FLAC 3D de Itasca.

Todas las secciones tipo han sido comprobadas mediante modelización numérica en sus secciones transversales más desfavorables, bien sea por los parámetros mecánicos o bien sea por el recubrimiento. A título de ejemplo en las **Figuras 6 a 9**, se muestran los principales datos que proporciona el modelo de

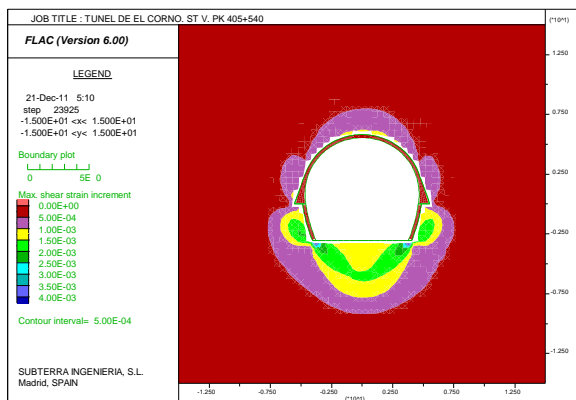
cálculo para la STV en el PK 405+540, que corresponde a las tensiones verticales y deformaciones en el terreno que se producen a consecuencia de la excavación del túnel en su fase final ya que el modelo da estos mismo datos para las tres fases de excavación descritas anteriormente. Así mismo se pueden apreciar los elementos que están plastificados (habitualmente referido como radio de plastificación o corona alrededor del túnel en el que el terreno está roto por haber superado las tensiones inducidas la resistencia de este) y donde se concentran las deformaciones cortantes en el terreno.



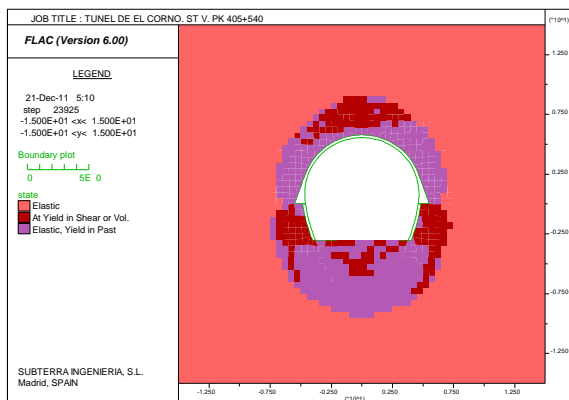
Tensiones verticales



Desplazamientos verticales

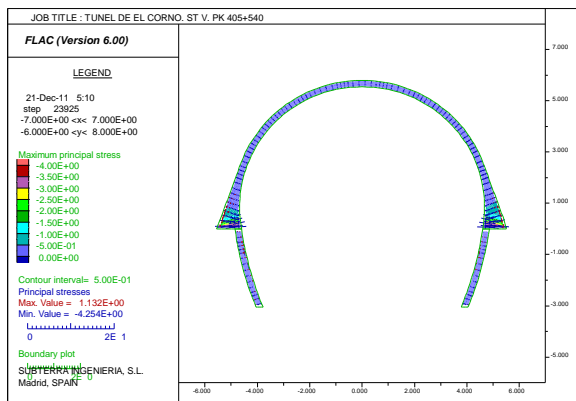


Deformaciones cortantes

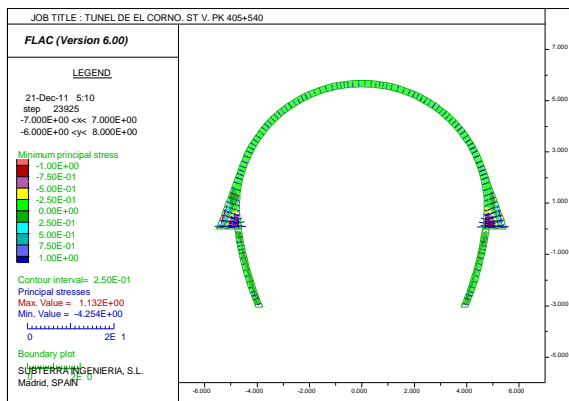


Elementos plastificados

Finalmente en las Figuras 10 y 11 se muestran las tensiones máximas de compresión y de tracción que se generan en el hormigón proyectado a consecuencia de las deformaciones y tensiones existentes en el terreno y que permiten conocer el factor de seguridad en todos y cada uno de los elementos del sostenimiento.



Tensión máxima de compresión en el hormigón



Tensión principal máxima de tracción en el hormigón

Sostenimientos propuestos

A continuación se definen las secciones tipo de sostenimiento previstas para la ejecución del Túnel de El Corno. En todos los casos el sostenimiento recomendado se compone de bulones, hormigón proyectado y cerchas. Estos elementos se adaptan perfectamente a la filosofía del NATM.

(1) Bulones de expansión. Carga de rotura 160 kN

(2) Los bulones y abarcones deberán quedar completamente cubiertos por la capa de hormigón

SECCIÓN TIPO	RANGO RMR	HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/30 (cm)		BULONES ⁽¹⁾ Malla (T)x(L) Longitud (m)	CERCHAS Tipo Espaciamiento (m)	LONGITUD MÁXIMA DE PASE (m)	TRATAMIENTOS ESPECIALES	CONTRABÓVEDA	FASES DE EXCAVACIÓN
		SELLADO	SOSTENIM.						
ST-I	>60	5	5 ⁽²⁾	2,0x2,0 L=4 m	NO	4,0	NO	NO	SECCIÓN COMPLETA
ST-II	50-60	5	10	1,5x1,5 L=4 m	NO	3,0	NO	NO	SECCIÓN COMPLETA
ST-III	40-50	5	15	1,5x1,5 L=4 m	NO	3,0	NO	NO	SECCIÓN COMPLETA
ST-IV	30-35	5	20 ⁽²⁾	1,5x1,0 L=4 m	TH-29 A 1,0 m	1,0	NO	NO	AVANCE Y DESTROZA
ST-IVbis	35-40		20 ⁽²⁾	1,5x1,5 L=4 m	TH-29 A 1,5 m	1,5	NO	SI	AVANCE Y DESTROZA
ST-V	<30 FALLAS	5	25	-	HEB-160 A 1,0 m	1,0 /2,0 (Avance/ Destroza)	Pata de elefante Para RMR < 20 paraguas de micropilotes	SI	AVANCE Y DESTROZA

Sostenimientos Túnel de El Corno

Refuerzo de las secciones de sostenimiento: tratamientos especiales

Los distintos tipos de tratamientos especiales que se contemplan son el machón central, paraguas de micropilotes, hormigón proyectado en el frente de excavación, cosido del frente con bulones, sondeos de drenaje en el frente y sondeos de reconocimiento en el frente.

3.3. ASPECTOS SINGULARES: CRUCES BAJO LÍNEA CONVENCIONAL

Los dos tubos del Túnel del Corono discurren a lo largo de sus 8,5 km bajo la línea de ferrocarril convencional, con la que tienen cruces y paralelismos que se resumen en el siguiente cuadro:

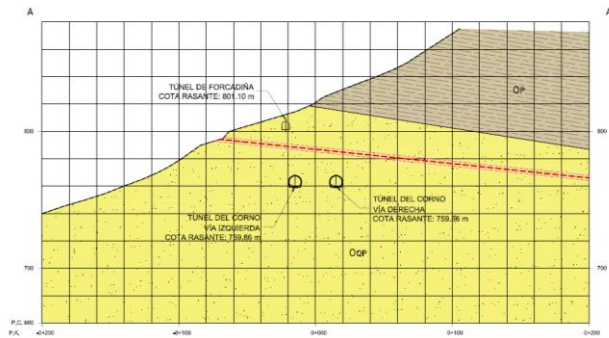
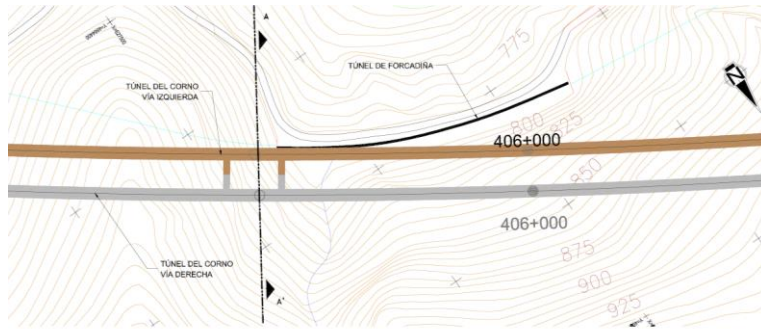
TUNEL LÍNEA CONVENCIONAL		TIPO DE AFECCIÓN	PP.KK. INTERSECCIÓN DE EJES		COTA CARRIL		RESGUARDO (ENTRE COTAS DE CARRIL) (m)	TUBO L.A.V.
NOMBRE	NUM		CONVENC.	LAV	CONVENC.	LAV		
MOLINO	61	CRUCE	183+767,38	401+002	846,949	782,954	63,99	V.D.
MOLINO	61	CRUCE	183+811,98	401+048	846,200	782,597	63,60	V.I.
FORCADIÑA	64	PARALEL	188+640	405+710 a 405+970	794,643	760,672 a 758,332	33,97	V.I.
			a		a		a	
			188+900		790,880		32,55	
SIERRA PEQUEÑA	66	CRUCE	190+175,53	407+225	783,086	747,043	36,04	V.D.
SIERRA PEQUEÑA	66	CRUCE	190+131,93	407+160	783,010	747,614	35,40	V.I.

Seguidamente se describe cada afección:

3.3.1. Cruce bajo Túnel de Forcadiña

El cruce bajo este túnel se produce en el pK 405+820 únicamente en la Vía Izquierda. De hecho, no se trata estrictamente de un cruce, sino de un trazado sensiblemente paralelo en ambos túneles, a lo largo de los últimos 40m del túnel de la vía convencional.

En la figura se muestra la situación en planta de ambos túneles.

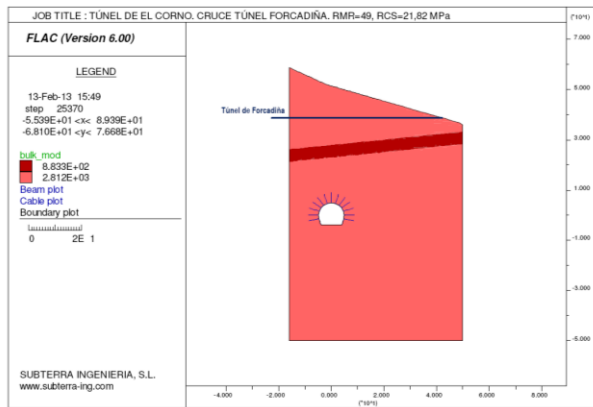


Tomando como referencia el punto más desfavorable, situado en el pK 405+800 del túnel en construcción, se determina que el recubrimiento máximo del túnel de O Corno es de 60m, el del túnel de Forcadiña es de 16m y el resguardo entre rasantes es de 41,4m.

Los materiales afectados por ambos túneles pertenecen a la Unidad Invernadeiro del Ordovícico. Se trata de una alternancia de cuarcitas y pizarras denominadas como Formación O_{QP} . Para la caracterización de esta zona se dispone del sondeo ST-11 de 41,3 m de profundidad. La orientación de la familia de juntas principal respecto al eje del túnel es desfavorable con un buzamiento oblicuo (45° - 65°).

La cota de túnel se encuentra muy cercana una zona de falla, por tanto se encuentran los grupos geotécnicos 1 y 3. Se trata de cuarcitas y pizarras con grado de meteorización II para la roca sana y II-III para la zona de falla. El RMR_c se encuentra entre 40 y 50, asignándole un valor medio de 49 para el grupo geotécnico 1 e inferior a 30 con un valor medio de 23 para el grupo geotécnico 3. La resistencia a compresión simple es de 21,82 MPa para la roca sana y de 9 MPa para la zona de falla. Los módulos de deformación del macizo oscilan desde los 2.500 MPa hasta los 400 MPa para roca sana y zona de falla respectivamente.

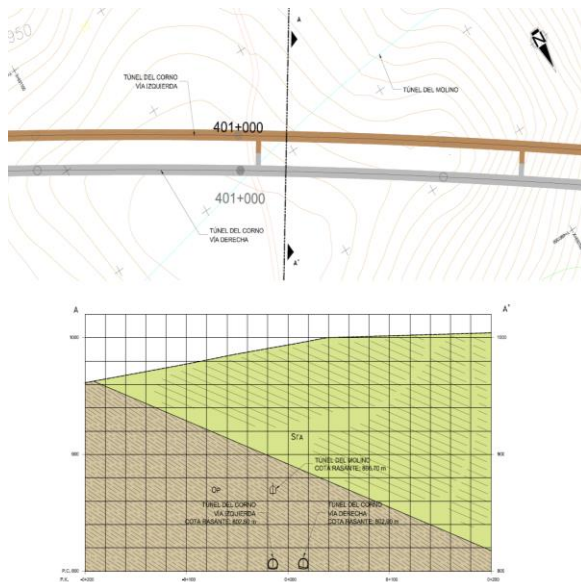
Cada punto singular ha sido objeto de modelación numérica similar a la descrita para dimensionar los sostenimientos y en este caso, sobre todo, para estimar la deformación inducida en el túnel existente. A modo de ejemplo en la figura se muestra el modelo de cálculo para este cruce.



Modelo de cálculo para el cruce bajo el túnel de Forcadiña

3.3.2. Cruce bajo Túnel de El Molino

El cruce bajo este túnel se produce en el pK 401+002 en la Vía Derecha y en el pK 401+048 en la Vía Izquierda. El Túnel de El Molino cruza en planta con un esviaje de unos 45°, tal y como se muestra en la figura.



Vista en planta del cruce del Túnel de El Corno con el Túnel de El Molino

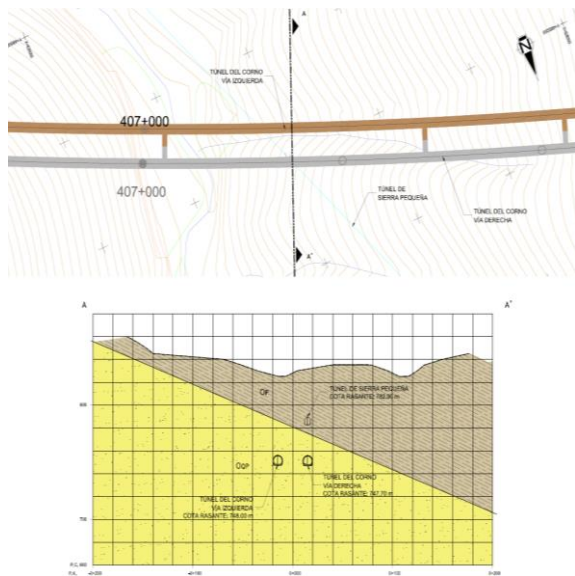
El máximo recubrimiento del Túnel de El Corno en la zona de cruce es de 194m en la Vía Derecha y de 193m en la Vía Izquierda, mientras que el del Molino es de 62.8m en el pK de cruce con vía derecha y de 56.5m en el pK de cruce con vía izquierda. El resguardo entre rasantes es de 70,4m en la Vía Derecha y de 64,1m en la Vía Izquierda.

Los materiales afectados por ambos túneles, en ambas vías, pertenecen a la Formación Luarca del Ordovícico. Se trata de pizarras grises a negras silíceas denominadas como Formación OP. Para la caracterización de esta zona se dispone del sondeo ST-5 de 220 m de profundidad. La orientación de la esquistosidad respecto al eje del túnel es desfavorable, la cual se presenta muy persistente y neta, con un buzamiento oblicuo a paralelo (20°-45°). Según el comportamiento que presentan estos materiales a cota de túnel, se ha denominado como Grupo Geotécnico 2, que según la caracterización geotécnica de proyecto se trata de pizarras y filitas sanas a moderadamente meteorizadas (GM II-III). El RMRc se encuentra entre 40 y 50,

asignándole un valor medio de 43. La resistencia a compresión simple es de $RCS = 20,94 \text{ MPa}$ y el módulo de deformación del macizo es de $E_m = 3.500 \text{ MPa}$.

3.3.3. Cruce bajo Túnel de Sierra Pequeña

El cruce bajo este túnel se produce en el PK 407+225 en la Vía Derecha y en el PK 407+160 en la Vía Izquierda. El Túnel de Sierra Pequeña cruza en planta con un esviaje de unos 45° , tal y como se muestra en la figura.



Situación en planta del Túnel de El Corno y el Túnel de Sierra Pequeña

El máximo recubrimiento del Túnel de El Corno en la zona de cruce es de 84m en la Vía Derecha y de 64,5m en la Vía Izquierda mientras que el de Sierra Pequeña es de 49.5m en el pK de cruce con vía derecha y de 27.4m en el pK de cruce con vía izquierda. El resguardo entre rasantes es de 35,2 m en la Vía Derecha y de 35,5 m en la Vía Izquierda.

Los materiales afectados por el Túnel de El Corno pertenecen a la Unidad Invernadeiro en ambas vías. Respecto al Túnel de Sierra Pequeña, en la Vía Derecha se desarrolla en el contacto entre las Pizarras de Luarca (OP) y la Unidad Invernadeiro (OQP), mientras que en la Vía Izquierda se desarrolla sobre las pizarras de Luarca. La orientación de la familia de juntas principal respecto al eje del túnel es desfavorable con un buzamiento oblicuo a perpendicular.

Se han identificado los grupos geotécnicos 1 y 2. Se trata de cuarcitas y pizarras con grado de meteorización II para la roca sana para el grupo 1, y de pizarras y filitas con grado de meteorización II para el grupo 2.

3.3.4. Planteamiento para el paso bajo túneles existentes

Desde el comienzo de la obra, estos puntos han sido considerados como singulares, por lo cual se ha realizado un estudio particularizado de las afecciones que se articula en dos aspectos:

- Estudio de la afección al los túneles convencionales.
- Propuesta de auscultación.

3.3.4.1. Estudio de la afección a los túneles convencionales

En primer lugar se realizó un estudio de sensibilidad de posibles subsidencias. Dada la naturaleza prevista para los materiales en los cruces, la generación de subsidencias relevantes al paso de la excavación se ha considerado una hipótesis poco probable, pero no por ello carente de necesidad de control. Con esta previsión y frente a la realización de un modelo único puramente determinista y muy complejo, se ha preferido conocer la sensibilidad a la variación de los parámetros geotécnicos más relevantes (fracturación y compresión simple de la roca matriz) e hipótesis de desconfinamiento, a partir de modelos de diferencias finitas simplificados.

Paralelamente se planteó necesario llevar a cabo un exhaustivo estudio del estado de los túneles actuales, poniendo especial atención en el revestimiento. De esta manera se ha tratado de determinar el tipo de materiales que constituyen el terreno natural de trasdós y el propio anillo, el espesor del revestimiento y la posible existencia de huecos.

Se realizó además un estudio de las vibraciones provocadas por las voladuras del túnel en construcción para determinar qué efectos producirían sobre el túnel actual. Esto se relaciona con los resultados que arrojaron los estudios del estado del túnel viejo, puesto que ello determinó el grado de protección que se concedió a esta estructura, y por ende, a las limitaciones que se impusieron a las voladuras para respetar el cumplimiento de esa protección establecida. Para la realización de este estudio se ha llevado a cabo el control de varias voladuras de producción reales, con objeto de determinar una ley que limite la carga operante de explosivo a detonar en función de la distancia.

El estudio ha tenido como líneas de actuación:

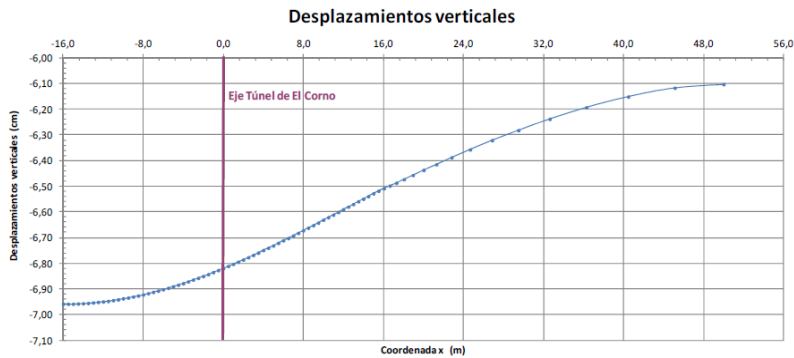
- Análisis de las subsidencias que la excavación de los tubos del Corno origina en los túneles existentes.
- Análisis de las vibraciones generadas por las voladuras y grado de protección de los túneles existentes.
- Análisis del estado de los túneles existentes cruzados

Estudio de sensibilidad de posibles subsidencias

El estudio realizado analiza situaciones de cálculo simplificadas con objeto de conocer la sensibilidad a parámetros inferiores a los esperados o considerados como más probables. Asimismo, se previó analizar el caso geotécnico más probable para una situación de subsidencia máxima, es decir, sin presión interna alguna en la fase de cálculo de desconfinamiento previa al sostenimiento.

Los resultados de desplazamientos obtenidos han sido de orden milimétrico en todos los casos considerados como más probables. Para los casos más desfavorables han sido igualmente moderados (próximos a los 8 mm).

Hay que indicar igualmente que el análisis efectuado presenta distorsiones del orden 1/2.000 en el caso más desfavorable, lo que tendría posiblemente más relación con posibles alabeos, de manera que mejora las conclusiones del análisis efectuado únicamente a partir de desplazamientos.



Cubeta de asientos en uno de los modelos efectuados

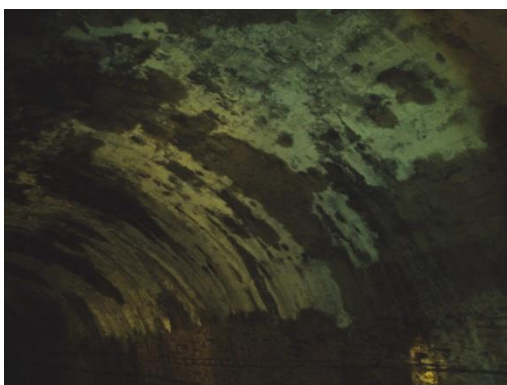
Como resultado de los modelos efectuados se confirma lo reducido de las subsidencias previsibles, aspecto que era de esperar, ratificando las posibles vibraciones inducidas por la excavación como el condicionante principal.

Como resultado del análisis efectuado se ha podido establecer igualmente un criterio para establecer los controles geométricos del túnel, relacionándolos con la extensión de la cubeta de asientos.

Estudio del estado de los túneles de la vía actual

Se llevó a cabo un reconocimiento preliminar de los túneles mediante recorrido en vagoneta y levantamiento preliminar mediante topografía clásica de perfiles representativos.

La sección en herradura presenta una bóveda de hormigón en masa encofrado apoyada sobre hastiales de mampostería de aproximadamente 3m de altura. El estado general de la bóveda presenta una apariencia razonablemente buena en esta primera inspección general, la calidad del hormigón, que, dada su antigüedad, presenta zonas de segregación, áridos bastante gruesos procedentes aparentemente de rocas de la zona (esquistos), intuyéndose igualmente en algunos puntos huecos de trasdós o “soplados” (algo esperable en este tipo de túneles).



Bóveda de hormigón del túnel de Sierra Pequeña



Segregaciones en el hormigón de bóveda. Túnel del Molino

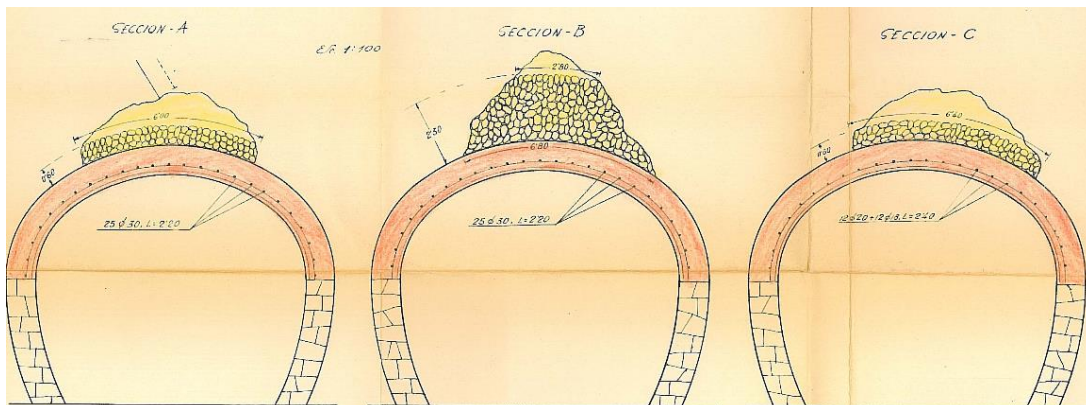


Hastiales de mampostería del túnel de Sierra Pequeña

La mampostería que constituye la fábrica de hastiales está formada, por rocas de la zona. Pese a tratarse de rocas a priori evolutivas, los mampuestos no presentan meteorización apreciable, no así el rejuntao, donde en algunos puntos se ha perdido posiblemente por efecto del agua.

Recopilación de información histórica referente a los túneles.

Se han utilizado los datos correspondientes a antiguas reparaciones en los túneles existentes que ha sido posible recopilar.



Tratamiento aplicado en uno de los túneles a atravesar

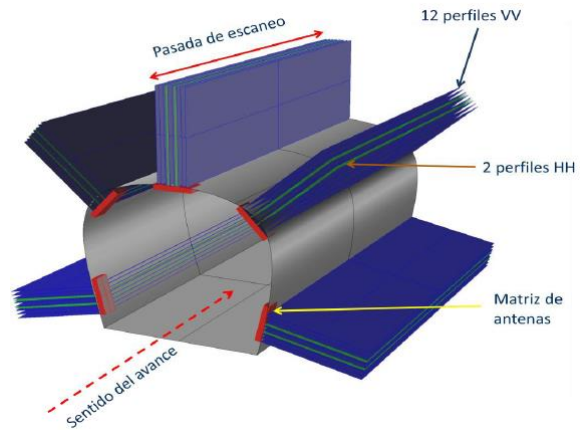
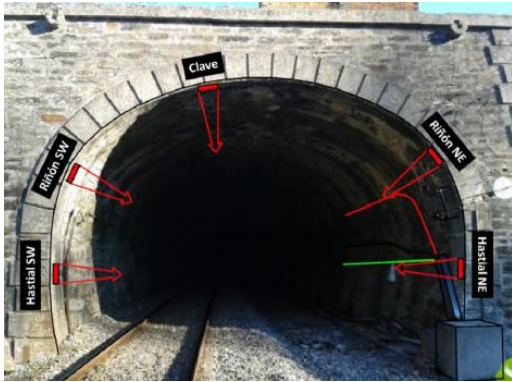
Estos datos, junto con los procedentes del resto de trabajos de investigación han permitido establecer de una manera suficientemente precisa el estado de los túneles existentes.

Investigación de espesores mediante georrdar y taladros de inspección

Esta técnica se ha empleado para conocer a lo largo de la zona de cruce zonas con variación en el espesor de revestimiento. Para que resulte efectiva la técnica es necesario considerar una solución de compromiso entre resolución, mediante frecuencias altas, o alcance, con frecuencias bajas.

Una antena de 600 MHz que permite una profundidad de entre 1,5-2 metros de profundidad y una resolución de 4 centímetros ha sido la seleccionada para el estudio.

Se han efectuado un total de 5 perfiles en cada túnel: 2 perfiles en sendos hastiales, 2 en hombros/riñones y 1 en clave. La longitud media investigada por túnel ha sido de 150m.



Posición de los perfiles de georradar realizados en uno de los túneles



Proceso de adquisición de datos en uno de los túneles

El resultado obtenido ha sido la identificación de la interfaz interpretada como trasdós de revestimiento junto con una serie de anomalías. Tanto estas últimas como aquellas zonas en las que se ha detectado reducción cualitativa de espesor a lo largo de los perfiles se han establecido como puntos a verificar mediante taladros e inspección con cámara boroscópica.

La campaña de taladros propuesta en cada uno de los túneles ha comprendido un total de entre 20 y 24 perforaciones en las cuales se ha detectado el espesor de revestimiento, auscultándose el interior del taladro y del trasdós mediante boroscopio.

Durante esa campaña se ha efectuado una inspección de mayor detalle a lo largo de la zona de cruce del estado del mismo.

Fruto de estas investigaciones se ha podido concluir que, en general, y como era esperable, el trasdós presenta numerosas zonas de hueco, relleno de ripio, etc., pero espesores de hormigón considerables, en el entorno de 35 a 40cm de promedio. El hormigón observado en los taladros de reconocimiento presenta unas características aceptables, si bien con las técnicas de puesta en obra de la época no ha podido evitarse que aparezcan, por ejemplo, coqueas por falta de vibrado.

Como conclusión de los estudios relacionados con el estado de los túneles se resume que:

- Los cruces se producen en zonas que no han sido objeto de reparaciones de relevancia.
- El espesor y calidad de anillo que se espera es suficiente como para prever que será poco sensible a las vibraciones, en general.
- El hecho de existir varios huecos de trasdós, algo esperable con los métodos de construcción de la época, hace posible la existencia de alguna zona de terreno natural trasdós que pueda desestabilizarse y golpear e revestimiento actual.
- Para limitar la probabilidad de que la circunstancia anterior se produzca se ha optado por mantener el criterio más estricto establecido en la UNE 22-381-93 de control de vibraciones provocadas por voladuras, calificándose la estructura como tipo III.

Estudio de vibraciones provocadas por las voladuras

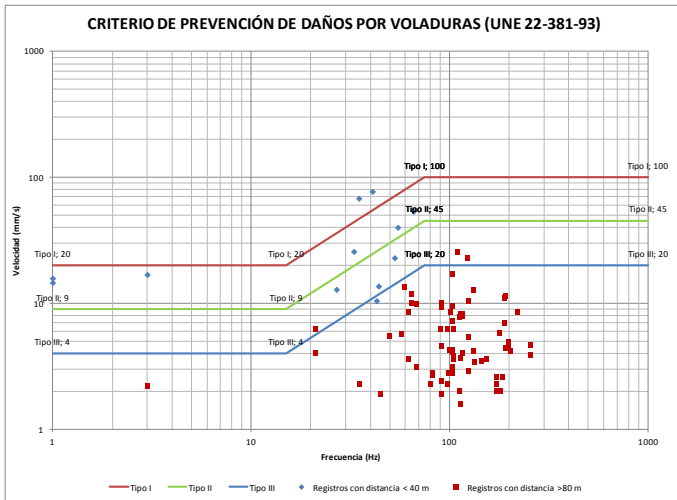
Para la realización del estudio de vibraciones se ha partido de los siguientes datos:

- Registro de la voladura (sismogramas y espectros de frecuencia) en 28 puntos correspondientes a 7 voladuras de producción distintas. En cada voladura se han tomado dos datos por sismógrafo, colocando 2 sismógrafos distintos.
- Cargas de voladuras de producción, habiéndose empleado dos cargas operantes distintas según el tubo en el que se haya volado. Estos datos se han obtenido de los planes de tiro y se corresponden con la carga máxima de explosivo detonada para un mismo número de detonador.

TUBO	SECCIÓN	PASE	CARGA INSTANTÁNEA MÁXIMA
Derecho	Avance	2 m	8,97 kg
Izquierdo	Completa	3 m	14,96 kg

La frecuencia principal de vibración en cada una de las medidas en las velocidades registradas se ha obtenido a partir de un análisis de Fourier de la onda (FFT), considerándose la frecuencia de pico (la que genera una mayor amplitud) como representativa en análisis posteriores.

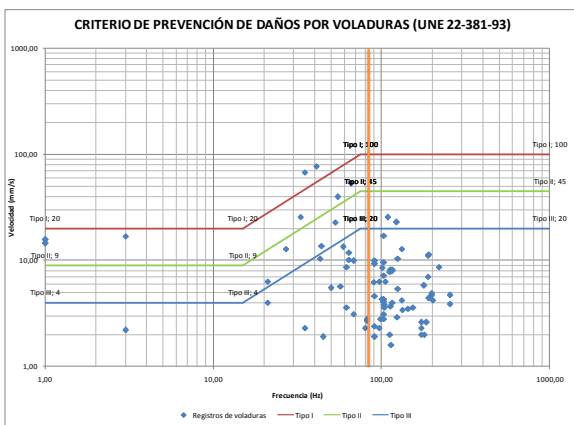
La representación de todos los datos obtenidos (frecuencia pico-velocidad pico) se ha recogido a continuación sobre el criterio de prevención propuesto por la norma UNE 22-381-93, en función de las distancias empleadas en las pruebas se han representado dos rangos de valores por debajo de 40 metros y por encima de 80 metros



Resultados obtenidos en las pruebas discriminados por distancias

De los resultados se observa que la práctica totalidad de los datos que sobrepasan el límite de vibración más restrictivo (tipo III) se corresponde con distancias inferiores a 40 metros, y con cargas de más de 14 kg de explosivo.

A partir de los datos anteriores, se ha establecido una frecuencia media representativa a efectos de definición de una velocidad límite para cada tipo de estructura de las norma, en orden a obtener la correspondiente ley carga distancia en cada tipo. La frecuencia elegida a partir de una media ponderada, ha sido de 85 Hz.

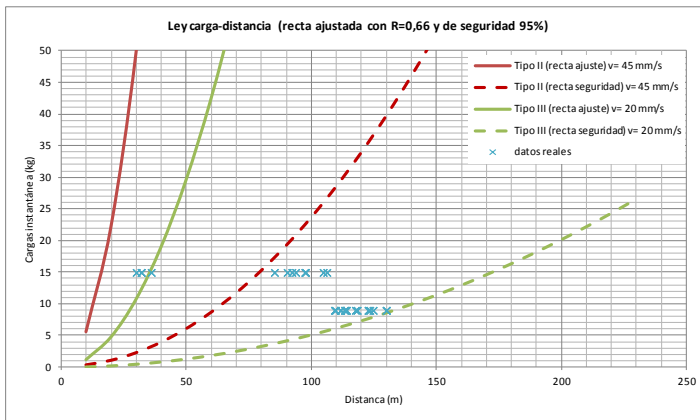


Frecuencia media escogida para el establecimiento del límite de velocidad admisible en cada tipo de estructura

La regresión obtenida por mínimos cuadrados a partir de los datos anteriores de velocidad, carga y distancia han establecido una ley cuadrática con un coeficiente de correlación de 0,66; aplicando posteriormente una recta de seguridad del 95% manteniendo la pendiente de aquella:

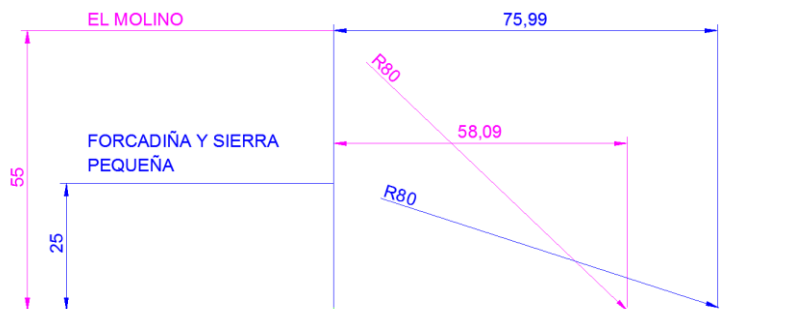
- Recta de ajuste (R=0,66): $V = 202 \cdot Q^{0,53} \cdot D^{-1,05}$
- Recta de seguridad (95%) (R=0,66): $V = 1.062 \cdot Q^{0,53} \cdot D^{-1,05}$

A partir de las leyes anteriores y las velocidades límite planteadas para 85 Hz de frecuencia se han obtenido leyes carga-distancia conservadoras que se han aplicado a la planificación de planes de tiro con la carga operante restringida y previendo que se tratará de una previsión conservadora a la vista de la comparación con datos reales.



Leyes carga-distancia en función del tipo de estructura y del tipo de regresión efectuada

Igualmente a partir de los datos obtenidos se ha establecido la distancia mínima a que deberá comenzarse con el control de vibraciones, siempre inferior a la previsión de 100 metros establecida de forma preliminar, y que se ha mantenido como para permitir observar la evolución de las medidas con suficiente anterioridad al cruce.



Esquema para establecer las distancias mínimas para empezar a controlar vibraciones en cada cruce

Fruto del estudio de vibraciones, se han establecido igualmente una serie de previsiones en orden a contar con mecanismos automáticos de actuación en caso de obtener registros por encima del umbral establecido como máximo para la vibración. Estas actuaciones tiene por objeto final contar con situaciones intermedias de reducción de carga operante partiendo de los rangos normales cuando no existen restricciones:

- Paso a sección de avance.
- Reducción del pase de excavación.
- Modificación del plan de tiro secuenciando la voladura, empleando toda la serie de retardos y micro-retardos disponibles.
- Modificación del sistema de excavación, como solución extrema.

3.3.4.2. Propuesta de auscultación

A partir de los estudios efectuados se han establecido una serie de medidas de auscultación cuyo objetivo es:

- Verificar el estado del túnel antes y después de cada pega.
- Medir la vibración inducida a nivel de túnel actual por la excavación del nuevo.
- Comprobar que no se producen cambios en la geometría del túnel.
- Comprobar que no se producen cambios en la geometría de la vía, especialmente alabeos.

Además de estos objetivos, las limitaciones de acceso en vía por parte de personal no habilitado (piloto de seguridad, encargado de trabajos, etc) ha hecho que se considere oportuno el establecer un sistema automatizado dentro del túnel. De esta forma se limita al mínimo imprescindible la presencia de personal dentro del túnel, lo que puede considerarse, además de una herramienta muy potente de seguimiento en tiempo real, una medida de seguridad adicional y muy importante frente a posibles accidentes en vía.

El seguimiento incorpora los siguientes elementos:

a) Sistema topográfico automatizado constituido por los siguientes elementos:

- Prismas para el control de desplazamientos absolutos: distribuidos en secciones con 5 prismas cada una de ellas (uno en clave, dos en hombros y dos en traviesa), separadas 5 m, y 5 prismas de referencia para la orientación y posicionamiento de la estación total.



- Estación total TCA2003 o TM30 de Leica, para lectura automatizada de los prismas, situada en el centro del tramo a controlar.
- Sensor Meteorológico para corrección de medición de distancias.

b) Sistema de cámaras de TV.

Esto permite la visualización de la vía sin necesidad de entrar físicamente a comprobarla. Se han instalado un total de 6 cámaras, de forma que se permite la visualización de la vía sin necesidad de entrar físicamente a comprobarla. Las cámaras graban imagen a petición del

usuario, pero sistemáticamente se recogen imágenes tras cada voladura y antes del paso de cada tren.

c) Sistema control .de vibraciones mediante sismógrafos

Se ha previsto un control de vibraciones continuo cuando la velocidad de onda registrada supera los 3 mm/s. Mediante este sistema se monitoriza en cada voladura la vibración que llega al terreno en el que se sitúa el túnel. Para ello se han instalado en los túneles existentes dos sismógrafos con dos sensores cada uno, que, de forma automática, reportan los datos al servidor en tiempo real cada vez que se produce un registro.

3.4. CONSTRUCCIÓN

3.4.1. PREPARACIÓN DE CAMINOS

Dada la inexistencia de accesos a los emboquilles del túnel ha sido necesario realizar caminos propios definitivos desde la única vía de acceso próxima, la Pista del Marroquí. No obstante, dada su insuficiente anchura, su precario trazado y la inexistencia de firme adecuado ha sido necesario realizar la mejora del mismo como paso previo a realizar los caminos que, con origen en esta pista, den acceso a los emboquilles.

La realización de los caminos ha tenido una duración de seis meses durante los cuales se ha compatibilizado la excavación del emboquille (al que se ha accedido por caminos provisionales). Se han ejecutado en total 5,5 km de camino para acceso al emboquille Oeste y 3 km para acceso al emboquille Este.

3.4.2. EMBOQUILLES

Emboquille Este

El emboquille Este del Túnel de O Corno se excava en filitas sanas de baja resistencia, con intercalaciones de liditas sanas de alta resistencia del Grupo Nogueira. El volumen excavado en el emboquille es de 20.000 m³ de material que ha sido excavado mediante voladuras.

En las estaciones geomecánicas y puntos de lectura en la zona se han definido las esquistosidades subparalelas al trazado. Los perfiles sísmicos PS-1 y PS-2 revelan roca muy sana en el emboquille con velocidades $V_p > 2200$ m/s.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, se ha emboquillado con una altura de montera de 10 m sobre clave., adoptando un talud frontal de 1(H):3(V). Se ha resuelto el sostenimiento con bulones de barra de acero corrugado de 25 mm de diámetro y 12 m de longitud inyectados con lechada de cemento en malla de 2 x 2 m y una capa de hormigón proyectado HMP-35 de 10 cm de espesor sobre mallazo electrosoldado 150x150x6 mm, y drenes californianos.

En el emboquille se ha realizado un paraguas formado por 33 micropilotes de 15 m de longitud, autoperforantes de 88,9 mm de diámetro y 7,1 mm de espesor, posteriormente inyectados.

Las cabezas de los micropilotes se han embebido en una viga de atado realizada con hormigón encofrado y vibrado.

Se ha completado con una visera de 5 m de longitud, materializada mediante cercha HEB-160 dispuestas a metro, chapa Bernold y gunita.

Emboquille oeste

Se ha excavado en los materiales de la Unidad Invernadeiro formados por metareniscas, cuarcitas y filitas. La altura del talud frontal prácticamente alcanza los 60 m, siendo el volumen total de excavación de 80.000 m³ que han sido extraídos mediante voladura.

Iniciada la excavación se ha podido comprobar en el talud frontal que la esquistosidad y la estratificación buza hacia el interior del macizo rocoso.

Si bien se ha corroborado la estabilidad del talud de emboquille, la existencia de brechificación generalizada da bloques centimétricos, lo obliga a adoptar medidas paliativas. Como sostenimiento se ha sustituido la capa de gunita proyectada dispuesta en proyecto por la cobertura del talud mediante malla de triple torsión, red de cables de acero, y bulones. Con ello se elimina el riesgo de caída de bloques y se mejora el impacto visual del emboquille.

Siguiendo criterios de proyecto, los 20 m superiores del talud frontal en se excavaron con pendiente 1H:1V, y a partir de ahí se dejó una berma de 3 m de anchura para hacer una transición al talud 1H:3V con el que se excavaría hasta la cota de los túneles.

La formación del paraguas y la visera es idéntica a la del emboquille Este.

3.4.3. INSTALACIONES

Las instalaciones auxiliares necesarias para la ejecución de los túneles son: suministro y distribución de energía eléctrica, ventilación, depósitos de gasóleo, depósitos de aditivos, redes de agua: grupo de presión y evacuación, estación depuradora de efluentes líquidos, polvorín y otras (Vestuarios, aseos y oficinas del personal, talleres mecánico y eléctrico con sus correspondientes almacenes y almacén de materiales).

Los robots de gunitado utilizados llevan compresor incorporado, por lo que no es necesaria la instalación de una red de aire comprimido.

Suministro y distribución de energía eléctrica

Tras analizar la necesidad de potencia total necesaria en la obra, teniendo en cuenta las potencias de cada punto de consumo y la disponibilidad (simultaneidad) de los mismos, se decidió instalar tres grupos electrógenos de 800 KVA cada uno para cada túnel.

La iluminación de tránsito en el está constituida por pantallas estancas provistas de dos fluorescentes de 58 w cada una. La secuencia es una pantalla cada 15 m de túnel. Una de cada tres pantallas está provista de una batería que le confiere autonomía para casos de emergencia ante interrupción del suministro eléctrico.

Ventilación del túnel

La ventilación de los túneles se ha diseñado atendiendo a los siguientes aspectos: longitud máxima a ventilar (5.000 m), previsión de potencia de maquinaria diesel simultánea en el interior del túnel, número de personas trabajando simultáneamente en el interior del túnel, velocidades de aire máxima y mínima y tiempo necesario para diluir los gases de la voladura.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha dispuesto para cada una de las bocas del túnel un ventilador soplante, cuyo caudal en el ventilador es de 60,97 m³/s, y presión total: 2.842,23 Pa

El ventilador aporta el caudal de aire que se traslada al frente mediante un “manguerón” de ventilación, compuesto por tubería autoextinguible flexible soplante lisa tipo P de 2400 mm de diámetro.

Redes de agua: grupo de presión y evacuación

El agua es necesaria en la obra para la limpieza de equipos, aseo del personal, inyecciones con lechada o mortero, y para refrigeración del varillaje de perforación, siendo esta última actividad la que requiere un mayor caudal, ya que los jumbos con los martillos empleados requieren un caudal de unos 60 litros/min de agua por cada brazo que esté perforando.

Estación depuradora de efluentes líquidos

Los efluentes líquidos generados en la obra llevan un contenido de sólidos en suspensión y en ocasiones un pH inadmisibles desde el punto de vista de los estándares admitidos para su emisión a cauce público, por lo que se deben tratar de tal forma que las concentraciones y pH sean las adecuadas para no generar ningún impacto medioambiental.

La E.D.A.R. propiamente dicha consiste en un tratamiento físico-químico al objeto de conseguir una adecuada reducción de la carga contaminante y obtener los parámetros especificados en el R.D.P.H.

Polvorín

En cada emboquille se ha instalado un polvorín con capacidad para almacenar 3.500 Kg de explosivo

3.4.4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo es el NATM mediante voladuras y excavación mecánica para terrenos de mala calidad.

- **Ciclo de trabajo.**

Cada ciclo de trabajo constará de las siguientes operaciones:

Perforación de barrenos - carga y disparo de la voladura - ventilación y saneo, - desescombro - colocación del sostenimiento.

- **Sistemas de excavación.**

Dada la calidad del material la mayor parte del túnel será excavado mediante voladura, no obstante en terrenos de peor calidad, con índices RMR por debajo de 40 se empleará la excavación mecánica.

Se plantea excavación a sección completa para terrenos cuyo índice RMR sea igual o superior a 40, y a sección partida con fases de avance y destroza para RMR inferiores.

La sección completa tiene una superficie de 71 m². La altura máxima excavación 9,07 y la anchura 9,33 m. La altura libre para la fase de avance se ha fijado en 6,50 m.

En zonas que presente un RMR inferior a 50, se ejecutará una contrabóveda.

Excavación mecánica.

Se aplica a la excavación mecánica en las litologías más blandas o alteradas (RMR<40) y en los terrenos tipo suelo. En cada uno de los cuatro frentes de excavación existe un equipo de trabajo independiente cuya composición es:

Equipo de perforación: 1 jumbo de tres brazos de navegación automática.

Equipo de saneo y desescombro: 1 retroexcavadora sobre cadenas con martillo hidráulico para saneo y excavación de terrenos malos y 1 pala cargadora sobre neumáticos. Dúmpers articulados de tres ejes y 25 t de carga (tamaño limitado por la sección del túnel).

Equipos de gunitado: 1 robot con grupo de presión.

- **Equipos de perforación**

Los equipos de perforación se diseñaron acomodándolos a las dimensiones de las secciones de excavación y considerando la posibilidad de realizar en sección completa gran parte de la longitud del túnel.

El tubo de vía izquierda incorpora en el equipo de perforación dos jumbos de tres brazos marca Sandvik modelos DT1130 y DT1130i. Este último se trata de un jumbo robotizado de altas prestaciones, siendo la primera unidad en servicio en España.

El tubo de vía izquierda incorpora en el equipo de perforación dos jumbos de tres brazos marca AXERA T11S-315

En ambos modelos se introducen los datos del plan de tiro mediante software para el posicionamiento y replanteo del plan de perforación de forma automática.



- **Equipos de gunitado**

El gunitado se realiza con equipos Putzmeister con caudal de bombeo de hasta 30 m³/h que equipos disponen de compresor, lo que evita realizar una línea de aire comprimido a lo largo de la longitud del túnel.

- **Equipos de elevación**

Para los trabajos a desarrollar en altura se dispone de plataformas MANITU giratorias y telescópicas de 11.5 m de pluma.

- **Equipos de saneo y desescombro**

En las labores de saneo de la voladura se está trabajando con una retroexcavadora en cada frente de ataque de 24 t de peso montadas sobre cadenas y dotadas con martillo hidráulico de 2.200 kg de peso.

El desescombro se acomete con cargadoras, una para cada tubo y el transporte se realiza mediante dumpers articulados tipo "lagartos" Volvo A 25.

El desescombro se realiza en dos fases para optimizar los tiempos de ciclo del túnel. En una primera fase el material se acopia a pie de emboquille por el equipo de dumpers, en la segunda fase camiones viales de tres ejes, tipo bañera, trasladan este acopio a los respectivos vertederos, a distancias que oscilan entre 3 y 5 km.

Existe en la obra un equipo de sustitución en caso de avería formado por una retroexcavadora, una cargadora y un dumper de las mismas características a los que están en funcionamiento de continuo en la obra.



Excavación mediante perforación y voladuras.

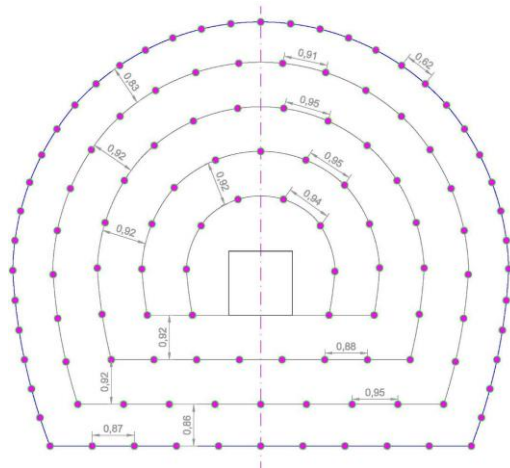
Se empleará en las rocas más duras y abrasivas, con calidades geotécnicas buenas y medias (RMR>40).

En los tramos de túnel en los que el valor del R.M.R. implique que el macizo rocoso es de calidad media a buena, con índice igual o superior a 40, se aplicará el arranque mediante perforación y voladura siempre que las condiciones de lo permitan.

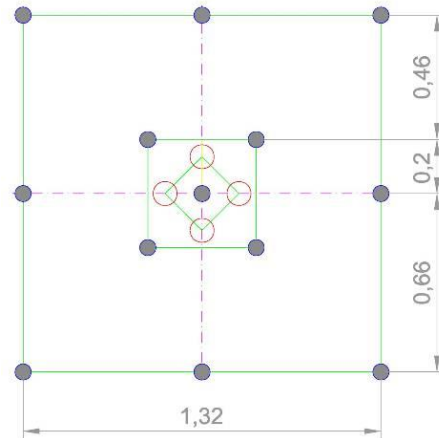
Las mayores voladuras proyectadas se darán en terrenos cuyo RMR sea 60 ó superior, ST I. En este caso se excavará a sección completa 71 m² con longitud de pase de 4 m.

Se emplean dos tipos de explosivo: gelatinosos (GOMA 2) para las voladuras de recorte y para las zonas que presenten agua, (normalmente zapateras y contrazapateras), y NAGOLITA para el resto de barrenos. El número de barrenos para la sección ST I varía entre 105 y 112 de 51 mm de diámetro y la carga de explosivo máxima está entre 555 y 595 kg.

La carga operante empleada es de 46 kg y se utiliza un iniciador no eléctrico tipo Primadet.



Esquema de tiro: sección completa



Esquema del cuele

- **Equipos humanos**

Turnos

El túnel del Corno es el más largo de la línea en construcción. Para asegurar el cumplimiento de los plazos se ha instaurado desde el inicio de los trabajos la jornada de 24 horas durante los 7 días de la semana.

Se han establecido relevos de 8 horas, para lo cual son necesarios 4 relevos completos (mañana, tarde, noche y descanso). Se adopta así el sistema alemán de relevos en turnos de 8 horas, con distribución 5L+1D+5L+1D+5L+3D de días Laborables y Descansos.

Dimensionamiento

Cada túnel se ataca desde sus bocas extremas simultáneamente, en tanto no se realice la galería de ataque intermedio. El equipo o relevo para trabajar simultáneamente en las dos bocas de cada túnel estaría conformado por 2 barrenistas, 2 gunitadores, 1 eléctrico, 1 mecánico, 3 artilleros y un capataz.

- **Rendimientos y tiempos de ciclo**

Entendiendo por ciclo la realización de un pase desde su inicio hasta su finalización, podemos decir que los tiempos actuales están en torno a la 8 horas – 8,5 horas en cada frente si no hubiera incidencias destacables. En las tablas adjuntas se indican los tiempos de ciclo de los sostenimientos tipo I y IV.

	Tiempo de ciclo (horas) Sección ST I
Perforación de la pega	1,25
Carga explosivo y voladura	1,25
Ventilación	0,50
Desescombro y saneo	3,25
Gunitado	1,25
Bulonado	1,00
TOTAL CICLO	8,50

	Tiempo de ciclo (horas) Sección ST IV
Excavación mecánica	1,25
Desescombro y saneo	2,00
Sellado y colocación de cercha	1,25
Gunitado	2,00
Bulonado	1,50
TOTAL CICLO	8,00

3.4.5. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS: INCIDENCIAS

Se describen a continuación los factores geológico-geotécnicos que están condicionando tanto el resultado final de la excavación como los rendimientos que se están obteniendo en la fase de construcción en la que se encuentra en estos momentos el túnel de El Corno.

Dentro de estos factores cabría distinguir en primer lugar aquellos que se repiten de forma sistemática en cada pase de excavación. En nuestro caso están relacionados exclusivamente con la propia naturaleza y características del terreno que se excava, y más concretamente con la disposición de los estratos que conforman el macizo. Cabría encuadrar aquí también la presencia de agua en el terreno.

Por otro lado están los factores que se presentan de forma puntual pero que alteran las propiedades de la roca modificando su calidad y comportamiento estable. Aquí habría que incluir la presencia de fallas e intrusiones ígneas.

Factores que se repiten de forma sistemática

Pese a que en estos momentos la geología de la boca Este y de la Oeste es diferente, la problemática que se genera es similar en ambos casos. Debido a la orientación que presenta la estratificación en cada boca, de forma continuada se generan roturas planares en bóveda que o bien se traducen en un techo plano desarrollado de un hombro a otro como ocurre en las cuarcitas y cuarzofilitas del lado Oeste o bien dan lugar a la formación de un plano inclinado que abarca desde la clave hasta el hombro derecho tal y como ocurre en las filitas en la boca Este.

Sea como fuere se viene produciendo de forma repetitiva la pérdida de la geometría curva en la sección resultante de la excavación y esta variación del contorno excavado, que afecta principalmente a los techos, genera una situación indeseada de rotura incontrolada del terreno con la consiguiente sobreexcavación.

Por otra parte, la presencia de agua en el macizo está resultando difícil de prever y la registrada en los metros excavados está teniendo consecuencias diferentes según se presente repartida por tramos de túnel o localizada en zonas de circulación restringida debido a la propia naturaleza del terreno.

Los aportes están resultando elevados y son varios los puntos en los que la presencia de caudales de relevancia ha desencadenado vaciados y arrastres súbitos de terreno debido a la alteración que produce el agua en los materiales.

Factores puntuales

En el lado Oeste se está poniendo de manifiesto la existencia de fracturas tipo fallas, propias de los esfuerzos y deformaciones tectónicas a las que ha estado sometido el terreno durante su historia geológica. También se han atravesado intrusiones de diques y cuerpos ígneos de naturaleza muy diferente a la que forman los materiales sedimentarios de la zona.

Respecto de las fallas, hacemos referencia a ellas porque su presencia en el túnel ha dado lugar a situaciones de gran inestabilidad con importantes sobreexcavaciones debido a la baja calidad geotécnica del terreno. Ha llamado la atención su continuidad, de tal manera que debido a su orientación cada una de las que ha aparecido ha cruzado los dos tubos, afectando en cada uno de ellos a un tramo de cierta longitud.

Respecto de los diques y cuerpos intrusivos, los atravesados hasta el momento son del tipo diabasa y como ocurre con las fallas no se tenía constancia de su existencia. La composición y comportamiento de este tipo de roca ha supuesto una anomalía en el comportamiento del terreno con cambios bruscos en la calidad del mismo. Todos los diques atravesados hasta la fecha han desencadenado situaciones de inestabilidad generando sobreexcavaciones y campanas de cierta entidad.



Techo inclinado en Boca Este. Se genera por despegue de estratificación



Techo inclinado en Boca Este. Despegue de lisos a favor de la estratificación



Rotura a favor de estratificación en Boca Este.



Cuña en Boca Este por la intersección de una junta de diaclasado, paralela al eje, con los estratos de filita.



Despegue en boca Oeste. La disposición casi horizontal de la estratificación, genera la formación sistemática de techos planos.



Importante caudal de agua localizado en un punto.



Vaciado de terreno muy localizado debido al efecto arrastre de agua. Además del importante cono de escombros a pie de frente obsérvese todo el material arrastrado.



Falla y zona de repliegues en roca de muy baja calidad geotécnica, en contacto con cuarzofilitas resistentes y sanas.



Diabasa que genera en el contacto una zona de debilidad por meteorización diferencial