



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**PROYECTO DE CIRCUNVALACIÓN
DE ENCISO (LA RIOJA). VARIANTE
DE LA CARRETERA LR 115 ENTRE
LOS P.P.K.K. 1 + 400 Y 3 + 100**

Alumno: Manuel Lorite Ávalos

Tutor: Prof D. Julián Ángel Martínez López

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

septiembre, 2017

DOCUMENTO 1: MEMORIA Y ANEJOS

ÍNDICE

1 MEMORIA

1 Antecedentes y objeto

- 1.1 Antecedentes del Proyecto*
- 1.2 Definición del problema*

2 Geología

- 2.1 Clasificaciones geomecánicas y método constructivo*
- 2.2 Cálculo del sostenimiento*
 - 2.2.1 Emboquillado*
 - 2.2.2 Túnel*

3 Legislación aplicable

- 3.1 Generalidades*
- 3.2 Legislación en materia de carreteras*
- 3.3 Legislación en materia de explosivos*
- 3.4 Legislación en materia de Prevención de Riesgos laborales, relacionada con explosivos*
- 3.5 Legislación en materia de Prevención de Riesgos Laborales en general*
- 3.6 Legislación medioambiental*

4 Maquinaria

- 4.1 Maquinaria de perforación*
- 4.2 Maquinaria de carga y transporte*
- 4.3 Energía*
- 4.4 Otra maquinaria*
- 4.5 Maquinaria de movimiento de tierras*
- 4.6 Maquinaria de extendido de firmes*
- 4.7 Plantas*

5 Ventilación

6 Drenaje del túnel en construcción

7 Proceso constructivo

8 Programa de trabajos

8.1 Perforación

8.2 Carga

8.3 Saneamiento

8.4 Bulonado

8.5 Proyección de hormigón

8.6 Hormigón de revestimiento

8.7 Carretera

8.8 Señalización e instalaciones

8.9 Aglomerado del túnel

8.10 Instalaciones

9 Ventilación definitiva

10 Planificación de trabajos

11 Bibliografía

12 Anejos

12.1 Anejo de cálculo nº 1: Cálculo de una voladura tipo

12.2 Anejo de cálculo nº 2: Ventilación durante la ejecución del túnel

12.4 Anejo de cálculo nº 3: Ventilación definitiva

12.4 Anejo de cálculo nº 4: Drenaje superficial

2 PLANOS

Plano 1/22: Mapa de La Rioja, con la situación de Enciso

Plano 2/22: Corte de la hoja número 280 (Enciso), del Mapa Geográfico Nacional, a escala 1:50.000

Plano 3/22: Fotografía, del programa Google Maps, con la situación georeferenciada del túnel

Plano 4/22: Perfil longitudinal del túnel

Plano 5/22: Corte de la hoja número 280 (Enciso), del MAGNA, a escala 1:50.000

Plano 6/22: Leyenda de la hoja número 280 (Enciso), del MAGNA, a escala 1:50.000

Plano 7/22: Plano del emboquillado en el P.K. 1+000. Sostenimiento y armado

Plano 8/22: Planta tipo del túnel de Enciso, entre los P.P.K.K. 0+000 y 0+038

Plano 9/22: Planta del túnel, entre los P.P.K.K. 0+476 y 0+525, con el ensanche en el P.K. 0+500

Plano 10/22: Detalles: Nichos de seguridad y galería de evacuación, con capacidad para camiones ligeros

Plano 11/22: Plano del sistema de decantación, recogida de efluentes y reciclaje del agua del túnel.

Plano 12/22: Plano de la ventilación del túnel durante su ejecución

Plano 13/22: Sección tipo del túnel. Medidas principales

Plano 14/22: Sección tipo del túnel en el P.K. 0+100

Plano 15/22: Sección del túnel a la entrada y salida. P.P.K.K. 0+000 y 1+000

Plano 16/22: Sección del túnel, en el ensanche, P.K. 0+500

Plano 17/22: Plano del perfil de la carretera, de nueva ejecución entre los P.P.K.K. 0+000 y 0+020

Plano 18/22: Plano de la obra de drenaje transversal del P.K. 0+020 (Arroyo Valderrés)

Plano 19/22: Plano de carga en los barrenos

Plano 20/21: Plano del cuele

Plano 21/22: Plano del contracuele

Plano 22/22: Plano de una voladura tipo

3 PLIEGO DE CONDICIONES

3.1 Unidad: Perforación y voladura del túnel

3.2 Unidad: Sostenimiento del túnel

3.3 Unidad: Emboquillado del túnel

3.4 Unidad: Revestimiento del túnel

3.5 Unidad: Aglomerado del túnel y ejecución de accesos al mismo

3.6 Unidad: Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones

4 PRESUPUESTO

INDICE DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y TABLAS

INDICE DE FIGURAS

1 MEMORIA

- 1.1 *Plano de situación de Enciso, dentro de la C.A. de la Rioja*
- 1.2 *Fotografía aérea de Enciso*
- 1.3 *Sección de la calzada del túnel*
- 1.4 *Fotografía aérea mostrando el trazado del túnel de Enciso*
- 2.1 *Fotografía mostrando el corte geológico de la carretera LR 115, a la altura de la entrada Oeste del túnel*
- 2.2 *Fotografía de un túnel a la entrada de Arnedillo*
- 2.3 *Hoja 280 (Enciso) del MAGNA a escala 1/50.000*
 - 2.1.1 *Ábaco de Gehring para determinar el método de excavación del túnel*
 - 2.2.1 *Fotografía aérea de la comarca adyacente al túnel*
 - 2.2.2 *Ábaco de Barton para el cálculo del sostenimiento del túnel*
 - 2.2.3 *Mapa de peligrosidad sísmica en España*
 - 2.2.4 *Mapa de riesgo sísmico y volcánico en España*
- 4.1.1 *Carro perforador Atlas Copco Boomer XE 3c*
- 4.1.2 *Área cubierta por el carro perforador elegido*
- 4.2.1 *Pala cargadora LHD Caterpillar R 900G*
- 7.1 *Esquema de micropilotado en el emboquillado del túnel*
 - 8.4.1 *Perno de expansión Atlas Copco ‘‘Swelllex’’*
 - 8.4.2 *Secciones del bulón de expansión ‘‘Swelllex’’, antes y después de su presionización*
 - 8.4.3 *Croquis de la sección de un geodrén colocado*
- 8.6.1 *Carro encofrador remolcado*
- 8.7.1 *Mapa de zonas térmicas estivales*
- 8.7.2 *Mapa de precipitaciones medias anuales*

ANEJO DE CÁLCULO N° 1

- 1 *Esquema de un taladro para zapatera, destroza o cuele*

- 2 *Esquema de un taladro para contorno*
- 3 *Secuencia de disparo del cuele y contracuele*
- 4 *Secuencia de disparo de zapateras, destroza y contorno*
- 5 *Esquema de conexiones entre barrenos*
- 6 *Esquema de conexiones entre detonadores electrónicos*
- 7 *Zonas de influencia de cada tipo de barrenos*
- 8 *Secuencia de la voladura*
- 9 *Esquema del cuele cilíndrico*
- 10 *Tubos ‘‘Omega’’*

ANEJO DE CÁLCULO N° 2

- 1 *Esquema de la ventilación del túnel durante su ejecución*

ANEJO DE CÁLCULO N° 3

- 1 *Diferentes esquemas de ventilación en túneles*
- 2 *Colocación de los ventiladores en la clave del túnel*
- 3 *Esquema del ventilador elegido para nuestro túnel*
- 4 *Esquemas de los álabes de los ventiladores*
- 5 *Dimensiones y características de los ventiladores elegidos*

ANEJO DE CÁLCULO N° 4

- 1 *Nomograma para el cálculo de H_e / D*
- 2 *Curvas de cálculo de la altura crítica en tubos de diferentes diámetros*
- 3 *Nomograma para el cálculo de H*
- 4 *Sección en carga de la tubería*

INDICE DE TABLAS

1 MEMORIA

- 2.1.1 *Caracterización geomecánica de los materiales del túnel*
- 2.1.2 *Ábaco para la clasificación geomecánica de Bieniawski*
- 2.1.3 *Clasificación geomecánica de Romana*
- 2.1.4 *Determinación del método de excavación de un túnel*
- 2.1.5 *Índice de Cerchar de abrasividad de las rocas más comunes*

- 2.2.1 Cálculo del índice “ Q ” de Barton en caso de sismicidad
- 2.2.2 Cálculo del sostenimiento del túnel en función del índice “ Q ”
- 8.7.1 Deflexiones en el segundo módulo del ensayo de carga con placa
- 8.7.2 Paquetes de firmes en función de la explanada subyacente
- 10.1 Tiempos de ejecución de los trabajos

ANEJO DE CÁLCULO N° 1

- 1 Resumen del explosivo utilizado en cada pega

ANEJO DE CÁLCULO N° 2

- 1 Valores de Θ para diferentes tipos de tubería
- 2 Coeficiente de pérdida de carga para las paredes de un túnel
- 3 Coeficiente de pérdida de carga en función de las rugosidades del suelo del túnel “ i ” en centímetros
- 4 Coeficiente de pérdida de carga en tuberías

ANEJO DE CÁLCULO N° 3

- 1 Longitudes de aplicación de los sistemas de ventilación
- 2 Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar
- 3 Factor de corrección por conducción en pendiente
- 4 Factor de corrección por conducción a velocidad reducida
- 5 Factor de corrección por conducción en pendiente
- 6 Factor de corrección por velocidad de conducción a velocidad distinta de la de diseño
- 7 Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar
- 8 Coeficiente de pérdida de carga para las paredes de un túnel
- 9 Coeficiente de pérdida de carga en función de las rugosidades del suelo del túnel “ i ” en centímetros
- 10 Factor de corrección por tipo de singularidad aerodinámica

ANEJO DE CÁLCULO N° 4

- 1 Cuantiles Y_t de la ley SQRT máxima
- 2 Cálculo del coeficiente de rugosidad
- 3 Carga hidráulica máxima de diseño (H_e , m)

4 Coeficientes de rugosidad de Manning

3 PLIEGO DE CONDICIONES

- 1 *Tabla 510.1.a PG 3: Proporción de partículas, total y parcialmente trituradas del árido grueso*
- 2 *Tabla 510.1.b PG 3: Proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso*
- 3 *Tabla 510.2 PG 3: Valor máximo del coeficiente de desgaste de Los Ángeles*
- 4 *Tabla 510.3 PG 3: Valor del equivalente de arena*
- 5 *Tabla 510.4 PG 3: Husos granulométricos*
- 6 *Tabla 531.1 PG 3: Tipos de emulsiones bituminosas*
- 7 *Tabla 542.2.a PG 3: Proporción de partículas total y parcialmente trituradas*
- 8 *Tabla 542.2.b PG 3: Proporción de partículas totalmente redondeadas*
- 9 *Tabla 542.3 PG 3: Índice de lajas*
- 10 *Tabla 542.4 PG 3: Coeficiente de desgaste de Los Ángeles*
- 11 *Tabla 542.5 PG 3: Coeficiente de Pulimento acelerado para capas de rodadura*
- 12 *Tabla 542.6 PG 3: Proporción de polvo mineral de aportación*
- 13 *Tabla 542.7 PG 3: Especificaciones para la granulometría*
- 14 *Tabla 542.8 PG 3: Husos granulométricos*
- 15 *Tabla 542.9 PG 3: Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa*
- 16 *Tabla 542.10 PG 3: Dotación mínima de ligante hidrocarbonado*
- 17 *Tabla 542.11 PG 3: Relación ponderal recomendable de polvo mineral ligante para mezclas bituminosas densas, semidensas y gruesas para las categorías de tráfico pesado T00 a T2*
- 18 *Tabla 543.1 PG 3: Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear*
- 19 *Tabla 543.2.a PG 3: Proporción de partículas total y parcialmente trituradas*
- 20 *Tabla 543.2.b PG 3: Proporción de partículas totalmente redondeadas*
- 21 *Tabla 543.3 PG 3: Índice de lajas*
- 22 *Tabla 543.4 PG 3: Coeficiente de desgaste de Los Ángeles*
- 23 *Tabla 543.5 PG 3: Coeficiente de Pulimento acelerado*
- 24 *Tabla 543.6 PG 3: Proporción de polvo mineral de aportación*
- 25 *Tabla 543.7 PG 3: Especificaciones para la granulometría*
- 26 *Tabla 543.8 PG 3: Husos granulométricos*

- 27 *Tabla 543.9 PG 3: Tipo, composición y dotación de la mezcla, por tipo de mezcla*
- 28 *Tabla 700.2a PG 3: Requisitos de comportamiento de los materiales, en marcas viales de color blanco*
- 29 *Tabla 700.2b PG 3: Requisitos de comportamiento de los materiales, en marcas viales de color negro*
- 30 *Tabla 700.2c PG 3: Requisitos de comportamiento de los materiales, en marcas viales de color rojo*
- 31 *Tabla 700.3 PG 3: Requisitos para las características de pinturas, termoplásticos y plásticos en frío, de color blanco*
- 32 *Tabla 700.4 PG 3: Requisitos para las características de marcas viales prefabricadas, de color blanco*
- 33 *Tabla 700.5 PG 3: Características e identificación, a declarar por el fabricante, para cada material base*
- 34 *Tabla 700.6 PG 3: Características a declarar por el fabricante, para cada marca vial prefabricada*
- 35 *Tabla 700.11 PG 3: Características de las marcas viales de color blanco, durante el período de garantía*
- 36 *Resumen unidad 3.1: Perforación y voladura del túnel*
- 37 *Resumen unidad 3.2: Sostenimiento del túnel*
- 38 *Resumen unidad 3.3: Emboquillado del túnel*
- 39 *Resumen unidad 3.4: Revestimiento del túnel*
- 40 *Resumen unidad 3.5: Aglomerado túnel y accesos*
- 41 *Resumen unidad 3.6: Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones*

4 PRESUPUESTO

- 1 *Perforación y voladura en túnel*
- 2 *Sostenimiento del túnel*
- 3 *Emboquillado del túnel*
- 4 *Revestimiento del túnel*
- 5 *Aglomerado del túnel*
- 6 *Ventilación definitiva*
- 7 *Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones*
- 8 *Carretera de acceso al túnel*

9 *Presupuesto total del túnel de Enciso*

1 MEMORIA

1 Antecedentes y objeto

1.1 Antecedentes del proyecto

La carretera comarcal LR – 115, cuyo recorrido comprende desde el límite de la Comunidad Autónoma de La Rioja con la provincia de Soria, hasta la localidad de El Villar de Arnedo, es una vía que, a pesar de su carácter comarcal, soporta un tráfico de vehículos bastante intenso, sobre todo en el período comprendido entre los meses de abril a octubre, alcanzando un pico máximo en el mes de agosto, debido a las fiestas patronales de los pueblos de la zona. Ello es debido a que esta carretera, junto con su continuación natural, la carretera comarcal SO – 615, que termina en Garray (Provincia de Soria) pasando por el puerto de montaña de Oncala, constituye una ruta de gran belleza natural y, más recientemente, de interés turístico - científico, ocasionado por la gran cantidad de hallazgos paleontológicos, descubiertos en los alrededores de dicha carretera y que han hecho que sea denominada “Ruta de los dinosaurios” siendo su recorrido jalonado por reproducciones, más o menos fidedignas de los dinosaurios, cuyos fósiles, sobre todo ignitas o huellas fósiles, han sido descubiertas en los alrededores de las localidades por los que dicha vía transcurre.

Además, a partir del comienzo de dicha ruta, en la C.A. de La Rioja, los pueblos, sobre todo en los meses de verano, incrementan su población notablemente. Baste el ejemplo de Enciso, que de 166 habitantes censados (Datos de 2015) suele pasar durante los meses de julio y agosto a los 2000 o 2500 habitantes, número que se ve incrementado notablemente durante sus fiestas patronales, a mediados del mes de agosto.

Otro hecho que incrementa el tráfico por la zona es la existencia de un balneario de aguas termales, sito en la villa de Arnedillo, a 10 km de Enciso, que atrae a un turismo de carácter internacional, lo que contribuye a la intensificación de la circulación por dicha vía.

1.2 Definición del problema

El pueblo de Enciso se halla situado alrededor del punto kilométrico 2 + 410 de la carretera LR – 115 (Ver plano de situación) que, como es costumbre en nuestra red viaria secundaria, pasa por la mitad del pueblo, cortando a éste entre sus dos tercios situados algunos metros más elevados, a la izquierda según se viene desde Madrid, y el tercio restante, que además incluye la zona de huertas en la vega del río Cidacos, a la derecha, según el mismo sentido de avance.

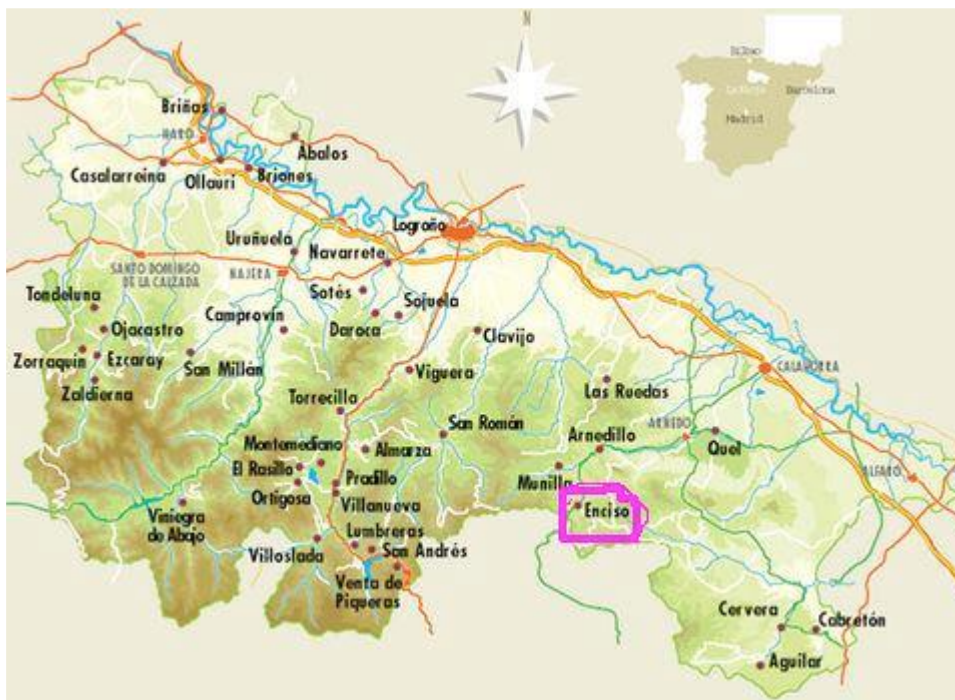


Figura 1.1: Plano de situación de Enciso, dentro de la C.A. de la Rioja. Esc. 1/200.000. Fuente Gobierno de La Rioja.

Debido a la situación de centro urbano y huertas y a que el pueblo está situado en la falda de una colina, se produce la situación de que la zona de paseo natural de lugareños y foráneos es la carretera, por no hablar del continuo trasiego de una parte del pueblo a la otra, hacia las huertas y hacia la ribera del río, además la carretera suele usarse para el tránsito pedestre hacia los pueblos colindantes, distantes pocos kilómetros algunos de ellos, por una carretera, carente de arcones en casi todo su recorrido, hasta Arnedo, y si los hay en algún tramo son exigüos.

En resumidas cuentas, este Proyecto trata de la construcción de una circunvalación, a la izquierda del pueblo, cuya obra más señalada sería un túnel que atravesaría la colina sita al norte de Enciso, lo que evitaría todos los problemas que ocasiona el tráfico rodado, a su paso por el pueblo, entre los que se podrían contar ruidos, a diferentes horas del día o la noche, atropellos de personas y animales domésticos, posibles vertidos al río Cidacos, en caso de accidentes de tráfico a su paso por la villa y contaminación de dicho río.

La solución del túnel se presenta como la más atractiva, ya que sería la más aceptable ambientalmente por el hecho de la eliminación del impacto visual sobre el paisaje, enclavado en una ZEPA (Zona de Especial Protección para Aves) y el túnel, además, evitaría ruidos molestos para las mismas y para el casco urbano. Por otra parte, dicha solución se propone como la más acertada, desde el punto de vista constructivo, ya que

ejecutar una circunvalación a cielo abierto, supondría incrementar bastante la longitud de la vía a construir, dada la orografía de la zona y, además habría que construir un viaducto o incluso otro túnel más adelante.



Figura 1.2: Vista aérea de Enciso. Fuente: Google maps

Otro punto más, a favor de nuestra circunvalación es que, como presumiblemente, la autovía A – 12 (Madrid – Pamplona), en construcción, transcurrirá por dicha zona, ya que pasa por Arnedo, y se encontraría con dicho túnel para una de sus calzadas, pues su paquete de firmes y dimensiones se han diseñado para que se pueda usar como tal. Para ello hemos escogido el perfil nº 8 del CETU francés (Centro de Estudios de los Túneles), que es un perfil, que permite su conversión a túnel unidireccional, si dicha autovía, pasara por la zona escogida para el túnel y en el que se basará la futura normativa europea y española de diseño de túneles.

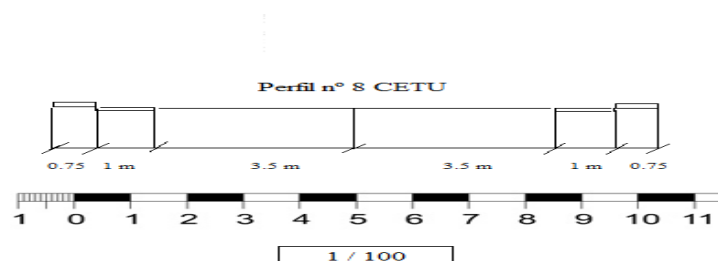


Figura 1.3: Sección nº 8, de la calzada del túnel, según el CETU. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.



Figura 1.4: Foto aérea mostrando el trazado del túnel de Enciso. Fuente: Google maps.

El trazado del túnel permite su ejecución en línea recta, dado que su orientación es, prácticamente W – E, y sus entradas, por ambas direcciones presentan mucha inclinación respecto del valle del rio Cidacos, por lo que no se producirá deslumbramiento a los conductores que abandonen el túnel por dichas salidas, además, se ha previsto un refuerzo importante del alumbrado en ambas entradas, de cinco luminarias en cada una de las mismas, para prevenir los efectos ópticos que se producen al entrar o salir de un túnel al exterior, o viceversa.

2 Geología

Las formaciones geológicas en la zona de nuestra circunvalación están comprendidas, según se recoge en el Mapa Geológico de España, Hoja 280 (Enciso), en el contacto de la denominada formación “Oliván”, predominante en la parte central de la sierra de Cameros y en el valle del Cidacos en particular, formada por alternancias de calizas, margas y areniscas, de una potencia de 1600 m, en algunos casos, y la formación “Enciso” formada por calizas y margas, donde las cantidades de cada una son variables, formando en su conjunto una alternancia, de calizas margas y areniscas, bastante dura, abrasiva y competente, en particular en la zona del túnel en el que se ven bastantes areniscas, más presentes en la parte baja de la columna estratigráfica de la zona, como se observa “de visu” paseando por la zona y por los ensayos de materiales efectuados a la misma.

En lo referente a la tectónica de la zona objeto de estudio estos materiales, pertenecientes a la facies Purbeck – Weald, están afectados por estructuras de plegamiento (Dirección NW – SE y buzamientos inferiores a 40°), fallas de distensión de poca importancia y excepcionalmente, fallas de compresión.

En lo cuanto a la hidrogeología, hay que decir que los niveles estratigráficos son prácticamente impermeables debido a la aparición de niveles pelíticos, aunque hay algunos pequeños caudales, en la zona de fracturas existentes, que son usados por los lugareños, para el riego de pequeñas parcelas.

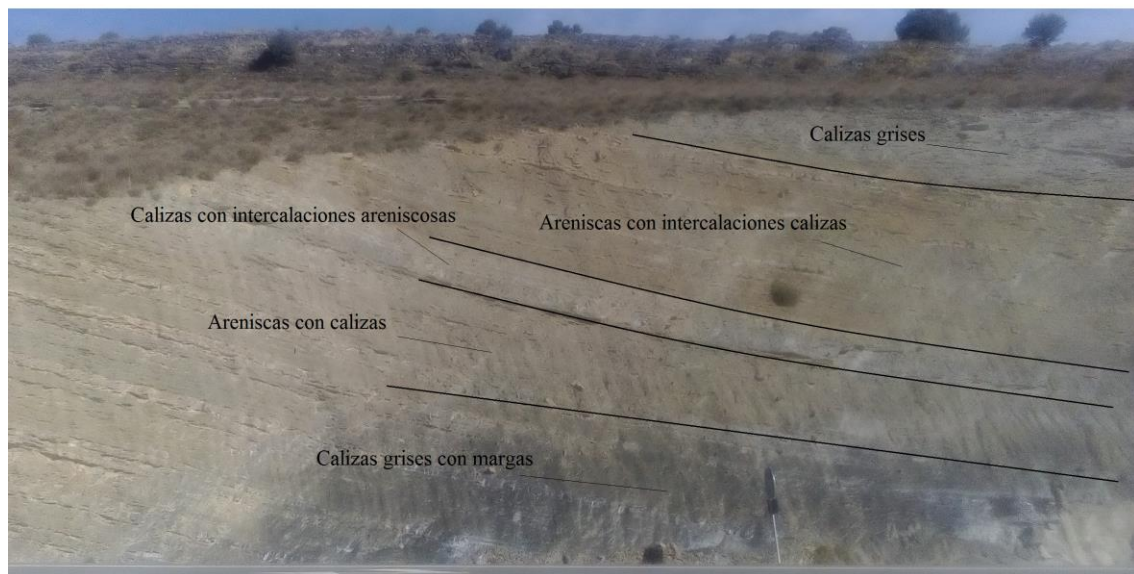


Figura 2.1: Fotografía del corte de la carretera antigua, donde se sitúa la entrada Oeste del túnel. Fuente: Fotografía del autor.

Como podemos observar en la entrada oeste del túnel predomina la arenisca sobre la caliza y, además, en los túneles que hay en la misma carretera, se observa un corte prácticamente sobre arenisca, con alguna intercalación calcárea, lo que hace innecesario el sostenimiento en un túnel pequeño, como se ve en la siguiente fotografía de uno de los túneles en la entrada a Arnedillo, distante unos 8 km al este de Enciso y que pertenecen a la misma formación geológica.

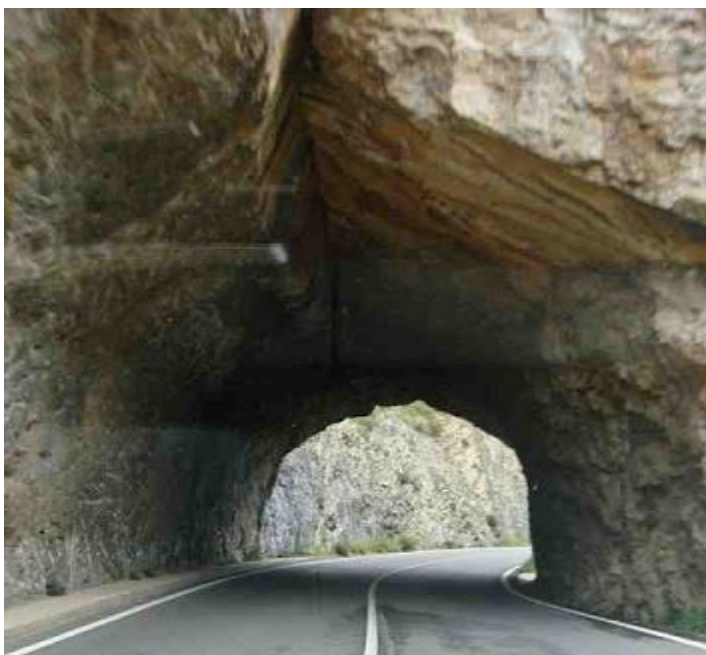


Figura 2.2: Fotografía de uno de los túneles a la entrada de Arnedillo, al E de Enciso.
Fuente: Fotografía del autor.

Y, por último, como curiosidad, decir que hay indicios metálicos, principalmente hierro, cobre, plata y plomo en dichas formaciones.

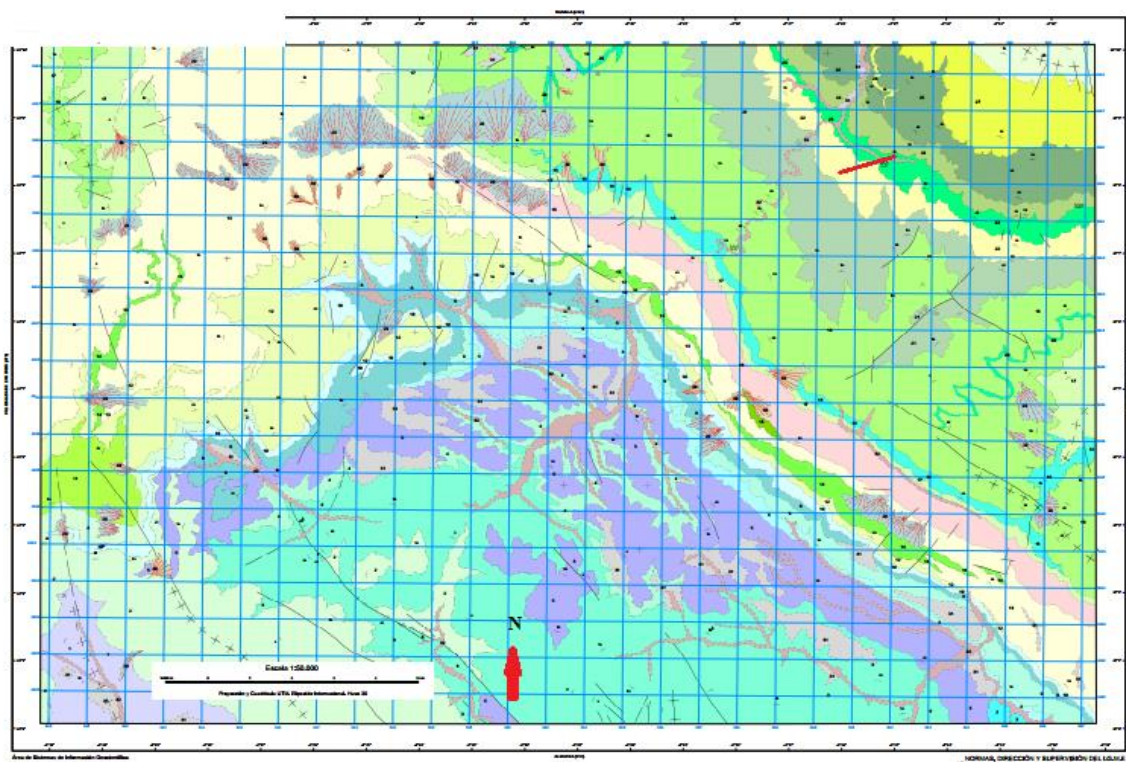


Figura 2.3: Hoja 280 (Enciso) del MAGNA, Esc 1/50000. La línea roja representa el túnel.
Fuente: IGME.

2.1 Clasificaciones geomecánicas y métodos constructivos

Según los datos facilitados por la empresa “Presa de Enciso UTE”, formada por FCC y Dragados, para los trabajos de la presa de Enciso, sobre el río Cidacos y que dista apenas unos centenares de metros de nuestra obra y de los obtenidos por el autor del presente proyecto, obtenemos los siguientes parámetros geomecánicos, de la ya citada formación Oliván, y que, usando el ábaco de Bieniawski (Ver tabla 2.1.1), nos permiten obtener la caracterización geomecánica de la zona objeto de nuestro proyecto, que necesitamos para la ejecución del mismo.

Datos geológicos – geotécnicos	Valor	Puntuación Bieniawski
Compresión simple	150 MPa	12
RQD	72	13
Separación entre diaclasas	1.2 m	15
Longitud de discontinuidades	3.8 m	2
Abertura de discontinuidades	0 m	6
Rugosidad de discontinuidades	Rugosas	5
Relleno de las discontinuidades	Duro (cuarcitas) y menor de 5 mm	4
Alteración de las discontinuidades	Moderadamente alterada	3
Caudal de agua cada 10 m de longitud del túnel	0 l/min (Seco).	15
Orientación de las discontinuidades	Muy favorable (Túnel).	0
Índice RMR (Rock Mass Rating).		75

Tabla 2.1.1: Caracterización geomecánica de los materiales a partir de la tabla 2.1.2

Tras pasar este valor a la clasificación de Bieniawski (Ver tabla 2.1.3), observamos que su valor, está comprendido entre los valores 61 a 80, que delimitan la clase II (Buena) y que, si usáramos la clasificación de Romana, dicha clase sería la IIa (Buena a muy buena) comprendida entre los valores 71 a 80. Como conclusión obtenemos, que según el ábaco de Romana (Ver tabla 2.1.3), la perforación del túnel se podría ejecutar, en primer lugar, a sección completa y como métodos se podrían utilizar tres, a saber: TBM abierta (tuneladora tipo “topo”), Rozadora y el clásico de perforación y voladura, según se comprueba en la tabla 2.1.4, para determinar el método de excavación, en función de la clasificación geomecánica del material a atravesar.

Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (Mpa)	
			Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1
2	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	> 25%		
3	Puntuación		20	17	13	6	3		
	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
	Longitud de la discontinuidad		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
	Puntuación		6	4	2	1	0		
	Abertura		Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
	Puntuación		6	5	3	1	0		
4	Estado de las discontinuidades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
Relleno		Ninguno	Duro: < 5 mm	Duro: > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm			
Puntuación		6	4	2	2	0			
Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
5	Agua freática	Puntuación	6	5	3	1	0		
		Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 l / min	10 - 25 l / min	25 - 125 l / min	>125 l / min		
		Relación presión de agua / Tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento			Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable		
Puntuación	Túneles		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación									
Clase	I		II		III		IV		V
Calidad	Muy buena		Buena		Media		Mala		Muy mala
Puntuación	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		< 20

Tabla 2.1.2: Ábaco para la clasificación geomecánica de Bieniawski. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

RMR	MODIFICADO		BIENIAWSKII ORIGINAL	
	CLASE	DENOMINACIÓN	DENOMINACIÓN	CLASE
100	Ia	EXCELENTE	MUY BUENA	I
90		MUY BUENA		
80	IIa	BUENA A MUY BUENA	BUENA	II
70		BUENA A MEDIA		
60	IIIa	MEDIA A BUENA	MEDIA	III
50		MEDIA A MALA		
40	IVa	MALA A MEDIA	MALA	IV
30		MALA A MUY MALA		
20	Va	MUY MALA	MUY MALA	V
10		PÉSIMA		

Tabla 2.1.3: Clasificación geomecánica de Romana. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

RMR	CLASE	LONGITUD DE PASE (m)		PARTICIÓN DE LA SECCIÓN	MÉTODO DE EXCAVACIÓN
		Máxima	Recomendada		
100	Ia		≥5	1	A
90			≥5		
80	Ib	16,0	≥5	2	B
70	IIa	9,5	≥5		
60	IIb	6,0	4/6	3	C
50	IIIa	4,0	3/4		
40	IIIb	2,5	2/3	4	D
30	IVa	1,8	1/2		
20	IVb	1,0	1	5	E
10	Va		0,5 / 0,75		
	Vb		0,5		

Tabla 2.1.4: Determinación del método de excavación del túnel. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Leyenda: 1- Sección completa	A – TBM abierto
2 – Calota y destroza	B – Perforación y voladura
3 – Galería de avance	C – Rozadora
4 – Galerías múltiples	D – Fresado
5 – Contrabóveda	E – Escarificación o Pala
	F – Escudo

Notas: 1. El pase teórico es el límite teórico, según Bieniawski.

2. El pase recomendado se refiere a la excavación en calota / avance y en caso de que exista galería de avance a la excavación de ensanche (no a la propia galería).

3. Las líneas continuas indican que el método es el apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente.

4. Las líneas discontinuas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

Como quiera que el material es muy compacto, como se observa en túneles excavados en la misma formación, distantes, unos pocos kilómetros y que incluso la roca podría presentar frentes más competentes y duros de lo ya ensayado, nos hemos decidido por la perforación y voladura, ya que dada la escasa longitud del túnel (1 km), la tuneladora es inviable por sus dimensiones y podría llegar un momento en que hubiera que volar, porque la dureza de la roca enlenteciera la perforación por una rozadora, por lo que hacemos nuestro el antiguo proverbio minero que se enuncia como: ‘ ‘ En caso de duda, vuela’ ’.

Y ahora para confirmar la bondad del método elegido, volvemos a ejecutar los cálculos, esta vez por el método de Barton, usando para ello los parámetros utilizados por Bieniawski, en su propia ponencia del 2011, titulada **“Errores en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y su corrección”**. Dicha correlación sería la representada por la función

$$\text{RMR} = 9 \times \ln Q + 44 \quad (1)$$

por lo que sustituyendo en dicha ecuación los valores ya obtenidos, queda lo siguiente:
 $75 = 9 \times \ln Q + 44$, luego $\ln Q = (75 - 44) / 9$. Por tanto, $\ln Q = 3.444$ y operando quedaría, al final que $Q = e^{3.444} = 31.312$, lo que traspasado al ábaco de Barton, nos lleva a la categoría comprendida entre 20 y 50 (Extremadamente buena) (Ver figura 2.2.2). Estos

nuevos cálculos nos confirman en la elección del método convencional de perforación y voladura. La longitud de pase recomendada sería mayor de 5 metros, al estar en la categoría de Romana IIa, pero al ser la ejecución convencional, este pase nos lo da la longitud de perforación de la corredera del jumbo, que para el modelo elegido es de 4 m.

Con respecto a la abrasividad, no tenemos valores de ensayo, puesto que la obra suministradora de los mismos no los necesitaba, pero según el índice de Cerchar (ver figura) la roca, al ser una combinación de calizas y areniscas, los valores presentados deben estar en el rango de menores de 1.2 (calizas) y de 2.5 a 3.5 (areniscas), por lo que para estar seguros, le daremos el mayor valor de abrasividad que es 3.5, para las areniscas y además así soslayamos que el relleno de las discontinuidades está formado por calcita y cuarcita.

Abrasividad de las rocas, a partir del índice de Cerchar		
ÍNDICE CERCHAR	CLASIFICACIÓN	TIPO DE ROCA
> 4,5	Extremadamente abrasiva	Gneis, pegmatita, granito
4,25 - 4,5	Altamente abrasiva	Anfibolita, granito
4,0 - 4,25	Abrasiva	Granito, gneis, esquistos, piroxenita, arenisca
3,5 - 4,0	Moderadamente abrasiva	Arenisca
2,5 - 3,5	Abrasividad media	Gneis, granito, dolerita
1,2 - 2,5	Poco abrasiva	Arenisca
< 1,2	Muy poco abrasiva	Caliza

Tabla 2.1.5: Índice de Cerchar de abrasividad de las rocas más comunes. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Como consecuencia y pasando nuestros valores al ábaco de Gehring (ver figura 2.1.1), obtenemos que los métodos de perforación serían tuneladora y voladura, por lo que se corresponde con nuestra elección.

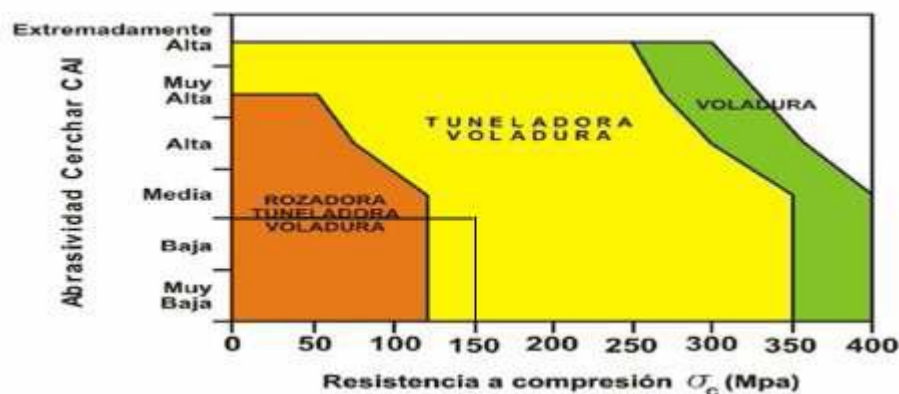


Figura 2.1.1: Ábaco de Gehring, para determinar el método de excavación del túnel. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

2.2 Cálculo del sostenimiento

2.2.1 Emboquillado

La ejecución se comenzará por dos lugares a la vez y a sección completa, dado que el RMR es de 75 (Mayor de 71). Como quiera que estamos en zona sísmica, a pesar del valor del RMR, colocaremos un paraguas de micropilotes, de 25 metros de longitud del tipo IU (Inyección única), dada la sanidad y compacidad de la roca. La armadura de los mismos estará compuesta por tres tubos de 9 m de longitud, 0.7 cm de pared y 9 cm de diámetro, empalmados por un manguito para dar mayor rigidez a la unión. La distancia entre ejes de los micropilotes será de 40 cm y se inyectarán con lechada de cemento CEM 42.5 N con una relación 1:2 (1 kg de agua y 2 kg de cemento).

Posteriormente estos micropilotes, que sobresaldrán del terreno al menos 4 m, se unirán entre sí por una viga de atado y al sombrerete de entrada al túnel. Hay que decir que dicho paraguas de micropilotes se coloca por precaución, ya que los diferentes túneles, que hay por la zona, no llevan ni siquiera revestimiento. Como el túnel lleva sombrilla y la roca es competente, no consideramos necesaria ni la malla ni la red, en los taludes de entrada y salida del túnel.

2.2.2 Túnel

Aunque según las instrucciones del Reglamento de Normas Básicas de Seguridad Minera, estaríamos dentro del caso de usar el nivel B de proyecto de Sostenimiento (En concreto el método analítico de líneas características) dado que la resistencia a compresión de nuestra roca es de 150 MPa y que la profundidad de cada túnel, a partir de cada boca es de 500 m, si dividimos 150 entre 500, nos da 0.3, que es mayor que 0.1, lo que nos da, buscando en la tabla ITC.04.6.05 (En que el uso de nuestro túnel será, previsiblemente, mayor de 15 años) el nivel B antes citado, pero dicho nivel de cálculos, según técnicos especialistas en túneles consultados, se comienza a usar con la ejecución del túnel, haciéndose los primeros cálculos con los métodos de Bieniawski y Barton.

En particular, para el sostenimiento del túnel, usaremos el método de Barton, que es más preciso para el sostenimiento del interior y usamos las tablas y ábacos propuestos por él:

Para ello traducimos a datos las fórmulas de Barton:

$$D_e = B / ESR \quad (2)$$

donde D_e es el diámetro equivalente de la excavación, B es la anchura o la altura de la excavación en metros (El valor más alto) y ESR es un parámetro en función del estado tensional y que se obtiene de la tabla en función del uso que se la vaya a dar a la excavación. En nuestro caso usamos la anchura del túnel que son 10.5 m y ESR es uno (Túnel carretero). Por tanto, sustituyendo valores tendremos que $D_e = 10.5 / 1 = 10.5$

El índice Q de Barton obtenido anteriormente, según el RMR y la relación

$RMR = 9 \times \ln Q + 44$, fue de 31.312, pero como quiera que la zona presenta, a vista de pájaro, forma de caldera volcánica; Que en la zona (Concretamente en Arnedillo, a 8 km y en Cervera del río Alhama, a unos 18 km) hay varias surgencias de aguas termales y que, en 1817, 1923 y 1961, hubo sendos terremotos de una magnitud VIII, sobre XII (Escala Macrosísmica Europea), que produjeron graves daños en la zona, amén del posible riesgo sísmico inducido por el embalse, en construcción, de Enciso. Se deduce de todo ello que nos encontramos en zona sísmica y además existe un estudio, titulado **“Riesgo de sismicidad inducida por el embalse de Enciso, en La Rioja”**, editado por la Universidad de Zaragoza, debemos reducir dicho índice Q a la mitad, por lo que el valor tomado para el mismo, deducido de la fórmula (1) debe ser de $31.312 / 2 = 15.656$.

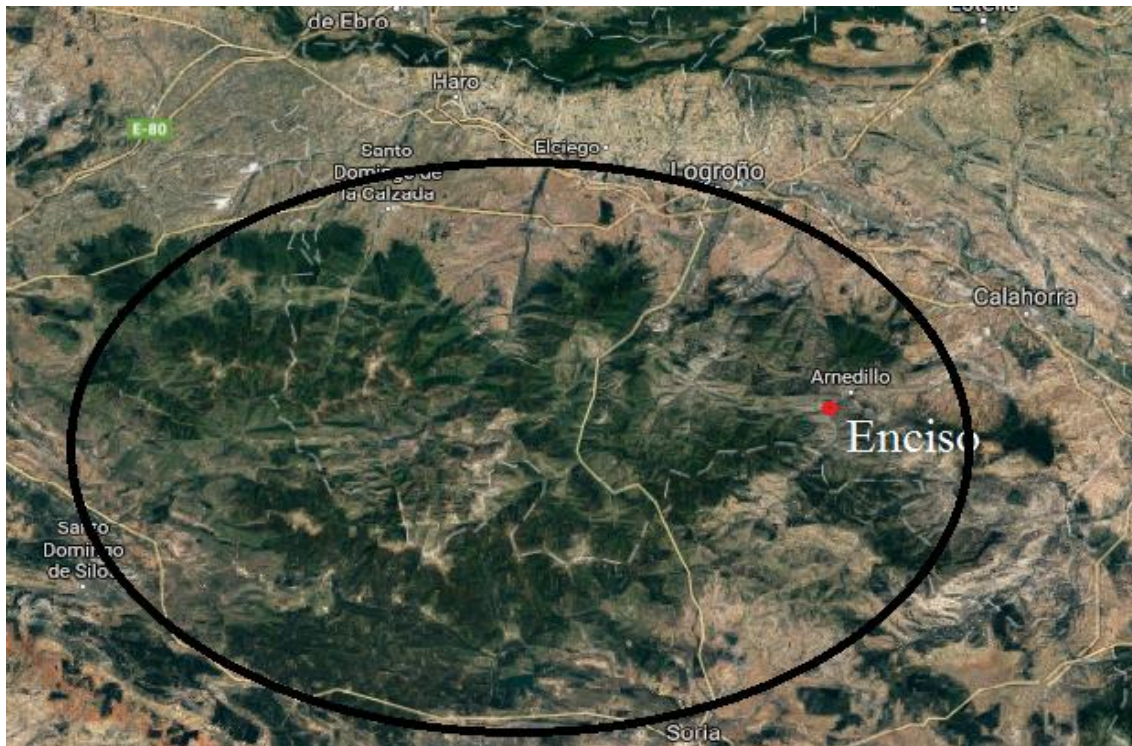


Figura 2.2.1: Fotografía aérea de la comarca, donde se observa la forma de caldera de la misma. La surgencia de aguas termales, más próxima, se halla en Arnedillo. Fuente: Google maps.

Entrando en el ábaco, que divide el sostenimiento en 9 zonas, con los valores obtenidos, nos situamos en la zona 3 (B), Calidad buena, donde se nos indica que debemos colocar una malla de bulones de 4 x 4 m y de 3 metros de longitud y un espesor de, al menos 4 cm de hormigón proyectado HP 50, siempre del lado de la seguridad (Ver figura 2.2.2). Y aún situándonos más del lado de la seguridad, si utilizamos la tabla para calcular el índice Q de Barton en caso de sismicidad (Tabla 2.2.1), vemos que para la clasificación RMR del tipo 2 (Bueno) y para el caso sísmico, corresponde un valor de 3, con lo que nos iríamos en el ya citado ábaco de Barton, a la clase 5, con lo que el sostenimiento sería del tipo II, comprendiendo bulones de 3 m en malla de 2 x 2 metros y 9 cm de hormigón proyectado.

Acompañamos, a las líneas anteriores, con los dos mapas de sismicidad y peligro sísmico, del Instituto Geológico y Minero de España, donde se observa claramente la zona donde está enclavado nuestro proyecto.

Terreno	Valor utilizado de RMR	Valor utilizado del índice Q	
		Caso Estático	Caso Sísmico
Tipo 1: Muy bueno	80	55	27,5
Tipo 2: Bueno	60	6	3
Tipo 3: Normal	40	0,65	0,325
Tipo 4: Malo	20	0,07	0,035
Tipo 5: Muy malo	15	0,04	0,02

Tabla 2.2.1: Cálculo del índice “Q” de Barton en caso de sismicidad. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Sostenimiento	Zona en ábaco de Barton	Cuántía recomendada
I	Zona 3	Bulonado sistemático en malla de 3 x 3 m
II	Zona 5	9 cm de Gunita y bulonado en malla de 2 x 2 m
III	Zona 7	15 cm de Gunita y bulonado en malla de 1,5 x 1,5 m
IV	Zona 9	Hormigón en cuantía superior a 20 cm de espesor
V	Zona 9	Hormigón en cuantía superior a 20 cm de espesor

Tabla 2.2.2: Cálculo del sostenimiento del túnel en función del índice “Q”. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

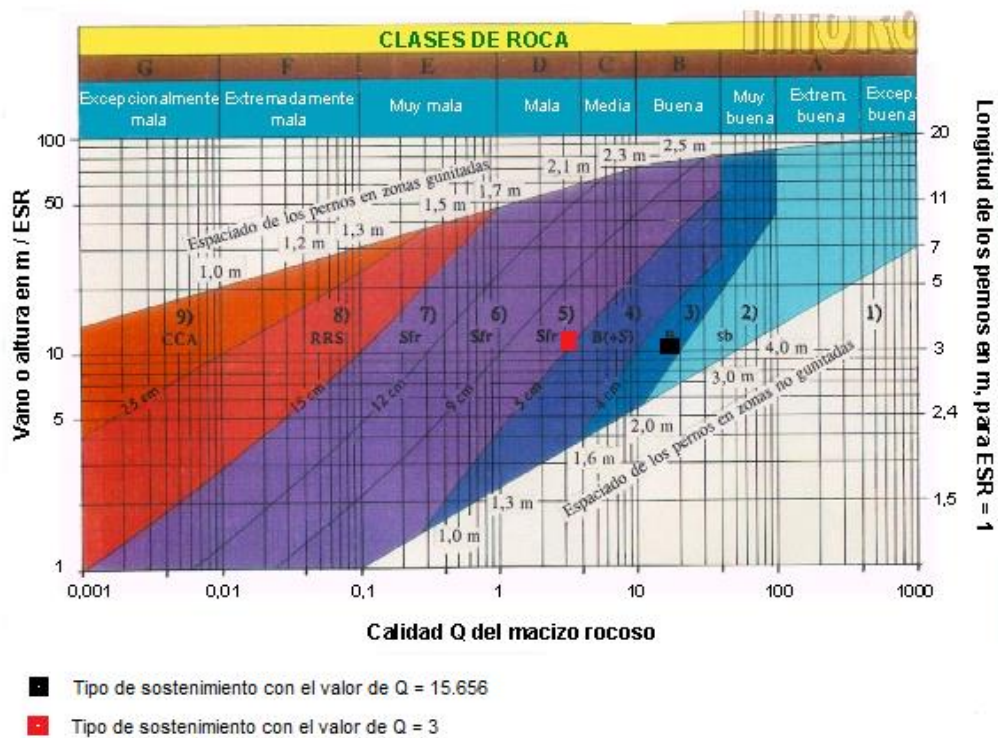
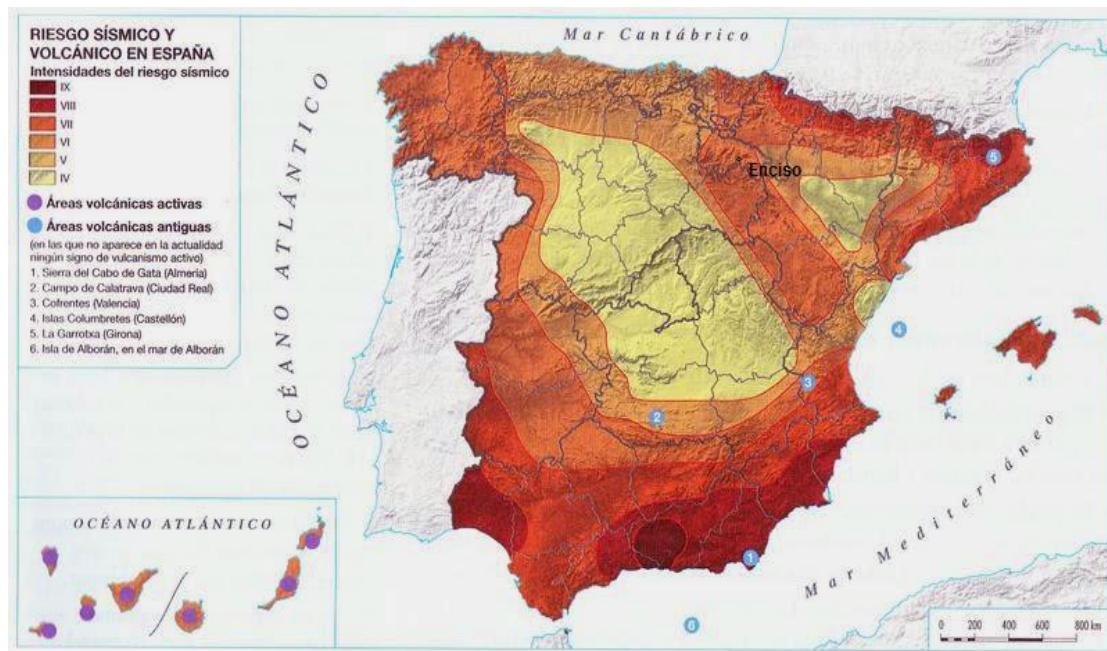


Figura 2.2.2. Ábaco de Barton para el cálculo del sostenimiento del túnel. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.



Figura 2.2.3: Mapa de peligrosidad sísmica en España. Fuente: IGME



Figur

a 2.2.4: Mapa de riesgo sísmico y volcánico en España. Fuente: IGME

4 Legislación aplicable

3.1 Generalidades

Vamos a diferenciar entre la legislación en materia de carreteras en general y la específica, aplicable a la obra singular que es el túnel de Enciso y, ya dentro de éstas las distintas legislaciones aplicables en materia de Prevención y Medio Ambiente.

3.2 Legislación en materia de carreteras

Ley de carreteras (Ley 37/2016).

Reglamento de carreteras (RD 1812/1994).

Orden de accesos (Orden 16/12/1997)

Procedimientos complementarios para autorizar nuevos enlaces o modificar los existentes (Orden FOM 2873/2007).

Instrucción de hormigón estructural EHE 08 (RD 1247/2008)

Emisión del certificado de buena ejecución de obras (NS de 20/12/2003).

Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3).

Manual de plantaciones en el entorno de la carretera.

Orden circular 36/2015 de 24 de febrero sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras, a cielo abierto y túneles.

Norma 8.1 IC de señalización vertical.

Manual de señalización variable (Resolución de 1 de junio de 2009 de la DGT .

Señales verticales de circulación: Catálogo y características.

Norma 8.2 IC de marcas viales (Orden de 16 de julio de 1987).

Instrucción 8.3 IC de señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas, fuera de poblado (Orden de 31 de agosto de 1987).

Señalización de los tramos afectados por la puesta en servicio de las obras (OC 15/2003).

Intensificación y ubicación de carteles de obras (OC 16/2003).

Hitos de arista (OC 309/1990).

Criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos (OC 35/2014).

Instrucción Técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras (Orden FOM 3057/2008).

Norma 6.1 IC Secciones de firme (Orden FOM 3460/2003).

Recepción de obras de carreteras que incluyan firmes y pavimentos (OC 20/2006).

Norma 5.2 IC de drenaje superficial (Orden FOM 298/2016).

Máximas lluvias diarias en la España peninsular.

Manual de cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales.

Norma 3.1 IC: Trazado (Orden FOM 273/2016).

Recomendaciones para la redacción de proyectos de construcción de carreteras (NS 9 – 2014).

Recomendaciones para la redacción de proyectos de trazado de carreteras (NS 8 – 2014).

Seguridad en infraestructuras viarias (RD 345/2011).

Requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del estado (RD 635/2006) y su adaptación (NS 3 – 2006).

Instrucciones para la utilización de elementos auxiliares de obra en la construcción de túneles. (NS 2 – 2006).

Ley de carreteras del gobierno de La Rioja. Ley 2/1991

3.3 Legislación en materia de explosivos

Reglamento de Explosivos (RD 230/1998), que autoriza a modificar las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC 1 a 25, y que regula los diferentes aspectos de la producción, suministro, transporte, importación, exportación, tenencia y uso de explosivos y otros productos elaborados a base de sustancias explosivas.

Modificación del Reglamento de Explosivos (RD 277/2005).

Ley Orgánica 4/2005, que modifica la Ley Orgánica 10/1995, del Código Penal, en materia de delitos de riesgos provocados por explosivos.

Orden PRE 2426/2004, que determina el contenido, formato y llevanza de los Libros de registro de movimientos y consumo de explosivos.

Orden PRE 252/2006 que actualiza la Instrucción Técnica Complementaria N° 10, sobre prevención de accidentes graves del Reglamento de Explosivos.

3.4 Legislación en materia de prevención de riesgos laborales, relacionada con explosivos

Real Decreto 863 / 1985 de 2 de abril de 1985: Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad minera (Capítulo X: Explosivos). Contiene siete Instrucciones Técnicas Complementarias:

ITC 10.0.01 Explosivos. Normas generales.

ITC 10.0.02 Explosivos. Transportes interiores.

ITC 10.1.01 Explosivos. Normal almacenamiento.

ITC 10.2.02 Explosivos. Utilización.

ITC 10.2.02 Explosivos. Disparo con explosivos a horarios no preestablecidos en minas subterráneas de carbón y labores con riesgo de explosión.

ITC 10.3.01 Explosivos. Voladuras especiales.

ITC 10.4.01 Explosivos. Disposiciones especiales para trabajos con gases o polvos inflamables o explosivos.

Orden de 29 de julio de 1994, por la que se modifica la ITC 10.3.01 (Explosivos. Voladuras especiales).

Real Decreto 150/1996 de 2 de febrero que modifica el artículo 109 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (Relativo a materias de seguridad en sondeos y labores de reconocimiento).

Real Decreto 1389/1997, que transpone la Directiva 92/104 CE, que aprueba las Disposiciones mínimas destinadas a proteger la Seguridad y Salud de los trabajadores en las actividades mineras.

3.5 Legislación en materia de Prevención de Riesgos laborales en general

Directiva Marco 89/391 CE relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores, en el trabajo, y que contiene el marco jurídico general en el que opera la política de prevención comunitaria, así como el resto de la normativa de desarrollo de acuerdo con las directivas comunitarias en la materia.

Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y su modificación por la Ley 54/2003, de Reforma del Marco Normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.

Real Decreto 99/1997: Reglamento de los Servicios de Prevención y su modificación por el Real Decreto 780/1998. Real Decreto 863 / 1985 de 2 de abril de 1985: Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad minera y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Real Decreto 1389/1997, que transpone la Directiva 92/104 CE, que aprueba las Disposiciones mínimas destinadas a proteger la Seguridad y Salud de los trabajadores en las actividades mineras.

Real Decreto 3255/1983: Estatuto del Minero.

3.6 Legislación Medioambiental

Directiva 97/11 CE del Consejo Europeo, que modifica a la directiva 85/337 CE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos, públicos y privados, sobre el Medio Ambiente.

Real Decreto 1/2008 de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. En dicho Real Decreto se tipifican los proyectos que deberán ser sometidos a una Evaluación de Impacto Ambiental, que deberá desembocar en la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental y su modificación por la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental.

Ley 5/2002 de Protección del Medio Ambiente de La Rioja, ya que nuestra obra está enclavada en dicha comunidad autónoma.

Real Decreto 105/2008 de Regulación de la producción y gestión de Residuos de Construcción y Demolición.

Manual para la redacción de los informes de los Programas de Vigilancia y Seguimiento Ambiental en carreteras.

4 Maquinaria

En este epígrafe haremos una somera descripción de la maquinaria utilizada, tanto en la carretera, como en el túnel en sí mismo, diferencia ésta necesaria por la especificidad de la misma.

4.1 Maquinaria de Perforación

Dos carros de perforación, tipo jumbo, Atlas Copco, modelo Boomer XE3c de cuatro brazos (tres perforadores y uno plataforma) de accionamiento eléctrico y motor Diesel, para desplazamientos, con tecnología de perforación en seco.

Para la perforación están equipados con tres martillos perforadores, de accionamiento hidráulico, Atlas Copco, modelo COP 2238 HD+, que permiten una razón de perforación de más de 30 m/min.

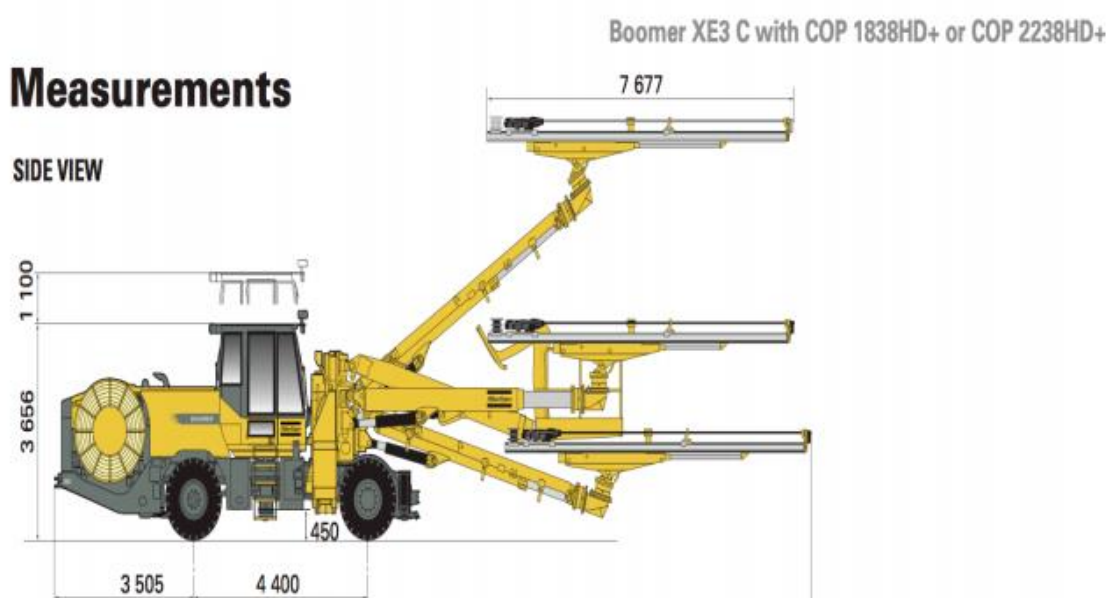


Figura 4.1.1: Carro perforador Atlas Copco Boomer XE 3c. Fuente Atlas Copco.

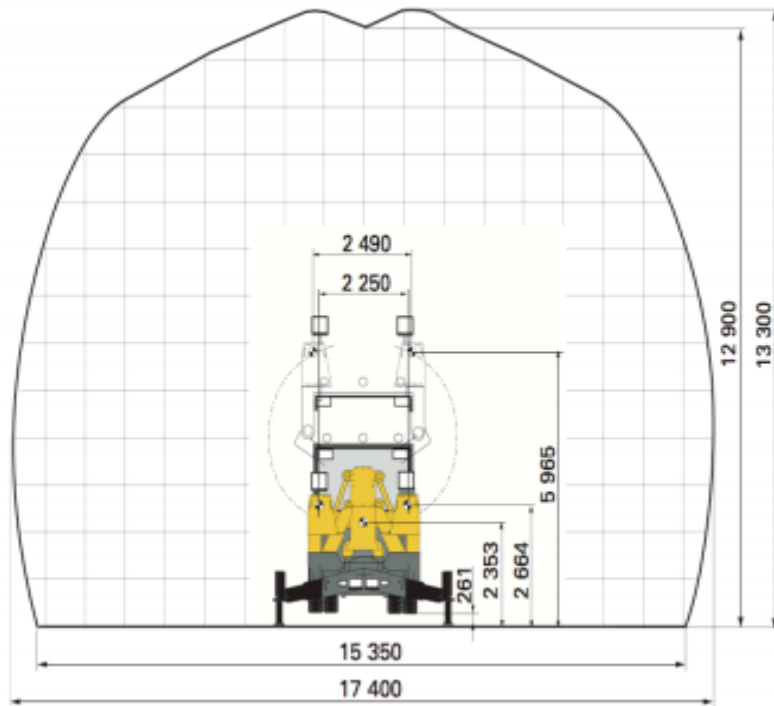


Figura 4.1.2: Área cubierta por el carro perforador elegido. Fuente Atlas Copco.

4.2 Maquinaria de Carga y Transporte

Dos palas cargadoras tipo LHD (Load Haul Dump, o de perfil bajo) Caterpillar, modelo R 2900 G, con capacidad de cuchara de 6.3 m^3 .

Cinco camiones, por boca de perforación, del tipo centauro, Mercedes, modelo Actros o similar, de 10 m^3 de capacidad de caja.



Figura 4.2.1: Pala cargadora LHD Caterpillar R 2900 G. Fuente: Caterpillar.

4.3 Energía

Dos grupos electrógenos IVECO, modelo HFW 350 T de 391 kvA, para alumbrado y energía de emergencia.

Como la obra está situada, prácticamente en zona urbana, para las instalaciones de ventilación, drenaje y alumbrado, principalmente, se conectará con la red de Electra de Logroño (Iberdrola).

4.4 Otra maquinaria

Se dispondrá en obra de pequeña maquinaria, tal como carretillas elevadoras, pequeños dumpers, pistoletas neumáticos, para saneos, y demás pequeña maquinaria.

Además, se tendrán dos carros de hormigonado, para el encofrado de los hastiales y bóveda del túnel, de las mismas dimensiones que las citadas partes del túnel y que permitirán puestas de 5 metros por hormigonado y dos compresores, para suministrar aire soplado al frente.

Para las operaciones de hormigonado y aglomerado, dichos materiales se traerán de plantas situadas en la localidad de Arnedo, a unos 18 km de la obra, por lo que no habrá necesidad del montaje de plantas para ello, con la consiguiente falta de afección ambiental, ya que la zona está considerada como zona ambiental protegida.

4.5 Maquinaria de movimiento de tierras

Un rodillo compactador, marca Caterpillar, modelo CS 79B, de 22000 kg de peso y 174 CV de potencia.

Una motoniveladora, marca Caterpillar, modelo 140M, de 19000 kg de peso y 182 CV de potencia.

Un tractor bulldozer, marca Caterpillar, modelo D9R de 48800 kg de peso y 405 CV de potencia.

4.6 Maquinaria de extendido de firmes (Aglomerado)

Una extendedora de aglomerado y suelo cemento Vogeles, modelo 1900 Super, de 173 CV de potencia y un ancho máximo de extendido de 8.5 m.

Un rodillo compactador de ruedas, marca Caterpillar, modelo CW34, de 27000 kg de peso y 129 CV de potencia.

Dos rodillos compactadores lisos de llanta metálica, marca Caterpillar, modelo CB 66B, de 142 CV de potencia y un ancho de compactación de 2130 mm.

4.7 Plantas

Para evitar la afección ambiental producida por el vaciado del hueco del túnel y dado que la formación a atravesar es una roca compacta y sana, se van a instalar una planta móvil de trituración, para aprovechar dicha roca, como suelo seleccionado y material para fabricar zahorra artificial. Dicha planta estará compuesta por una criba móvil, de varias telas a determinar, en función de las granulometrías necesarias y por un molino Hazemag APK 45, del tipo de impactos, y con una capacidad de tratamiento de 100 tn hora, suficiente para nuestras necesidades de obra.

5 Ventilación

Durante la construcción y por razones medioambientales, usaremos el sistema de ventilación mixta, es decir que insuflaremos aire cerca del frente de trabajo y aspiraremos el aire, por un tubo flexible, reforzado con metal, a una distancia de unos 20 metros del frente, para evitar su remoción cada vez que volemós y además se podrán ir añadiendo los tramos necesarios, sin pérdidas de tiempo. Dicho tubo de aspiración irá conectado, a la salida del túnel, a un filtro de mangas, para evitar la dispersión de productos tóxicos, procedentes de las pegs, así como los humos de la combustión de la maquinaria y el polvo producido en el túnel, a la atmósfera, ya que nos encontramos en una zona de especial protección ambiental y reserva de la biosfera.

Los cálculos de dicha ventilación se encuentran en el anejo de Cálculo número 2, que se acompaña a esta Memoria.

6 Drenaje del túnel en construcción

A cada boca del túnel y para evitar descargas de fluidos contaminantes al río Cidacos, se dispondrá un sistema compuesto por tres balsas de drenaje, de 32 m³ de volumen, cada una, interconectadas por una canaleta y enterradas. Las balsas decantarán los sólidos procedentes del agua que se use en el túnel durante su construcción, y el agua limpia se reciclará para su uso en el mismo túnel. Cuando termine la obra y se de servicio a la carretera, las balsas se destinarán al drenaje de líquidos contaminados del túnel. (Ver plano de drenaje del túnel).

En la margen izquierda, según el sentido de avance de los pp.kk., se colocará una cuneta de protección, para prevenir filtraciones al túnel, desde las pequeñas cuencas que hay al norte del mismo.

7 Proceso constructivo

Una vez nos hemos decidido por el método convencional de perforación y voladura y, como quiera que la roca en que vamos a realizar el túnel es muy competente, amén de la observación de otros pequeños túneles de carretera, existentes en el entorno, donde vemos que dichos túneles no tienen recubrimiento alguno, nuestra perforación será a sección completa, que ha sido calculada en 56.72 m^2 y con un perímetro de 20.64 m lineales.

Para ello, antes de la ejecución de las boquillas del túnel, procederemos a colocar un paraguas de micropilotes, para prevenir posibles derrumbes en las mismas, y cuyo desarrollo se dio en el epígrafe 2.1.1. una vez ejecutado el micropilotado se ejecutarán las boquillas propiamente dichas, con hormigón armado HA 30 y que recubrirá una armadura de redondos de acero corrugado B 500 S, de 25 mm de diámetro, a 250 mm de espaciado entre ellos, al igual que la armadura de reparto. Una vez ejecutadas las mismas se procederá a la ejecución de la excavación del túnel y al despeje y desbroce del tramo descubierto de la circunvalación.

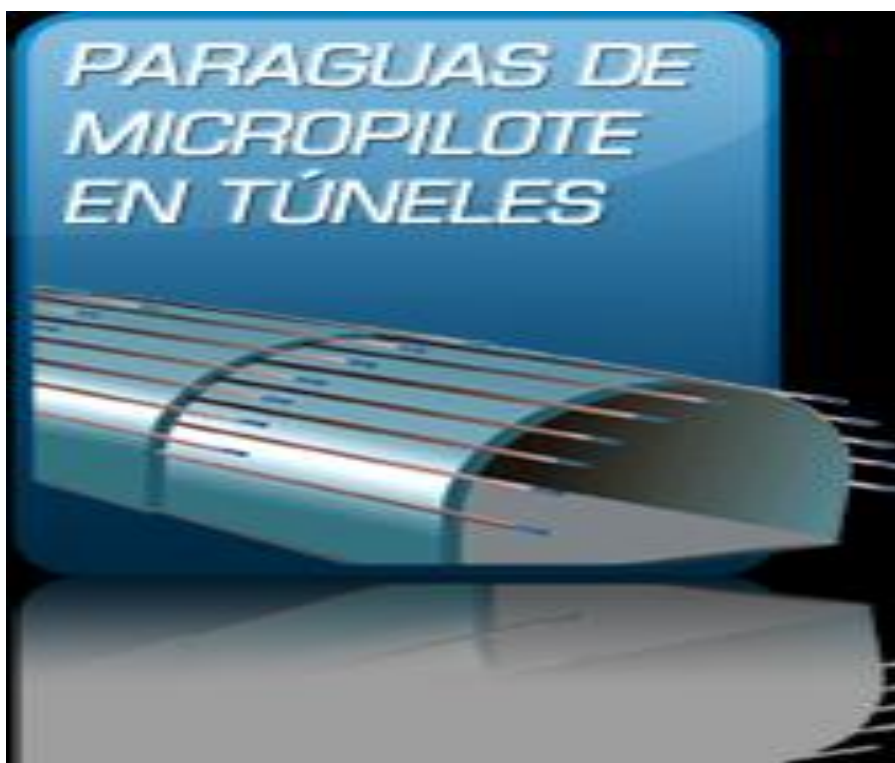


Figura 7.1: Esquema de micropilotado en emboquillado de túnel. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Comenzaremos la perforación por la boca aguas abajo del túnel y, cuando comprobemos que, como es previsible, no hay aportes de agua, comenzaremos a excavar la otra boca, simultáneamente para acortar plazos.

Antes de comenzar con la perforación y voladura y como estamos en una zona ambientalmente protegida, perforaremos los 10 primeros metros de cada embocadura, con martillo picador. La razón es que las voladuras, en primer lugar, podrían provocar proyecciones de materiales sobre el pueblo, con los consiguientes problemas de accidentes y denuncias y, en segundo lugar, el ruido producido por las pegas podría tener consecuencias para los animales raros y protegidos de la zona, entre los que se encuentran el desmán ibérico y el buitre leonado, lo que podría ocasionar problemas con las autoridades medioambientales.

Una vez tengamos el túnel bastante avanzado hacia su interior, ejecutaremos el tramo de carretera al aire libre, dejando solo el espacio suficiente para su acuerdo con el tramo interior.

8 Programa de trabajo

8.1 Perforación

Se perforará por las dos bocas, al mismo tiempo, por lo que el desarrollo será el siguiente:

El rendimiento de la perforación es de 30 m/min, por martillo y tenemos que perforar 87 barrenos de 4 m de profundidad o sea 348 m por pega, dividiendo los 348 m entre los tres martillos dan 116 metros perforados por martillo, por lo que 116 m divididos entre 30 m/min nos dan que la pega completa se perforaría en 12 minutos teóricos, pero en realidad, entre los cambios de posición de los brazos del martillo y del carro, si se perfora toda la pega en algo menos de una hora nos daríamos por satisfechos.

Para la carga de los barrenos, usaremos tubos Omega que son tubos de PVC, abiertos longitudinalmente, que permiten la introducción del explosivo en ellos, junto con los detonadores antes de la carga y, por tanto, una vez terminada la perforación, solo habría que introducir los tubos precargados y conectar los detonadores según el esquema preestablecido, por lo que toda la carga se podrá hacer en una hora y media, como máximo.

La longitud del túnel es de 1000 metros, exactos, y como la longitud de perforación es de 4 m, calculamos un avance útil del 90%, por lo que nos quedaríamos en 3.60 metros, lo que por las dos bocas nos dan un avance de 7.20 metros por pega. Aunque se tiene previsto trabajar en dos turnos de 8 horas (16 horas diarias), 5 días a la semana, calculamos que yendo bien las cosas y, exceptuando imprevistos, el rendimiento comprenderá como máximo 9 voladuras, por semana y boca, en total 18 pegas, lo que a 3.6 metros por pega, nos da un avance semanal de 64.8 metros que, entre los 7 días de la semana nos dan 9.25 metros diarios. Esos 9.25 metros por día, en un túnel de 1000 metros nos dan un tiempo de perforación del mismo de

108 días, pero como lo ideal no existe, calculamos un factor de corrección del 80% con lo que nos iríamos a 135 días, o sea 4 meses y medio aproximadamente.

8.2 Carga

Por cada boca habrá un equipo de carga compuesto por una pala cargadora LHD, Caterpillar R2900 G, de 4 m³ de capacidad de cazo y 5 camiones del tipo Mercedes Actros, de 10 m³ de capacidad de carga. Como en una pega desprendemos, aproximadamente 56.72 m² de frente, por 3.6 m de avance, serían 204 m³, que si suponemos un esponjamiento del 30%, ya que se trata de roca viva (En rama), nos darían 265 m³, que divididos entre los 5 camiones son 6 viajes por camión, que a una media de 35 minutos por viaje, hasta el vertedero de Arnedo, nos dan 4 horas para despejar cada boca, una vez están cubiertas las necesidades de piedra en rama para nuestra planta móvil de machaqueo.

Posteriormente los viajes serán solo de unos pocos minutos, hasta completar los acopios de las planta de machaqueo.

8.3 Saneo

Para dicha operación suponemos una media, si no hay complicaciones graves, de un mínimo de dos horas. Para ello usaremos la plataforma del cuarto brazo del “jumbo” sito en cada boca, aunque se ha dispuesto el alquiler de dos plataformas elevadoras, una por boca, para descargar de trabajo al carro perforador.

8.4 Bulonado

Una vez saneada la zona volada y comprobado que no pueden caer bloques sobre los equipos de bulonado, se procederá a la ejecución del mismo, que ya hemos dicho que se hará en una malla de 2 x 2 metros de superficie y con bulones de acero tipo Swellex, de 3 m de longitud, anclados, mediante bomba de expansión de agua a presión, operación en la calculamos otras dos horas. (Ver figura 8.4.2). El proceso es el siguiente:

Una vez perforado el taladro, se introduce el tubo en la boquilla del brazo de instalación por el casquillo de inflado. Luego se introduce el tubo en el taladro. Hecho esto, mediante la bomba se aplica agua a alta presión para inflar el tubo, proceso que dura unos pocos segundos. Cuando la presión del agua llega a 30 MPa, la bomba se para automáticamente, quedando el swellex expandido en toda su longitud dentro del taladro. Debido al proceso de inflado, la longitud del perno se reduce por contracción, lo cual produce un empuje de la placa de reparto contra la roca con una tensión axial de 20 kN.

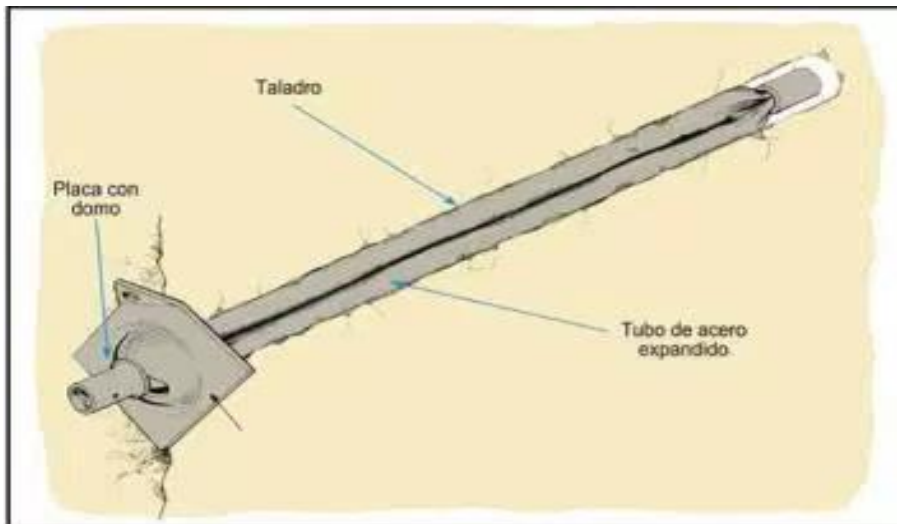


Figura 8.4.1: Perno de expansión Atlas Copco, Tipo 'Swellex'. Fuente: Atlas Copco.

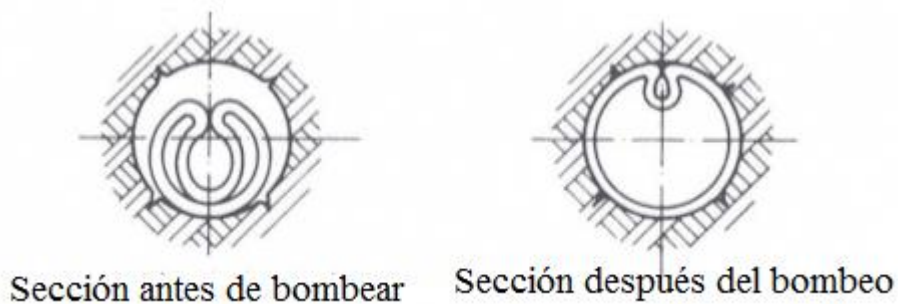


Figura 8.4.2: Secciones del bulón de expansión 'Swellex' antes y después de bombear agua a presión, en su interior. Fuente: Atlas Copco.

8.5 Proyección de hormigón

Se hará por vía húmeda, dado que las distancias de proyección son pequeñas y para evitar demasiado rechazo y polvo en un lugar cerrado. El hormigón será una capa de 9 cm de espesor de HP 50 (50 MPa de resistencia a compresión a 28 días) y con fibras de polipropileno en proporción de 5 kg / m³ de hormigón y del tipo largo.

Una vez se haya terminado el ciclo, éste volverá a comenzar.

8.6 Hormigón de revestimiento

Cuando tengamos, al menos, 100 metros de túnel ejecutados y revestidos, procederemos a colocar el geodrén y el tubo de drenaje, según se ve en el croquis correspondiente (figura 8.4.3).

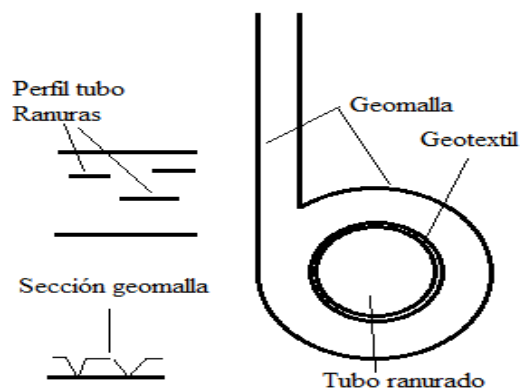


Figura 8.4.3: Croquis de la sección tipo de un geodrén colocado con su tubo ranurado.
Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Posteriormente, hormigonaremos la zapata inferior del muro. Luego, una vez terminada toda la perforación del túnel, para evitar agrietamientos en el hormigón, por ondas de choque, comenzaremos a hormigonar, por bataches los hastiales y bóveda, a la vez, en tramos de 5 metros y 0.30 metros de espesor con hormigón HM 30 y, cuando tengamos hormigonados 10 bataches alternos, volveremos el carro encofrador hacia atrás y se hormigonarán los espacios entre bataches. Ahorrando así encofrados frontales (tapes) y, por tanto, tiempo de ejecución. Los nichos de seguridad se ejecutarán a la vez que el hormigonado correspondiente, tapando el hueco, excavado previamente, con poliestireno expandido.

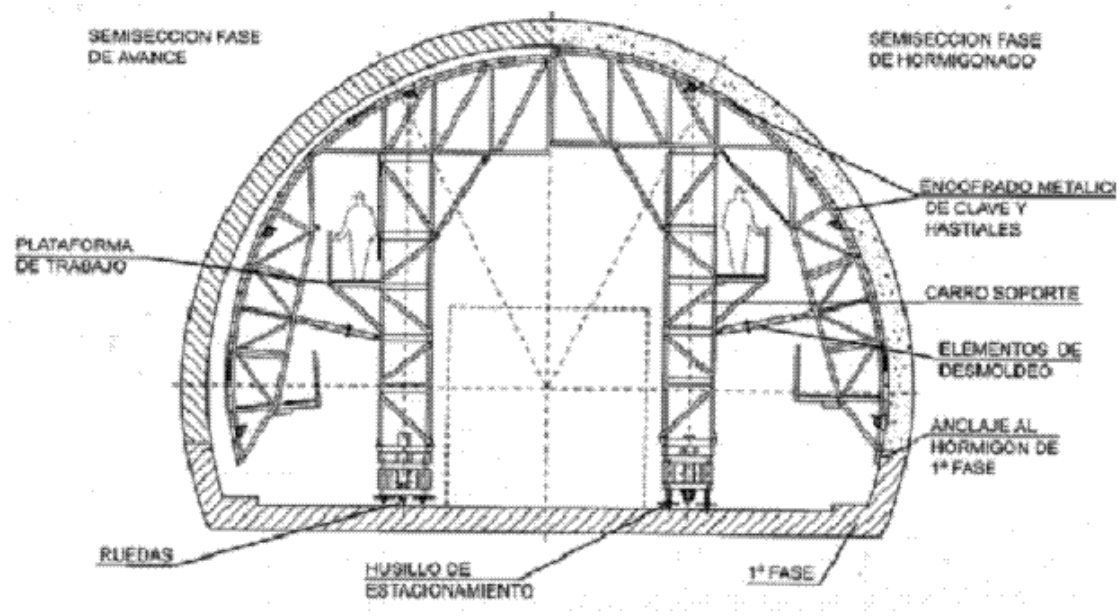


Figura 8.6.1: Carro encofrador remolcado. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

8.7 Carretera

Para la ejecución del tramo de carretera al aire libre, en primer lugar, procederemos al despeje y desbroce de la zona, después excavaremos e introduciremos la obra de drenaje transversal de 2 metros de diámetro. Acto seguido excavaremos la caja, para el paquete de firmes, donde ello sea preciso y luego procederemos a su ejecución. Dicho paquete de firmes corresponderá a la categoría de tráfico denominada T31 (intensidad de tráfico pesado o IMDp, de entre 100 y 200 vehículos pesados / día). En total tenemos unos 30 metros de carretera nueva, para acceder a ambas bocas del túnel

En lo referente a la temperatura de la zona, según el mapa de zonas térmicas estivales, de la norma de secciones de firme 6.1 IC, estamos en una zona térmica intermedia, lo que es muy necesario de saber, a la hora del cálculo de las mezclas bituminosas en caliente (En lo sucesivo m.b.c.) y en el tipo de betún aportado a las mismas (Ver figura 3, norma 6.1 IC).

Así mismo, en lo relativo a la zona pluviométrica, también seguimos la citada norma 6.1 IC, que nos dice que nos encontramos en zona poco lluviosa (menos de 600 mm anuales) (Ver figura 4, de la misma norma).

Hay que hacer mención al hecho de que la velocidad máxima, dentro del túnel se limitará a 80 km / h, como es preceptivo para túneles de doble circulación.

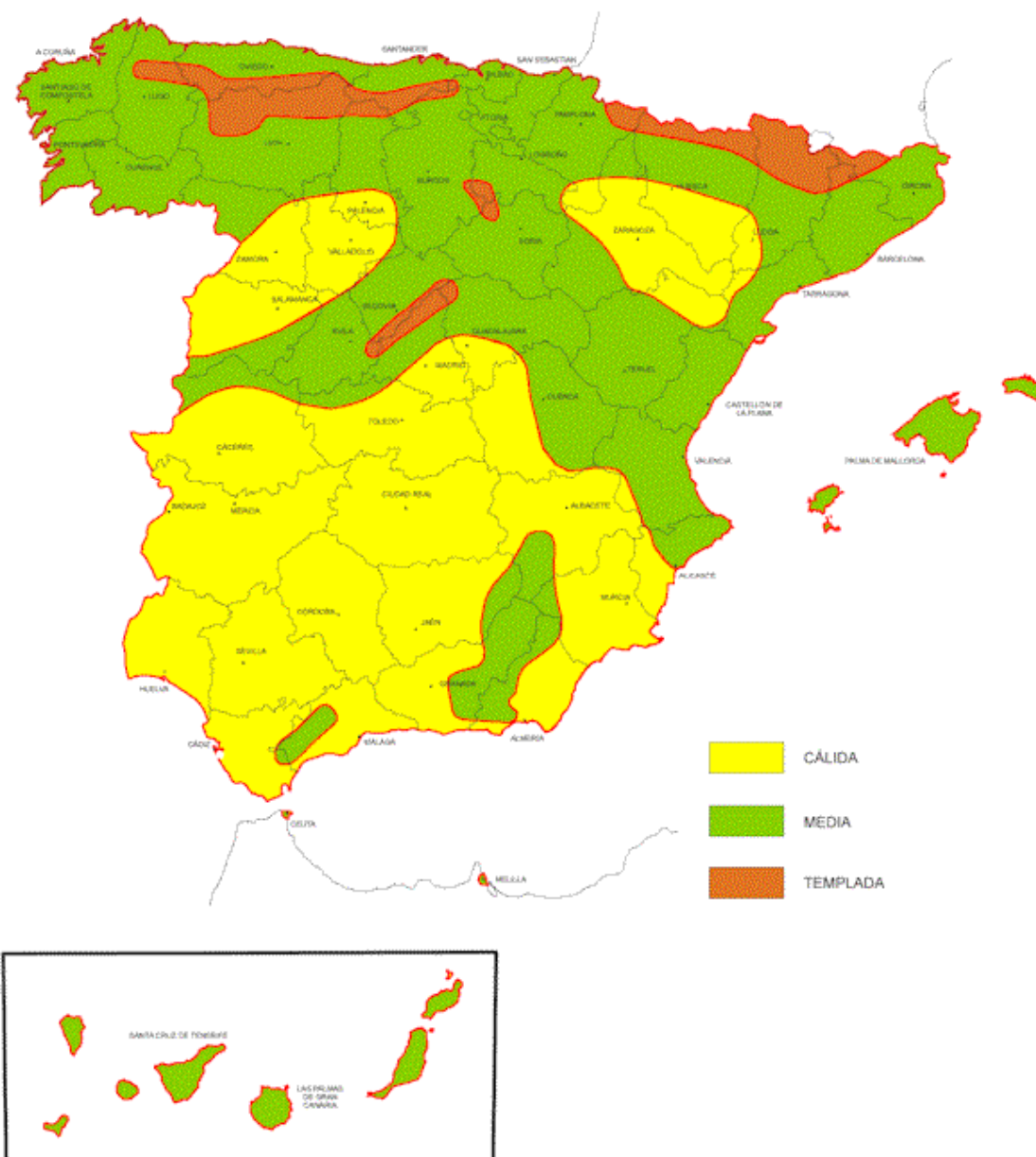
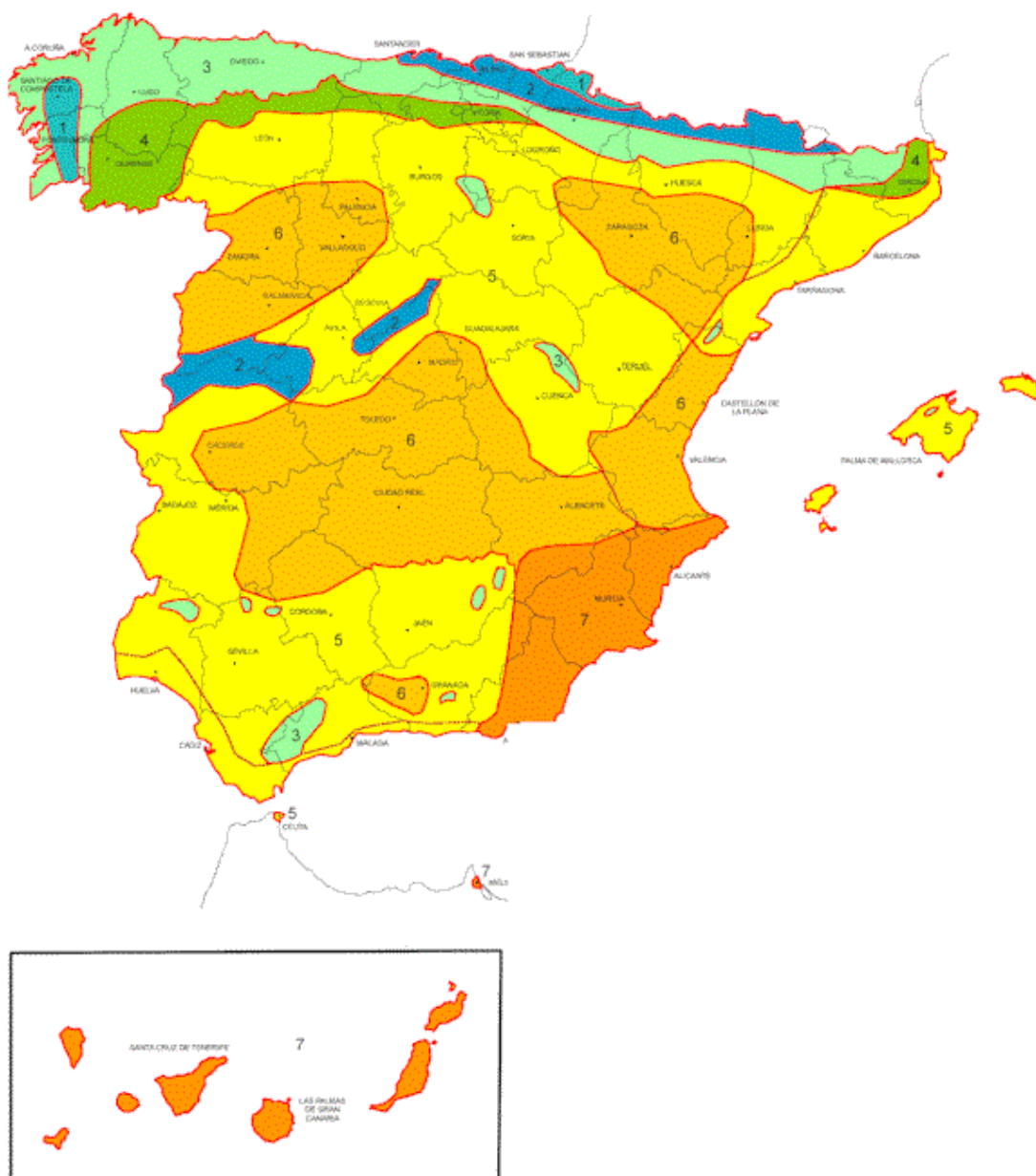


Figura 8.7.1: Mapa de zonas térmicas estivales. Fuente: Fig. 3 Norma 6.1 IC)



Zonas pluviométricas		Precipitación media anual (mm)	
Lluviosa:	Zonas 1 a 4	≤ 600 mm	
Poco lluviosa:	Zonas 5 a 7	> 600 mm	

Los valores de la tabla se han determinado por adaptación de los datos disponibles durante un período de 30 años en las estaciones principales del Instituto Nacional de Meteorología,

Figura 8.7.2: Mapa de precipitaciones medias anuales. Fuente: Fig. 4 Norma 6.1 IC).

Ahora vamos a ver los criterios elegidos para el diseño del paquete de firmes:

En primer lugar, la explanada, como la vamos a formar con suelo seleccionado, procedente de machaqueo de piedra en rama, consideramos que se debe aplicar la categoría E1 (Segundo módulo del ensayo de placa de carga de valor menor o igual a 250 MPa) (Ver tabla 3, norma

6.1 IC), valor habitual en todos los ensayos realizados por el autor del proyecto, en materiales de la misma naturaleza.

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
Deflexión patrón (10 ⁻² mm)	≤ 250	≤ 200	≤ 125

(*) Valor probable de la capacidad de soporte de la explanada, dentro del campo de variación debido a los cambios de humedad.

Tabla 8.7.1 Deflexiones en el segundo módulo del ensayo de carga con placa. Fuente: Norma 6.1 IC.

Para el paquete inferior (Explanada y subbase) usaremos, ya que tenemos material de primera calidad, procedente del túnel, suelo seleccionado, (Ver características en el artículo 330.3.3.1 del PG3), hasta la cota – 61 cm, lo siguiente será colocar 40 cm de zahorra artificial, y encima de ésta 21 cm de mezclas bituminosas en caliente, según el posterior esquema, formando la sección 3111, del catálogo de firmes (Ver figura 2.2, Norma 6.1 IC).

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T31	T32	T41	T42
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	3111 3112 3114	3211 3212 3214	4111 4112 4114	4211 4212 4214
	E2	3121 3122 3124	3221 3222 3224	4121 4122 4124	4221 4222 4224
	E3	3131 3132 3134	3231 3232 3234	4131 4132 4134	4231 4232 4234

MB

 Mezclas bituminosas

HF

 Hormigón de firme

SC

 Suelocemento

ZA

 Zahorra artificial

Espesores mínimos en cm

(1) Estas capas bituminosas podrán ser proyectadas con mezclas bituminosas en caliente muy flexibles, gravaemulsión sellada con un tratamiento superficial o mezcla bituminosa abierta en frío sellada con un tratamiento superficial.

Nota 1: Para las categorías de tráfico pesado T3 (T31 y T32) las capas tratadas con cemento deberán prefisurarse con espaciamientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).

Nota 2: En la categoría de tráfico pesado T42 con tráficos de intensidad reducida (menor que 100 vehículos/carril/día) podrá disponerse un riego con gravilla bicapa como sustitución de los 5 cm de mezcla bituminosa.

Tabla 8.7.2 Paquetes de firmes en función de la explanada subyacente. Fuente: Norma 6.1 IC

Y finalmente el paquete de MBC, estará formado por 21 cm de las siguientes mezclas, aunque deberían ser 20 cm, estamos en los valores mínimos marcados por la norma, siguiendo la tabla 6 de la norma 6.1 IC:

11 cm de capa de base, del tipo AC 22 base G 50/70,

6 cm de capa intermedia, del tipo AC 22 bin D 50/70

4 cm de capa de rodadura del tipo BBTM 11B PBM 45/80-60

Y ya en lo relativo al tipo de betún utilizado en las mismas, teniendo en cuenta la zona pluviométrica y la zona térmica usaremos un betún del tipo 50/70, para las capas base e intermedia y un betún modificado con polímeros PMB 45/80-60, para la rodadura, que es el indicado en caso de mezclas discontinuas.

En lo referente a la mezcla bituminosa utilizada en rodadura, hemos de destacar las siguientes características:

Como estamos en zona de frecuentes heladas en invierno, no podemos utilizar una mezcla drenante, porque el agua introducida en los huecos al helarse, debido al mayor volumen del hielo con respecto al agua, la destruiría en poco tiempo. Por ello hemos de utilizar una mezcla discontinua no drenante, del tipo BBTM 11B, usando un ligante hidrocarbonado (betún) modificado (Para dar mayor ligazón entre áridos) del tipo PBM 45/80 – 60 (antiguo BM 3b), que es un betún modificado aditivado con polímeros y que proporciona una adherencia extra a la m.b.c. lo que es de primera necesidad en capas de rodadura, que son de espesor reducido y discontinuas, o sea que los áridos no se van introduciendo los más pequeños dentro de los huecos producidos por los más grandes, sinó que se ligan, por medio del betún, unos a otros, por alguna de sus caras, dejando pequeños huecos, entre ellos. Además, si no fuera así los vehículos, en particular los pesados, al maniobrar (e.g. cambios de carril, aceleraciones, etc), “despegarían”, con sus neumáticos los áridos, destruyendo la capa de rodadura en poco tiempo, por no hablar de los cambios bruscos de temperatura, que provocarían el mismo efecto, sobre todo en tiempo de heladas. La única precaución que deberíamos tener es controlar muy de cerca la temperatura de la mezcla ya que si ésta sobrepasara los 160 ° C (Temperatura recomendada por el fabricante del betún), el ligante hidrocarbonado se quemaría, perdiendo sus propiedades y la capa de rodadura se desharía en poco tiempo.

Las características que deben cumplir, tanto la mezcla, como el betún utilizados, se detallan en el Pliego de Condiciones del presente proyecto que, a su vez se recogen del PG 3, actualmente en vigor.

8.8 Señalización e instalaciones

Una vez hormigonado el túnel se procederá a la colocación de las señalizaciones en sus correspondientes nichos, según el patrón de 150 m, del alumbrado normal y el de emergencia, seguidos de la instalación de ventilación y el acerado.

8.9 Aglomerado del túnel

Terminada la señalización, se procederá al extendido de una capa de hormigón en masa HM 20, para regularización del suelo, dándole forma para el bombeo y, cuando esté endurecido, se procederá al extendido de la capa de rodadura (4 cm de BBTM 11 B PBM 45/80-60), que se extenderá en dos veces, procurando que la junta central longitudinal quede a tope.

8.10 Instalaciones

El drenaje subterráneo se ejecutará a la vez que se haga el revestimiento del túnel, el resto se colocará una vez revestido éste y, posteriormente se colocarán las instalaciones de ventilación y alumbrado, según planos.

A mitad del túnel (A unos 500 m de ambas bocas) se colocará una salida de evacuación, por medio de una galería perforada, en la margen derecha del túnel, para prevenir posibles atrapamientos, de personas en caso de incendio en el interior del túnel.

9 Ventilación definitiva

Dado que nuestro túnel es recto, y de una longitud no muy alta (1000 m) y no va a presentar una intensidad de tráfico elevada, por ahora, nos hemos decidido por la ventilación longitudinal con ventiladores cada 30 m, del tipo reversible (Pueden funcionar, en un sentido u otro, en función de las necesidades de evacuación de humos, del momento). Su cálculo se contempla en el Anejo de Cálculo número 3 (Ventilación en operación).

10 Planificación de los trabajos

En este epígrafe hacemos un resumen de todos los períodos de ejecución de los principales trabajos, en que se puede desglosar la ejecución de nuestra obra y que esperamos que no sea demasiado optimista, ya que la experiencia dicta que, como dijo el mariscal prusiano von Moltke ‘‘No hay plan de batalla (Léase de obra) que resista el encuentro con el enemigo (Póngase medio natural, meteorología, conflictividad laboral, etc)’’

Tiempos de ejecución de trabajos previsto para el túnel de Enciso					
	Concepto		Inicio	Fin	Tiempo (días)
Instalaciones de obra			11/03/2017	01/06/2018	81
Perforación con martillo 10 primeros metros:			01/06/2018	15/06/2018	15
Perforación, voladura y revestimiento:			16/06/2018	30/10/2018	135
Hormigonado:			02/12/2018	01/04/2019	120
Aglomerado:			05/04/2019	10/04/2016	5
Instalaciones:			11/03/2019	30/04/2019	20
Mejora carretera acceso túnel:			11/03/2017	10/04/2019	365*
Total ejecución:			11/03/2018	30/04/2019	376
* El plazo está incluido dentro de los trabajos del túnel, que es la obra principal					

Tabla 10.1: Tiempos de ejecución de los trabajos.

11 Bibliografía

AENOR: Normas sobre hormigones y suelos aplicables al Proyecto

Bernaola Alonso José et al: Perforación y voladura de rocas en Minería.

Carreteros.Org: Norma 5.1 IC, del Ministerio de Fomento (Usamos esta fuente, por su mayor facilidad de manejo y consulta).

Casas Sainz Antonio M. / Gisbert Aguilar José: El riesgo de sismicidad inducida por el embalse de Enciso.

Instituto Geológico y Minero de España: MAGNA. Hoja 280 (Enciso).

Instituto Geológico y Minero de España: Mapas de Sismicidad y Peligro Sísmico en España.

López Gimeno et al: Manual de perforación y voladura en rocas.

Maxam: Seguridad en el manejo de Explosivos.

Ministerio de Fomento: Guía de cálculo de micropilotes.

Ministerio de Fomento: Máximas lluvias diarias en la España peninsular.

Ministerio de Fomento: Manual de cálculo hidrometeorológico, de caudales máximos, en pequeñas cuencas naturales.

Ministerio de Fomento: Pliego General de Condiciones para obras de carreteras y firmes, PG 3.

Ministerio de Fomento: Norma EHE, de hormigones.

Ministerio de Fomento: Norma 6.1 IC.

Martínez López Juan M: Apuntes de Ingeniería de túneles y obras subterráneas.

Martínez López Julián A: Apuntes de Tecnología Mineralúrgica I.

Mateo Quero María S: Apuntes de Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales.

Pérez Latorre Francisco J. Apuntes de Ingeniería Sanitaria.

Pertierra Rey Matilde et al: Excavación de los túneles ferroviarios de Abdalajís (Málaga).

Rey Alberto: Hormigón proyectado. Dosificación, fabricación y puesta en obra.

Úbeda Rodríguez Mariano: Tratamientos de impermeabilización, con membranas geosintéticas en túneles.

12 Anejo de cálculo N° 1: Cálculo de una voladura tipo.

Vamos a proceder al cálculo de una voladura de la sección tipo, haciendo la salvedad de que, una vez efectuada la primera pega, se verá si hay que modificarla ligeramente o no, dado que estamos en un medio natural y en éstos no hay nada previsible, en primera instancia.

Los datos de partida son los siguientes:

Radio del túnel: 5.5 m

Altura máxima: 7.1 m

Anchura en la rasante: 10.5 m

Sección del túnel: 56.72 m

Perímetro del túnel: 20.64 m

Características del explosivo: Riodín HE, de potencia relativa en peso (Respecto al ANFO) 30 % = 1.3.

Carga de fondo: Cartuchos de ϕ 32 mm y 200 mm de longitud y 0.238 kg de peso, con una concentración lineal de carga de 1.19 kg/m.

Carga de columna: Cartuchos de ϕ 26 mm y 200 mm de longitud y 0.152 kg de peso, con una concentración lineal de carga de 0.76 kg/m.

Contorno: Cordón detonante Riocord de 100 g/m y concentración lineal de carga de 0.1 kg/m.

Detonadores: Cuele y contracuele con detonadores electrónicos Riotronic de 30 ms de retardo.

Zapatera, destroza y contorno con detonadores Rionel LP, número 1, de 100 ms de retardo.

Diámetro del taladro central (Sin carga): 102 mm (4’’).

Diámetro del resto de los taladros: 51 mm (2’’).

Rendimiento calculado del avance: 90 % sobre una perforación de 4 m, o sea en cada pega avanzaremos 3.60 m, aproximadamente.

Cuele: El tipo de cuele usado, es el cilíndrico, de 4 secciones, que es un cuele de eficacia probada y cuyo esquema reproducimos en el apartado de figuras.

Para comenzar el cálculo, lo hacemos por la sección interior. Para la primera piedra “B” tomamos el valor de

$$B = 1.5 D_2 \quad (1)$$

sustituyendo $B = 1.5 \times 102 \text{ mm} = 153 \text{ mm}$. El lado de la primera sección del cuele será $AH_1 = B\sqrt{2} = 1.4142 \times 153 \text{ mm} = 216.4 \text{ mm}$

Sección 2 (Cuele):

$$B_2 = B\sqrt{2} \quad (2)$$

$$B_2 = 1.4142 \times 153 \text{ mm} = 216.4 \text{ mm}$$

Lado sección 2:

$$AH_2 = 1.5 B_2\sqrt{2} \quad (3)$$

$$AH_2 = 459 \text{ mm}$$

$$\text{Sección 3 (Contracuele): } B_3 = 1.5 B_2\sqrt{2} = 459 \text{ mm}$$

$$\text{Lado sección 3, } AH_3 = 1.5 B_3\sqrt{2} = 973.7 \text{ mm}$$

$$\text{Sección 4 (Contracuele): } B_4 = 1.5 B_3\sqrt{2} = 973.7 \text{ mm}$$

$$\text{Lado sección 4, } AH_4 = 1.5 B_4\sqrt{2} = 2006 \text{ mm}$$

Aquí hemos de hacer la salvedad de que, para evitar la deformación plástica, que no rompería la roca, se debe cumplir que $B_n \leq 2AH_n$, condición que se cumple en todos los casos.

Para el cálculo de la cantidad de explosivo, tenemos que la longitud de la carga de fondo es un tercio de la longitud del barreno, o sea

$$L_f = 1/3 L_b \quad (4)$$

$L_f = 1/3 \times 4 \text{ m} = 1.33 \text{ m}$, que dividido por la longitud de un cartucho sería $1.33 / 0.2 = 6.65 \approx 7$ cartuchos, redondeando, por lo que el peso de la carga de fondo será de 7 cartuchos por $0.238 \text{ kg /cartucho} = Q_f = 1.67 \text{ kg}$.

El retacado ‘T’, está comprendido entre 5 y 10 veces el diámetro del barreno, aquí tomamos 8 veces, por lo que

$$T = 8 D_1 \quad (5)$$

$$T = 8 \times 0.051 \text{ m} = 0.408 \text{ m}.$$

La longitud de la carga de columna será:

$$L_c = L_b - (L_f + T) \quad (6)$$

$L_c = 4 - (1.33 + 0.408)$, luego $L_c = 2.26$ m, que dividido por 0.2 m por cartucho, dan 11 cartuchos que, multiplicados por los 0.152 kg de peso por cartucho, son 1.67 kg, luego Q_c son 1.67 kg, por taladro. En total tenemos una carga por taladro de $Q_b = Q_f + Q_c = 1.67 \text{ kg} + 1.67 \text{ kg} = 3.34 \text{ kg}$.

La concentración lineal de carga por barreno es de 3.34 kg, dividido por los 4 metros del barreno y dan 0.835 kg / m.

Como entre el cuele y contracuele, son 16 barrenos cargados, el total de la carga es de 3.34 kg x 16 barrenos = 53.44 kg.

Zapateras: Para calcular la piedra en las zapateras, usaremos la fórmula siguiente:

$$B_z = 0.9 \sqrt{(q_1 \times PRP_{\text{Riodin}}) / [c_r \times f \times (S/B)]} \quad (7)$$

$B_z = 0.9 \sqrt{(1.19 \times 1.3) / (0.53675 \times 1.45 \times 1)}$, luego $B_z = 1.26$ m y como $S/B = 1$,

$S_z = 1.26$ m

c (Constante de la roca) es

$$c = (0.00573 \times RMR) + 0.057 \quad (8)$$

Como nuestro RMR es de 75, sustituimos y tenemos que $c = (0.00573 \times 75) + 0.057 = 0.48675$, como c_r (Constante de roca corregida) es 0.05 + $c = 0.05 + 0.48675 = 0.53675$

Para q_1 tomamos la concentración lineal de carga del cartucho de ϕ 32 mm, que es de 1.19 kg/m. En las zapateras S/B equivale a 1, luego para el factor f (Factor de fijación) normalmente se toma 1.45, para tener en cuenta el efecto gravitacional y el tiempo de retardo entre barrenos.

Para las zapateras de esquina, el espaciamiento sería:

$$S'_z = S_z - L \text{ sen } \alpha \quad (9)$$

$S'_z = 1.26 - 4 \text{ sen } 3^\circ = 1.26 - 4 \times 0.052 = 1.052$ m

Aquí hay que hacer el inciso de que, en las zapateras de esquina, es necesario considerar el ángulo de realce, o inclinación, necesario para proporcionar a la perforadora el hueco necesario para la correcta ejecución del taladro, para lo que se considera un ángulo $\alpha = 3^\circ$, que representa 5 cm / m, lo que basta para ello.

Para el cálculo del número de barrenos de las zapateras, se usa la fórmula:

$$NB = [(AT + 2L\text{sen } \alpha) / B] + 2 \quad (10)$$

sustituyendo y operando: $NB = 10.66$, redondeando 11 barrenos.

La carga de fondo y la de columna son las mismas que para el cuele, por lo que cada barreno tendrá 3.34 kg que, multiplicados por los 11 barrenos, nos dan una carga total para las zapateras de 36.74 kg.

Destroza: Usamos la misma fórmula que para las zapateras (7), solo que aquí tomamos la relación $S/B = 1.25$, por lo que sustituyendo tenemos que

$$B_d = 0.9 \sqrt{(q_1 \times PRP_{\text{Riodín}}) / [C_r \times f \times (S/B)]} = 0.9 \sqrt{(1.19 \times 1.3) / (0.53675 \times 1.45 \times 1.25)} = 1.13, \text{ como } S/B = 1.25 \text{ } S_d = 1.25 B_d = 1.25 \times 1.13 = 1.41 \text{ m}$$

El cálculo del explosivo es igual que en los dos apartados anteriores, por lo que como según el esquema de la perforación nos salen 39 taladros, la carga total de explosivo de la destroza sería $39 \text{ taladros} \times 3.34 \text{ kg / taladro} = 130.26 \text{ kg}$.

Contorno con recorte: Aquí usamos una relación S/B de 0.8 y para el espaciamiento usamos la fórmula:

$$S_c = K \times D_1 \quad (12)$$

siendo K una constante que varía entre 15 y 16, tomamos 15, al ser la roca competente. Sustituimos y queda

$$S_c = 15 \times 0.051 = 0.765 \text{ m, por tanto } B_c = 0.765 / 0.8 = 0.956 \text{ m.}$$

Por tanto, como tenemos que la longitud del contorno del túnel son 20.64 m, lo dividimos, por la piedra, que es 0.95 m y nos da un número de barrenos, para el contorno, $NB_c = 20.64 / 0.95 = 21$ barrenos.

Como en estos barrenos usamos cordón detonante de 0.100 kg / m, el peso de explosivo en los 21 barrenos, es de $0.100 \text{ k} \times 4\text{m} \times 21 \text{ barrenos} = 8.4 = Q_{\text{cont}}$

Por tanto, el total de explosivo de cada voladura se obtiene sumando las partidas correspondientes a cuele, zapateras, destroza y contorno, lo que sería:

$$Q_v = 53.44\text{kg} + 36.74 \text{ kg} + 130.26 \text{ kg} + 8.40 \text{ kg} = 228.84 \text{ kg.}$$

La carga específica de cada voladura se obtendría dividiendo los kilos de explosivo, utilizados en cada pega, entre los metros cúbicos obtenidos en la misma, que en este caso son $4\text{m} \times 56.72 \text{ m}^2 = 226.88 \text{ m}^3$, luego

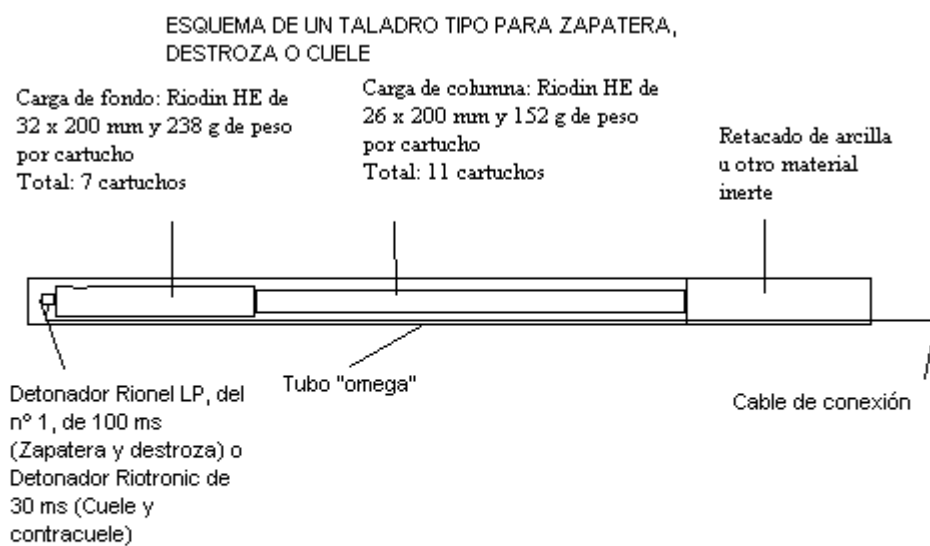
$Q_E = 228.84 \text{ kg} / 226.88 \text{ m}^3 = 1 \text{ kg} / \text{m}^3$ de roca volada, lo indica una buena proporción carga / volumen, para voladuras de interior.

Resumen voladura tipo en el túnel		
Concepto	Cantidad	
Profundidad de la pega (m)	4,00	
Número total de barrenos	87,00	
Perforación total (m)	348,00	
Perforación específica (m / m³)	0,38	
Número de barrenos en el cuele	4 + 1 vacío	
Número de barrenos en el contracuele	12,00	
Número de barrenos en las zapateras	11,00	
Número de barrenos en la destroza	39,00	
Número de barrenos de contorno	21,00	
Carga de fondo por barreno (kg)	1,67	
Carga de columna por barreno (kg)	1,67	
Carga por barreno de contorno (kg)	0,40	
Carga total en cueles y contracueles (kg)	53,44	
Carga total en zapateras (kg)	36,74	
Carga total en destroza (kg)	130,26	
Carga total en contorno (kg)	8,40	
Carga total por pega (kg)	228,84	
Volumen volado por pega (m³)	226,88	
Carga específica de la pega (kg / m³)	1,00	
Carga máxima instantánea (kg)	50,10	
Carga por orden de iniciación (kg)		
Secuencia:	0	0 (Vacío)
	1	3,34
	2	3,34
	3	3,34
	4	3,34
	5	3,34
	6	3,34
	7	3,34
	8	3,34
	9	6,68
	10	6,68
	11	13,36
	12	36,74
	13	43,42
	14	50,10
	15	30,06
	16	8,40
	17	6,68

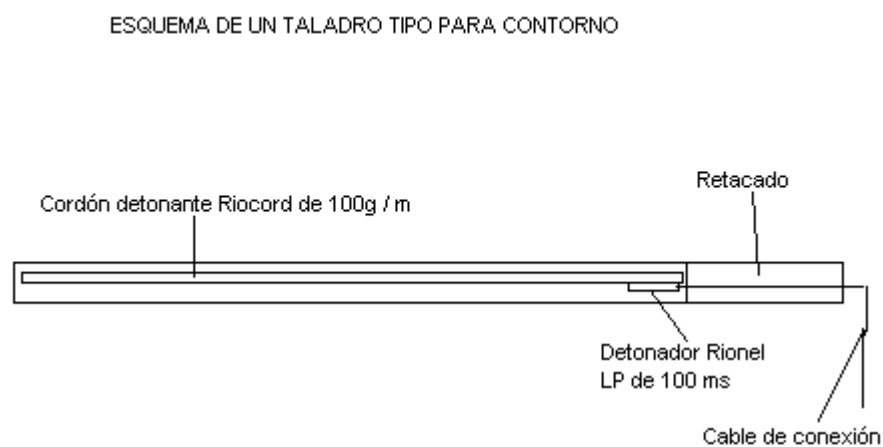
Anejo n° 1. Tabla 1: Resumen del explosivo utilizado en cada pega

En las figuras siguientes se observan:

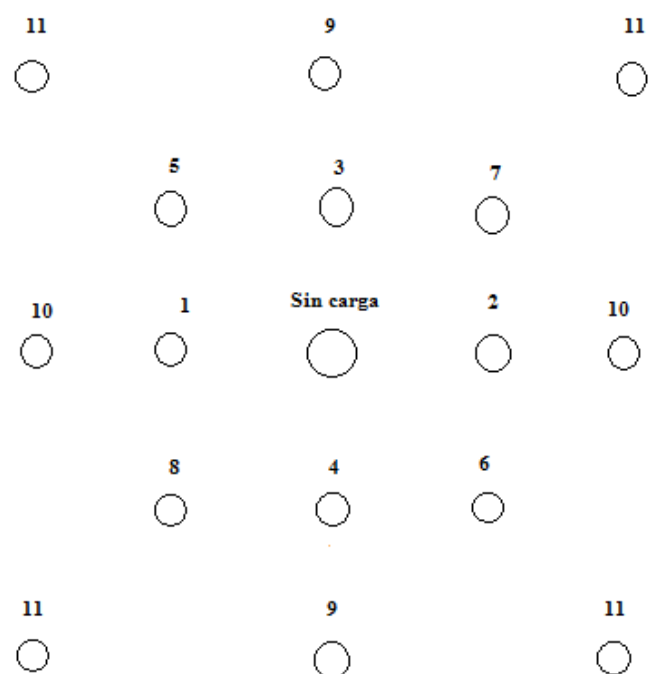
Esquema de la carga de un barreno tipo, para zapateras, cueles y destroza; Esquema de un barreno tipo para un recorte de contorno; Esquema de carga del cuele y del contracuele; Esquemas de conexiones; Esquemas del resto de los barrenos (Zapateras destroza y contorno); Zonas de influencia de los barrenos y secuencia de la pega. Además, también se incluyen esquema del cuele cilíndrico. y de los tubos omega.



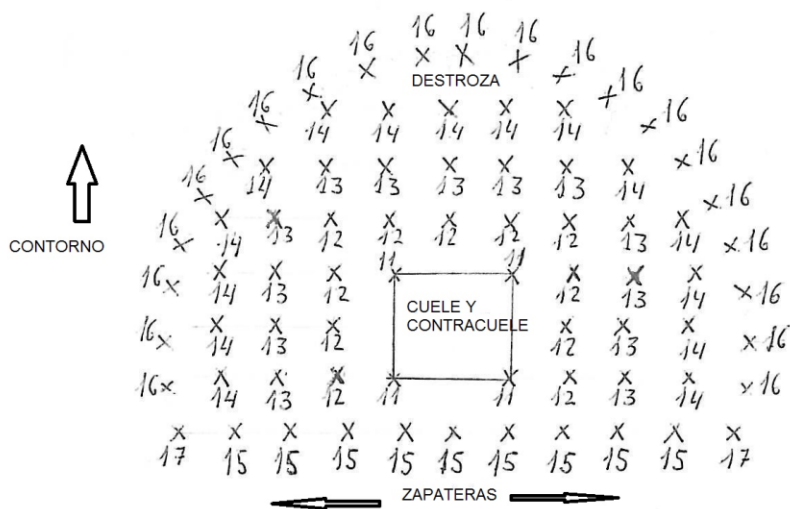
Anejo n 1. Figura 1: Esquema de taladro tipo para zapatera, destroza o cuele



Anejo nº 1. Figura 2: Esquema de un taladro tipo de contorno



Anejo nº 1. Figura 3: Secuencia de disparo del cuele y del contracuele

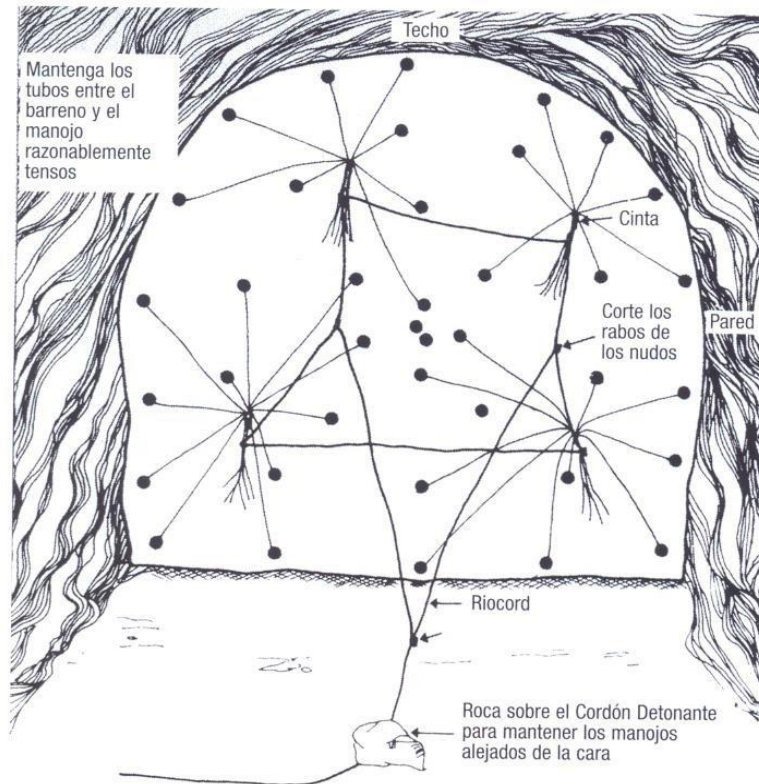


ESQUEMA DE UNA VOLADURA TIPO EN
UNA SECCIÓN DEL TÚNEL

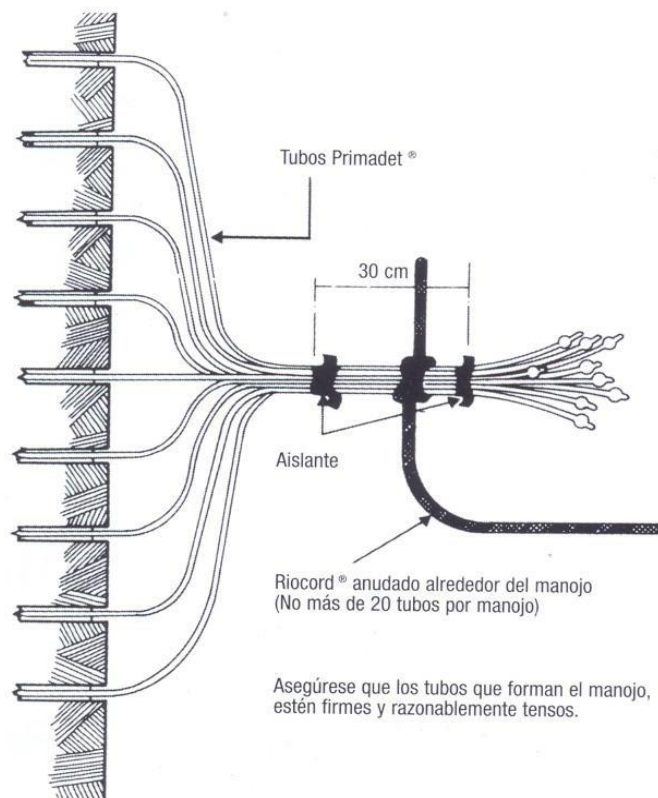
NOTA: El cuele y el contracuele, podrán desplazarse, hacia la derecha o hacia la izquierda, en caso de que la zona asignada a los mismo, en el centro, resulte muy dañada y pudieran afectar a la perforación del siguiente avance.

Anejo nº 1. Figura 4: Secuencia de disparo de zapateras, destroza y contorno

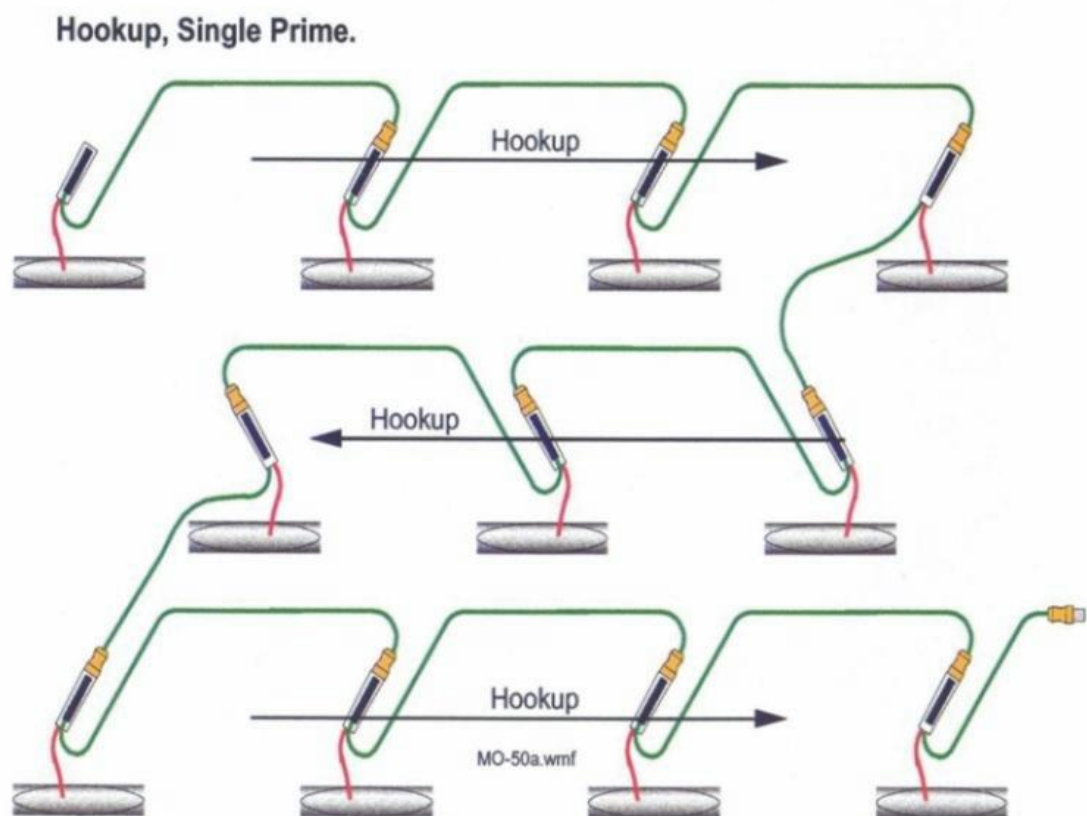
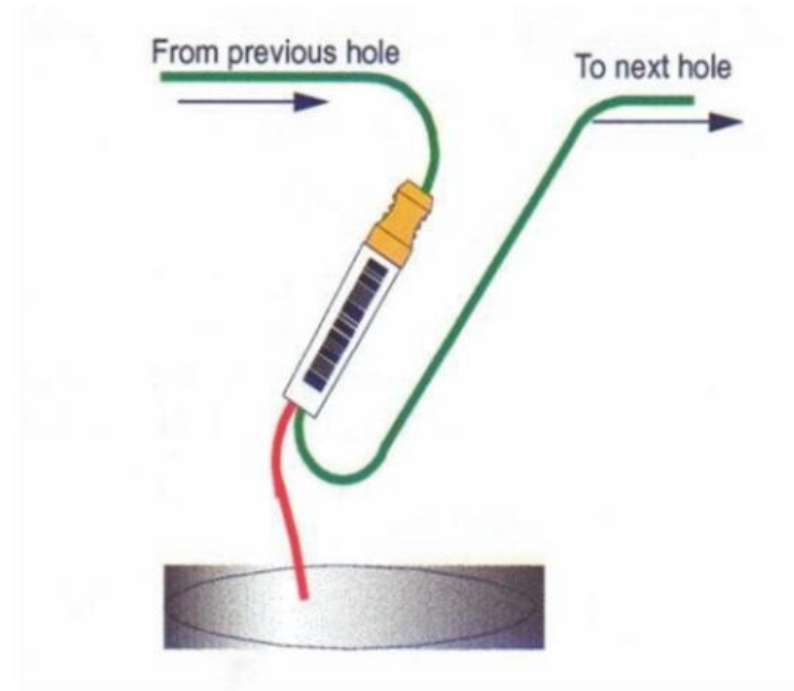
■ Método de conexión con manojos



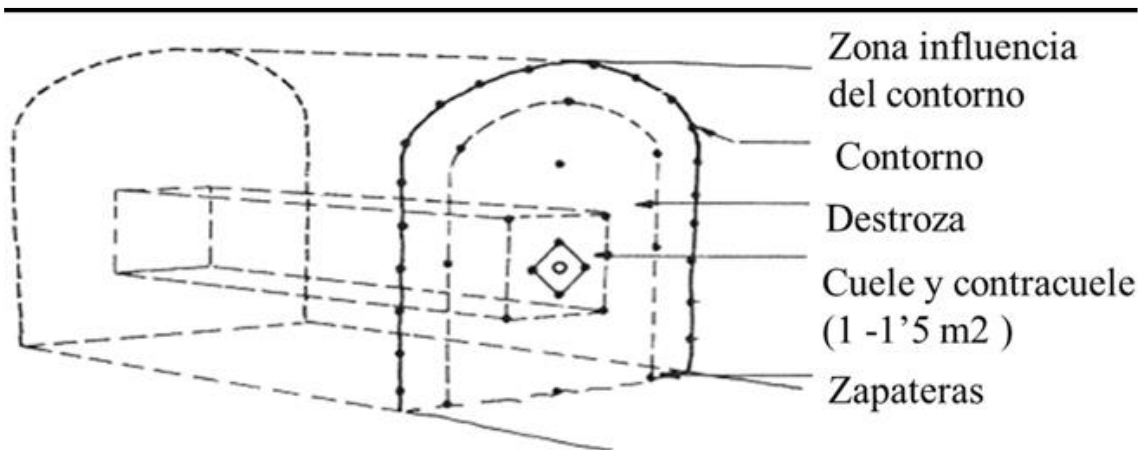
■ Nudo simple en derivación de conexión con manojos



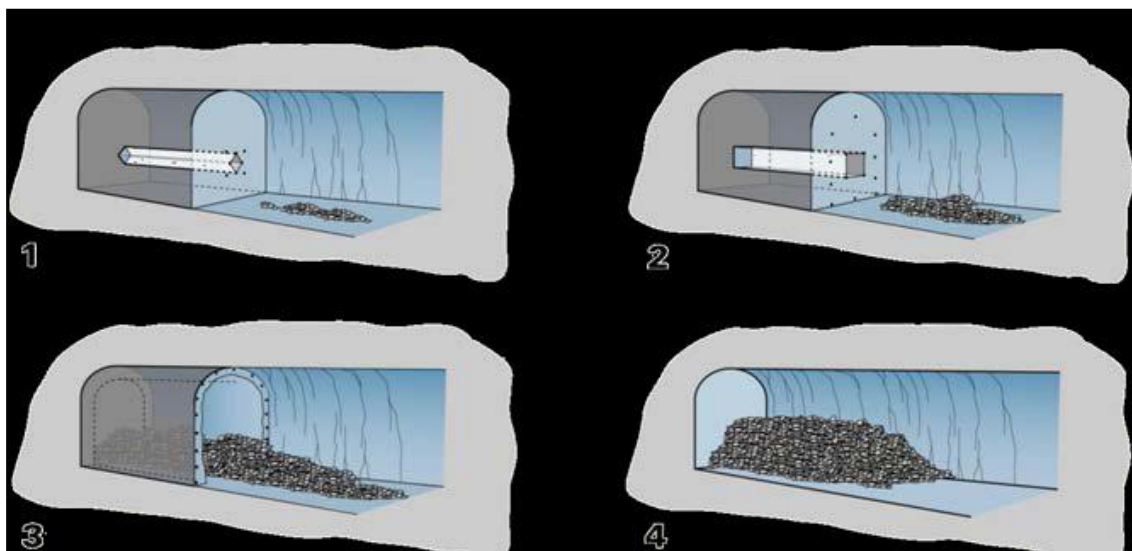
Anejo nº 1. Figura 5: Esquema de conexiones entre barrenos. Fuente: Apuntes de la asignatura de Explosivos y Voladuras



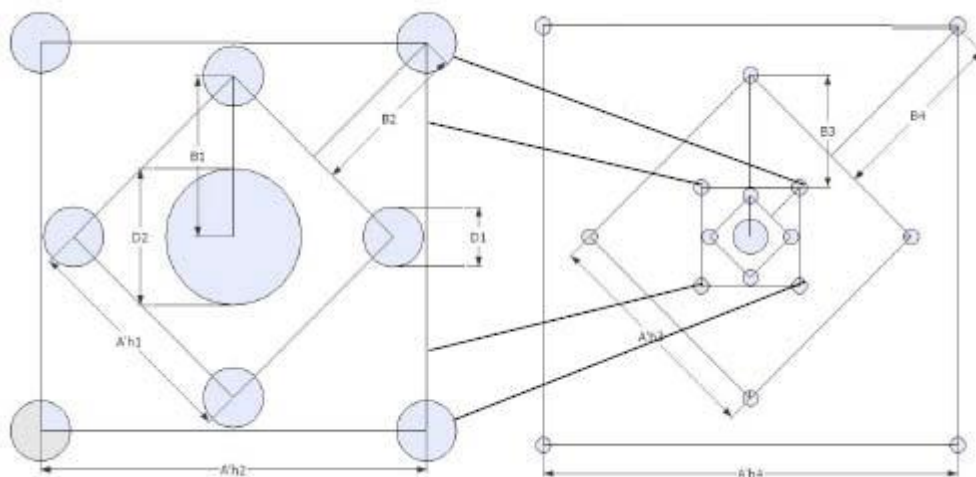
Anejo n° 1. Figura 6: Esquemas de conexiones entre detonadores electrónicos.
Fuente: Seguridad en el manejo de Explosivos. Maxam



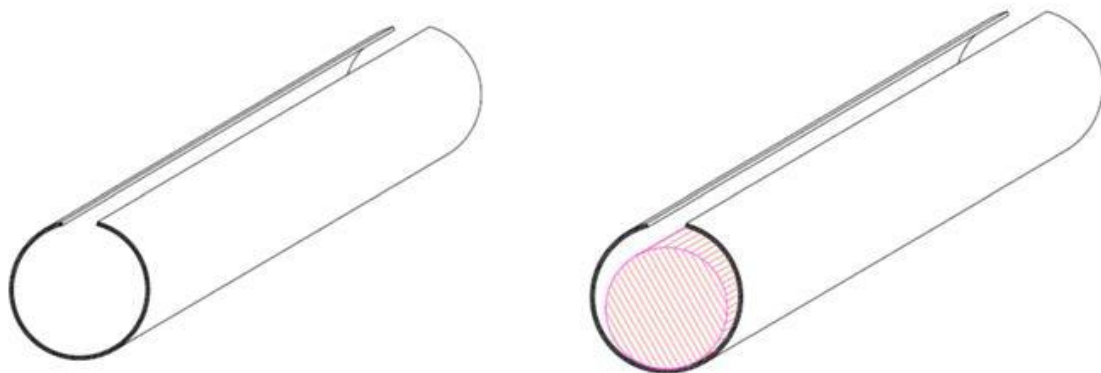
Anejo nº 1. Figura 7: Zonas de influencia de cada tipo de barrenos. Fuente: Seguridad en el manejo de Explosivos. Maxam



Anejo nº 1. Figura 8: Secuencia de la voladura. Fuente: Seguridad en el manejo de Explosivos. Maxam



Anejo nº 1. Figura 9: Esquema del cuele cilíndrico (Cuele y contracuele). Fuente: Apuntes de la asignatura de Explosivos y Voladuras



Anejo nº 1. Figura 10: Tubos omega. Fuente: Apuntes de la asignatura de Explosivos y Voladuras

13 Anejo de cálculo N° 2: Cálculo del caudal de aire necesario en la construcción del túnel.

El caudal de aire necesario para la construcción de un túnel comprende varios factores:

1.- En primer lugar, debemos considerar el caudal necesario para la dilución de los gases de escape de la maquinaria que trabaja en su interior, que normalmente es de combustión interna (Diesel) y se considera, que para esto se necesitan 1500 m³ de aire, por cada kilo de gasóleo consumido y por cada hora de funcionamiento. También se considera que el consumo de gasoil de las máquinas que trabajan en el túnel es de 0.272 kg/kWh, o sea 0.272 kg de gasoil, por cada kW de potencia y por hora de funcionamiento. Dicho consumo se multiplica por 0.6, pues se considera que las máquinas trabajarán, normalmente, al 60 % de su potencia nominal.

En nuestro caso, la maquinaria que estará trabajando en nuestro túnel (Por cada boca) será la siguiente: Dos carros perforadores Atlas Copco, modelo Boomer XE3C que, al ser de accionamiento eléctrico, no aplican en el presente cálculo; Una pala cargadora LHD Caterpillar, modelo R 2900 G, de 305 kW de potencia y, por último dos camiones Mercedes, modelo Actros, de 313 kW, cada uno y, que consideramos que trabajarán en el interior del túnel una media de 45 minutos por hora. Por tanto, la potencia a tratar será la siguiente $P = 305 + [2(45/60) \times 313] = 774.5 \text{ kW}$

El caudal necesario para diluir los gases de escape será el siguiente (En m³/s):

$$Q_0 = 774.5 \text{ kW} \times 1500 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{kg} \times 0.272 \text{ kg/kWh} \times 0.6 = 52.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.- Ahora consideraremos el aire necesario para la ventilación de los gases producidos por la voladura, que viene dado por la expresión

$$q = (S/t) (L + 120) \quad (1)$$

donde S sería la sección del túnel, en m²; t el tiempo deseado de evacuación de esos gases, en. segundos; L: La longitud de evacuación de esos gases en metros y q sería el caudal de aire necesario para la dilución de los gases en m³/s.

Aplicando la fórmula (1), tenemos que $q = (56.72 \text{ m}^2 / 20 \text{ min}) \times (500 \text{ m} + 120) = q = 1758 \text{ m}^3/\text{min} = 29.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cogeremos el mayor caudal que es el necesario para diluir los gases de escape o sea 52.66 m³/s.

Ahora vamos a determinar las pérdidas de carga en la tubería de aspiración, según la expresión:

$$Q_p = 5.76 \times \Theta \times H^{1.7} \times L \quad (2)$$

siendo: Q_p es el caudal perdido en m^3/min ; Θ El orificio equivalente a todos los agujeros, por donde se pierda el aire del tubo en m^2 , sus valores se muestran en la tabla nº 1.

H es la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la tubería, en este caso es según la empresa suministradora, de 50 Pa.

L es la longitud de la tubería en metros, en este caso 500 m, por ser la mayor longitud posible.

Tomamos para Θ el valor 0.5×10^{-4} correspondiente a una tubería flexible con escayolado de juntas.

Sustituimos todos los valores y operamos la fórmula (1) y queda que $Q_p = 111.33 m^3/s$, que pasados a m^3/s , nos dan $1.85 m^3/s$.

Por tanto, el caudal total, necesario es la suma del caudal necesario a aspirar para diluir los gases de escape más las pérdidas de carga, o sea

$$Q = Q_0 + Q_p \quad (3)$$

$$\text{Por tanto: } Q = Q_0 + Q_p = 52.66 + 1.85 = 54.51 m^3/s$$

Θ	Calificación junta	Unión
10^{-6}	Excelente	Tubería de aire comprimido
10^{-5}	Buena	Tubería con junta y brida de goma
0.5×10^{-4}	Bastante buena	Escayolado en juntas (Aspiración)
10^{-4}	Mediocre	Faja zunchada y manguito. Collarín
0.5×10^{-3}	Mala	Faja y manguito. Abocado de tubos
10^{-3}	Muy mala	Faja sin manguito

Anejo nº 2. Tabla 1: Valores de Θ , para diferentes tipos de uniones de tubería.

Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

3.- Calcularemos la potencia necesaria para ventilar nuestro túnel:

La pérdida de carga es función de la resistencia aerodinámica experimentada por el aire en un trayecto dado y viene dada por la fórmula:

$$\Delta X_t = R \times Q^2 \quad (4)$$

siendo ΔX la pérdida de carga en Pa; R la resistencia aerodinámica en $N \times s^2/m^8$

Y Q el caudal, ya calculado por la fórmula (3)

La fórmula que permite el cálculo de la resistencia aerodinámica del túnel es la siguiente:

$$R_{aero} = (10^{-3} / 8g) \times [(\lambda \times Y \times P \times L) / S^3] \quad (5)$$

siendo: g la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2) λ el coeficiente de pérdida de carga; Y es el peso específico del aire (12.01 N/m^3); P el perímetro de conducto en el tramo considerado (m); L Es la longitud del tramo considerado en m; y S la sección del túnel en m^2

El coeficiente de pérdida de carga es función de las características del fluido y de la rugosidad de las paredes del túnel y se calcula por la expresión:

$$\lambda = 0.7\lambda_p + 0.7\lambda_s \quad (6)$$

siendo λ_p , el coeficiente de rugosidad de las paredes y λ_s el coeficiente de rugosidad atribuido al suelo, según las tablas 2 y 3.

Sostenimiento			λ_p
ROCA DESNUDA	Pared bien recortada		0,058
	Pared con acabado medio		0,084
	Pared irregular		0,108
ROCA BULONADA	Pared bien recortada		0,058
	Pared con acabado medio		0,084
	Pared irregular		0,108
	Pared con tela metálica		0,130
ROCA REVESTIDA	Hormigón liso		0,022
	Albañilería	Buen estado	0,025
		Estado medio	0,03
		Irregular	0,04

Anejo nº 2. Tabla nº 2: Coeficiente de pérdida de carga de las paredes de un túnel

Fuente: Apuntes de la asignatura Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

Características del suelo	λ_s
Suelo hormigonado o asfaltado	0,03
i = 5 cm	0,06
i = 15 cm	0,08
i = 30 cm	0,108

Anejo nº 2. tabla 3: Coeficiente de pérdida de carga en función de las rugosidades del suelo del túnel 'i', en cm. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

En este caso adoptamos como $\lambda_p = 0.84$ (roca desnuda con acabado medio) y como $\lambda_s = 0.06$ (irregularidades de tamaño alrededor de 5 cm).

Por tanto, Aplicando la fórmula (6) Tenemos que $\lambda = 0.0768$

Si sustituimos todos los valores en la fórmula (5), teniendo en cuenta que la tubería a usar es flexible, con refuerzo interior y de diámetro de 1500 mm, El perímetro del túnel son 20.64 m y el tramo de túnel desnudo (Separación entre el frente de avance y la tubería son 25 m nos sale que la resistencia aerodinámica del túnel R_{aero} es de 0.033 Pa.

Ahora calculamos la resistencia aerodinámica de la tubería, que viene dada por la fórmula:

$$X_c = (0.98 \times \lambda \times L \times Q^\alpha) / D^5 \quad (7)$$

siendo ΔX_c La resistencia aerodinámica de la tubería en Pa; λ el coeficiente de pérdida de carga en tuberías, dado por la tabla 4; L la longitud máxima a ventilar en m; Q el caudal de aire que circula por la tubería en m³/s; D el diámetro de la tubería en metros y α un coeficiente, en función del tipo de tubería que puede tomar los siguientes valores: 2 en tuberías rígidas y 1.7, en tuberías flexibles.

Llegados a este punto hemos de hacer la salvedad de que, dada la gran influencia que tiene el diámetro de la tubería en la resistencia aerodinámica de la misma, hemos de procurar que el diámetro de ésta sea el mayor posible.

En nuestro caso tomamos el valor de λ como 0.0210 (Tubería flexible bien suspendida).

Por tanto, sustituyendo cada término por su valor y operando en la ecuación (7), tenemos que el valor de la resistencia aerodinámica de la tubería ΔX_c es de 1364.8 Pa.

Como el túnel es recto y sin pozos de ventilación ni huecos, no tenemos singularidades, por lo que este término es cero.

Tipo de tubería		λ
Rígidas	Materia plástica	0,0180
	Metálicas lisas	0,0205
	Contrachapado de madera	0,0220
Flexibles	Bien suspendidas	0,0210
	Mal suspendidas	0,0260

Anejo nº 2. Tabla 4: Coeficiente de pérdida de carga en tuberías. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

Y llegados al momento de calcular la potencia necesaria para ventilar nuestro túnel, lo hacemos mediante la siguiente fórmula:

$$W = (Q \times \Delta H) / \eta \quad (8)$$

siendo W, la potencia en watios, absorbida por el ventilador; Q el caudal suministrado por el ventilador en m³/s; ΔH la depresión producida por el ventilador en Pa y η el rendimiento del ventilador que deberá ser no inferior al 80 %.

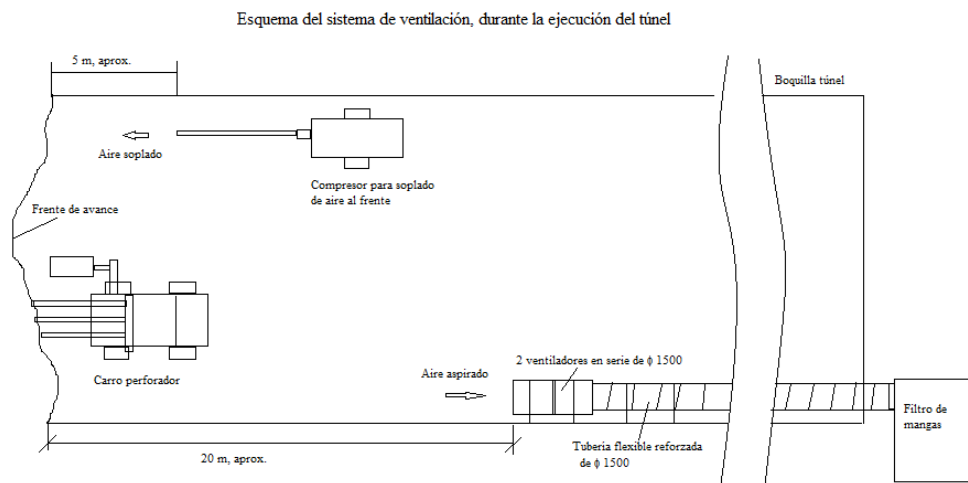
Tenemos que ΔH es la suma de las resistencias aerodinámicas producidas por el túnel, la tubería y las singularidades

$$= \Delta X_c + \Delta X_t + \Delta X_{\text{sing}} \quad (9)$$

Por tanto, tenemos que ΔX_c es de 1364.8 Pa;
 $\Delta X_t = R \times Q^2 \quad (4) = 0.033 \times 54.51 = 98.05 \text{ Pa};$
 $\Delta X_{\text{sing}} = 0$

Por lo que, operando en la fórmula (9) tenemos que ΔH es 1462.8 Pa
 Sustituyendo y operando en la fórmula (8), tendremos que la potencia necesaria para nuestros ventiladores es de 99.67 kW, que como cada ventilador del tipo elegido es de 86 kw de potencia, colocaremos dos ventiladores, en serie, por cada boca, de esas características y de 1500 mm de diámetro, con salida a un filtro de mangas, para evitar aportaciones de gases y polvo al ambiente. Para el soplado de aire al frente de avance, ya que hemos elegido el método mixto de ventilación, usaremos, por cada boca un compresor del tipo Atlas Copco ZS VSD, o similar de 350 kW de potencia.

A continuación, mostramos un esquema del sistema de ventilación, durante la ejecución del túnel.



Anejo nº 2. Figura 1: Esquema de la ventilación del túnel, durante su ejecución

14 Anejo de cálculo N° 3: Ventilación definitiva

La renovación del aire en un túnel en explotación suele basarse en el tiro de aire natural, que siempre existe en mayor o menor medida. A veces dicha ventilación natural es suficiente (Puede llegar a 5 m/s), ayudada por el efecto pistón de los vehículos, si la circulación, en el túnel es unidireccional.

En otras ocasiones, debido a la mayor longitud del túnel, al tráfico soportado o a la inexistencia de ventilación natural, es necesario adoptar una ventilación forzada, que es de uno de los tres tipos siguientes: Longitudinal, transversal o semitransversal.

Es muy importante determinar “a priori” el tipo de ventilación a emplear, ya que ello determina la sección del túnel y otros parámetros importantes, durante la construcción.

Los tres tipos principales de ventilación son los siguientes:

Ventilación longitudinal por ventiladores de chorro En este tipo de túneles se disponen pequeños ventiladores de chorro situados a lo largo del túnel los cuales generan una corriente longitudinal de aire en el mismo. Este tipo de ventilación está especialmente indicado para túneles con un sentido único de circulación incluso para grandes longitudes.

En caso de incendio, se impulsan los humos hacia la boca de salida de los vehículos, evitando el retroceso de los humos a la zona en la que se produce la retención de los coches. En túneles bidireccionales es muy conveniente que los ventiladores sean de tipo reversible para facilitar el control de los humos en caso de incendio. Su gran ventaja es un reducido coste tanto inicial como de explotación.

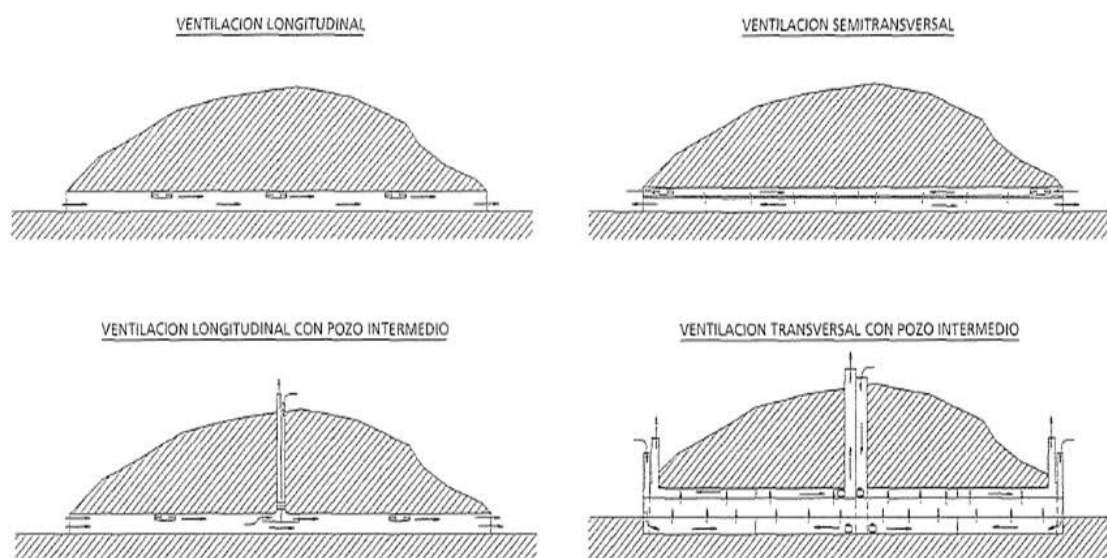
Ventilación semi-transversal con inyección de aire fresco Con este tipo de ventilación se pretende dar a cada zona del túnel la cantidad de aire fresco necesario para diluir los contaminantes que allí se producen. El aire fresco se introduce a lo largo de todo el túnel a través de una serie de aberturas que comunican un conducto auxiliar con el túnel. El conducto auxiliar habitualmente va situado en un falso techo del túnel. El aire contaminado sale a través de las bocas. Para prevenir el caso de incendio este tipo de ventilación puede estar preparada para invertir el sentido del aire y pasar a una aspiración a lo largo del túnel o en zonas localizadas. Para ello se disponen trampillas que se pueden abrir o cerrar según el caso.

Ventilación transversal total Con este tipo de ventilación cada tramo del espacio de tráfico debe recibir exactamente la cantidad de aire fresco necesario para diluir las materias nocivas producidas. Igualmente, el sistema debe ser capaz de extraer aire viciado con el fin de que en el túnel no se produzca ninguna corriente longitudinal dentro del espacio del tráfico. El aire

fresco se suele repartir mediante aberturas situadas al nivel de la calzada o en la parte superior mientras que el aire viciado se extrae por la parte superior del túnel.

Las aberturas para la extracción de aire viciado deben situarse siempre en la parte superior del túnel para permitir la extracción de los humos en caso de incendio. Este es probablemente el sistema de ventilación más completo, aunque conlleva los mayores gastos tanto de instalación como de mantenimiento y explotación. Existen dudas también sobre su capacidad para controlar la velocidad longitudinal del aire (y por consiguiente la nube de humos en caso de incendio) en caso de fuertes diferencias de presión entre bocas.

En la siguiente figura se muestran los distintos sistemas de ventilación que hemos descrito.



Anejo nº 3. Figura 1: Diferentes esquemas de ventilación en túneles. Fuente:

Apuntes de la asignatura Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Los datos de partida, para calcular el tipo de ventilación de nuestro túnel son los siguientes:

Altura sobre el nivel del mar: 813 m.

Pendiente del túnel 2.5 %.

Tipo de vía: Interurbana, de doble sentido de circulación.

Intensidad media diaria de vehículos (IMD) 7721 vehículos (Fuente: Gobierno de La Rioja)

Esta IMD, se divide en vehículos ligeros y pesados, siendo las distintas intensidades las siguientes: $IMD_p = 7080$ e $IMD_l = 624$.

Nuestra elección del tipo de ventilación es la longitudinal forzada, por ser la longitud del túnel de menos de 2000 m, según la tabla nº 1, procedente del CETU, de nuestro anejo, que nos da el tipo de ventilación, en función de las longitudes, del tipo de vía y del número de sentidos de circulación.

Tipo de vía	Sentido tráfico	Densidad tráfico	Sistema de ventilación y longitud	
			Longitudinal (Natural o forzada)	Transversal (Total o parcial)
Urbana	Único	Fluído	Hasta 2000 m	A partir de 1500 m
	Único	Denso	Hasta 1500 m	A partir de 800 m
	Doble	Fluído o denso	Hasta 400 m	A partir de 250 m
Interurbana	Único	Fluído	Hasta 2000 m	A partir de 1500 m
	Doble	Escaso	Hasta 3000 m	A partir de 2000 m
	Doble	Fluído	Hasta 1000 m	A partir de 800 m

Anejo nº 3. Tabla 1: Longitudes de aplicación de los sistemas de ventilación. Fuente:

Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras subterráneas.

El caudal de aire necesario viene determinado por la necesidad de evacuar gases y humos producidos por los vehículos circulantes, que tendrán unas concentraciones límite, que determinarán dichas necesidades de evacuación.

En condiciones normales basta con vigilar las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y óxidos nitrosos (NO_x), asumiendo que, si éstos quedan suficientemente diluidos, también lo harán el resto de gases y humos.

1.- Calcularemos el caudal de aire necesario para diluir el CO. El CO aparece en la atmósfera de los túneles debido a la combustión incompleta de los combustibles de los vehículos. La peligrosidad de esta sustancia se debe a que la afinidad que por ella tiene la hemoglobina (el colorante rojo de la sangre encargado de transportar el oxígeno hasta las células) es de 200 a 300 veces mayor que la que tiene por el oxígeno, con lo cual, un exceso de CO produce un efecto fisiológico similar a una insuficiencia de O_2 .

Se suele considerar una concentración volumétrica máxima de monóxido de carbono de

$C_{co} = 150$ ppm. Si bien este parámetro no queda fijado por reglamentación alguna, y varía según los casos, estando normalmente comprendido entre las 50 ppm y 250 ppm. En el caso de utilizarse un esquema de ventilación longitudinal, la concentración de CO crece de forma sensiblemente lineal desde el punto de entrada de aire en el túnel hasta el punto de salida, siendo en éste donde se alcanzará la concentración máxima. En el punto medio la concentración máxima permitida será la intermedia entre la máxima de 150 ppm y la concentración base en el aire fresco que se introduce desde el exterior del túnel y que varía aproximadamente entre unas 0,5 y 5 ppm dependiendo de la contaminación existente en el entorno en que se ubica el túnel, si ésta se alcanza durante más de 15 min el túnel deberá cerrarse al tráfico.

El cálculo de la producción de CO se realiza partiendo de un valor base de producción por vehículo al que se le van aplicando una serie de coeficientes cuyo valor depende de las condiciones del tráfico y del túnel. Así se tiene:

$$Q_{0CO} = q_{0CO} \times M \times K_{hh} \times K_s \times K_f \times L \quad (1)$$

Siendo; Q_{0CO} = Cantidad horaria total de CO producida en el túnel (m^3/h).

q_{0CO} = Valor base de producción de CO (m^3/Km veh) (veh = vehículo). Este valor base se considera de $0,013 m^3/Km$ veh, para conducción sobre carretera horizontal a 60 km/h. Un motor en ralentí se considera que emite $0,5 m^3/Km$ veh de CO. Este valor corresponde a un consumo de combustible de 1 l/h y porcentaje de CO en los gases de escape del 6 %.

M = Volumen de tráfico (veh/h).

K_{hh} = Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar. Cuanto mayor sea la altura sobre el nivel del mar más pobre será el aire en oxígeno, por lo que la combustión interna se realizará más deficientemente y se producirá una mayor cantidad de CO. Los valores que toma el coeficiente K_{hh} se muestran en la tabla 2

Altura sobre el nivel del mar	400 m	800 m	1000 m
Factor de corrección K_{hh}	1,25	1,60	2,00

Anejo n° 3. Tabla 2: Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

K_s = Factor de corrección por conducción en pendiente. Cuanto más adversa sea la pendiente, mayor será el consumo de combustible y mayor la emisión de CO. A este respecto debe indicarse la necesidad de dar a los túneles la menor pendiente posible, así como a las rampas de acceso a los mismos, para que los vehículos entren en ellos en régimen estable. El valor de este factor se muestra en la tabla 3.

Pendiente (%)	-4	-2	0	2	4	6
K_s	0,85	0,95	1	1,1	1,2	1,3

Anejo nº 3. Tabla 3. Factor de corrección por conducción en pendiente. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

K_f = Factor de corrección por conducción a velocidad reducida. Su valor se muestra en la tabla 4:

Velocidad (km/h)	5	10	20	30	40	50	60	70 y 80
K_f	6,3	3,5	2	1,5	1,2	1,1	1	0,9

Anejo nº 3. Tabla 4: Factor de corrección por conducción a velocidad reducida. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de túneles y Obras Subterráneas.

L: Longitud del túnel en km

En nuestro caso los valores son $q_{0CO} = 0.013$; $M = 322$ veh/h; $K_{hh} = 1.60$; $K_s = 1.1$

$K_f = 0.9$

Por tanto, sustituyendo y operando en la fórmula (1) Nos queda que $Q_{0CO} = 6.63$ m³/h.

La cantidad de aire fresco (Q_{0aire}) necesario para diluir el CO producido, (Q_{0CO}), se determina a partir del último valor (en m³ /h) y de la concentración de CO permitida en el túnel (C_{CO} ppm):

$$Q_{0aire} = (Q_{0CO} \times 10^6) / C_{CO} = \text{m}^3/\text{h} \quad (2)$$

siendo C_{CO} máxima permitida de 150 p.p.m. Por lo que si sustituímos los valores, en la fórmula (2) y operamos obtenemos un valor de $Q_{0aire} = 44200$ m³/h = 12.3 m³/s

El valor obtenido es válido para una presión de aire de 760 mm Hg y una temperatura de 0° C. Para calcular el volumen de aire requerido en las condiciones de presión y temperatura que se prevé que se tendrán en el túnel, se realiza la siguiente operación:

$$Q_{\text{aire}} = Q_{0\text{aire}} \times (P_0/P) \times (T_t/T_0) \quad (3)$$

siendo: Q_{aire} = Caudal de aire (m^3/h) para las condiciones reales de presión y temperatura.

$Q_{0\text{aire}}$ = Caudal de aire (m^3/h) en condiciones normales de presión y temperatura.

P_0 = Presión normal (760 mm Hg); P = Presión prevista para el aire en interior del túnel.

T_0 = Temperatura normal (273 K); T_t = Temperatura media en el punto medio del túnel.

Tomamos los valores de $T_t = 284.3^\circ\text{K}$ y como $P = 898$ mm Hg (Fuente: Gobierno de La Rioja) y operamos en la fórmula (3), dándonos el valor de $Q_{\text{aire}} = 38956 \text{ m}^3/\text{h} = 10.52 \text{ m}^3/\text{s}$

2.- Cálculo del caudal necesario para la dilución de los NO_x . Entre los gases de escape de los automóviles se encuentra el monóxido de nitrógeno (NO), el cual, en contacto con el oxígeno del aire, se oxida formando dióxido de nitrógeno (NO_2), gas de color marrón rojizo, maloliente, fuertemente oxidante y altamente tóxico. De la mezcla de óxidos nitrosos (Genéricamente representados por NO_x), supone una proporción del 10 %.

Como concentración límite se considera el valor $\text{CNO}_x = 15$ ppm o $\text{CNO}_2 = 1,5$ ppm. ésta es la concentración máxima que podrá alcanzarse en el punto del túnel donde se alcance la mayor concentración; como ésta, en el esquema de ventilación longitudinal, crece linealmente desde el punto de entrada de aire fresco al túnel al punto de salida del aire viciado, la concentración máxima que se podrá alcanzar en el punto medio entre la entrada y la salida de aire será la intermedia entre la máxima de 1,5 ppm y la concentración base en el aire fresco que se introduce desde fuera del túnel y que aproximadamente puede ser de 0,03 ppm. Si un detector medidor de NO, situado en el punto medio del túnel registra 0,75 ppm durante más de 15 min, el túnel deberá ser cerrado al tráfico. Esta concentración también es válida para túneles abiertos a peatones y ciclistas.

La concentración producción de gases nitrosos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{0\text{NO}_x} = q_{\text{NO}_x} \times [M_l + (K_f \times M_p)] \times K_s \times L \quad (4)$$

siendo: Q_{NO_x} = Volumen de NO_x producido dentro del túnel (m^3/h); q_{NO_x} = Valor base de producción de NO_x ; se toma el valor $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{km veh}$; M_l = Tráfico de vehículos ligeros (veh/h); M_p = Tráfico de vehículos pesados (veh/h); K_f = Factor de corrección por conducción en pendiente. Su valor se muestra en la Tabla 5; K_s = Factor de corrección para los vehículos pesados. Estos vehículos producen una mayor cantidad de óxidos de nitrógeno que los

vehículos ligeros. En la Tabla 6 se muestra el valor que toma este factor en función de la velocidad media a que circulen los vehículos pesados; L longitud del túnel en km

Pendiente (%)	<0	0	2	4	6	8	10	12
K _s	0,5	1	1,7	2,2	2,8	3,4	4	4,6

Anejo nº 3. Tabla 5: Factor de corrección por conducción en pendiente. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de túneles y Obras Subterráneas.

Velocidad (km/h)	20	30	40	50	60	>60
K _f	8	7	5	3,5	2,5	2,5

Anejo nº 3. Tabla 6: Factor de corrección por conducción a velocidad distinta de la de diseño. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Los valores considerados para los distintos factores son los siguientes: $q_{NO_x} = 1.3 \times 10^{-3}$ Ml = 295; K_f = 2; M_p = 26; K_s = 2.5; L = 1

Sustituimos y operamos la fórmula (4) y obtenemos que $Q_{0NO_x} = 1.13 \text{ m}^3/\text{h}$

El caudal de aire necesario para diluir la cantidad de NO_x, calculada vendrá dada por la expresión:

$$Q_{0\text{aire}} = (Q_{0NO_x} \times 10^6) / C_{NO_x} = \text{m}^3/\text{h} \quad (5)$$

siendo C_{NO_x} la concentración límite (en p.p.m.) máxima que se haya considerado (En este caso 7.5 p.p.m.).

Sustituimos los valores ya hallados en (5) y tenemos que $Q_{0\text{aire}} = 150666 \text{ m}^3/\text{h} = 41.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Al igual que en el caso del CO, también aquí deberá estimarse la cantidad de aire correspondiente a la calculada en las condiciones reales de presión y temperatura que se prevean reinarán en el interior del túnel.

$$Q_{\text{aire}} = Q_{0\text{aire}} \times (P_0/P) \times (T/T_0) \quad (6)$$

Sustituimos y operamos en (6) con los valores ya obtenidos previamente y nos queda que $Q_{\text{aire}} = 132583 \text{ m}^3/\text{h}$

3.- Reducción de la visibilidad por causa de los humos. La cantidad de partículas sólidas en suspensión, que son las que forman los humos y dificultan la visibilidad, producidas en un túnel, está dada por la siguiente expresión:

$$P_{vis} = p_{vis} \times (M_p + 0.08 M_l) \times K_{hh} \times K_s \times L \quad (7)$$

siendo: P_{vis} = Cantidad de humo producido en el túnel (mg/h). p_{vis} = Valor base de producc. de humo por parte de vehículos pesados 750 mg / veh km. M_p = Tráfico de vehículos pesados veh/h. M_l = Tráfico de vehículos ligeros (veh/h). Se asume que los vehículos ligeros producen únicamente el 8 % del humo que producen los pesados. K_{hh} = Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar. Sus posibles valores se muestran en la Tabla 7. K_s = Factor de corrección por conducción en pendiente. Sus posibles valores se muestran en la Tabla 8. L = Longitud del túnel (km).

Altura sobre el nivel del mar	<400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m
Factor de corrección K_{hh}	1,00	1,12	1,24	1,35	1,47	1,58

Anejo n° 3. Tabla 7: Factor de corrección por altura sobre el nivel del mar. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

Los valores seleccionados son los siguientes: $M_p = 26$; $M_l = 295$; $K_{hh} = 1.47$

$K_s = 2$; $L = 1$

Por tanto, según la fórmula (7) obtenemos que $P_{vis} = 109368$ mg/h

El límite superior de concentración de partículas sólidas en el aire a partir del cual se considera que la visibilidad disminuye en exceso suele tomarse como $C_{vis} = 1.5$ mg/m³. La cantidad de aire fresco necesario para mantener la concentración por debajo de los límites marcados, será:

$$Q_{0aire} = P_{vis} / C_{vis} \quad (8)$$

Sustituyendo ambos valores en la ecuación (8) tenemos que $Q_{0aire} = 72912$ m³/h.

De los tres caudales de aire calculados, para diluir el CO, NO, y los humos, se considerará el mayor, pues ese caudal asegurará la suficiente dilución de todas las sustancias contaminantes o peligrosas.

Por tanto, como tenemos que $Q_{\text{aireCO}} = 38956 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q_{\text{aireNOx}} = 132583 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q_{\text{airepart}} = 72912 \text{ m}^3/\text{h}$. El mayor valor es el necesario para diluir los óxidos nitrosos (NO_x), que es de $132583 \text{ m}^3/\text{h}$ o sea $36.82 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.- Cálculo de la potencia necesaria: La potencia que deben suministrar los ventiladores al flujo de aire viene dada principalmente por tres factores:

- a) Pérdidas de carga del caudal necesario al circular por el túnel por rozamiento con las paredes y por pérdidas en el emboquille y en las singularidades.
- b) Fuerza aeromotriz de la ventilación natural.
- c) El efecto pistón de los vehículos.

Calcularemos en primer lugar las pérdidas de carga en el túnel.

Como ya se indicó anteriormente, la resistencia aerodinámica de un tramo del circuito de ventilación viene dada por la siguiente expresión:

$$R = 153.03 \times [(\lambda \times P \times L) / S^3] \quad (9)$$

siendo:

λ = Coeficiente de pérdida de carga.

P = Perímetro del conducto en el tramo considerado (m).

L = Longitud del tramo considerado (m).

s = Sección del conducto en el tramo considerado (m^2).

El coeficiente de pérdida de carga del túnel se calcula también mediante la siguiente expresión:

$$\lambda = 0.7 \times \lambda_p + 0.3 \lambda_s \quad (10)$$

donde:

λ_p = Coeficiente de pérdida de carga de las paredes.

λ_s = Coeficiente de pérdida de carga del suelo.

Los valores de λ_p y λ_s , se recogen en las Tablas 9 y 10.

Sostenimiento			λ_p
ROCA DESNUDA	Pared bien recortada		0,058
	Pared con acabado medio		0,084
	Pared irregular		0,108
ROCA BULONADA	Pared bien recortada		0,058
	Pared con acabado medio		0,084
	Pared irregular		0,108
	Pared con tela metálica		0,130
ROCA REVESTIDA	Hormigón liso		0,022
	Albañilería	Buen estado	0,025
		Estado medio	0,03
		Irregular	0,04

Anejo nº 3. Tabla 9: Coeficiente de pérdida de carga de las paredes de un túnel: Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

Características del suelo	λ_s
Suelo hormigonado o asfaltado	0,03
i = 5 cm	0,06
i = 15 cm	0,08
i = 30 cm	0,108

Anejo nº 3. Tabla 10: Coeficiente de pérdida de carga, en función de las rugosidades del suelo de un túnel 'i', en cm. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas

Por tanto, el valor de λ , aplicando los valores de las tablas, queda como sigue:

$$\lambda = 0.7 \times 0.022 + 0.3 \times 0.03 = 0.0004923$$

Por tanto, sustituyendo los valores en la fórmula (9), Tenemos que $R = 8.52 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$

Una vez que se conoce la resistencia R de cada uno de los tramos del circuito de ventilación, se podrá calcular la pérdida de carga AX a partir del caudal Q, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta X = R \times Q^2 \quad (11)$$

Nuestro túnel consta de un solo tramo, recto y sin pozo, por lo que consideramos un solo tramo de ventilación, por lo que, según (11) $\Delta X_t = 8.52 \times 36.82^2 = 11550.7 \text{ Pa}$

El segundo factor del segundo término que aparece en la ecuación anterior refleja, la pérdida de carga que sufre el flujo de aire a su paso por singularidades tales como entrada o salida de pozos de ventilación, el emboquille del túnel, trampillas, etc.

La fórmula que proporciona el valor de esta pérdida de carga es la misma que la fórmula (11), pero calculando la resistencia aerodinámica de cada singularidad que, en nuestro caso, corresponde a los 6 nichos de seguridad a instalar, cada 150 m. Siendo la fórmula:

$$R_s = \zeta \times (Y / (2 \times g \times S^2)) = \zeta (0.61 / S^2) \quad (12)$$

siendo:

R_s = Resistencia aerodinámica de la singularidad ($\text{N s}^2/\text{m}^8$).

ζ = Coeficiente de fricción de la singularidad.

Y = Peso específico del aire ($12,01 \text{ N/m}^3$).

g = Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

s = Sección de la singularidad (m^2).

El valor del coeficiente ζ se indica en la Tabla 11 para diferentes tipos de

Singularidades:

Tipo de singularidad		ζ
Cambio de dirección en ángulo recto con aristas vivas		1.4
Cambio de dirección en ángulo recto sin aristas vivas	Radio interior =	0,6
	1/4 radio exterior	
	Radio interior = 2/5 radio exterior	0,3
Emboquille		0,6
Trampilla		3,6
Enlace con pozo con aristas vivas		2
Enlace con pozo sin aristas vivas		1

Anejo n° 3. Tabla 11: Factor de corrección por tipo de singularidad aerodinámica. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Túneles y Obras Subterránea

Por tanto, para cada uno de los nichos la resistencia aerodinámica es, según la fórmula (12): $R_{\text{snicho}} = 0.095$, tomando ζ como 1.4 y como sección de cada nicho 3 m^2 . Como tenemos 6 nichos, multiplicamos por 6 el valor obtenido y nos queda que $R_{\text{Snichos}} = 0.57$.

Las otras dos singularidades que tenemos son las dos boquillas que, en construcción no aplicaban, debido a que el tubo de aspiración entraba dentro del túnel, y en las que el valor del coeficiente ζ es de 0.6, por lo que el valor de $R_{\text{sboquillas}}$ es de dos por el hallado para cada boquilla o sea $R_{\text{sboquillas}} = 0.000275$.

El valor de la resistencia aerodinámica de todas las singularidades es de la suma de todas las halladas o sea $R_s = R_{\text{Snichos}} + R_{\text{sboquillas}} = 0.570$.

Aplicando la fórmula (11) Tenemos que la pérdida de carga en singularidades es de $R_s \times Q^2$ o sea $\Delta X_s = 0.570 \times 36.82^2 = 772.75 \text{ Pa}$.

Por tanto tenemos que $\Delta X_T = \Delta X_t + R_s = 11550.7 \text{ Pa} + 0.570 \text{ Pa} = 11551.3 \text{ Pa}$

Ahora vamos con la fuerza aeromotriz de la ventilación natural: Un prerrequisito para que se dé este efecto es que en los emboquilles del túnel (o los pozos y galerías de ventilación) se encuentren a cotas distintas, y que haya una diferencia de temperatura entre el aire de dentro y fuera del túnel. La diferencia, pues, entre los emboquilles del túnel será:

$$\Delta p_c = Y \times (\Delta T / T_m) \times \Delta Z = 12.01 \times (\Delta T / T_m) \times \Delta Z \quad (13)$$

donde:

Δp_c = Diferencia de presión entre las entradas al túnel consideradas (Pa).

Y = Peso específico del aire en la entrada más baja (12,01 N / m³).

T_m = Temperatura media en el túnel (°K).

ΔT = Diferencia entre la temperatura media en el interior del túnel y la temperatura en la entrada más baja (°K).

ΔZ = Diferencia de altura entre las entradas al túnel o entre la boca del túnel y la salida del pozo de ventilación (m).

El gradiente de presiones se dirige hacia donde el aire tenga mayor temperatura, bien sea el interior o el exterior del túnel. Cuando las temperaturas son iguales, se dan condiciones inestables. Esto es lo que suele ocurrir al final del invierno y del verano.

En nuestro túnel DZ son 25 m (Cotas entrada y salida 800 y 775 m). La temperatura media en la zona es de 11.3 °C (284.3 °K) y la temperatura media en el interior del túnel, tomada en un túnel en las inmediaciones, es de 290 °K, por lo que aplicando la fórmula (13), tenemos que $\Delta p_c = 5.9$ Pa.

La fuerza que los vehículos ejercen en el aire del túnel (resistencia aerodinámica o efecto pistón) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F_p = \rho/2 \times \{(i_F \times A_v) / [2 \times (1 - A_v / S)]\} \times N^+ \times (V_t - v)^2 - N^- \times (V_t + v)^2 \quad (14)$$

siendo:

F_p = Fuerza de efecto pistón (N).

ρ = Densidad del aire (1,23 kg / m³).

S = Sección recta del túnel (m²).

A_v = Sección recta de los vehículos:

- Turismos: $A_v = 2$ m²

- Camiones y autobuses: $A_v = 6$ m²

i_F = Factor de forma para determinar la superficie resistente efectiva:

- Turismos: $i_F = 0,5$

- Camiones y autobuses: $i_F = 1,0-1,7$

N^+ , N^- Número de vehículos que, en un momento dado, el que se considere para realizar el diseño de la ventilación, se desplazan dentro del túnel a la velocidad de diseño, en la dirección (+), o en contra (-) de la dirección del flujo de aire.

V_t = Velocidad del tráfico (m/s).

v = Velocidad del aire (m/s).

Nuestros parámetros obtenidos son los siguientes:

Sección del túnel 56.72 m²; Velocidad vehículos 80 km/h = 22.2 m/s;

Velocidad del aire = 2 m/s.

Aplicando la fórmula (14), para los vehículos pesados sale que $F_{pp} = 2788.3$ N y para los vehículos ligeros $F_{pl} = 234.6$ N.

Deben calcularse por separado los efectos pistón de los vehículos ligeros (F_{pl}) y pesados (F_{pp}), cuya suma dará el efecto pistón total F_p :

$$F_p = F_{pl} + F_{pp} \quad (15)$$

Por tanto, el efecto pistón total será $F_p = 3022.9$ N

Dividiendo el valor del efecto pistón total por la superficie de la sección recta del túnel se tendrá el valor de la presión que ejercen los vehículos sobre el aire del túnel:

$$P_v = F_p / S \quad (16)$$

siendo:

P_v = Presión de efecto pistón de los vehículos (Pa).

F_p = Fuerza de efecto pistón de los vehículos (N).

S = Sección recta del túnel (m²).

Por tanto, con nuestros datos sale que $P_v = 53.29$ N/m²

El ventilador o ventiladores que se dispongan para la ventilación del túnel deberán suministrar al caudal de aire que les atravesará un incremento de carga (ΔH) igual a la suma, con sus signos correspondientes, de las pérdidas de carga, la fuerza aeromotriz de la ventilación natural y el efecto pistón de los vehículos.

$$\Delta H = \Delta X_T + \Delta p_c + P_v \quad (17)$$

siendo:

ΔH = Sobrepresión producida por el/los ventilador/es (Pa).

ΔX_T = Pérdida de carga en el circuito de ventilación (Pa).

Δp_c = Fuerza aeromotriz de la ventilación natural (N/m²).

P_v = Presión de efecto pistón de los vehículos (Pa).

Por tanto sustituyendo en la fórmula (17) los distintos valores obtenidos hasta ahora tenemos que $\Delta H = 11551.3 + 5.9 + 53.29 = 11610.5$ Pa.

El ventilador que debe usarse será aquél cuya curva característica corte a la del túnel en el punto más cercano posible a los valores de caudal y pérdida de carga calculados, si bien siempre por exceso. En el punto de funcionamiento, la potencia que el ventilador tomará de la red eléctrica está dada por la siguiente expresión:

$$W = (Q \times \Delta H) / \eta \quad (18)$$

siendo:

W = Potencia que el ventilador toma de la red (W).

Q = Caudal que suministra el ventilador (m³/s).

η = Rendimiento del ventilador, en las curvas características de los ventiladores se indican los rendimientos de éstos para los distintos puntos de funcionamiento.

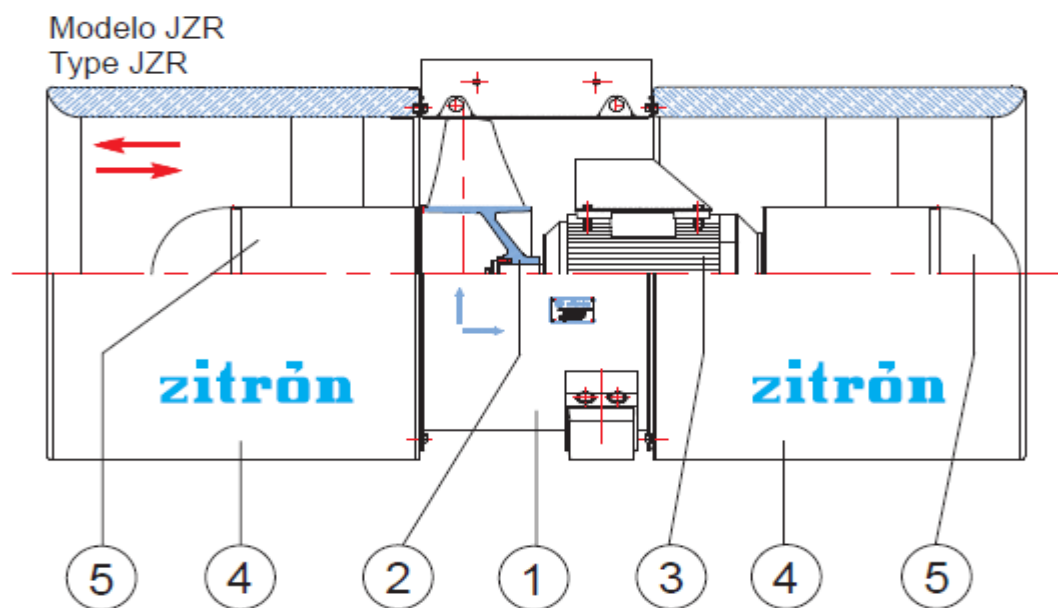
ΔH = Depresión producida por el ventilador (Pa).

Por tanto sustituyendo en la fórmula (18) los valores obtenidos para los diferentes parámetros precisamos que la ventilación de nuestro túnel necesitará 847566.5 W de la red o sea 847.57 kW, que divididos por los 86 kW de potencia de cada ventilador nos dan 10 ventiladores, que en un túnel de 1000 m es un ventilador cada 100 m, que es la distancia óptima (Entre 100 y 120 m), según datos del fabricante (Zitrón) para el ventilador de proyecto que es el modelo JZR 14 de ϕ 1500 mm, de flujo reversible.

Los ventiladores se colocarán en la clave del túnel, cuyo gálibo ya ha sido calculado previamente para ello.



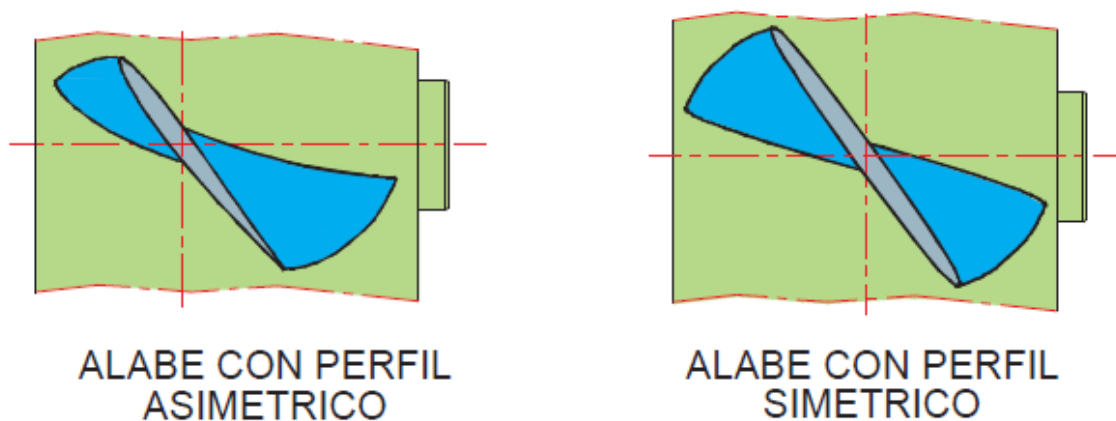
Anejo nº 3. Figura 2: Colocación de los ventiladores en la clave del túnel. Fuente Zittrón



Modelo JZR

- 1 - Carcasa ventilador.
- 2 - Rodete.
- 3 - Motor.
- 4 - Amortiguador de ruido.
- 5 - Carenado interior.

Anejo nº 3. Figura 3: Esquema del ventilador elegido para nuestro túnel. Fuente Zittrón



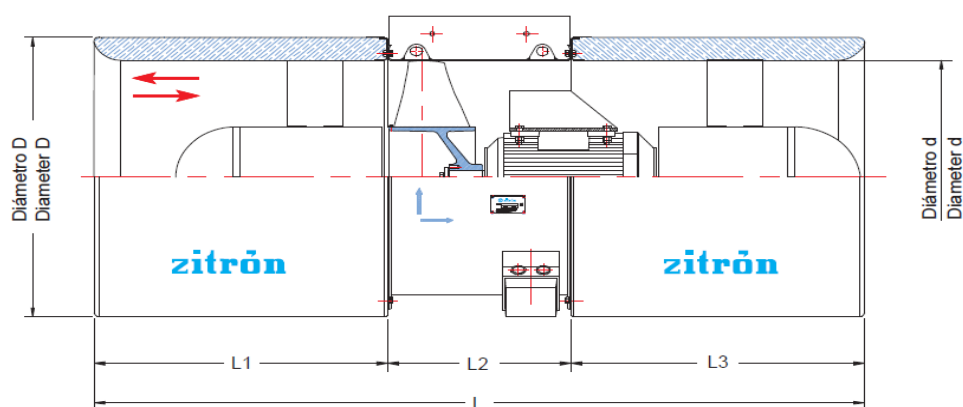
Anejo nº 3. Figura 4: Esquemas de los álabes de los ventiladores, el del modelo JZR, es el simétrico. Fuente Zitron

VENTILADORES REVERSIBLES "JZR"

Dimensiones y pesos.

REVERSIBLE FANS "JZR"

Dimensions and weights.



MODELO TYPE	Diam. Diam. D mm.	Diam. Diam. d mm.	Longit. Length L mm.	Longit. Length L1 mm.	Longit. Length L2 mm.	Longit. Length L3 mm.	Peso Weight (Kg)*
JZR 14	1600	1400	3450	1275	900	1475	1475

MODELO TYPE	Caudal Air Flow m³/s	Velocidad del chorro Jet Velocity m/s	Empuje Teórico Theoretical Thrust N.	Empuje Nominal Nominal Thrust N.	Potencia Absorbida Input Power Kw.	Potencia Instalada Installed Power Kw.	Niv. Sonoro a 10 mts. Noise level at 10 mts. dB(A)
JZR 14	58.4	38	2660	2540	86	77	75

Anejo nº 3. Figura 5: Dimensiones y características de los ventiladores elegidos. Fuente Zitron

15 Anejo de cálculo N° 4: Cálculo del drenaje superficial

Comenzaremos, en primer lugar, con la determinación de las condiciones hidrometeorológicas de nuestra cuenca:

Se trata del denominado arroyo de Valderrés, que ocupa una cuenca de unos 1.7 kilómetros de longitud de cauce y una anchura aproximada de 1.4 kilómetros, lo que nos da un área de 2.4 km².

En lo referente a la pendiente, va desde los 901 m, hasta los 830 m, un poco antes de donde comienza nuestro túnel, lo que nos da una pendiente del 8.4 %.

Del manual del Ministerio de Fomento “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, en concreto de su mapa de isolíneas, hoja 3 – 2 (Burgos) obtenemos los parámetros P (Máxima precipitación diaria anual) y Cv (Coeficiente de variación). En nuestro caso, dichos valores son los siguientes: P = 42 mm y Cv = 0.36.

En segundo lugar, obtenemos el cuantil regional Y_t , para el punto dado y el correspondiente período de retorno que, en nuestro caso son 100 años, que es el preceptivo, según la norma 5.2 IC. Dicho valor lo obtenemos en la tabla 7.1 de dicho manual, Siendo $Y_t = 2.251$

Con los valores del cuantil regional y el valor medio, se obtiene el cuantil local como producto de ambos.

$$X_t = Y_t \times P = I_d \quad (1)$$

En nuestro caso sería $X_t = 42 \times 2.251 = 94.54 \text{ mm/día} = 3.939 \text{ mm/hora} \approx 4 \text{ mm/h}$

Ahora procederemos a calcular los restantes parámetros correspondientes a nuestra cuenca, basándonos para ello, en el manual del Ministerio de Fomento “Manual de cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales”

Período de retorno, en años

Cv	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Anejo nº 4. Tabla 1. Cuantiles Y_t , de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación KT. Fuente: Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular.

En primer lugar, calculamos el coeficiente de escorrentía, que se refiere al agua que correrá por la cuenca, descontada la absorbida por el terreno y que depende de variables tales como la existencia de vegetación y la abundancia de ésta, la pendiente de la cuenca, el tipo de suelo, su permeabilidad y el relieve.

Para este cálculo usaremos la siguiente tabla, de la norma 5.1 IC

	VALORES DE K			
1. Relieve del terreno	40 Muy accidentado pendientes superiores al 30 %	30 Accidentado pendientes entre el 10% y el 30 %	20 Ondulado pendientes entre el 5% y el 10 %	10 Llano pendientes inferiores al 5 %
2. Permeabilidad del suelo	20 Muy impermeable Roca	15 Bastante impermeable Arcilla	10 Bastante permeable Normal	5 Muy permeable Arena
3. Vegetación	20 Ninguna	15 Poca Menos del 10% de la superficie	10 Bastante Hasta el 50% de la superficie	5 Mucha Hasta el 90% de la superficie
4. Capacidad de almacenaje de agua	20 Ninguna	15 Poca	10 Bastante	5 Mucha
Valor de K comprendido entre	75-100	50-75	30-50	25-30
Valor de C	0,65-0,80	0,50-0,65	0,35-0,50	0,20-0,35

Anejo nº 4: Tabla 2: Cálculo del coeficiente de rugosidad. Fuente: Carreteros. Org

De la observación del terreno, del tipo de suelo o roca, deducimos los siguientes valores, correspondientes a los apartados 1 al 4 de la tabla y serían los siguientes: 20, 10, 10 y 15, que sumados nos dan el valor de $K = 55$, lo que nos daría un valor del coeficiente de escorrentía C de 0.55.

Para el cálculo del tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda el agua de las precipitaciones, desde el punto más alejado de la cuenca, al inicio de la alcantarilla, usamos la fórmula del ya citado manual de cálculo hidrometeorológico que es la siguiente:

$$T_c = 0.3 (L / J^{1/4})^{0.76} \quad (2)$$

La longitud de nuestra cuenca era de 1.7 km y su pendiente del 8.4 %, por lo que si sustituimos en la fórmula (2) los valores correspondientes, nos da el valor para el tiempo de concentración T_c , de 0.3 horas, o sea 18 minutos. De hecho, el tiempo de concentración no debe ser nunca inferior a 10 minutos, salvo que exhaustivas mediciones “in situ” del mismo, lo justifiquen.

De la curva de la figura 6.3, del citado manual de cálculo deducimos que $I / I_d = 1$ y como I_d , vale 4 mm/h, $I = I_d \times 1 = 4$ mm/h.

Ahora calcularemos el caudal, que llegará a nuestra ODT (Obra de drenaje transversal) para lo que utilizaremos el Método Racional Unificado, que se diferencia del Método Racional (utilizado para pequeñas cuencas, menores de 25 km²) en que aquí se utiliza un coeficiente de uniformidad ‘‘CU’’, de este modo, se admiten variaciones en el reparto temporal de la lluvia neta que favorecen el desarrollo de los caudales punta, y solucionan el problema que planteaba la antigua hipótesis de lluvia neta constante admitida en la fórmula racional, que ofrecía resultados poco acordes con la realidad. El coeficiente de uniformidad representa el cociente entre los caudales punta en el caso de suponer la lluvia neta variable y en el caso de considerarla constante dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca en cuestión. Según dicha formulación, el caudal punta de avenida en el punto de cruce de una vaguada con el trazado, para un período de retorno dado, se obtiene mediante la expresión:

$$Q = CU [(CxIxA)/3.6] \quad (3)$$

Donde:

Q: Caudal punta correspondiente a un determinado período de retorno (m³/s).

I: Máxima intensidad media de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (mm/h).

A: Superficie de la cuenca (Km²).

C: Coeficiente de escorrentía.

CU: Coeficiente de uniformidad. El método racional se ha utilizado ampliamente para la determinación de caudales de diseño en carreteras, debido a su simplicidad y lógica. Sin embargo, se deben tener presentes sus limitaciones y las hipótesis involucradas. El método supone que el coeficiente de escorrentía se mantiene constante para distintas tormentas, lo cual es estrictamente válido sólo para áreas impermeables, de allí la necesidad de amplificar los valores de (C) para períodos de retorno altos.

El coeficiente de uniformidad (CU) corrige el supuesto reparto uniforme de la escorrentía dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración contemplado en la formulación del método racional. Aunque el coeficiente de uniformidad varía de un aguacero a otro, su valor medio en una cuenca concreta depende principalmente de su tiempo de concentración. Esta dependencia es tan acusada que, a efectos prácticos, puede despreciarse

la influencia de las restantes variables, tales como el régimen de precipitaciones, etc. Según J. R. Témez, su estimación, en valores medios, puede realizarse según la siguiente expresión:

$$CU = 1 + [(T_c^{1.25}) / (T_c^{1.25} + 14)] \quad (4)$$

En nuestro caso, el valor de CU, según dicha fórmula será de 1.018

Por tanto, ya podemos calcular el caudal de descarga de nuestra cuenca, según la fórmula (3), en la que sustituyendo cada parámetro por su valor real obtenemos que quedaría lo siguiente: $Q = 1.018 \times [(0.55 \times 4 \times 2.4) / 3.6] = 1.493 \text{ m}^3/\text{s}$.

Una vez calculados los anteriores parámetros, vamos con los cálculos de nuestra obra de drenaje transversal, que será del tipo de tubo de hormigón, de 2 metros de diámetro, que es el diámetro que se coloca en todas las obras de carreteras últimamente, con aletas y muro frontal, o, en nuestro caso con dos arquetas y con una longitud de 12 m, formada por seis tubos de hormigón armado de 2 m de longitud y unidos por sistema macho-hembra, sellados por una junta tórica de caucho flexible.

Dicha ODT se excavará en la solera del desmonte, una vez efectuado éste y la zanja se hormigonará entera, para evitar movimientos en la ODT.

Ahora veremos la carga hidráulica a la entrada de la alcantarilla: Corresponde a la profundidad del agua en la entrada, medida desde el punto más bajo (umbral o radier de la alcantarilla). Esta obra, al limitar el paso libre del agua, causará un aumento de nivel hacia aguas arriba y en consecuencia puede ocasionar daños a la carretera o a las propiedades vecinas. Se limitará la carga hidráulica máxima con el fin de proteger la vida de los usuarios o vecinos, proteger la estabilidad del terraplén, no producir inundaciones a los terrenos adyacentes, no producir daños a la alcantarilla y a la vía, no causar interrupciones al tráfico y no sobrepasar los límites de velocidad de agua recomendados en las alcantarillas y en el cauce a la salida. Tanto para alcantarillas con control de entrada como de salida, los tubos, cajones y losas se diseñarán hidráulicamente, respetando una carga máxima H_{emax} , según se trate de canales o cauces naturales permanentes o no permanentes. En los canales, la carga máxima de diseño será igual a la dimensión de la alcantarilla. En los cauces naturales se podrá aceptar una carga a la entrada igual a la dimensión de la alcantarilla más 0,3 m para el gasto de diseño. O sea, en nuestro caso, H_e , no podrá superar el diámetro + 0.3 m, por lo tanto, $H_{\text{emax}} = 2 + 0.3 = 2.3 \text{ m}$.

En primer lugar, suponemos nuestra ODT con control a la entrada.

Del gráfico (nomograma) que presentamos (Figura 5.2), deducimos $H_e/D = 0.5$, luego H_e será igual a $0.5 \times D = 0.5 \times 2 = 1$ m. Como la carga máxima de diseño $H_{e\max}$ era igual a $D + 0.3$, o sea 2.3 m, vemos que $H_{e\max} > H_e$, nuestro cálculo es correcto.

Tipo de cauce	Tubos	Cajones	Losas
Canales	D (diámetro)	H (altura total)	H - 0,1 m
Diseño cauces naturales	D + 0,3 m	H + 0,3 m	H - 0,1 m
Verificación cauce naturales	D + 0,6 m	H + 0,6 m	H

Anejo n° 3. Tabla 3: Carga hidráulica máxima de diseño (H_e , m). Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria.

Ahora vamos a calcular la altura de la lámina de agua a la salida de nuestra ODT, con la siguiente igualdad:

$$Q = (3 \times T_w / n) \times \{[(3 \times T_w / (2 \times T_w) + 3)^{2/3}] \times S^{1/2} \quad (5)$$

siendo n el coeficiente de rugosidad de Manning, que para el hormigón y según la tabla de coeficientes de rugosidad tiene el valor de 0.012

Q El caudal calculado para nuestra ODT = 1.493 m³/s

T_w : altura de salida del agua.

S: Sección del tubo = 3.14 m²

Sustituimos y operamos obteniendo un valor de $T_w = 0.251$ m, que como es menor al diámetro (2m) significa que la salida de la ODT es no sumergida.

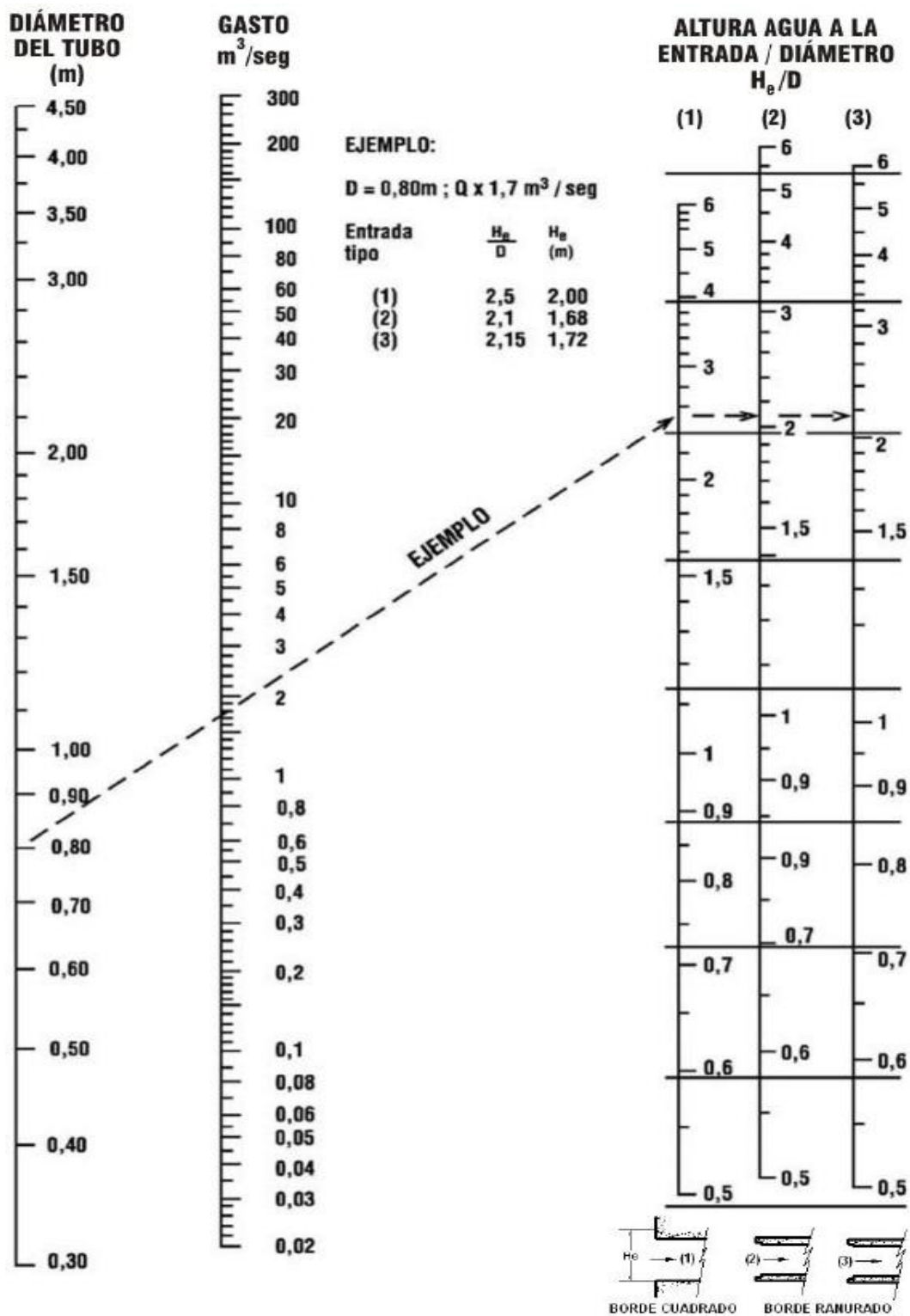


Figura 5.20.-
Alcantarilla de Tubo de Hormigon con Control de Entrada

Anejo nº 4. Figura 1: Nomograma para el cálculo de H_e / D . Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria.

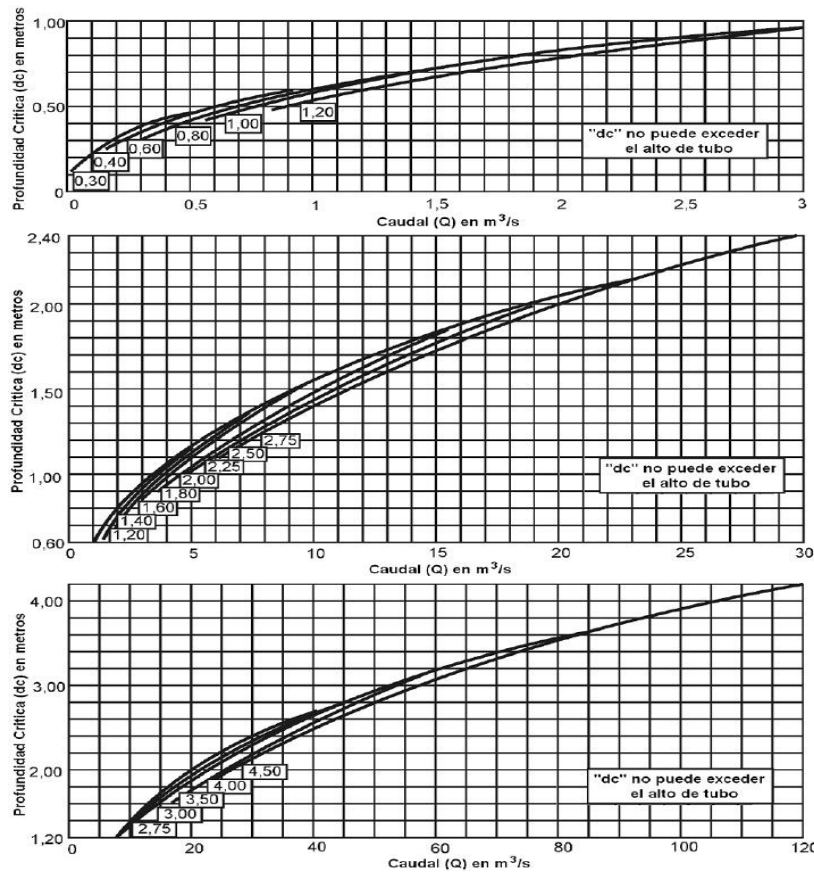
Materiales	n
a) Hormigón	0,012
b) Metal corrugado	
Ondulaciones estándar 68 x 13 mm	0,024
25 % revestido	0,021
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones medianas 76 x 25 mm	0,027
25 % revestido	0,023
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones grandes 152 x 51 mm	
25 % revestido	0,026
Totalmente revestido	0,012

Anejo n° 4. Tabla 4: Coeficientes de rugosidad de Manning. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria.

Calculemos ahora h_o , que es la altura de la línea piezométrica aproximada, que será el mayor valor entre el obtenido según la expresión

$$h_o = (d_c + D)/2 \text{ ó } T_w \quad (6)$$

siendo d_c el valor de la profundidad crítica para tubos de hormigón, calculada según la siguiente figura



Anejo n° 4. Figura 2: Curvas de cálculo de la altura crítica en tubos de diferentes diámetros. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria

Se obtiene un valor de $dc = 0.7$ y como $D = 2mm$, tenemos que $dc = 1.35$ m, que vemos que es mayor que T_w , que es de 0.251 , por lo que tomamos $h_0 = 1.35$ m.

Calculamos en valor de H_e , a la salida según la ecuación:

$$H_e = H + h_0 - (L \times S_0) \quad (7)$$

siendo:

H la altura de carga en metros

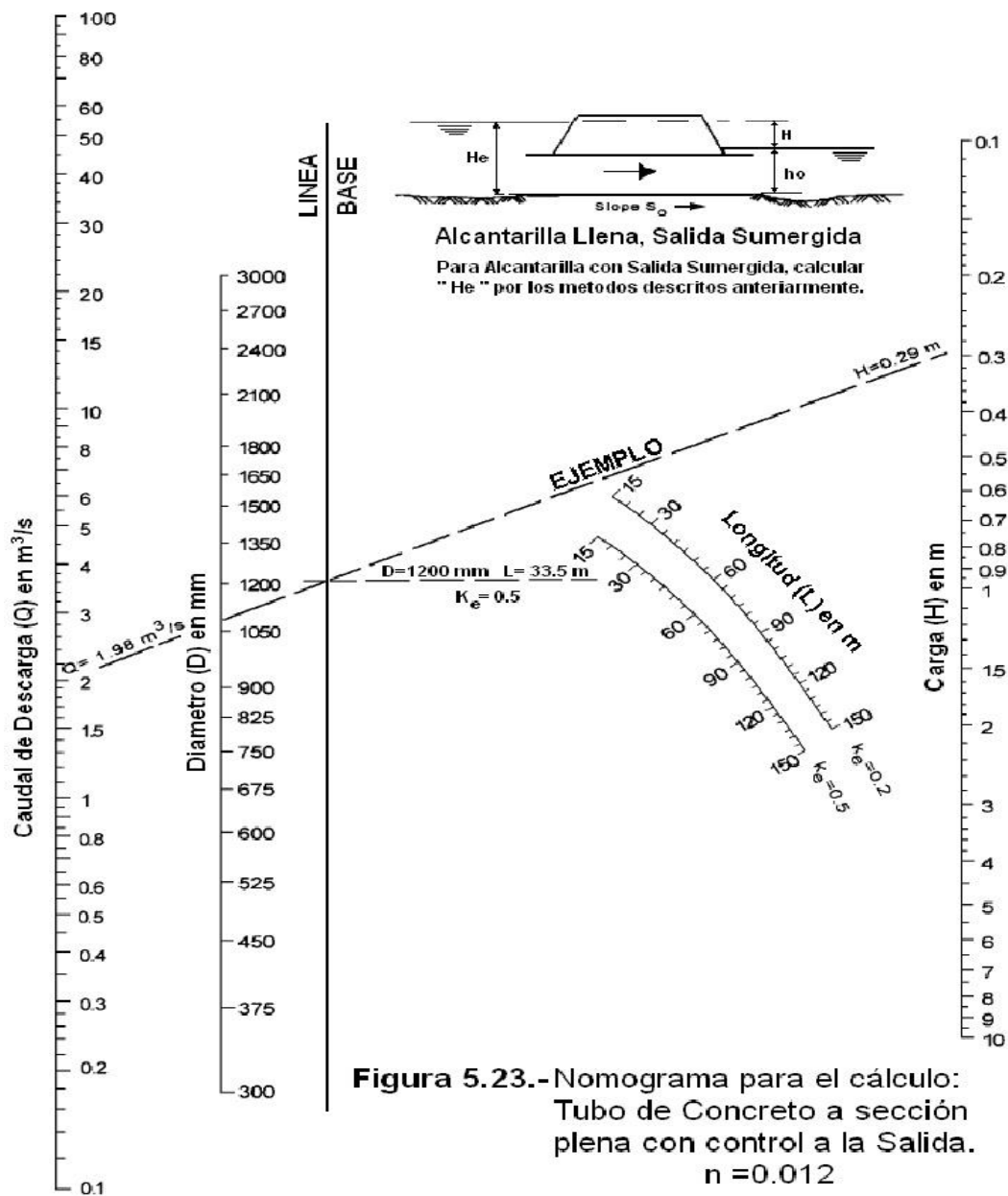
h_0 la altura de la línea piezométrica en metros

L la longitud de la ODT (12 m, en nuestro caso)

S_0 : Pendiente de la alcantarilla en mm (0.02)

sustituimos y operamos según (7) y queda que $H_e = 1.21$ m

entonces nos encontramos que H_e , a la entrada vale 1 m, y, a la salida vale 1.21 m, por lo que nuestra ODT, es con control de salida.



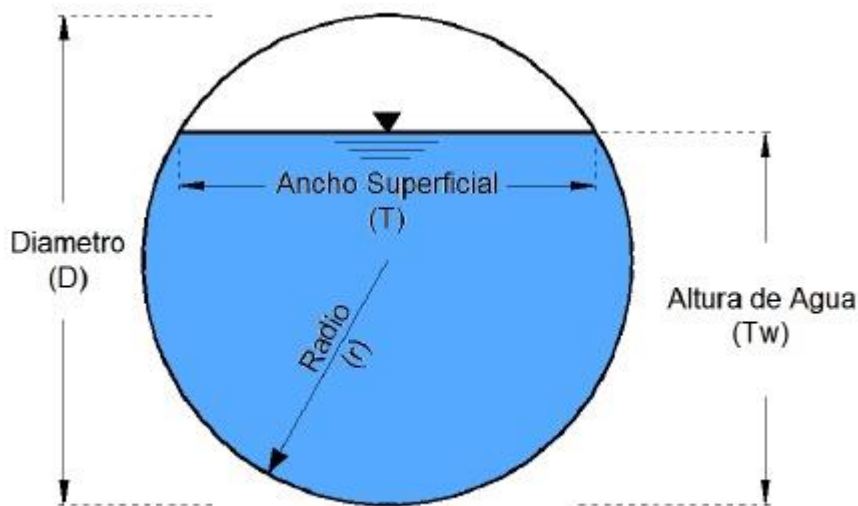
Anejo nº 4. Figura 3: Nomograma para el cálculo de H. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria.

Ahora nos toca calcular la velocidad de salida en nuestra ODT, que como sabemos el caudal y, suponiéndola llena a plena sección, para simplificar, sería la siguiente:

$$V = Q / S \quad (8)$$

Por lo que como $Q = 1.493 \text{ m}^3/\text{s}$ y la sección son 3.14 m^2 , $V = 0.475 \text{ m/s}$, que es inferior a los 2.7 m/s , admisibles como máximo, según la norma, por tanto, la salida no debería ir revestida.

También vamos a calcular la velocidad de salida en función de la altura de agua T_w y para ello calcularemos la sección del círculo, según se muestra en la figura 4



Anejo nº 4. Figura 4: Sección en carga de la tubería. Fuente: Apuntes de la asignatura de Ingeniería Sanitaria.

De la figura se deduce que el ancho superficial T es

$$T = 2\sqrt{T_w \times (D - T_w)} \quad (9)$$

Por tanto, operando con los valores correspondientes ($D = 2$; $T_w = 0.251$) y sustituyendo en (9), $T = 1.325$.

Por otro lado, tenemos que

$$T = \text{sen } \Phi/2 \times D \quad (10)$$

luego $0.251 = \text{sen } \Phi/2 \times 2$, por tanto, $\text{sen } \Phi/2 = 0.251/2 = 0.125$

$\text{Arc sen } \Phi/2 = 7.18$, luego $\Phi = 14^\circ.22' = 2.498$ radianes.

El perímetro del arco ocupado por el agua en metros es

$$P = \phi \times D / 2 \quad (11)$$

luego $P = 2$;

Y ya por último tenemos que:

$$Q/A = (1/n) \times (A/P) \times S_o^{1/2} \quad (12)$$

donde A sería el área a averiguar, n el número de Manning (0.012, según la tabla 4) y S_o la pendiente de la ODT en mm (0.02 mm)

Sustituyendo y operando en (12), obtenemos que $A = 1.338 \text{ m}^2$

luego como $Q = A \times V$, despejamos V y queda que $V = Q / A = 1.493 / 1.338$

$V = 1.11 \text{ m/s}$ Que también es inferior a los 2.7 m/s de velocidad máxima admisible en ODTs de hormigón, por lo que tampoco ,en este caso, la salida debería ir protegida, pero por seguridad y para evitar imprevistos, las soleras, tanto a la entrada como a la salida de nuestra alcantarilla, irán recubiertas de un rastrillo de grava gruesa, de 30 mm de tamaño, ya que disponemos de roca, en cantidad, procedente de la voladura del túnel y resulta más barato el transporte hasta la ODT, que hasta el vertedero de Arnedo.

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

Se incluyen en un anejo, al final del presente proyecto (22 planos en total).

DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE CONDICIONES

En el presente apartado, colocaremos las condiciones técnicas que deben cumplir los principales materiales utilizados en la presente obra, junto con una medición de los mismos.

3.1 Unidad: Perforación y voladura del túnel.

3.1.1 Carro perforador

Carro tipo ‘‘jumbo’’, modelo Atlas Copco Boomer XE3c, de accionamiento eléctrico y motor diesel, para desplazamientos, dotado de tecnología de perforación en seco, para evitar tanto el polvo, como el consumo de agua. Estará equipado con cuatro brazos, Tres con martillos perforadores Atlas Copco Cop 2238 HD+, que permiten un avance, cada uno de 30 m/min y el cuarto brazo contará con una plataforma, para permitir la carga rápida de los barrenos.

3.1.2 Pala cargadora

Tipo LHD, Caterpillar, modelo R 2900 G, articulada y de accionamiento eléctrico, de capacidad de carga, en cuchara, de 6.3 m³.

3.1.3 Grupo electrógeno

Del tipo IVECO HFW 350 T, o similar de, al menos 391 kVA. También se conectará a la red de Electra de Logroño (Iberdrola), sirviendo los grupos para casos de cortes en el suministro eléctrico.

3.1.4 Explosivo del tipo Riodin HE

Potencia relativa en peso (Respecto al ANFO 30 %). Que se dividirá de la siguiente forma:

Carga de fondo: Cartuchos de ϕ 32 mm y 200 mm de longitud y 0.238 kg de peso, con una concentración lineal de carga de 1.19 kg/m.

Carga de columna: Cartuchos de ϕ 26 mm y 200 mm de longitud y 0.152 kg de peso, con una concentración lineal de carga de 0.76 kg/m. La carga completa (Fondo y columna, irá introducida en tubos omega, para su carga rápida en los taladros.

3.1.4 Cordón detonante

Riocord de 100 g/m y concentración lineal de carga de 0.1 kg/m.

3.1.5 Detonadores

Cuele y contracuele con detonadores electrónicos Riotronic de 30 ms de retardo, complementados con su unidad de programación. Zapatera, destroza y contorno con

detonadores no eléctricos Rionel LP, número 1, de 100 ms de retardo, complementados con la pistola de disparo, cables de disparo, conectadores y espaciadores, si fueran necesarios.

3.1.6 Tacos de arcilla

Para retacado rápido y de adaptación rápida al diámetro de los barrenos, en este caso 51 mm.

En este punto se deberán guardar todas las prescripciones que se indican en la legislación, para el uso de explosivos y las indicaciones de los técnicos de minas competentes.

3.2 Unidad: sostenimiento del tunel.

3.2.1 Hormigón proyectado

Del tipo HP 50 (50 MPa de resistencia a compresión a 28 días) y con fibras de polipropileno en proporción de 5 kg / m³ de hormigón y del tipo largo. Tamaño máximo de árido 10 mm y contenido mínimo de cemento de CEM I 52.5 R, de, mínimo 350 kg/m³. Se proyectará por vía húmeda, dado que las distancias de proyección son pequeñas y para evitar demasiado rechazo y polvo en un lugar cerrado. El hormigón será una capa de 9 cm de espesor. También serán de obligado cumplimiento el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (En lo sucesivo P.P.T.P.) de la obra y las indicaciones del Director de Obra.

3.2.2 Bulones de anclaje

Serán de expansión hidráulica, Modelo Atlas Copco “Swelllex” de 3 m de longitud, colocados en una malla de 2 x 2 m. Esta unidad también incluye la bomba necesaria para suministrar la presión de expansión de dichos bulones. En este punto también se estará a lo dispuesto en el P.P.T.P. y a las indicaciones del Director de Obra.

3.3 Unidad: Emboquillado del túnel.

3.3.1 Paraguas de micropilotes

Será constituido por micropilotes de 25 metros de longitud del tipo IU (Inyección única), dada la sanidad y compacidad de la roca. La armadura de los mismos estará compuesta por tres tubos de 9 m de longitud, 0.7 cm de pared y 9 cm de diámetro, empalmados por un manguito para dar mayor rigidez a la unión. La distancia entre ejes de los micropilotes será de 40 cm y se inyectarán con lechada de cemento CEM 42.5 N con una relación 1:2 (1 kg de agua y 2 kg de cemento). Posteriormente estos micropilotes, que sobresaldrán del terreno al menos 4 m, se unirán entre sí por una viga de atado y al sombrerete de entrada al

túnel. En este punto también se estará a lo dispuesto en el P.P.T.P. y a las indicaciones del Director de Obra.

3.3.2 Acero B 500 S

Acero soldable, suministrado en barras corrugadas de 25 mm de diámetro y con las características que, para este acero se prescriben en la vigente EHE, así como en el P.P.T.P. de la obra y a las indicaciones del Director de Obra respecto a la recepción y almacenaje del mismo.

3.3.3 Hormigón para armar HA 30

Será del tipo HA 30/B 20/IIa+H, de resistencia característica a compresión no inferior a 30 MPa, consistencia blanda (Asiento en cono de Abrams 6 a 9 cm) y tamaño máximo de árido 20 mm, con áridos de machaqueo. Relación Agua / Cemento entre 0.55 y 0.6 (Áridos machacados) y contenido mínimo de cemento 300 kg/m³, por ser la exposición IIa + H. El resto de características se prescriben en la vigente EHE, así como en el P.P.T.P. de la obra y también se estará a las indicaciones del Director de Obra.

3.4 Unidad: Revestimiento del túnel.

3.4.1 Membrana impermeabilizadora de doble capa

Será del tipo “Geodré” o similar y estará formada por dos capas: La primera impermeabilizante y plástica, o “huevera”, que irá contra el trasdós del túnel y la segunda drenante y filtrante, textil. se fijará a las paredes del túnel con clavos “Spit”, o similar y las características definitivas se determinarán, una vez comparadas las características ofertadas por los diferentes fabricantes, con el P.P.T.P. y con las indicaciones del Director de Obra.

3.4.2 Carro encofrador

Será remolcado, con anclajes hidráulicos, redundantes con otros mecánicos, para prevenir posibles averías y sus medidas serán las del túnel, permitiendo puestas de 5 m de longitud. Así mismo deberá cumplir con toda la normativa de seguridad, tanto para personal, como eléctrica

3.4.3 Hormigón en masa HM 30

Será del tipo HM 30/B 20/IIa+H, de resistencia característica a compresión no inferior a 30 MPa, consistencia blanda (Asiento en cono de Abrams 6 a 9 cm) y tamaño máximo de árido 20 mm, con áridos de machaqueo. Relación Agua / Cemento entre 0.55 (Áridos machacados) y contenido mínimo de cemento 275 kg/m³, por ser la exposición IIa + H. El

resto de características se prescriben en la vigente EHE, así como en el P.P.T.P. de la obra y también se estará a las indicaciones del Director de Obra.

3.5 Unidad: Aglomerado del túnel y ejecución de accesos al mismo.

3.5.1 Hormigón en masa HM 20

Como este hormigón lo empleamos para regularización, y está fuera de norma, sus características serán principalmente: resistencia característica de 20 MPa, consistencia blanda (6 a 9 cm) y tamaño máximo de árido 20 mm; Aún así se estará a lo dispuesto en el P.P.T.P. de la obra y también y a las indicaciones del Director de Obra.

3.5.2 Suelo seleccionado

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones según el artículo 330.3.3.1 del vigente PG 3:

Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2\%$), según UNE 103204.

Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.

Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).

Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 \leq 15\%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:

Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).

Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).

Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).

Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.

Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

Así mismo se estará a lo dispuesto en el P.P.T.P. de la obra y también y a las indicaciones del Director de Obra.

3.5.3 Zahorra artificial

Los materiales para zahorra procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural y cumplirán las siguientes condiciones según el artículo 510 del PG 3

Para las categorías de tráfico pesado T2 a T4 se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos reciclados de residuos de construcción y demolición —entendiendo por tales a aquellos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en

la construcción—, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008, por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias. Para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Los áridos reciclados de residuos de construcción y demolición se someterán, en centrales fijas o móviles, a un proceso de separación de componentes no deseados, de cribado y de eliminación final de contaminantes. De igual manera, los áridos siderúrgicos, tras un proceso previo de machaqueo, cribado y eliminación de elementos metálicos y otros contaminantes, se envejecerán con riego de agua durante un periodo mínimo de tres (3) meses.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá fijar especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear materiales cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los materiales para las capas de zahorra no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Se deberá garantizar tanto la durabilidad a largo plazo, como que no puedan dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua. Por ello, en materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, deberá hacerse un estudio especial sobre su aptitud para ser empleado, que deberá ser aprobado por el Director de las Obras.

La pérdida en el ensayo de sulfato de magnesio (UNE EN 1367-2) de los áridos reciclados de residuos de construcción y demolición no superará el dieciocho por ciento ($\leq 18\%$).

El árido siderúrgico procedente de horno alto no presentará desintegración por el silicato bicalcico ni por el hierro (norma UNE-EN 1744-1).

El árido siderúrgico de acería deberá presentar una expansividad inferior al cinco por ciento ($< 5\%$) (norma UNE-EN 1744-1). La duración del ensayo será de veinticuatro horas (24 h) cuando el contenido de óxido de magnesio (norma UNE-EN 196-2) sea menor o igual al cinco por ciento ($MgO \leq 5\%$) y de ciento sesenta y ocho horas (168 h) en los

demás casos. Además, el Índice Granulométrico de Envejecimiento (IGE) (NLT-361) será inferior al uno por ciento ($< 1\%$) y el contenido de cal libre (UNE-EN 1744-1) será inferior al cinco por mil ($< 5\text{‰}$).

El contenido ponderal en azufre total (expresado en S, norma UNE-EN 1744-1), será inferior al cinco por mil ($S < 5 \text{‰}$) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento ($< 1\%$) en los demás casos. En el caso de emplearse materiales reciclados procedentes de demoliciones de hormigón, el contenido de sulfatos solubles en agua del árido reciclado (expresados en SO_3 , norma UNE-EN 1744-1), deberá ser inferior al siete por mil ($\text{SO}_3 < 7 \text{‰}$). Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm (norma UNE-EN 933-2).

La proporción de partículas total y parcialmente trituradas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 510.1.a.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 a T0	T1 a T2 y ARCENES T00 a T0	T3 a T4 y RESTO de ARCENES
100	≥ 70	≥ 50

Pliego de Condiciones. Tabla nº 1: Tabla 510.1.a PG 3. Proporción de partículas total y parcialmente trituradas del árido grueso (% en masa)

Adicionalmente, la proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 510.1.b.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 a T0	T1 a T2 y ARCENES T00 a T0	T3 a T4 y RESTO de ARCENES
0	≤ 10	≤ 10

Pliego de Condiciones. Tabla nº 2: Tabla 510.1.b. PG 3. Proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso (% en masa)

El índice de lajas (FI) de las distintas fracciones del árido grueso (norma UNE-EN 933-3) deberá ser inferior a treinta y cinco ($\text{FI} < 35$).

El coeficiente de Los Ángeles (LA) (norma UNE-EN 1097-2) de los áridos para la zorra no deberá ser superior a los valores indicados en la tabla 510.2.

CATEGORÍA TRÁFICO PESADO	
T00 a T2	T3, T4 y ARCENES
30	35

Pliego de Condiciones. Tabla nº 3: Tabla 510.2. PG 3. Valor máximo del coeficiente de Los Ángeles (LA)

Para materiales reciclados procedentes de capas de firme de carretera, así como para áridos siderúrgicos, el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla 510.3, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD 0/20, especificado en la tabla 510.4.

Los materiales deberán estar exentos de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

El contenido de finos del árido grueso (norma UNE-EN 933-1), expresado como porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al uno por ciento ($< 1\%$) en masa. Se define como árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm de la norma UNE-EN 933-2.

El equivalente de arena (SE₄) (Anexo A de la norma UNE-EN 933-8), para la fracción 0/4 del material, deberá cumplir lo indicado en la tabla 510.1. De no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno (Anexo A de la norma UNE-EN 933-9), para la fracción 0/0,125 deberá ser inferior a diez gramos por kilogramo ($MB_f < 10 \text{ g/kg}$) y, simultáneamente, el equivalente de arena (SE₄) no deberá ser inferior en más de cinco (5) unidades a los valores indicados en la tabla 510.3.

T00 a T1	T2 a T4 y ARCENES T00 a T2	ARCENES de T3 y T4
>40	>35	>30

Pliego de Condiciones. Tabla nº 4: Tabla 510.3 PG 3. Equivalente de arena (SE₄)

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir que el material sea no plástico (normas UNE 103103 y UNE 103104). En el caso de arcenes no pavimentados, de las categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá admitir que el índice de plasticidad (normas UNE 103103 y UNE 103104) sea inferior a diez (< 10), y que el límite líquido (norma UNE 103103) sea inferior a treinta (< 30). La granulometría del material

(norma UNE-EN 933-1) deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos indicados en la tabla 510.4

TIPO DE	APERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	32	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,063
ZAHORRA (*)										
ZA 0/32	100	88-100	65-90	52-76	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA 0/20		100	75-100	60-86	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD 0/20 (**)		100	65-100	47-78	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

(*) La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

(**) Tipo denominado zahorra drenante, utilizado en aplicaciones específicas.

Pliego de Condiciones. tabla nº 5: tabla 510.4 PG 3. Husos granulométricos. Cernido acumulado (% en masa)

En todos los casos, el cernido por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933-2) será menor que los dos tercios ($< 2/3$) del cernido por el tamiz 0,250 mm (norma UNE-EN 933-2).

También se estará a lo dispuesto en el P.P.T.P. y a las indicaciones del Director de Obra.

3.5.4 Riego de imprimación

Se define como riego de imprimación la aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa. En nuestro caso será del tipo C50 BF4 BMP y cumplirá las prescripciones del artículo 530 del PG 3.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE

permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

El tipo de emulsión bituminosa a emplear vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Salvo justificación en contrario, se empleará una emulsión C50BF4 IMP o C60BF4 IMP del artículo 214 de este Pliego siempre que en el tramo de prueba se muestre su idoneidad y compatibilidad con el material granular a imprimir.

El árido de cobertura a emplear, eventualmente, en riegos de imprimación será arena natural, arena de machaqueo o una mezcla de ambas.

La totalidad del árido deberá pasar por el tamiz 4 mm y no contener más de un quince por ciento (15%) de partículas inferiores al tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN933-2), de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1.

El árido deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas. El equivalente de arena (SE4) del árido (Anexo A de la norma UNE-EN 933-8), para la fracción 0/4 del árido deberá ser superior a cuarenta ($SE_4 > 40$).

El material deberá ser “no plástico” (normas UNE 103103 y UNE 103104).

La dotación de la emulsión bituminosa quedará definida por la cantidad que sea capaz de absorber la capa que se imprima en un período de veinticuatro horas (24 h). Dicha dotación no será inferior en ningún caso a quinientos gramos por metro cuadrado ($\leq 500 \text{ g/m}^2$) de ligante residual.

La dotación del árido de cobertura, en caso de aplicarse, será la mínima necesaria para la absorción de un exceso de ligante que pueda quedar en la superficie, o para garantizar la protección de la imprimación bajo la acción de la eventual circulación, durante la obra, sobre dicha capa. La dotación, en ningún caso, será superior a seis litros por metro cuadrado ($\geq 6 \text{ l/m}^2$), ni inferior a cuatro litros por metro cuadrado ($\leq 4 \text{ l/m}^2$).

No obstante, el Director de las Obras, en el uso de sus atribuciones, podrá modificar las dotaciones, a la vista de las pruebas realizadas en obra.

3.5.5 Riego de adherencia

Se define como riego de adherencia la aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbonados o conglomerantes hidráulicos, previa a la colocación sobre ésta de una capa bituminosa. en nuestro caso será del tipo C60 B3 ADH, que deberá cumplir con las condiciones que nos marca el PG en vigor.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

El tipo de emulsión a emplear vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y, salvo justificación en contrario, deberá estar incluido entre los que se indican en la tabla 531.1, de acuerdo con el artículo 214 de este Pliego.

EMULSIONES BITUMINOSAS CONVENCIONALES	C60B3 ADH C60B3 TER
EMULSIONES BITUMINOSAS MODIFICADAS	C60BP3 ADH C60BP3 TER

(*) En caso de que el riego se ejecute en tiempo frío, en lugar de emulsiones con índice de rotura clase 3 (70-155), se recomienda emplear la clase 2 < 110, de acuerdo con el artículo 214 de este pliego.

Pliego de Condiciones. tabla nº 6: tabla 531.1 PG 3. Tipo de emulsión bituminosa ()*

Para categorías de tráfico pesado de T00 a T1, o con carreteras de categoría de tráfico T2 que sean autovías o que tengan una IMD superior a cinco mil vehículos por día y carril ($IMD > 5000$ veh/d/carril), será preceptivo el empleo de emulsiones modificadas con polímeros en riegos de adherencia, para capas de rodadura constituidas por mezclas bituminosas discontinuas o drenantes del artículo 543 de este Pliego.

La dotación de la emulsión bituminosa a utilizar vendrá definida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Dicha dotación no será inferior en ningún caso a doscientos gramos por metro cuadrado (200 g/m^2) de ligante residual.

Cuando la capa superior sea, una mezcla bituminosa discontinua en caliente o drenante (artículo 543 de este Pliego), o bien una capa tipo hormigón bituminoso (artículo 542 de este Pliego) empleada como rehabilitación superficial de una carretera en servicio, esta dotación no será inferior a doscientos cincuenta gramos por metro cuadrado ($\leq 250 \text{ g/m}^2$).

No obstante, el Director de las Obras, en el uso de sus atribuciones, podrá modificar tal dotación, a la vista de las pruebas realizadas en obra.

3.5.6 Mezclas bituminosas en caliente para capa de base tipo AC 22 base G 50/70 y para capa intermedia tipo AC 22 bin D 50/70

Características generales para todas las mezclas (base, intermedia y rodadura), según el PG 3, en su artículo 542.

Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas podrán ser de origen natural, artificial o reciclado siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo.

Los áridos se producirán o suministrarán en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. En la fabricación de mezclas bituminosas para capas de base e intermedias, podrá emplearse el

material procedente del fresado de mezclas bituminosas en caliente, según las proporciones y criterios que se indican a continuación:

En proporción inferior o igual al quince por ciento ($\leq 15\%$) de la masa total de la mezcla, empleando centrales de fabricación que cumplan las especificaciones del epígrafe 542.4.2 y siguiendo lo establecido en el epígrafe 542.5.4 de este artículo.

En proporciones superiores al quince por ciento ($> 15\%$), y hasta el sesenta por ciento (60%), de la masa total de la mezcla, siguiendo las especificaciones establecidas al respecto en el artículo 22 vigente del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras, PG-4.

En proporciones superiores al sesenta por ciento ($> 60\%$) de la masa total de la mezcla, será preceptiva la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras. Además, se realizará un estudio específico en el Proyecto de la central de fabricación de mezcla discontinua y de sus instalaciones especiales, con un estudio técnico del material bituminoso a reciclar por capas y características de los materiales, que estarán establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Antes de pasar por el secador de la central de fabricación, el equivalente de arena (SE_4) (Anexo A de la norma UNE-EN 933-8), para la fracción 0/4mm del árido combinado (incluido el polvo mineral), de acuerdo con las proporciones fijadas en la fórmula de trabajo, deberá ser superior a cincuenta y cinco ($SE_4 > 55$) o, en caso de no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno (Anexo A de la norma UNE-EN 933-9) para la fracción 0/0,125mm del árido combinado, deberá ser inferior a siete gramos por kilogramo ($MB_F < 7 \text{ g/kg}$) y, simultáneamente, el equivalente de arena (Anexo A de la norma UNE-EN 933-8) deberá ser superior a cuarenta y cinco ($SE_4 > 45$).

Los áridos no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo. Se debe garantizar tanto la durabilidad a largo plazo, como que no originen con el agua, disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar corrientes de agua. Por ello, en materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, deberá

hacerse un estudio especial sobre su aptitud para ser empleado, que deberá ser aprobado por el Director de las Obras.

En el caso de que se emplee árido procedente del fresado o de la trituración de capas de mezcla bituminosa, se determinará la granulometría del árido recuperado (norma UNE-EN 12697-2) que se empleará en el estudio de la fórmula de trabajo. El tamaño máximo de las partículas vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, debiendo pasar la totalidad por el tamiz 40 mm de la norma UNE-EN 933-2. En ningún caso se admitirán áridos procedentes del fresado de mezclas bituminosas que presenten deformaciones plásticas (roderas).

El árido obtenido del material fresado de mezclas bituminosas, cumplirá las especificaciones de los epígrafes 542.2.3.2, 542.2.3.3 ó 542.2.3.4, en función de su granulometría (norma UNE-EN 12697-2).

A efectos de aplicación de este artículo, se define como árido grueso la parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm (norma UNE-EN 933-2).

El árido grueso para capas de rodadura será por lo general de una única procedencia y naturaleza. En caso de que se empleen áridos de distinta procedencia, cada una de ellas deberá cumplir las prescripciones establecidas en el epígrafe 542.2.3.2.

Los áridos gruesos a emplear en capas de rodadura en categorías de tráfico pesado T00 y T0, no provendrán de canteras de naturaleza caliza, ni podrán fabricarse por trituración de gravas procedentes de yacimientos granulares.

En el caso de que se emplee árido grueso procedente de la trituración de grava natural, y para las capas de rodadura de las categorías de tráfico pesado T1 y T2, se cumplirá la condición de que el tamaño de las partículas, antes de su trituración, deberá ser superior a seis (> 6) veces el tamaño máximo del árido que se desee obtener.

Si en el árido grueso se apreciaban partículas meteorizadas o con distinto grado de alteración, su proporción en masa no será nunca superior al cinco por ciento (5%). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras podrán establecer un valor inferior al indicado.

En capas de rodadura de carreteras sometidas durante el invierno a heladas y frecuentes tratamientos de vialidad invernal, si el valor de la absorción (norma UNE-EN 1097-6) es superior al uno por ciento ($> 1\%$), el valor del ensayo de sulfato de magnesio (norma UNE-EN 1367-2) deberá ser inferior al quince por ciento ($MS < 15\%$).

La proporción de partículas total y parcialmente trituradas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.2.a.

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y ARCENES	T4
RODADURA	100		≥ 90		≥ 70
INTERMEDIA	100				$\geq 70^{(*)}$
BASE	100		≥ 90	≥ 70	

(*) En vías de servicio

Pliego de Condiciones. tabla nº 7: tabla 542.2.a PG 3. Proporción de partículas total y parcialmente trituradas (% en masa)

Adicionalmente, la proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.2.b.

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y ARECENES	T4
RODADURA	0		≤ 1		≤ 10
INTERMEDIA					$\leq 10^{(*)}$
BASE	≤ 1		≤ 1	≤ 10	

(*) En vías de servicio

Pliego de Condiciones. tabla nº 8: tabla 542.2.b. PG 3. Proporción de partículas totalmente redondeadas (% en masa)

El índice de lajas (FI) de las distintas fracciones del árido grueso (norma UNE-EN 933-3) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.3.

CATEGORÍA TRÁFICO PESADO			
T00	T0 a T31	T32 y ARCENES	T4
≤ 20	≤ 25	≤ 30	

Pliego de Condiciones. Tabla nº 9: Tabla 542.3 PG 3. Índice de lajas (FI)

El coeficiente de Los Ángeles (LA) del árido grueso (norma UNE-EN 1097-2) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.4.

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T1	T2	T3 y ARCENES	T4
RODADURA	≤ 20		≤ 25		
INTERMEDIA	≤ 25				$\leq 25^{(*)}$
BASE	≤ 25		≤ 30		

(*) En vías de servicio

Pliego de Condiciones. Tabla nº 10: Tabla 542.4 PG 3. Coeficiente de desgaste de los ángeles (LA)

El coeficiente de pulimento acelerado (PSV) del árido grueso a emplear en capas de rodadura (norma UNE-EN 1097-8) deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.5.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 a T31	T32, T4 y ARCENES
≥ 56	≥ 50	≥ 44

Pliego de Condiciones. Tabla nº 11: Tabla 542.5 PG 3. Coeficiente de Pulimento acelerado (PSV) para capas de rodadura

El árido grueso deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de finos (norma UNE-EN 933-1) determinado como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al cinco por mil ($< 5\%$) en masa.

En el caso de que no se cumplan las prescripciones establecidas respecto a la limpieza del árido grueso, el Director de las Obras podrá exigir su lavado, aspiración u otros métodos previamente aprobados, y una nueva comprobación.

A efectos de aplicación de este artículo, se define como árido fino la parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,06 (norma UNE-EN 933- 2).

En general, el árido fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o grava natural. Únicamente en categorías de tráfico pesado T3 y T4 y arcenes, se podrá emplear en parte arena natural no triturada, y en ese caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá señalar la proporción máxima en la mezcla, la cual no será superior al diez por ciento (10%) de la

masa total del árido combinado, ni superar en ningún caso, el porcentaje de árido fino triturado.

Para capas de rodadura en las que se emplee árido fino de distinta procedencia que el árido grueso, aquel corresponderá a una fracción 0/2mm con un porcentaje retenido por el tamiz 2 mm no superior al diez por ciento ($\geq 10\%$) del total de la fracción, con el fin de evitar la existencia de partículas de tamaño superior a dos milímetros (2 mm) que no cumplan las características exigidas en el epígrafe 542.2.3.2.

El árido fino deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

El material que se triture para obtener árido fino deberá cumplir las condiciones exigidas al árido grueso en el epígrafe 542.2.3.2.5 sobre el coeficiente de Los Ángeles (LA).

Se podrá emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de árido grueso con coeficiente de Los Ángeles inferior a veinticinco ($LA < 25$) para capas de rodadura e intermedias y a treinta ($LA < 30$) para capas de base.

Se define como polvo mineral el árido cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933-2).

El polvo mineral podrá ser un producto comercial o especialmente preparado, en cuyo caso se denomina de aportación. También podrá proceder de los propios áridos, en cuyo caso deberá separarse de ellos el existente en exceso, por medio de los preceptivos sistemas de extracción de la central de fabricación.

La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deberá cumplir lo fijado en la tabla 542.6. El Director de las Obras podrá modificar la proporción mínima de éste únicamente en el caso de que se comprobase que el polvo mineral procedente de los áridos cumple las condiciones exigidas.

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	TO y T1	T2	T3 y ARCENES	T4
RODADURA	100			≥ 50	
INTERMEDIA	100		≥ 50		
BASE	100	≥ 50			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 12: Tabla 542.6 PG 3. Proporción de polvo mineral de aportación (% en masa del resto de polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos)

Si el polvo mineral de los áridos fuese susceptible de contaminación o degradación, deberá extraerse en su totalidad, salvo el que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, que en ningún caso podrá rebasar el dos por ciento ($\geq 2\%$) de la masa de la mezcla.

La granulometría del polvo mineral se determinará según la norma UNE-EN 933-10. El cien por ciento (100%) de los resultados de análisis granulométricos quedarán dentro del huso granulométrico general definido en la tabla 542.7.

Adicionalmente, el noventa por ciento (90%) de los resultados de análisis granulométricos basados en los últimos veinte (20) valores obtenidos, quedarán incluidos dentro de un huso granulométrico restringido, cuya amplitud máxima en los tamices correspondientes a 0,125 y 0,063 mm no superará el diez por ciento (10%).

ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	HUSO GRANULOMÉTRICO GENERAL PARA RESULTADOS INDIVIDUALES CERNIDO ACUMULADO (% en masa)	AMPLITUD MÁXIMA DEL USO RESTRINGIDO (% en masa)
2	100	
0,125	85 a 100	10
0,063	70 a 100	10

Pliego de Condiciones. Tabla nº 13: Tabla 542.7 PG 3. Especificaciones para la granulometría

La densidad aparente del polvo mineral (Anexo A de la norma UNE-EN 1097-3) deberá estar comprendida entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³).

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará los aditivos que pueden utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como las mezclas bituminosas resultantes. Los métodos de incorporación, dosificación y dispersión homogénea del aditivo deberán ser aprobados por el Director de las Obras.

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos fijados en la tabla 542.8, según el tipo de mezcla. El análisis granulométrico se hará conforme a la norma UNE-EN 933-1.

TIPO DE MEZCLA		ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)									
		45	32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063
RODADURA	AC16 D			100	90-100	64-79	44-	31-46	16-27	11-20	4-8
	AC22 D			90-100	73-88	55-70	59	31-46	16-27	11-20	4-8
SEMIDENSA	AC16 S			100	90-100	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	3-7
	AC22 S		100	90-100	70-88	50-66		24-38	11-21	7-15	3-7
	AC32 S	100	90-100		68-22	48-63		24-38	11-21	7-15	3-7
GRUESA	AC22 G		100	90-	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
	AC32 G	100	90-100	100	58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5

(*) A efectos de esta tabla, para designar el tipo de mezcla, se incluye sólo la parte de la nomenclatura que se refiere expresamente al huso granulométrico (se omite por tanto la indicación de la capa del firme y del tipo de betún)

Para la formulación de mezclas bituminosas en caliente de alto módulo (MAM) se empleará

el huso AC22S con las siguientes modificaciones, respecto a dicho huso granulométrico: tamiz 0,250 mm: 8-15%; y tamiz 0,063 mm: 5-8%.

Pliego de Condiciones. tabla nº 14: Tabla 542.8 PG 3. Husos granulométricos. Cernido acumulado (% en masa)

El tipo de mezcla bituminosa a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se definirá en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, de acuerdo con la tabla 542.9.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (cm)
	DENOMINACIÓN. NORMA UNE-EN 13108-1 (*)	
RODADURA	AC16 surf D AC16 surf S	4-5
	AC22 surf D AC22surf S	> 5
INTERMEDIA	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC 22 bin S MAM (**)	5-10
BASE	AC32 base S AC32 base G AC32 base G AC 22 base S MAM (***)	7-15
ARCENES(****)	AC16 surf D	4-6

(*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

(**) Espesor mínimo seis centímetros (6 cm).

(***) Espesor máximo trece centímetros (13 cm).

(****) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada

Pliego de Condiciones. Tabla nº 15: tabla 542.9 PG 3. Tipo de mezcla en función del tipo y espesor de la capa

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la dotación mínima de ligante hidrocarbonado de la mezcla bituminosa que, en cualquier caso, deberá cumplir lo indicado en la tabla 542.10, según el tipo de mezcla y de capa.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
RODADURA	desa y semidensa	4,50
INTERMEDIA	densa y semidensa	4,00
	alto módulo	4,50
BASE	semidensa y gruesa	4,00
	alto módulo	4,75

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 542.9.3.1. si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

Pliego de Condiciones. Tabla nº 16: tabla 542.10 PG 3. Dotación mínima () de ligante hidrocarbonado (% en masa sobre el total de la mezcla bituminosa, incluido el polvo mineral)*

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
	CÁLIDA Y MEDIA	TEMPLADA
RODADURA	1,2	1,1
INTERMEDIA	1,1	1,0
BASE	1,0	0,9

(*) Relación entre el porcentaje de polvo mineral y el de ligante expresados ambos respecto de la masa total del árido seco, incluido el polvo mineral.

Pliego de Condiciones. Tabla nº 17: tabla 542.11 PG 3. Relación ponderal () recomendable de polvo mineral ligante en mezclas bituminosas tipo densas, semidensas y gruesas para las categorías de tráfico pesado T00 a T2*

3.5.7 Mezcla bituminosa en caliente tipo BBTM 11B 45/80-60 para capa de rodadura

Se definen como mezclas bituminosas para capa de rodadura aquellas resultantes de la combinación de un betún asfáltico, áridos en granulometría continua con bajas proporciones de árido fino o con discontinuidad granulométrica en algunos tamices, polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden

recubiertas por una película homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación y puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente.

En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra las mezclas bituminosas para capa de rodadura se clasifican en calientes y semicalientes. En éstas últimas, el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, permiten disminuir la temperatura mínima de mezclado en al menos cuarenta grados Celsius (40 °C) respecto a la mezcla equivalente, pudiendo emplearse en las mismas condiciones que aquéllas en las categorías de tráfico pesado T1 a T4.

En función de su granulometría las mezclas bituminosas para capa de rodadura se clasifican, a su vez, en drenantes y discontinuas.

Las mezclas bituminosas drenantes son aquellas que, por su baja proporción de árido fino, presentan un contenido muy alto de huecos interconectados que le proporcionan sus características drenantes, pudiéndose emplear en capas de rodadura de cuatro a cinco centímetros (4 a 5 cm) de espesor.

Las mezclas bituminosas discontinuas son aquellas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso, que se utilizan para capas de rodadura en espesores reducidos de dos a tres centímetros (2 a 3 cm), y cuyo tamaño máximo del árido no supera los once milímetros (≥ 11 mm).

La ejecución de cualquiera de los tipos de mezcla bituminosa definidas anteriormente incluye las siguientes operaciones:

Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

Fabricación de acuerdo con la fórmula de trabajo.

Transporte al lugar de empleo.

Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.

Extensión y compactación de la mezcla.

Deberán cumplir con las exigencias del vigente PG 3 en su artículo 543.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las

instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

Salvo justificación en contrario, el ligante hidrocarbonado deberá cumplir las especificaciones de los correspondientes artículos de este Pliego, o en su caso, la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear, que se seleccionará entre los que se indican en la tabla 543.1, en función del tipo de mezcla y de la categoría de tráfico pesado definidas en las vigentes Norma 6.1 IC Secciones de firme o en la Norma 6.3 IC Rehabilitación de firmes.

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2 ^(**) y T31	T32 y T4	ARCENES
DISCONTINUA	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	
DRENANTE	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70 BC50/70	50/70 70/100 BC50/70	

(*) Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 212 de este pliego. en ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra c mayúscula, para indicar que el agente modificador es polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso. Se podrán emplear también betunes multigrados, que sean equivalentes en el intervalo de penetración, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 211 de este pliego.

(**) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías o cuando la IMD sea superior a 5 000 vehículos por día y carril

Pliego de Condiciones. Tabla nº 18: tabla 543.1. PG 3. Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear () artículos 211 y 212 PG 3 y reglamentación específica vigente de la D.G.T.*

Según lo dispuesto en el apartado 8 del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008- 2015, aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de diciembre de 2008, se fomentará el uso de polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso, siempre que sea técnica y económicamente posible.

En el caso de que se empleen betunes o aditivos especiales para mezclas bituminosas semicalientes, con objeto de reducir la temperatura de fabricación, extendido y compactación, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, establecerá las especificaciones a cumplir

En el caso de utilizar betunes con adiciones no incluidos en los artículos 211 ó 212 de este

Pliego, o en la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir, tanto el ligante como las mezclas bituminosas resultantes. Dichas especificaciones incluirán la dosificación y el método de dispersión de la adición.

En el caso de incorporación de productos modificadores de la reología de la mezcla (tales como fibras, materiales elastoméricos, etc.), con el objeto de alcanzar una mayoración significativa de alguna característica referida a la resistencia a la fatiga y a la fisuración, se determinará su proporción, así como la del ligante utilizado, de tal manera que, además de dotar de las propiedades adicionales que se pretendan obtener con dichos productos, se garantice un comportamiento en mezcla mínimo, semejante al que se obtuviera de emplear un ligante bituminoso de los especificados en el artículo 212 de este Pliego

Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas discontinuas y en las drenantes podrán sernaturales o artificiales siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este artículo.

Los áridos se producirán o suministrarán en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopiarán y manejarán por separado hasta su introducción en las tolvas en frío.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Antes de pasar por el secador de la central de fabricación, el equivalente de arena (SE_4) (AnexoA de la norma UNE-EN 933-8) para la fracción 0/4mm del árido combinado (incluido el polvo mineral), de acuerdo con las proporciones fijadas en la fórmula de trabajo, deberá ser superior a cincuenta y cinco ($SE_4 > 55$) o, en caso de no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno (Anexo A de la norma UNE-EN 933-9) para la fracción 0/0,125mm del árido combinado deberá ser inferior a siete gramos por kilogramo ($MB_F < 7 \text{ g/kg}$) y, simultáneamente, el equivalente de arena (Anexo A de la norma UNE-EN 933-8), deberá ser superior a cuarenta y cinco ($SE_4 > 45$).

Los áridos no serán susceptibles a ningún tipo de meteorización o alteración físicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente,

puedan darse en la zona de empleo. Se debe garantizar tanto la durabilidad a largo plazo, como que no puedan dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar corrientes de agua. Por ello, en materiales en los que, por su naturaleza, no exista suficiente experiencia sobre su comportamiento, deberá hacerse un estudio especial sobre su aptitud para ser empleado, que deberá ser aprobado por el Director de las Obras.

A efectos de aplicación de este artículo, se define como árido grueso la parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm (norma UNE-EN 933-2).

El árido grueso para capas de rodadura será por lo general de una única procedencia y naturaleza. En caso de que se empleen áridos de distinta procedencia, cada una de ellas deberá cumplir las prescripciones establecidas en el epígrafe 542.2.3.2.

Los áridos gruesos a emplear en capas de rodadura en categorías de tráfico pesado T00 y T0, no provendrán de canteras de naturaleza caliza ni podrán fabricarse por trituración de gravas procedentes de yacimientos granulares.

En el caso de que se emplee árido grueso procedente de la trituración de grava natural, y para las capas de rodadura de las categorías de tráfico pesado T1 y T2, se cumplirá la condición de que el tamaño de las partículas, antes de su trituración, deberá ser superior a seis (> 6) veces el tamaño máximo del árido que se desee obtener.

Si en el árido grueso se apreciaran partículas meteorizadas o con distinto grado de alteración, su proporción en masa no será nunca superior al cinco por ciento ($\geq 5\%$).

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o el Director de las Obras podrán establecer un valor inferior al indicado.

En capas de rodadura de carreteras sometidas durante el invierno a heladas y frecuentes tratamientos de vialidad invernal, si el valor de la absorción (norma UNE-EN 1097-6) es superior al uno por ciento ($> 1\%$), el valor del ensayo de sulfato de magnesio (norma UNE-EN 1367-2) deberá ser inferior a quince por ciento ($MS < 15\%$).

La proporción de partículas total y parcialmente trituradas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.2.a.

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 a T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	100	≥ 90	≥ 70
DRENANTE			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 19: Tabla 543.2.a. PG 3. Proporción de partículas total y parcialmente trituradas (% en masa)

Adicionalmente, la proporción de partículas totalmente redondeadas del árido grueso (norma UNE-EN 933-5) deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.2.b.

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 a T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	0	≤ 1	≤ 10
DRENANTE			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 20: Tabla 543.2.b. PG 3. Proporción de partículas totalmente redondeadas (% en masa)

El índice de lajas (FI) de las distintas fracciones del árido grueso (norma UNE-EN 933-3) deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.3.

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00	T0 a T31	T32 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	≤ 20		≤ 25	
DRENANTE			≤ 25	

Pliego de Condiciones. Tabla nº 21: tabla 543.3 PG 3. Índice de lajas (FI)

El coeficiente de Los Ángeles (LA) del árido grueso (norma UNE-EN 1097-2), deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.4.

TIPO DE MEZCLA ^(*)		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T00 y T0	T1 y T2	T3 y ARCENES	T4
DISCONTINUA	BBTM A	≤ 15	≤ 20	≤ 25	
	BBTM B	≤ 15			
DRENANTE	PA	≤ 15	≤ 20	≤ 20	

(*) Designación según las normas UNE-EN 13108-2 y UNE-EN 13108-7. ver apartado 543.3

Pliego de Condiciones. Tabla nº 22: Tabla 543.4 PG 3. Coeficiente de Los Ángeles (LA)

El coeficiente de pulimento acelerado (PSV) del árido grueso a emplear en capas de rodadura (norma UNE-EN 1097-8) deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.5.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
T00 y T0	T1 a T31	T32, T4 y ARCENES
≥ 56	≥ 50	≥ 44

Pliego de Condiciones. Tabla nº 23: Tabla 543.5. PG 3. Coeficiente de pulimento acelerado (PSV)

El árido grueso deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de finos del árido grueso (norma UNE-EN 933-1), determinado como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al cinco por mil (< 5 ‰) en masa.

En el caso de que no se cumplan las prescripciones establecidas respecto a la limpieza del árido grueso, el Director de las Obras podrá exigir su lavado, aspiración u otros métodos previamente aprobados, y una nueva comprobación.

A efectos de aplicación de este artículo, se define como árido fino la parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933- 2).

En general, el árido fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o grava natural. Únicamente para mezclas tipo BBTM A y categorías de tráfico pesado T3 y T4 y arcenes, se podrá emplear en parte arena natural no triturada, y en ese caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, deberá señalar la proporción máxima en la mezcla, la cual no será superior al diez

por ciento ($\geq 10\%$) de la masa total del árido combinado, ni superar en ningún caso, el porcentaje de árido fino triturado.

Será preceptivo emplear una fracción 0/2mm con un porcentaje retenido por el tamiz 2 mm no superior al diez por ciento ($\geq 10\%$) del total de la fracción, con el fin de asegurar una granulometría bien adaptada al huso granulométrico de la mezcla, así como evitar la existencia de partículas de tamaño superior a 2 mm que no cumplan las características exigidas en el epígrafe 543.2.3.2., en el caso de que se emplee árido fino de distinta procedencia que el grueso.

El árido fino deberá estar exento de todo tipo de materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

El material que se triture para obtener árido fino deberá cumplir las condiciones exigidas al árido grueso en el epígrafe 543.2.3.2.5 sobre el coeficiente de Los Ángeles (LA).

Se podrá emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de árido grueso con coeficiente de Los Ángeles inferior a veinticinco ($LA < 25$).

Se define como polvo mineral el árido cuya mayor parte pasa por el tamiz 0,063 mm (norma UNE-EN 933-2).

El polvo mineral podrá ser un producto comercial o especialmente preparado, en cuyo caso se denomina de aportación. También podrá proceder de los propios áridos, en cuyo caso deberá separarse de ellos el existente en exceso, por medio de los preceptivos sistemas de extracción de la central de fabricación.

La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deberá cumplir lo fijado en la tabla 543.6. El Director de las Obras podrá modificar la proporción mínima de éste únicamente en el caso de que se comprobase que el polvo mineral procedente de los áridos cumple las condiciones exigidas.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T00 a T2	T3, T4 y ARCENES
100	≥ 50

Pliego de Condiciones. Tabla nº 24: Tabla 543.6 PG 3. Proporción de polvo mineral de aportación (% en masa del resto de polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos).

Si el polvo mineral de los áridos fuese susceptible de contaminación o degradación deberá extraerse en su totalidad, salvo el que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, que en ningún caso podrá rebasar el dos por ciento ($\neq 2\%$) de la masa de la mezcla.

La granulometría del polvo mineral se determinará según la norma UNE-EN 933-10. El cien por ciento (100%) de los resultados de los análisis granulométricos estarán comprendidos dentro del huso granulométrico general definido en la tabla 543.7.

Adicionalmente, el noventa por ciento (90%) de los resultados de los análisis granulométricos basados en los últimos veinte (20) valores obtenidos, quedarán incluidos dentro de un huso granulométrico restringido, cuya amplitud máxima en los tamices correspondientes a 0,125 y 0,063 mm no superará el diez por ciento (10%).

ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	HUSO GRANULOMÉTRICO GENERAL PARA RESULTADOS INDIVIDUALES CERNIDO ACUMULADO (% en masa)	AMPLITUD MÁXIMA DEL HUSO RESTRIGIDO
2	100	
0,125	85 a 100	10
0,063	70 a 100	10

Pliego de Condiciones. Tabla nº 25: Tabla 543.7 PG 3. Especificaciones para la granulometría

La densidad aparente del polvo mineral (Anexo A de la norma UNE-EN 1097-3) deberá estar comprendida entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³).

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará los aditivos que puedan utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como las mezclas bituminosas resultantes. Los métodos de incorporación, dosificación y dispersión homogénea del aditivo deberán ser aprobados por el Director de las Obras.

La designación de las mezclas bituminosas discontinuas se hará conforme a la nomenclatura establecida en la norma UNE-EN 13108-2 siguiendo el siguiente esquema:

BBTM	D	Clase	Ligante
------	---	-------	---------

Donde:

BBTM indicación relativa a que la mezcla bituminosa es de tipo discontinuo.

D tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.

Clase designación de la clase de mezcla discontinua. A efectos de este Pliego será A o B.

Ligante tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.

La designación de las mezclas bituminosas drenantes se hará de acuerdo con la nomenclatura establecida en la norma UNE-EN 13108-7, siguiendo el siguiente esquema:

PA	D	ligante
----	---	---------

Donde:

PA indicación relativa a que la mezcla bituminosa es de tipo drenante. D tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90% y 100%) del total del árido.

Ligante: tipo de ligante hidrocarbonado utilizado.

En ambos casos, cuando la mezcla bituminosa sea semicaliente se añadirá esta palabra al final de la designación de la mezcla.

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), según el tipo de mezcla, deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos fijados en la tabla 543.8. El análisis granulométrico se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1.

TIPO DE MEZCLA ^(**)	ABERTURA DE LOS TAMICES. NORMA UNE-EN 933-2 (mm)								
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM 8B ^(**)			100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B ^(*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 8A ^(*)			100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM 11A ^(*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
PA 16	100	90-100		40-60		13-27	10-17	5-12	3-6
PA 11		100	90-100	50-70		13-27	10-17	5-12	3-6

(*) La fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm y es retenido por el tamiz 2 mm (norma une-en 933-2), será inferior al ocho por ciento (8%).

(**) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

Pliego de Condiciones. Tabla nº 26: Tabla 543.8 PG 3. Husos granulométricos. Cernido acumulado (% en masa)

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo, composición y dotación de la mezcla que deberá cumplir lo indicado en la tabla 543.9

CARACTERÍSTICA		TIPO DE MEZCLA				
		PA 11	PA 16	BBTM8B	BBTM11B	BBTM8A BBTM11A
DOTACIÓN MEDIA DE MEZCLA (kg/m ²)		75-90	95-110	35-50	55-70	40-55 65-80
DOTACIÓN MÍNIMA (*) DE LIGANTE (% en masa sobre el total de la mezcla)		4,30		4,75		5,20
LIGANTE RESIDUAL EN RIEGO DE ADHERENCIA (kg/m ²)	FIRME NUEVO	> 0,30			> 0,25	
	FIRME ANTIGUO	> 0,40			> 0,35	

(*) Incluidas las tolerancias especificadas en el epígrafe 543.9.3.1. si son necesarias, se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos.

Pliego de Condiciones. Tabla nº 27: Tabla 543.9 PG 3. Tipo, composición y dotación de la mezcla, por tipo de mezcla.

Salvo justificación en contrario, la relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonado (expresados ambos respecto de la masa total de árido seco, incluido el polvo mineral) determinada en la fórmula de trabajo, según el tipo de mezcla, deberá estar comprendida en los siguientes intervalos:

Entre doce y dieciséis décimas (1,2 a 1,6) para las mezclas tipo BBTM A.

Entre diez y doce décimas (1,0 a 1,2) para las mezclas tipo BBTM B.

Entre nueve y once décimas (0,9 a 1,1) para las mezclas tipo

3.5.8 Equipo de aglomerado

Lo determinará la empresa suministradora, pero deberá componerse al menos de:

Una extendedora de aglomerado de regla de anchura variable.

Un rodillo compactador de neumáticos.

Un rodillo compactador de llantas metálicas.

Los camiones necesarios para asegurar una alimentación, sin interrupciones de la extendedora.

Como es preceptivo también se estará a las indicaciones del Director de Obra en este punto.

3.6 Unidad: Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones.

3.6.1 Luminarias

Lámparas, para exteriores del tipo LED, de 150 w, de potencia, alimentación a 220 V y bajo consumo, estancas. Aquí también se estará a lo dispuesto por el P.P.T.P. y el Director de Obra.

3.6.2 Pintura acrílica blanca para señalización horizontal

Se seguirán, en este apartado las prescripciones del artículo 700, del vigente PG 3, lo dispuesto en el P.P.T.P. de obra y las indicaciones del Director de Obra.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la clase de material más adecuado en cada caso, de acuerdo con el epígrafe 700.3.4 de este artículo.

El material base podrá estar constituido por pinturas y plásticos en frío, de colores blanco, negro o rojo, o por termoplásticos de color blanco, con o sin microesferas de vidrio de premezclado y, en ocasiones, con materiales de post-mezclado, tales como microesferas de vidrio o áridos antideslizantes, con el objetivo de aportarles unas propiedades especiales.

La retroreflexión de la marca vial en condiciones de humedad o de lluvia podrá reforzarse por medio de propiedades especiales en su textura superficial, por la presencia de microesferas de vidrio gruesas o por otros medios.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad

sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

En la aplicación de las marcas viales se utilizarán pinturas, termoplásticos, plásticos en frío, materiales de post-mezclado y/o microesferas de vidrio de premezclado, presentados en forma de sistemas de señalización vial horizontal, o marcas viales prefabricadas, que acrediten el cumplimiento de las especificaciones recogidas en los epígrafes siguientes.

Los requisitos mínimos solicitados a los materiales en marcas viales durante todo el ensayo de durabilidad, de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN 1436, están definidos en la tabla 700.2a para marcas viales de color blanco y en las tablas 700.2b y 700.2.c para las marcas viales de color negro y rojo, respectivamente.

REQUISITO	PARÁMETRO DE MEDIDA			CLASES REQUERIDAS			
				Tipo II-RW		Tipo II-RR	
VISIBILIDAD NOCTURNA	Coeficiente de luminancia retrorreflejada o retrorreflexión Coeficiente de luminancia retrorreflejada o retrorreflexión (R _L)	en seco		R3		R3	
		en humedo		RW2		RW3	
		en lluvia		--		RR2	
VISIBILIDAD DIURNA	Factor de luminancia, β sobre pavimento	bituminoso		B2		B2	
		de hormigón		B3		B3	
	Coeficiente de luminancia en iluminación difusa (Q _d) sobre pavimento	bituminoso		Q2		Q2	
		de hormigón		Q3		Q3	
	Color: coordenadas cromáticas (x, y) dentro del polígono de color que se define	Vértices del polígono de color		1	2	3	4
			x	0,355	0,305	0,285	0,335
			y	0,355	0,305	0,325	0,375
RESITENCIA AL DESLIZAMIENTO	Coeficiente de fricción SRT			S1			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 28: Tabla 700.2a PG 3. Requisitos de comportamiento de los materiales en marcas viales de color blanco (Norma UNE - EN 1436)

REQUISITO	PARÁMETRO MEDIO			VALOR REQUERIDO			
VISIBILIDAD DIURNA	Factor de luminancia β	En todo momento		$\leq 0,05$			
	Color: coordenadas cromáticas (x, y) dentro del polígono de color que se define	Vértices del polígono de color		1	2	3	4
			x	0,355	0,305	0,285	0,335
			y	0,355	0,305	0,325	0,375
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	Coeficiente de fricción SRT			≥ 45			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 29: Tabla 700.2b PG 3. Requisitos de comportamiento de los materiales en marcas viales de color negro (Norma UNE – EN 1436)

REQUISITO	PARÁMETRO MEDIO			VALOR REQUERIDO			
VISIBILIDAD DIURNA	Factor de luminancia β	En todo momento		$\geq 0,12$ y $\geq 0,22$			
	Color: coordenadas cromáticas (x, y) dentro del polígono de color que se define	Vértices del polígono de color		1	2	3	4
			x	0,650	0,490	0,480	0,620
			y	0,310	0,310	0,340	0,350
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	Coeficiente de fricción SRT			≥ 45			

Pliego de Condiciones. Tabla nº 30: Tabla 700.2c. Requisitos de comportamiento de los materiales en marcas viales de color rojo (Norma UNE – EN 1436)

La durabilidad deberá ensayarse conforme a la norma UNE-EN 13197 sobre una superficie (probeta) de la misma clase de rugosidad (RG) que la del sustrato sobre el que está previsto el empleo de la marca vial.

La clase de durabilidad de las prestaciones para los materiales a emplear en marcas viales de colores blanco y negro será P5; P6 o P7 conforme a la aplicación de los criterios

recogidos en el epígrafe 700.3.4.1. Para los materiales a emplear en marcas viales de color rojo, la clase mínima de durabilidad de las prestaciones será P4.

Las características físicas que han de reunir las pinturas, termoplásticos y plásticos en frío de color blanco serán las indicadas la tabla 700.3. Las correspondientes a las marcas viales prefabricadas de color blanco se recogen en la tabla 700.4.

CARACTERÍSTICA FÍSICA	TIPO DE MATERIAL (NORMA UNE-EN 1871)		
	PIINTURAS	TERMOPLÁSTICOS	PLÁSTICOS FRIOS
COLOR	Color como en tabla 700.2a		
FACTOR DE LUMINANCIA B	LF7	LF6	
ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO	≥ 4		
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO	Color como en tabla 700.2a y clase UV1 para el factor de luminancia		
RESISTENCIA AL SANGRADO ^(*)	BR2		
RESISTENCIA A LOS ÁLCALIS ^(**)	Pasa		
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO		≥ SP3	
ESTABILIDAD AL CALOR		Color como en tabla 700.2a y clase UV2 para el factor de luminancia	

^(*) Solo exigible en aplicaciones directas sobre pavimento

bituminoso.

^(**) Solo exigible en aplicaciones directas sobre pavimento de hormigón.

Pliego de Condiciones. Tabla nº 31: Tabla 700.3 PG 3. Requisitos para las características físicas de pinturas, termoplásticos y plásticos en frío de color blanco

CARACTERÍSTICA FÍSICA		TIPO DE MARCA VIAL (NORMA UNE-EN 1790)	
		DE TERMOPLÁSTICO O PLÁSTICO EN FRÍO SIN MATERIALES DE POST-MEZCLADO	DE TERMOPLÁSTICO CON MATERIALES DE POST-MEZCLADO
COLOR		Color como en tabla 700.2a	Mismos requisitos que en la tabla 700.5 para los termoplásticos
FACTOR DE LUMINANCIA		$\geq B5$	
COEFICIENTE DE LUMINANCIA RETRORREFLEJADA	EN SECO	R5	
	EN HÚMEDO	$\geq RW5$	
	BAJO LLUVIA	$\geq RR4$	
RESITENCIA AL DESPLAZAMIENTO		$\geq S1$	
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO		Color como en tabla 700.2a y clase UV2 para el factor luminancia	

Pliego de Condiciones. Tabla nº 32: Tabla 700.4 PG 3. Requisitos para las características físicas de marcas viales prefabricadas, de color blanco

El cumplimiento de las prestaciones exigidas a los materiales se acreditará mediante la presentación de la documentación que se especifica en los epígrafes 700.3.3.1; 700.3.3.2 y 700.3.3.3.

La declaración de prestaciones para pinturas, termoplásticos y plásticos en frío, deben referirse siempre a un sistema de señalización vial del que formen parte como material base, tal como se define en el apartado 700.1 de este artículo.

Las clases o valores de las prestaciones verificarán lo especificado en el epígrafe 700.3.2.1.

La clase de durabilidad de estas prestaciones verificará lo especificado en el epígrafe 700.3.2.2.

Las propiedades físicas declaradas para los productos que las requieran verificarán lo especificado en el epígrafe 700.3.2.3

Por su parte, la garantía de calidad de los materiales empleados en la aplicación de la marca vial será exigible, en cualquier circunstancia, al Contratista adjudicatario de las obras.

1) Para las pinturas, termoplásticos y plásticos en frío de color blanco se deberá aportar:

Declaración de Prestaciones en la forma y contenido previstos en el Reglamento (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011, incluyendo la composición e identificación del sistema (nombres comerciales ó códigos de identificación y sus fabricantes): material base, materiales de premezclado y/o de post-mezclado, las dosificaciones e instrucciones precisas de aplicación, conforme a uno de los siguientes procedimientos

Documento de Idoneidad Técnica Europeo, en lo sucesivo DITE, obtenido conforme a lo especificado en el CUAP 01.06/08 Materiales de señalización horizontal o

Evaluación Técnica Europea, en lo sucesivo ETE, obtenido conforme a lo especificado en el correspondiente Documento de Evaluación Europeo, en lo sucesivo DEE, que se redacte considerando el CUAP anteriormente mencionado, en aplicación de lo previsto en el Reglamento (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011

Declaración del fabricante con las características físicas definidas para cada material base en la tabla 700.3.

Declaración del fabricante con las características de identificación que figuran en la tabla 700.5 para los materiales base.

2) Para las pinturas y plásticos en frío de colores rojo y negro se deberá aportar:

Declaración de prestaciones en base al ensayo de durabilidad llevado a cabo conforme a la norma UNE-EN 13197 por un laboratorio acreditado. Esta acreditación incluirá la identificación de sistema: materiales (nombres comerciales o códigos de identificación y sus fabricantes).

Para el ensayo de durabilidad de los materiales de color negro se habrá utilizado una probeta cuya superficie tenga un factor de luminancia $\geq 0,15$.

Declaración del fabricante con las características de identificación que figuran en la tabla 700.5 para los colores negro y rojo.

3) Para las marcas viales prefabricadas de color blanco se deberá aportar:

Declaración de Prestaciones en la forma y contenido previstos en el Reglamento 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011 incluyendo la identificación e instrucciones de aplicación, conforme a lo establecido en el anexo ZA de la norma UNE EN 1790. - Declaración del fabricante con las características físicas definidas para cada material base en la tabla 700.4

Declaración del fabricante con las características de identificación que figuran en la tabla 700.6 para las marcas viales prefabricadas

4) Para las marcas viales prefabricadas de colores rojo y negro se deberá aportar: Declaración de prestaciones en base al ensayo de durabilidad llevado a cabo conforme a la norma UNE-EN 13197 por un laboratorio acreditado. Esta acreditación incluirá la identificación de sistema: materiales (nombres comerciales ó códigos de identificación y sus fabricantes)

Declaración del fabricante con las características de identificación que figuran en la tabla 700.6 para las marcas viales prefabricadas.

CARACTERÍSTICAS DE IDENTIFICACIÓN	TIPO DE MATERIAL		
	PINTURAS	TERMOPLÁSTICOS	PLÁSTICOS EN FRIO
DENSIDAD	X	X	X
COLOR	X	X	X
FACTOR DE LUMINANCIA	X	X	X
PODER CUBRIENTE	X		
CONTENIDO EN SÓLIDOS	X		
CONTENIDO EN LIGANTE	X	X	X
CONTENIDO EN DISOLVENTES	X		
VISCOSIDAD	X		
CONTENIDO EN CENIZAS	X	X	X
CONTENIDO EN MICROESFERAS DE VIDRIO		X	X

Pliego de Condiciones. Tabla nº 33: Tabla 700.5 PG 3. Características de identificación, a declarar por el fabricante, para cada material base (Normas UNE – EN 12802 y UNE – EN 1871)

CARACTERÍSTICAS DE IDENTIFICACIÓN		TIPO DE MARCA VÍAL PREFABRICADA	
		DE TERMOPLÁSTICO O PLÁSTICO EN FRÍO SIN MATERIALES DE POST-MEZCLADO	DE TERMOPLÁSTICO CON MATERIALES DE POST-MEZCLADO
COLOR		X	Mismos requisitos que en la tabla 700.11 para los termoplásticos
FACTOR DE LUMINANCIA		X	
COEFICIENTE DE LUMINANCIA RETRORREFLEJADA (RL)	EN SECO	X	
	EN HÚMEDO	X	
	BAJO LLUVIA	X	
RESISTENCIA AL DELIZAMIENTO		X	
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO		X	
CONTENIDO EN CENIZAS		X	

Pliego de Condiciones. Tabla nº 34: Tabla 700.6 PG 3. Características de identificación a declarar por el fabricante, para cada marca vial prefabricada (Normas UNE – EN 12802 y UNE – EN 1871)

3.6.3 Microesferas de vidrio

Se seguirán, en este apartado las prescripciones del artículo 700.3.3.2, del vigente PG 3, lo dispuesto en el P.P.T.P. de la obra y las indicaciones del Director de Obra.

Las microesferas de vidrio, los áridos antideslizantes o la mezcla de ambos, utilizados como materiales de post-mezclado, deberán aportar la siguiente documentación:

Declaración de Prestaciones en la forma y contenido previstos en el Reglamento 305/2011

del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011, conforme a lo establecido en el anexo ZA de la norma UNE EN 1423.

Declaración del fabricante con las características de identificación que figuran en la norma UNE-EN 12802.

Los requisitos de comportamiento de las marcas viales, durante el período de garantía, cumplirán con las características especificadas en la tabla 700.11 para las de color blanco y en las tablas 700.2b y 700.2c para las de color negro y rojo respectivamente.

REQUISITO	PARÁMETRO DE MEDIDA		CLASES REQUERIDAS					PERÍODO
VISIBILIDAD NOCTURNA	Coeficiente de luminancia retrorreflejada o retrorreflexión(R _L)		En seco		En humedo		Antes de	
			R4		RW2		180 días	
			R3		RW1		365 días	
			R2		RW1		730 días	
VISIBILIDAD DIURNA	Factor de luminancia, β o coeficiente Qd sobre pavimento:	bituminoso	B2 o Q2					En todo momento de la vida útil
		de hormigón	B3 o Q3					
	Color:	Vertices del polígono de color		1	2	3	4	
	coordenadas cromaticas (x, y) detro del polígono de color que se define		x	0,355	0,305	0,285	0,335	
			y	0,355	0,305	0,325	0,375	
RESISTENCIA AL DELIZAMIENTO	Coeficiente de fricción SRT		S1					

Pliego de Condiciones. Tabla nº 35: Tabla 700.11. Características de las marcas viales de color blanco durante el período de garantía.

3.6.4 Barrera de seguridad doble onda

Se seguirán, en este apartado las prescripciones del artículo 704, del vigente PG 3, lo dispuesto en el P.P.T.P. de la obra y las indicaciones del Director de Obra.

Se definen como barreras de seguridad a los sistemas de contención de vehículos que se instalan en las márgenes de las carreteras. Su finalidad es proporcionar un cierto nivel de contención a un vehículo fuera de control.

Los pretiles son sistemas de contención de vehículos que se disponen específicamente sobre puentes, obras de paso y eventualmente sobre muros de sostenimiento en el lado del desnivel.

Los sistemas para protección de motociclistas son aquellos específicamente diseñados para reducir las consecuencias del impacto del motociclista contra el sistema de contención o bien para evitar su paso a través de ellos.

Las barreras de seguridad y pretiles se clasifican, según el comportamiento del sistema, de acuerdo con los criterios, parámetros y clases definidos en las normas UNE-EN 1317-1 y UNE-EN 1317-2.

Según su geometría y funcionalidad las barreras se clasifican en simples y dobles, en función de que sean aptas para el choque por uno o por ambos de sus lados.

Los sistemas para protección de motociclistas se clasifican, según su comportamiento, de acuerdo con los criterios, parámetros y clases definidos en la norma UNE 135900.

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento 305/2011 de 9 de marzo de 2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Para los productos con marcado CE, el fabricante asumirá la responsabilidad sobre la conformidad de los mismos con las prestaciones declaradas, de acuerdo con el artículo 11 del mencionado Reglamento. Los productos que tengan el marcado CE deberán ir acompañados, además de dicho marcado, de la Declaración de Prestaciones, y de las instrucciones e información de seguridad del producto. Por su parte, el Contratista deberá verificar que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE permitan deducir el cumplimiento de las especificaciones contempladas en el Proyecto o, en su defecto, en este Pliego, debiendo adoptar, en el caso de que existan indicios de incumplimiento de las especificaciones declaradas, todas aquellas medidas que considere oportunas para garantizar la idoneidad del producto suministrado a la obra.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud, de producción, almacenamiento, gestión y transporte de productos de la construcción, de residuos de construcción y demolición, y de suelos contaminados.

Las barreras de seguridad y los pretiles podrán fabricarse en cualquier material, siempre que el sistema disponga del correspondiente marcado CE, conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 1317-5.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará las características de las barreras de seguridad y pretilas, estableciendo como mínimo la clase y nivel de contención de las mismas, el índice de severidad, la anchura de trabajo, la deflexión dinámica y el tipo de superficie de sustentación. Además, podrá fijar otras características que formen parte de los ensayos para la obtención del marcado CE, así como cualquier otra prescripción por motivos de seguridad o que garantice que el comportamiento de la instalación sea semejante al declarado en el marcado CE.

Las características técnicas de los elementos constituyentes de cualquier sistema de contención de vehículos, serán las especificadas por el fabricante e incluidas en el informe inicial de tipo aplicado para la obtención del correspondiente marcado CE (o Declaración de Prestaciones con la norma UNE-ENV 1317-4 para los terminales y transiciones) según establece la norma UNE-EN 1317-5. Dichas características técnicas deberán ser conformes con lo dispuesto en la norma UNE-EN 1317-5 para la descripción técnica del producto.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares específicamente indique otra prescripción, no podrán emplearse los siguientes elementos:

Barreras de seguridad o pretilas de nivel de contención N1.

Barreras de seguridad o pretilas con índice de severidad C.

Barreras de seguridad con anchura de trabajo W8.

Barreras de seguridad con deflexión dinámica superior a dos metros y medio ($> 2,5$ m).

El terreno de sustentación a considerar será una zahorra artificial ZA 0/20, conforme al artículo 510 de este Pliego, con una densidad no inferior al noventa y ocho por ciento ($\leq 98\%$) de la máxima de referencia, obtenida en el ensayo Próctor modificado, a menos que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares específicamente indique otra cosa.

Para los pretilas, se comprobará que el elemento soporte empleado en los ensayos para la obtención del marcado CE, incluidas uniones, arriostramientos, apoyos y disposición en general, es asimilable a la geometría y colocación de los elementos — tanto obras de paso como coronaciones de muros — sobre los que se vayan a sustentar esos pretilas. Su deflexión dinámica máxima vendrá fijada por la geometría de los tableros de los puentes o coronación de los muros.

En cualquier caso, el elemento de sustentación sobre obras de paso no será de geometría, armadura ni resistencia característica inferior al empleado en los ensayos de choque a escala real, según la norma UNE-EN 1317-2.

Las características del elemento de sustentación se podrán variar, sin disminuir la cantidad de armadura por metro lineal de dicho elemento, cuando se hubieran medido, con la instrumentación apropiada e incluido en los informes correspondientes, la evolución en el tiempo durante el choque de las mayores fuerzas y momentos absorbidos por puntos fijos (norma UNE-EN 1317-2) así como las cargas máximas transmisibles al elemento de sustentación por cualquier tipo de impacto de vehículo. Para ello se habrán realizado los cálculos cumpliendo las prescripciones de la norma UNE-EN 1991-2. En ningún caso, la resistencia mecánica del elemento de sustentación obtenido por cálculo podrá ser inferior a la correspondiente al elemento empleado en los ensayos de choque a escala real (norma UNE-EN 1317-2).

No se dispondrán pretiles que durante los ensayos de choque a escala real norma UNE-EN 1317-2) hayan producido daños en el anclaje que afecten localmente al tablero del puente. Además, no se admitirán modificaciones de los elementos de anclaje que no hayan sido sometidas y, superado satisfactoriamente ensayos a escala real (norma UNE-EN 1317-2), y que no figuren en la correspondiente modificación en el marcado CE del pretil, tal como indica el anexo A de la norma UNE-EN 1317-5.

El elemento de sustentación de los atenuadores de impactos no será de geometría, armadura ni resistencia característica inferior a la del elemento de sustentación empleado en los ensayos de choque a escala real (norma UNE-EN 1317-3).

Para barreras de seguridad y pretiles se garantizará que durante los ensayos de choque (norma UNE-EN 1317-2) no se ha producido la rotura de ningún elemento longitudinal de la barrera o pretil orientado al lado de la circulación que pudiera suponer peligro para el tráfico, los peatones o personal trabajando en la zona.

Como criterio de seguridad, se considerará que no constituyen un riesgo evidente para el tráfico o para terceros, las piezas o partes de una pieza o componente desprendidas, cuando su peso no sea superior a medio kilogramo ($\geq 0,5$ kg), para piezas o partes metálicas, ni a dos kilogramos (≥ 2 kg) para piezas o partes no metálicas.

Para las barreras de seguridad y pretiles con nivel de contención H2, se comprobará que el tipo de vehículo empleado en el ensayo TB51 corresponde con el más habitual en el tramo de carretera correspondiente.

Antes de iniciarse la instalación de los elementos constituyentes de las barreras de seguridad, pretiles o sistemas de protección de motociclistas, el Contratista someterá a la aprobación del Director de las Obras los sistemas de señalización a utilizar para la

protección del tráfico, del personal, de los materiales y la maquinaria durante el período de ejecución de las mismas.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establecerá las medidas de seguridad y señalización a utilizar durante la ejecución de las obras, de acuerdo con toda la legislación que en materia de seguridad viaria, laboral y ambiental esté vigente.

Ahora resumimos, mediante unas tablas, el Pliego de Condiciones, con las mediciones de dichas unidades de obra.

Unidad: Perforación y voladura del túnel					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Carro perforador	Carro Tipo "Jumbo" Atlas Copco Boomer XE3c, de cuatro brazos (tres perforadores y uno plataforma) de accionamiento eléctrico y motor Diesel, para desplazamientos, con tecnología de perforación en seco. Los martillos perforadores son de accionamiento hidráulico tipo COP 2238 HD+, con una razón de perforación de más de 30 m/min.			2	Unidad
Pala cargadora LHD	Dos palas cargadoras tipo LHD (Load Haul Dump, o de perfil bajo) Caterpillar, modelo R2900 G con capacidad de cazo de 6,3 m ³			2	Unidad
Grupo electrógeno	Grupo electrógeno de 391 kVA, mínimo			2	Unidad
Explosivo Riodyn HE	Explosivo tipo goma, Riodyn He, de potencia relativa 1,3 y en cartuchos de 32mm de ϕ y 200 mm, para carga de fondo y de 26 mm de ϕ y 200 mm, para carga de columna			56700 (a volar)	m ³
Cordón detonante	Cordón detonante Riocord de 100 g / m y concentración lineal de carga de 0,1 kg / m			56700 (a volar)	m ³
Detonadores	Detonadores: Cuele y contracuele detonadores Riotronic de 30 ms de retardo. Zapatera, destroza y contorno detonadores Riodyn LP del nº 1, de 100 ms de retardo.			56700 (a volar)	m ³
Tacos de arcilla	Tacos de arcilla, adaptados al diámetro de perforación, para retacado de los barrenos			56700 (a volar)	m ³

Pliego de Condiciones. Tabla nº 36: Resumen unidad 3.1. Perforación y voladura del túnel

Unidad: Sostenimiento del túnel					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Hormigón proyectado	Hormigón proyectado HP 50, de 50 Mpa de resistencia a compresión y con fibras de polipropileno, con una proporción de 5 kg / m ³ de hormigón, del tipo largo.			2136	m ³
Bulones de anclaje	Bulones de expansión, del tipo "Swellex" de 3 m de longitud y anclados mediante presión hidráulica suministrada por bomba			10320	Unidad

Pliego de Condiciones. Tabla nº 37: Resumen unidad 3.2. Sostenimiento del túnel

Unidad: Emboquillado del túnel					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Paraguas de micropilotes	Micropilotes de 25 m de longitud, tipo IU, armados con tres tubos de 9 m de longitud, unidos por manguito y de 0,7 cm de pared, la distancia entre ejes de los micropilotes será de 40 cm y serán inyectados con lechada de cemento CEM 42,5 N			575	m
Acero B 500 S, para armar	Acero corrugado de ϕ 25 mm, del tipo B 500 S y con las características descritas en las tablas correspondientes de la EHE y del P.P.T.P., de la obra, para ese tipo de acero			5200	kg
Hormigón HA 30	Hormigón HA 30, tipo HA 30 /B/20/ Ila + H, de 30 Mpa de resistencia característica a compresión, y resto de características en función del control de calidad a que se le someta, siempre dentro de la EHE y del P.P.T.P. de la obra.			26	m ³

Pliego de Condiciones. Tabla nº 38: Resumen unidad 3.3. Emboquillado del túnel

Unidad: Revestimiento del túnel					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Membrana tipo "Geodré" de doble capa	Cada panel consiste en una pieza moldeada tridimensional de polietileno de alta densidad o polipropileno con una capa filtrante de Geotextil. El sistema compuesto, incorpora un geotextil para prevenir que las partículas de suelo obstruyan el conducto drenante. Las características definitivas dependerán del proveedor escogido en el correspondiente comparativo.			20640	m ²
Carro encofrador hidráulico, remolcado	Carro encofrador, remolcable y de accionamiento hidráulico, fabricado "ex profeso" con las dimensiones de nuestro túnel y que permita puestas de 5 m de longitud efectiva de hormigonado			2	unidad
Hormigón HM 30	Hormigón HA 30, tipo HM 30 /B/20/ Ila + H, de 30 Mpa de resistencia característica a compresión, y resto de características en función del control de calidad a que se le someta, siempre dentro de la EHE y del P.P.T.P. de la obra.			6192	m ³

Pliego de Condiciones. Tabla nº 39: Resumen unidad 3.4. Revestimiento del túnel

Unidad: Aglomerado túnel y accesos					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Hormigón HM 20	Hormigón de regularización HM 20, con consistencia plástica (Asiento en cono de Abrams de 3 a 5 cm) y resistencia característica no inferior a 20 Mpa y resto de características según el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra.			1050	m ³
Suelo seleccionado	Suelo seleccionado, procedente del cribado y machaqueo de la caliza del túnel, no plástica y que cumpla con las prescripciones del artículo 330.3.3.1, del vigente PG 3, para suelos seleccionados y del P.P.T.P. de la obra.			250	m ³
Zahorra artificial	Zahorra artificial ZA 0/32, procedente de machaqueo de la caliza del túnel, no plástica y que cumpla con el huso de la tabla 510.4 y las prescripciones del artículo 510, del vigente PG 3, para zahorras artificiales y del P.P.T.P. de la obra			250	m ³
Riego de imprimación C50 BF4 IMP	Riego de imprimación del tipo C50 BF4 IMP, que deberá cumplir con las características, que para este material se señalan en el vigente PG 3, en su artículo 530 y en el P.P.T.P. de la obra.			360	m ²
Riego de adherencia C60 B3 ADH	Riego de adherencia del tipo C60 B3 ADH, que deberá cumplir con las características, que para este material se señalan en el vigente PG 3, en su artículo 531 y en el P.P.T.P. de la obra.			10860	m ²
M.B.C. tipo AC 22 base G 50/70	Mezcla bituminosa en caliente para capa de base, tipo AC 22 base G, que deberá cumplir con las prescripciones del artículo 542, del vigente PG 3 y del P.P.T.P. de la obra			360	m ²
M.B.C. tipo AC 22 bin D 50/70	Mezcla bituminosa en caliente para capa intermedia, tipo AC 22 bin D, que deberá cumplir con las prescripciones del artículo 542 del vigente PG 3 y del P.P.T.P. de la obra			360	m ²
M.B.C. tipo BBTM 11B PMB 45/80-60	Mezcla bituminosa en caliente, discontinua, para capa de rodadura, tipo BBTM 11B, que deberá cumplir con las prescripciones del artículo 543 del vigente PG 3 y del P.P.T.P. de la obra			10860	m ²
Equipo de aglomerado	Equipo de extendido de mezclas bituminosas en caliente, formado por una extendidora, de aglomerado, capaz de ancho variable, un rodillo compactador de neumáticos, y un rodillo compactador de llanta metálica en tandem			1	Unidad

Pliego de Condiciones. Tabla nº 40: Resumen unidad 3.5. Aglomerado túnel y accesos

Unidad: Alumbrado, señalización definitiva e instalaciones					
Concepto		Requisitos		Cantidad	Unidades
Luminarias LED de 150 w	Luminarias LED, de 150 w de potencia y 220 V, de bajo consumo, según P.P.T.P.			416	Unidad
Pintura acrílica blanca para señalización horizontal	Pintura acrílica blanca, para señalización horizontal, que cumpla con las características del artículo 700 del vigente PG 3 y del P.P.T.P.			3090	m
Microesferas de vidrio	Microesferas de vidrio, para la pintura señalizadora, con las características marcadas en el artículo 700 del vigente PG 3 y en el P.P.T.P. de la obra			3090	m
Barrera de seguridad doble onda	Barrera de seguridad doble onda, con las características marcadas en el artículo 704 del vigente PG 3 y en el P.P.T.P. de la obra			2030	m

Pliego de Condiciones. Tabla nº 41: Resumen unidad 3.6. Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones

Nota: Todas las tablas están extraídas de los artículos correspondientes del vigente PG 3 y su numeración corresponde al artículo y apartado correspondiente del mismo.

DOCUMENTO N° 4: PRESUPUESTO

En este epígrafe vamos a colocar los diferentes presupuestos parciales, por unidad de obra, que darán lugar al presupuesto final, colocado al final de dicho epígrafe.

Unidad: Perforación y voladura túnel						
Concepto:	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)	
Alquiler martillo picador s/máquina	2,00	5,50	23.000,00	mes	253.000,00	
Alquiler carro perforador	2,00	5,00	32.000,00	mes	320.000,00	
Alquiler martillo picador	2,00	6,00	230,00	mes	2.760,00	
Riodin HE	1,00	56700,00	3,22	m ³	182.574,00	
Tacos de arcilla	1,00	56700,00	0,02	m ³	1.134,00	
Detonadores	1,00	56700,00	1,29	m ³	73.143,00	
Cordón detonante	1,00	56700,00	0,20	m ³	11.340,00	
Transporte explosivo	1,00	56700,00	1,00	m ³	56.700,00	
Alquiler grupo electrógeno	2,00	12,00	4.000,00	mes	96.000,00	
Alquiler compresor	4,00	6,00	900,00	mes	21.600,00	
Alquiler pala cargadora LHD	2,00	5,00	25.000,00	mes	250.000,00	
Alquiler camiones tipo "centauro"	10,00	5,00	20.000,00	mes	1.000.000,00	
Canon vertedero autorizado	1,00	56700,00	0,50	m ³	28.350,00	
Hora de mano de obra de capataz	4,00	1622,50	21,00	hora	136.290,00	
Hora de mano de obra de oficial de 1ª	2,00	1622,50	18,00	hora	58.410,00	
Hora de mano de obra de Peón especialista	24,00	1622,50	15,00	hora	584.100,00	
Total perforación y voladura					3.075.401,00	

Presupuesto. Tabla n° 1: Perforación y voladura en túnel

Unidad: Sostenimiento del túnel						
Concepto:	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)	
Alquiler robor gunitador	2,00	5,50	12.000,00	mes	132.000,00	
Hormigón HP 50 (Rebote medio: 15%)	1,00	2136,20	93,25	m ³	199.200,65	
Alquiler elevador telescópico	2,00	5,00	4.200,00	mes	42.000,00	
Bulones tipo "Swelllex"	1,00	10320,00	9,00	unidad	92.880,00	
Alquiler bomba expansión para bulones	2,00	5,00	400,00	mes	4.000,00	
Gasóleo bombas y compresor	1,00	5,00	1.000,00	mes	5.000,00	
Hora de mano de obra de capataz	4,00	1180,00	21,00	hora	99.120,00	
Hora de mano de obra de oficial de 1ª	4,00	1180,00	18,00	hora	84.960,00	
Hora de mano de obra de Peón especialista	16,00	1180,00	15,00	hora	283.200,00	
Total sostenimiento del túnel					942.360,65	

Presupuesto. Tabla n° 2: Sostenimiento del túnel

Unidad: Emboquillado del túnel						
Concepto:	Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)	
Paraguas de micropilotes para emboquillado	2,00	575,00	20,92	m	24.058,00	
Acero B 500 S para armaduras	2,00	5200,00	1,22	kg	12.688,00	
Hormigón HA 30 (Puesto en obra)	2,00	26,00	68,20	m ³	3.546,40	
Hora de mano de obra de capataz	2,00	24,00	21,00	hora	1.008,00	
Hora de mano de obra de oficial de 1ª	2,00	24,00	18,00	hora	864,00	
Hora de mano de obra de Peón especialista	6,00	24,00	15,00	hora	2.160,00	
Total emboquillado del túnel					44.324,40	

Presupuesto. Tabla n° 3: Emboquillado del túnel

Unidad: Revestimiento del túnel						-
Concepto:		Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)
Geodrén de doble capa con tubo ranurado en su parte inferior		1,00	20640,00	13,60	m ²	280.704,00
Clavos "spit" para hormigón		1,00	3,00	143,87	Caja 5000 ud	431,61
Carro encofrador hidráulico remolcado		1,00	2,00	140.500,00	unidad	281.000,00
Hormigón HM 30 (Puesto en obra)		1,00	6192,00	68,20	m ³	422.294,40
Hora de mano de obra de capataz		4,00	3360,00	21,00	hora	282.240,00
Hora de mano de obra de oficial de 1ª		4,00	3360,00	18,00	hora	241.920,00
Hora de mano de obra de Peón especialista		24,00	3360,00	15,00	hora	1.209.600,00
Total revestimiento túnel						2.718.190,01

Presupuesto. Tabla nº 4: Revestimiento del túnel

Unidad: Aglomerado del túnel						-
Concepto:		Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)
Hormigón HM 20 para regularización del piso		1,00	1050,00	54,29	m ³	57.004,50
Riego de adherencia ECL-1		1,00	10500,00	0,18	m ²	1.890,00
Aglomerado , BBTM 11B PMB 45/80-60		1,00	10500,00	8,50	m ²	89.250,00
Total aglomerado túnel						148.144,50

Presupuesto. Tabla nº 5: Aglomerado del túnel

Unidad: Ventilación definitiva						
Concepto:		Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)
Ventiladores de flujo reversible Φ 1500 mm		1,00	10,00	11.987,50	unidad	119.875,00
Total ventilación definitiva:						119.875,00

Presupuesto. Tabla nº 6: Ventilación definitiva

Unidad: Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones						
Concepto:		Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)
Luminarias LED, de 150 w		1,00	416,00	69,70	Unidad	28.995,20
Instalación electricidad túnel con cableado, transformadores y sensores		1,00	1,00	125.427,00	Unidad	125.427,00
Instalación sistema comunicaciones emergencia		1,00	1,00	227.545,60	Unidad	227.545,60
Barrera de seguridad doble onda		1,00	2030,00	30,50	m	61.915,00
Pórtico se señalización variable		1,00	4,00	110.815,00	Unidad	443.260,00
Resto de señalización y seguridad (Señales y extintores)		1,00	1,00	1.820,00	Unidad	1.820,00
Pintura de calzada, microesferas reflectantes, según P.P.T.P.		1,00	3090,00	0,48	m	1.483,20
Total Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones:						890.446,00

Presupuesto. Tabla nº 7: Alumbrado, señalización definitiva, defensas e instalaciones

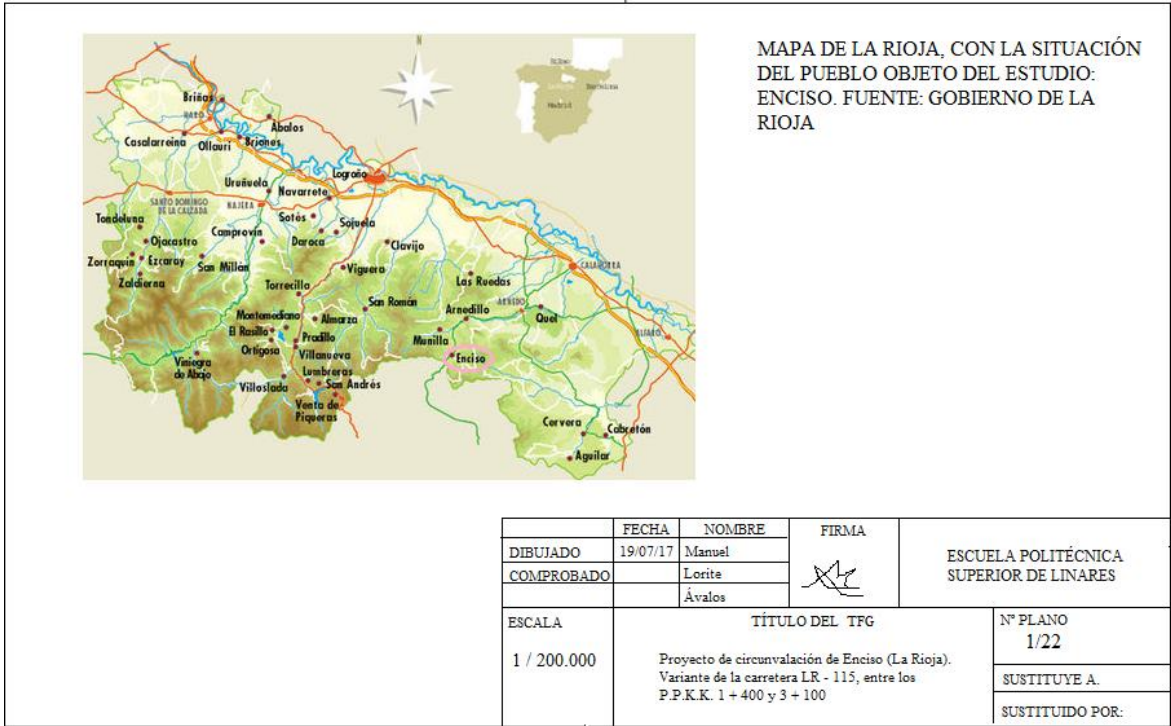
Unidad: Carretera de acceso al túnel						-
Concepto:		Unidades	Cantidad	Precio unitario (€)	Medición	Precio total (€)
Alquiler molino móvil de impactos		1,00	240,00	75,00	hora	18.000,00
Alquiler criba móvil		1,00	480,00	53,00	hora	25.440,00
Alquiler pala cargadora		1,00	480,00	55,00	hora	26.400,00
Alquiler equipo móvil de aglomerado		1,00	120,00	216,80	hora	26.016,00
M.B.C. tipo AC 22 base G 50/70		1,00	360,00	14,80	m ²	5.328,00
M.B.C. tipo AC 22 bin D 50/70		1,00	360,00	12,35	m ²	4.446,00
M.B.C. BBTM 11B PMB45/80-60		1,00	315,00	8,50	m ²	2.677,50
Riego de imprimación C50 BF4 IMP		1,00	360,00	0,15	m ²	54,00
Riego de adherencia C60 B3 ADH		1,00	360,00	0,18	m ²	64,80
Hora de mano de obra de oficial de 1ª *		1,00	120,00	18,00	hora	2.160,00
Hora de mano de obra de Peón especialista *		6,00	120,00	15,00	hora	10.800,00
Total carretera de acceso al túnel:						121.386,30

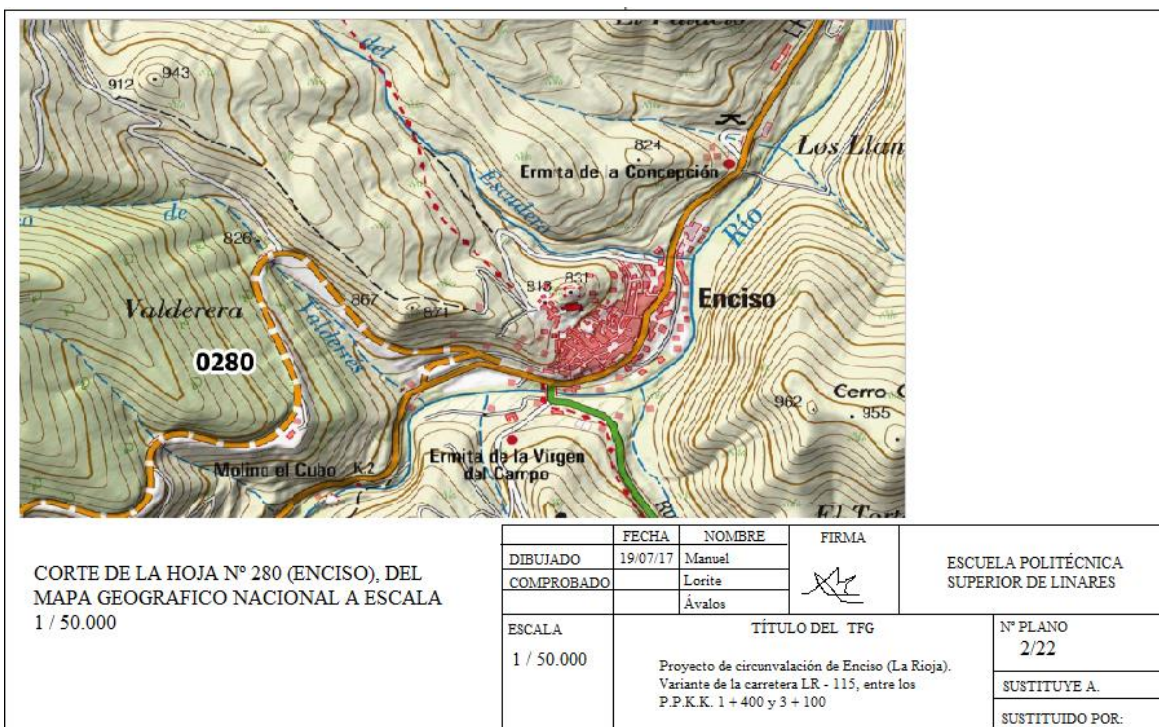
Presupuesto. Tabla nº 8: Carretera de acceso al túnel. Nota: En el presente cuadro de precios se incluye la mano de obra del aglomerado del túnel

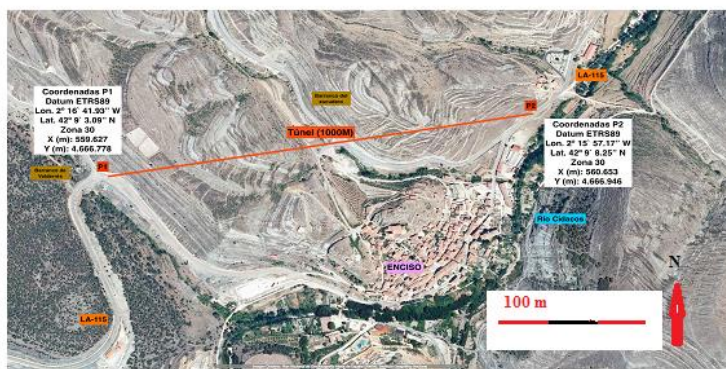
Totales						
Ejecución túnel						7.938.741,56
Ejecución accesos al túnel						121.386,30
Subtotal ejecución obras						8.060.127,86
Gastos generales (13%)						1.047.816,62
Beneficio industrial (6%)						483.607,67
Presupuesto total						9.591.552,15
I.V.A: (21%)						2.014.225,95
TOTAL						11.605.778,11

PRESUPUESTO. TABLA N° 9: PRESUPUESTO TOTAL DEL TÚNEL DE ENCISO

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS (ANEJO)



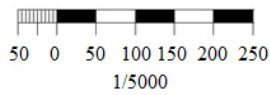
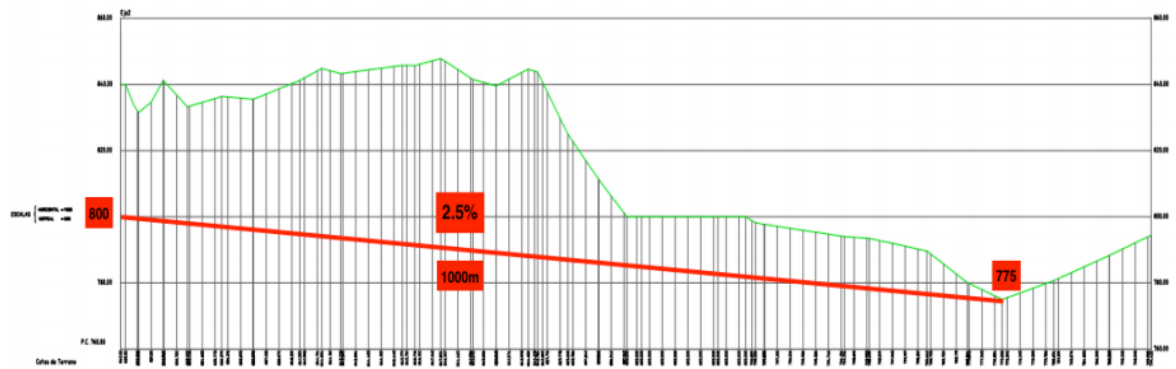




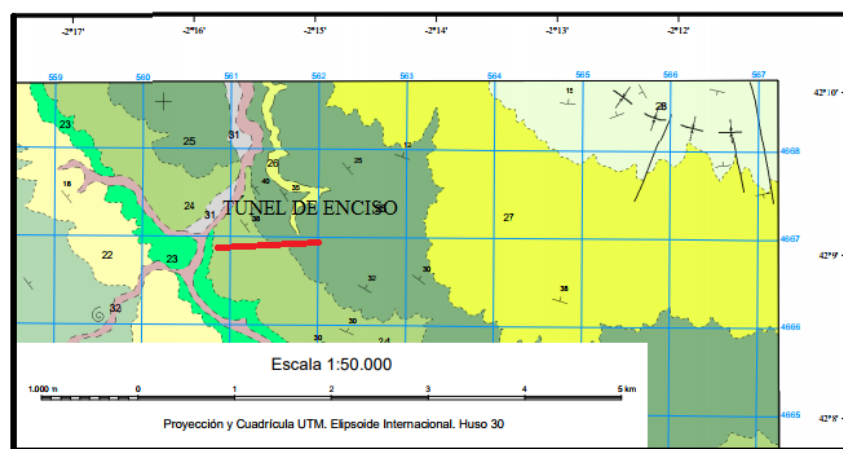
FOTOGRAFÍA DEL PROGRAMA
GOOGLE MAPS, CON LA SITUACIÓN
DEL TÚNEL GEOREFERENCIADA.

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO 3/22
1 / 10.000	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

PERFIL LONGITUDINAL DEL TÚNEL



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO 4/22
1 / 5.000	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

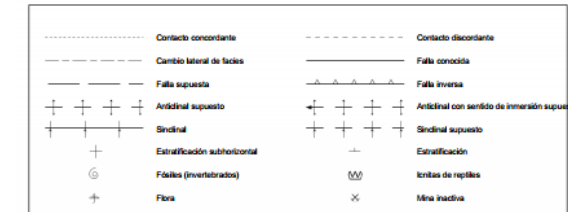


CORTE DE LA HOJA N° 280 (ENCISO) DEL
MAGNA A ESCALA 1/50.000

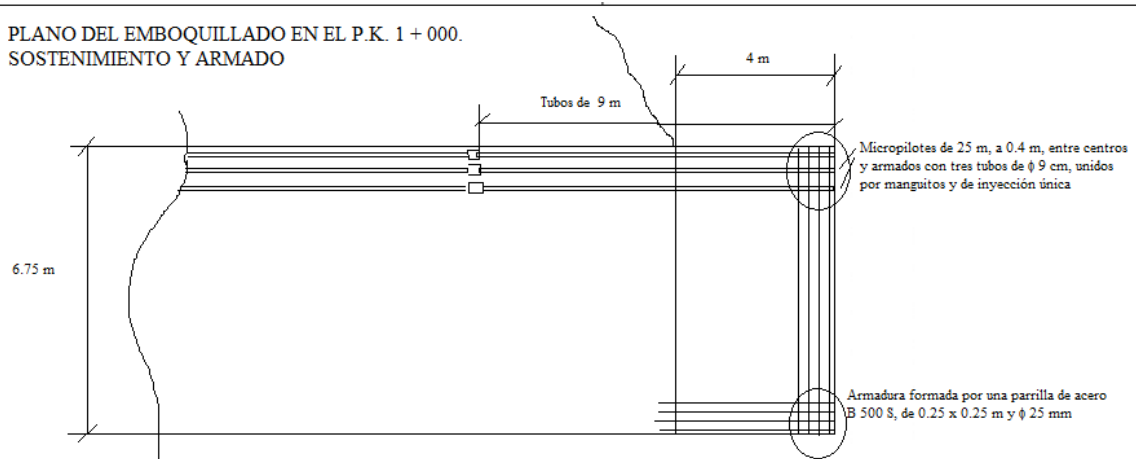
Nota: La leyenda se colocará en el siguiente plano

	FECHA	NOMBRE	FIRMA 	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	27/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO 5/22
1 / 50.000	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

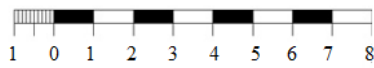
LEYENDA HOJA N° 280 (ENCISO) DEL MAGNA 1/50.000



**PLANO DEL EMBOQUILLADO EN EL P.K. 1 + 000.
SOSTENIMIENTO Y ARMADO**



Nota: Por motivos de claridad del plano, solo se representa una parte del armado y del sostenimiento.

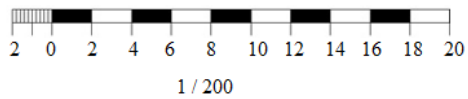
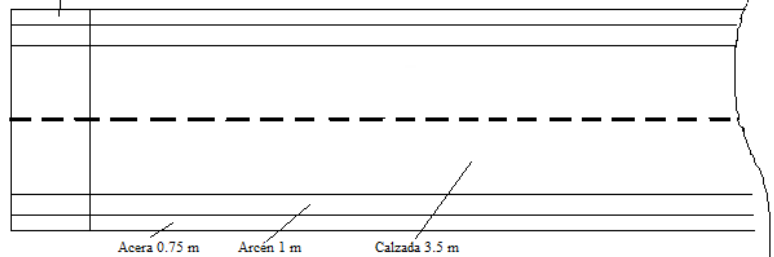


1 / 100

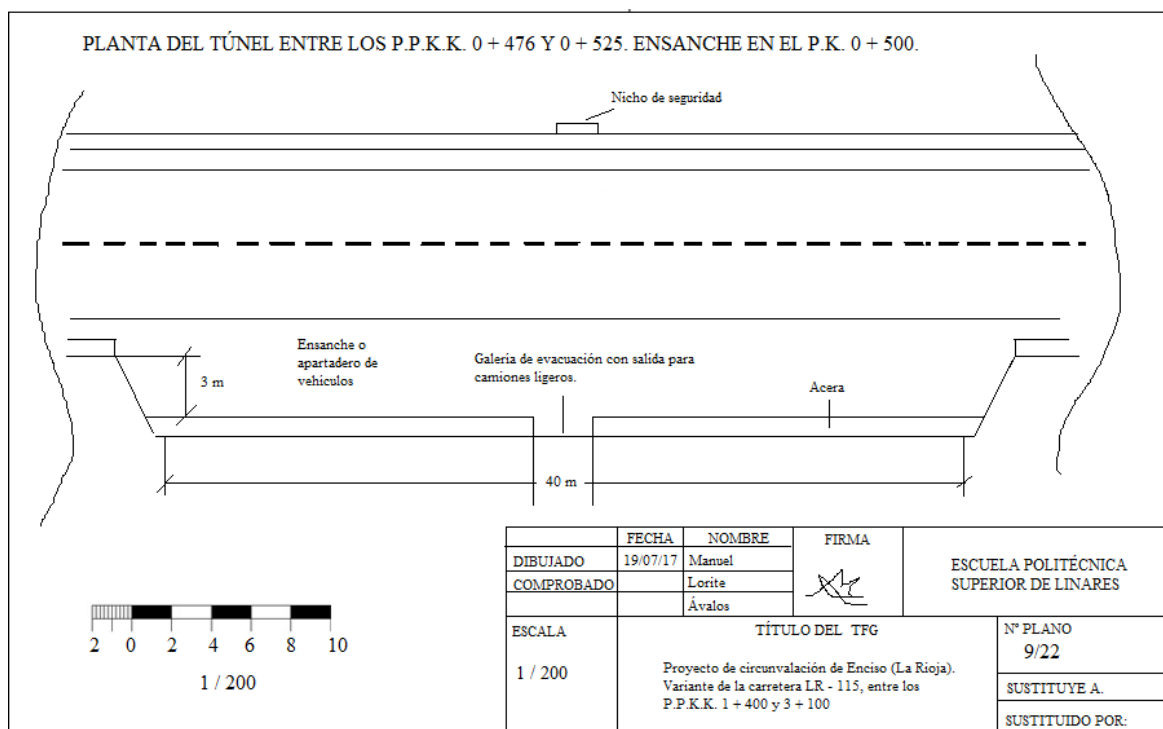
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO 7/22
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

PLANTA TIPO DEL TÚNEL DE ENCISO. P.P.K.K. 0 + 000 A 0 + 038

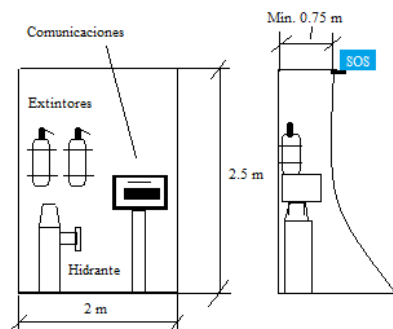
Emboquillado: Longitud 4 m



	FECHA	NOMBRE	FIRMA 	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 200	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			8/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:



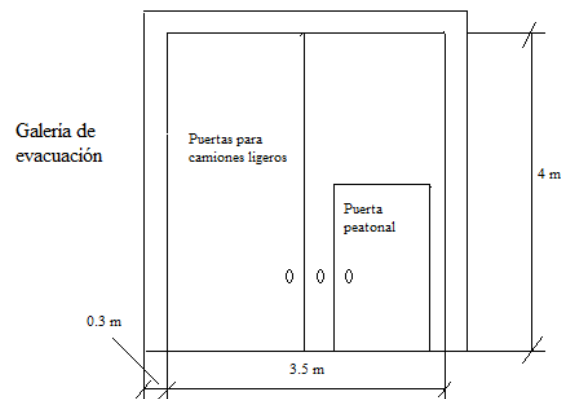
DETALLES: NICHOS DE SEGURIDAD Y GALERÍA DE EVACUACIÓN, CON CAPACIDAD PARA CAMIONES LIGEROS.



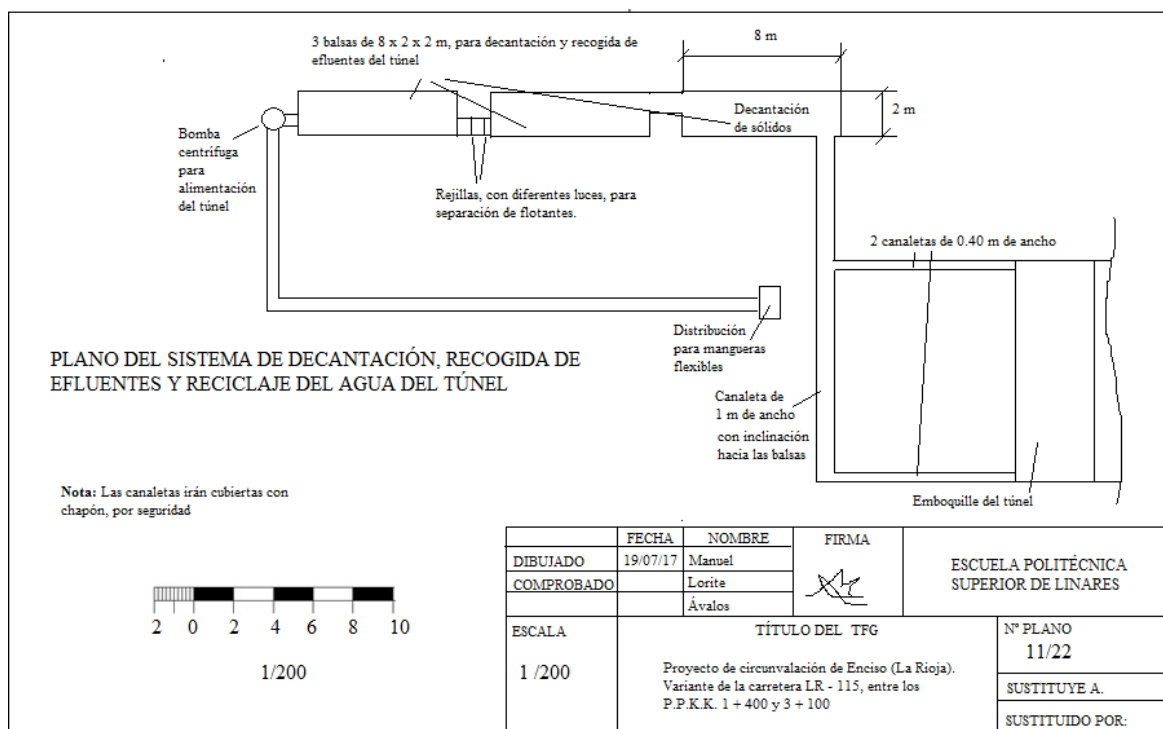
Nicho de seguridad

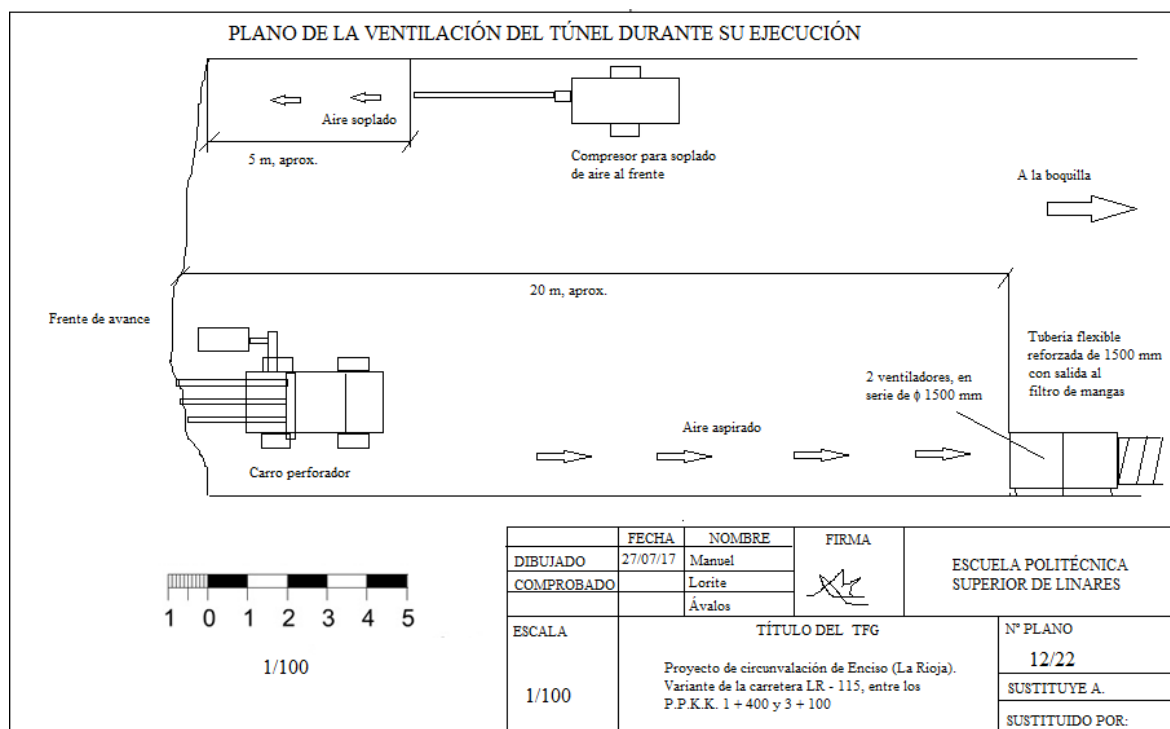


1 / 50

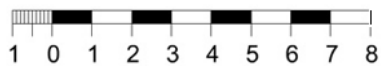
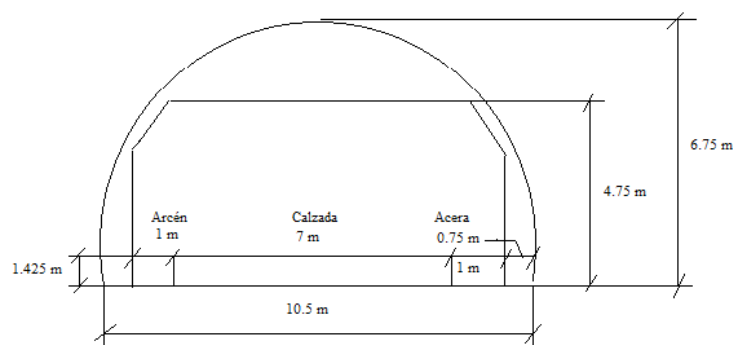


		FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO		19/07/17	Manuel		
COMPROBADO			Lorite		
			Ávalos		
ESCALA		TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 50		Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			10/22
					SUSTITUYE A.
					SUSTITUIDO POR.





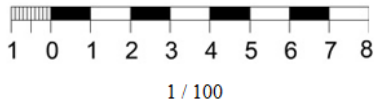
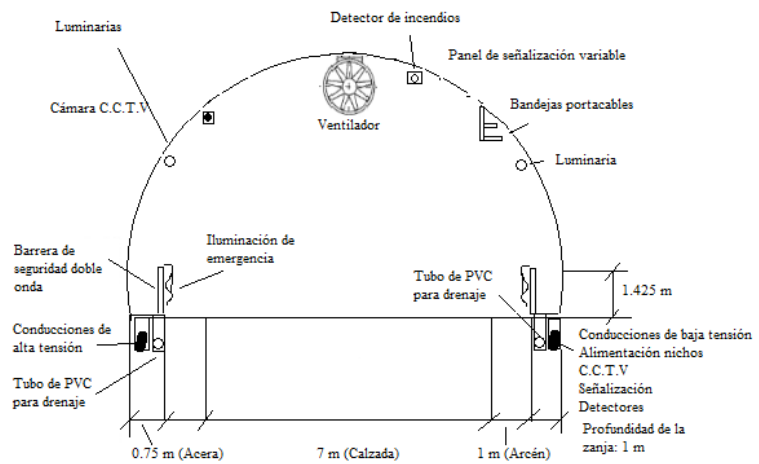
SECCIÓN TIPO DEL TÚNEL: MEDIDAS PRINCIPALES



1 / 100

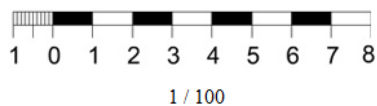
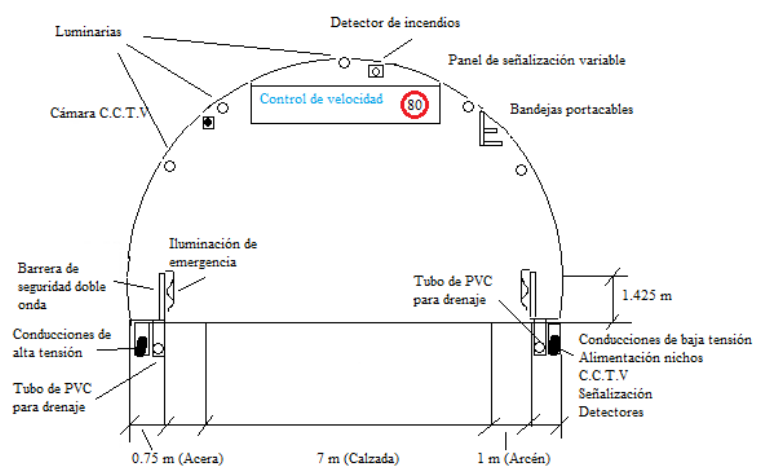
	FECHA	NOMBRE	FIRMA 	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			13/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR.

SECCIÓN TIPO DEL TÚNEL,
P.K. 0 + 100



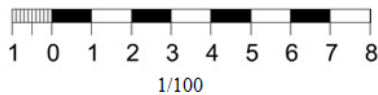
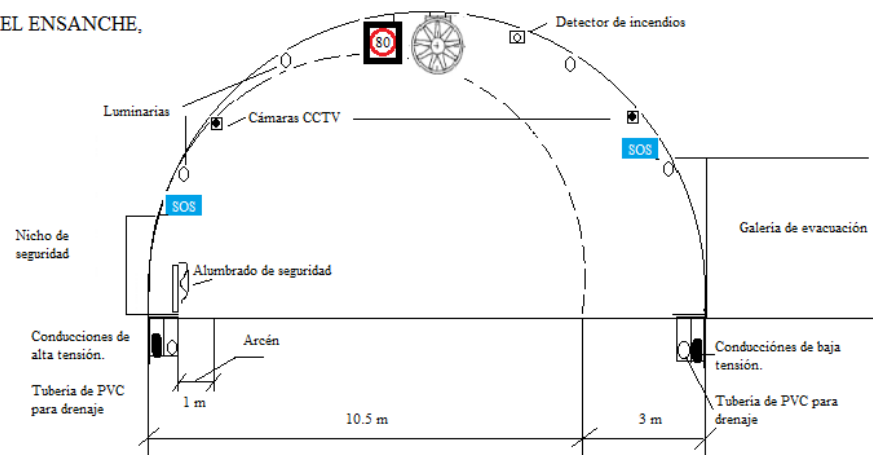
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO 14/22
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

SECCIÓN DEL TÚNEL A LA
ENTRADA Y A LA SALIDA.
P.P.K.K. 0 + 000 Y 1 + 000



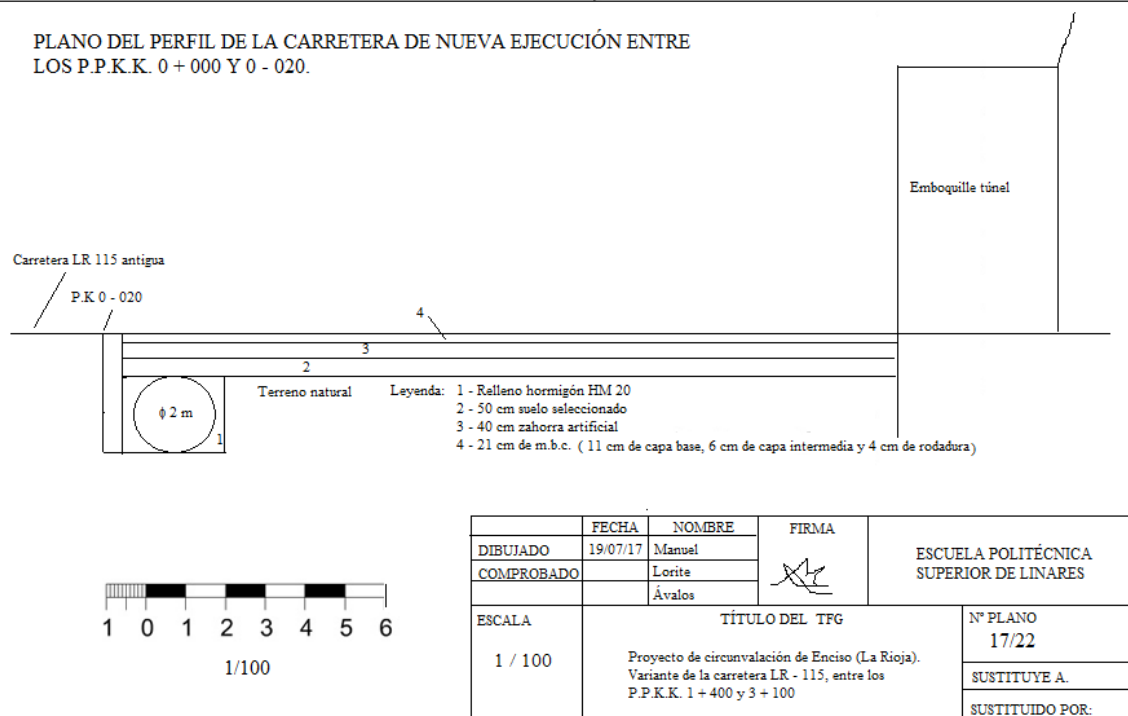
	FECHA	NOMBRE	FIRMA 	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			15/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

SECCIÓN DEL TÚNEL EN EL ENSANCHE,
EN EL P.K. 0 + 500

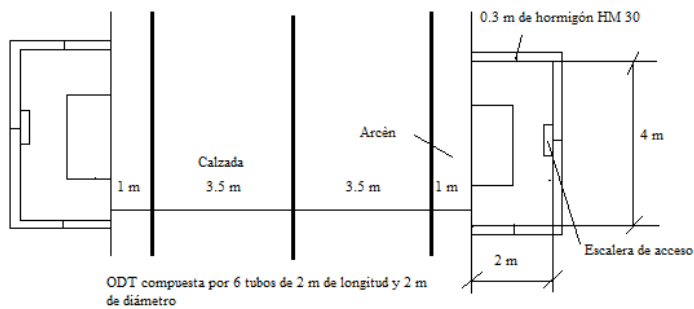


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			16/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

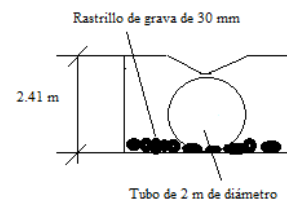
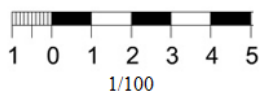
PLANO DEL PERFIL DE LA CARRETERA DE NUEVA EJECUCIÓN ENTRE
LOS P.P.K.K. 0 + 000 Y 0 - 020.



PLANOS DE LA ODT DEL P.K. 0 - 020 (ARROYO VALDERRÉS)



Planta ODT



Alzado ODT

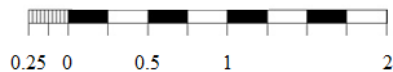
Nota: La solera de la arqueta irá protegida por un rastrillo de escollera

FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel	
COMPROBADO		Lorite	
		Ávalos	
ESCALA	TÍTULO DEL TFG		Nº PLANO
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100		18/22
			SUSTITUYE A.
			SUSTITUIDO POR:

PLANOS DE LA CARGA EN LOS BARRENOS

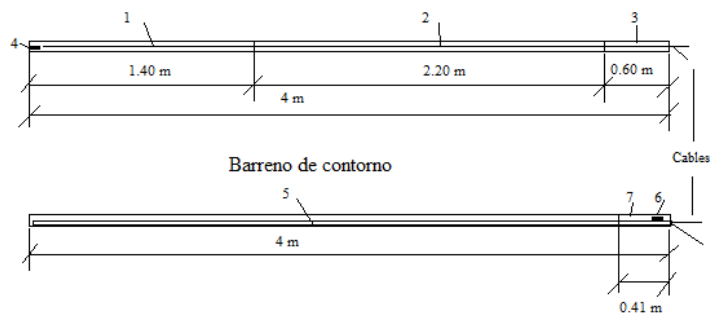
Leyenda:

- 1.- Carga de fondo. 7 cartuchos de Riodin HE de 32 x 200 mm y 238 g / cartucho
- 2.- Carga de columna. 11 cartuchos de Riodin HE de 26 x 200 mm y 152 g / cartucho
- 3.- Retacado con taco de arcilla. Longitud real 0.408 m (real 0.60 m)
- 4.- Detonador Rionel LP del n° 1 de 100 ms para zapatera y destroza o detonador Riotron de 30 ms, para cuele y contracuele
- 5.- Cordón detonante Riocord de 100 g/m
- 6.- Detonador Rionel LP de 100 ms
- 7.- Retacado. 0.41 m



1/25

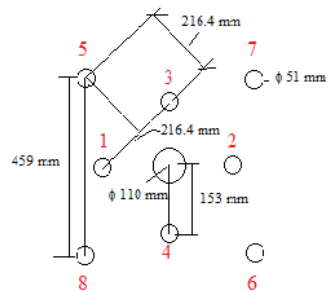
Barreno de cuele, contracuele, zapatera o destroza



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	27/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 25	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			19/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

PLANO DEL CUELE

Leyenda: 1 a 8 Orden de disparo de la pega



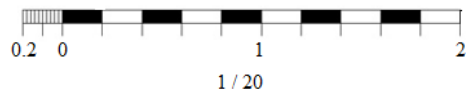
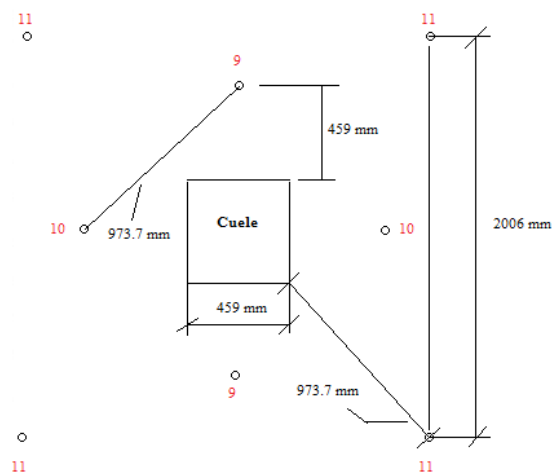
1/10

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	27/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 10	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			20/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

PLANO DEL CONTRACUELE

Detalles de la pega en el anejo de cálculo nº 1

Leyenda: 9 a 11 Orden de disparo de la pega



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	27/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 20	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			21/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

PLANO DE UNA VOLADURA TIPO

Detalles de la pega en el anejo de cálculo nº 1

Leyenda:

Orden de disparo

11 Contracuele (Móvil en el plano horizontal dependiendo del destrozo en el frente de perforación)

12, 13 y 14 Destroza (39 barrenos)

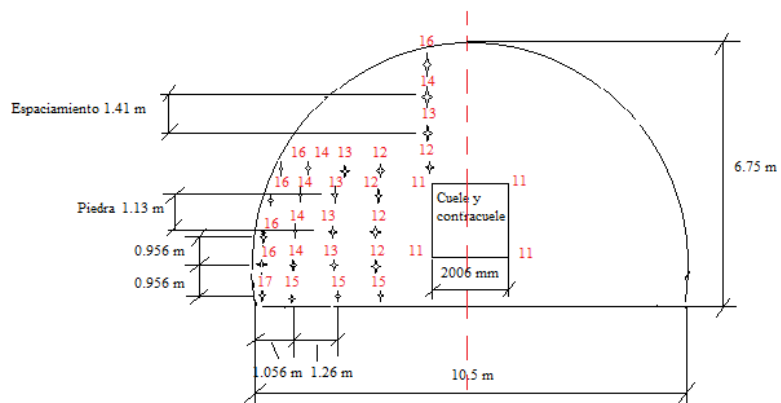
15 Zapateras (11 barrenos)

16 Contorno (21 barrenos)

17 Zapateras de esquina (2 barrenos)

Nota:

Por razones de espacio solo se representan los barrenos esenciales para comprender el esquema de voladura



1 / 100

	FECHA	NOMBRE	FIRMA 	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES
DIBUJADO	19/07/17	Manuel		
COMPROBADO		Lorite		
		Ávalos		
ESCALA	TÍTULO DEL TFG			Nº PLANO
1 / 100	Proyecto de circunvalación de Enciso (La Rioja). Variante de la carretera LR - 115, entre los P.P.K.K. 1 + 400 y 3 + 100			22/22
				SUSTITUYE A.
				SUSTITUIDO POR:

