

GRADO EN INGENIERIA Y TECNOLOGIA DE  
MINAS

# TRABAJO FIN DE GRADO

*TUNEL CARRETERO EN LA N-625.  
(CORIGOS-ASTURIAS)*

*DOCUMENTO 1- MEMORIA*

**Alumno/Alumna:** MILAGROS, LOPEZ, ENRIQUE

**Director/Directora (1):** GALLO,LAYA,JAVIER

**Curso:** 2017-2018

**Fecha:** 15-02-2018



**Memoria Proyecto**  
**“Túnel Carretero en la N-625” (Corigos-Asturias)**

**Contenido:**

1	Memoria Descriptiva .....	7
1.1	Antecedentes .....	7
1.2	Objeto.....	7
1.3	Situación y Emplazamiento .....	7
1.4	Estudio de alternativas .....	9
1.5	Descripción del Proyecto .....	11
1.5.1	Características geológicas y geotécnicas .....	11
1.5.2	Descripción del trazado.....	13
1.5.3	Método Constructivo .....	14
1.5.4	Perforación y Voladura .....	15
1.5.4.1	Vibraciones Terrestres .....	17
1.5.4.2	Efecto de las vibraciones sobre las personas .....	17
1.5.4.3	Desescombros de la voladura.....	18
1.5.5	Emboquille y Taludes .....	18
1.5.5.1	Desprendimientos .....	20
1.5.5.2	Drenajes .....	20
1.5.5.3	Movimientos de Tierras.....	21
1.5.6	Sostenimiento de la galería .....	21
1.5.7	Ventilación.....	24
1.5.7.1	Ventilación Principal .....	24
1.5.7.2	Ventilación Secundaria.....	25
1.5.8	Impermeabilización y Drenaje .....	26
1.5.9	Electrificación .....	27
1.5.10	Firmes .....	27



1.5.11	Plan de Obra.....	28
1.5.12	Resumen del Presupuesto .....	29
1.6	Normativa .....	31
1.7	Bibliografía .....	33
2	Documentos del Proyecto .....	40



### **Índice de Tablas:**

Tabla 1-1 Estación Geomecánica N°1.Elaboracion Propia.....	12
Tabla 1-2 Estación Geomecánica N°2.Elaboracion Propia.....	13
Tabla 1-3 Valores obtenidos para las principales clasificaciones geomecánicas. Elaboración Propia .....	13
Tabla 1-4 Resumen de los datos obtenidos del cuele y contracuele .Elaboración Propia .....	16
Tabla 1-5 Resumen de los datos obtenidos para la sección de avance. Elaboración Propia. ....	16
Tabla 1-6 Conclusión de los datos obtenidos para el avance en destroza. Elaboración Propia. ....	16
Tabla 1-7 Factores de Seguridad para el talud Natural Sur. Elaboración Propia .....	19
Tabla 1-8Factores de Seguridad para el Talud natural Norte. Elaboración Propia. ....	19
Tabla 1-9 Factores de seguridad globales del talud Norte con sostenimiento. Elaboración Propia .....	20
Tabla 1-10 Factores de seguridad globales del talud Sur con sostenimiento. Elaboración Propia. ....	20
Tabla 1-11 Movimientos de Tierras Necesarios para la ejecución de los taludes. Elaboración Propia .....	21
Tabla 1-12 Resumen de las recomendaciones de sostenimiento según método utilizado. Elaboración Propia.....	21
Tabla 1-13 Factores de seguridad obtenidos aplicando las recomendaciones de Romana. Elaboración Propia.....	22
Tabla 1-14 Factores de seguridad obtenidos aplicando la configuración de sostenimiento propuesta por Barton. Elaboración Propia.....	23
Tabla 1-15 Factores de seguridad aplicando Swellex Pm24.Elaboración Propia.....	24
Tabla 1-16 Resumen de los caudales de producción y dilución de gases. Elaboración Propia .....	25
Tabla 1-17 Resumen de las necesidades de Caudal de aire limpio. Elaboración Propia .....	25
Tabla 1-18 Tiempos Estimados por cada Unidad de Obra. Elaboración Propia .....	29
Tabla 1-19 Resumen del Presupuesto. Elaboración Propia .....	30



### **Índice de Ilustraciones:**

Ilustración 1 Situación del Concejo de Amieva dentro del Principado de Asturias. Elaboración Propia.....	8
Ilustración 2 Situación de Corigos dentro del Concejo de Amieva. Elaboración Propia .....	8
Ilustración 3 Emplazamiento del túnel. Elaboración Propia.....	9
Ilustración 4 N-625 a su paso por Corigos. Elaboración Propia.....	10
Ilustración 5 Sección transversal del túnel. Elaboración Propia.....	14
Ilustración 6 Secuenciación de la voladura. Elaboración Propia.....	17
Ilustración 7 Sección del túnel con el bulonado y hormigón proyectado propuesto por Romana. Elaboración Propia.....	22
Ilustración 8 Sostenimiento propuesto por Barton. Elaboración Propia.....	23
Ilustración 9 Detalle impermeabilización. Elaboración Propia .....	26





## **1 Memoria Descriptiva**

### **1.1 Antecedentes**

El presente proyecto “*Túnel Carretero en la N-625*” surge de la necesidad de mejora, de una de las peores, sino la peor<sup>1</sup>, carretera a su paso por las provincias de Asturias y León.

Dentro de este encuadre de mejora vial de la carretera. El proyecto se centrará en la eliminación de un tramo peligroso existente en esta, a su paso por la localidad Asturiana de Corigos.

Actualmente la carretera Nacional N-625 en su tramo Asturiano, es la única vía de unión de la localidad más importante del concejo, Cangas de Onís, con el sur de la Península Ibérica. Se trata, entonces, de una carretera fundamental para el tránsito de vehículos y mercancías.

De la importancia y necesidad de mejora de la carretera nacional N-625 nace el objeto del presente proyecto.

### **1.2 Objeto**

En el presente proyecto se definirá, desarrollara y valorara la construcción de un túnel carretero, de dos carriles de circulación, bidireccional, mediante el método de perforación y voladura, entre los puntos kilométricos 147 y 148 de la carretera nacional N-625 a su paso por la localidad Asturiana de Corigos.

### **1.3 Situación y Emplazamiento**

Las obras objeto del presente proyecto se sitúan en la localidad Asturiana de Corigos, concejo de Amieva provincia del Principado de Asturias.

El emplazamiento concreto donde se llevaran a cabo las intervenciones propuestas en el presente documento se sitúan entre los puntos kilométricos 147 y 148 de la carretera nacional N-625. Puntos Kilométricos correspondientes al tramo Asturiano de la carretera a su paso por la localidad de Corigos.

---

<sup>1</sup> <http://www.ileon.com/actualidad/069336/la-n-625-la-peor-carretera-de-la-provincia-de-leon-para-el-race>





*Ilustración 1 Situación del Concejo de Amieva dentro del Principado de Asturias. Elaboración Propia*



*Ilustración 2 Situación de Corigos dentro del Concejo de Amieva. Elaboración Propia*

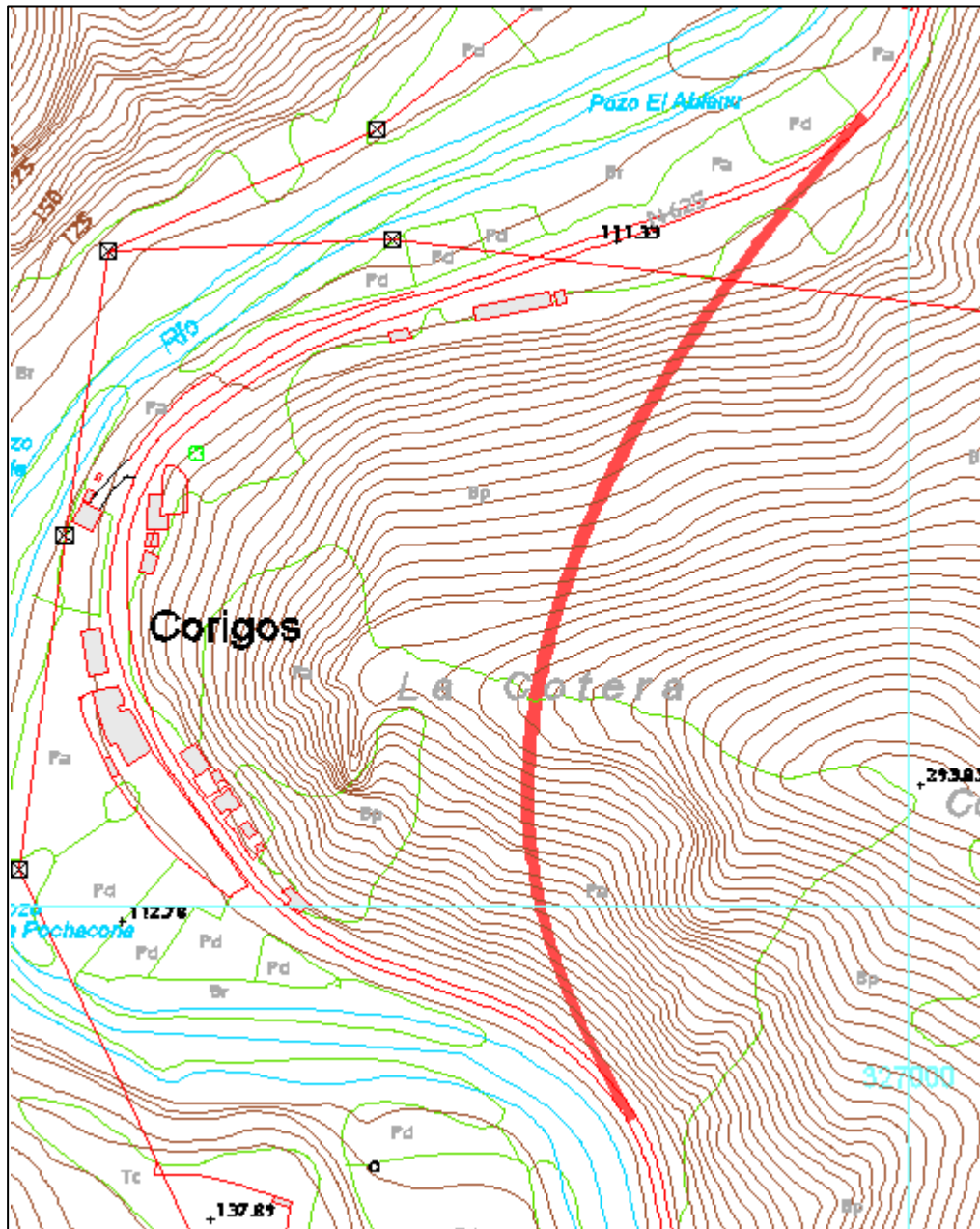
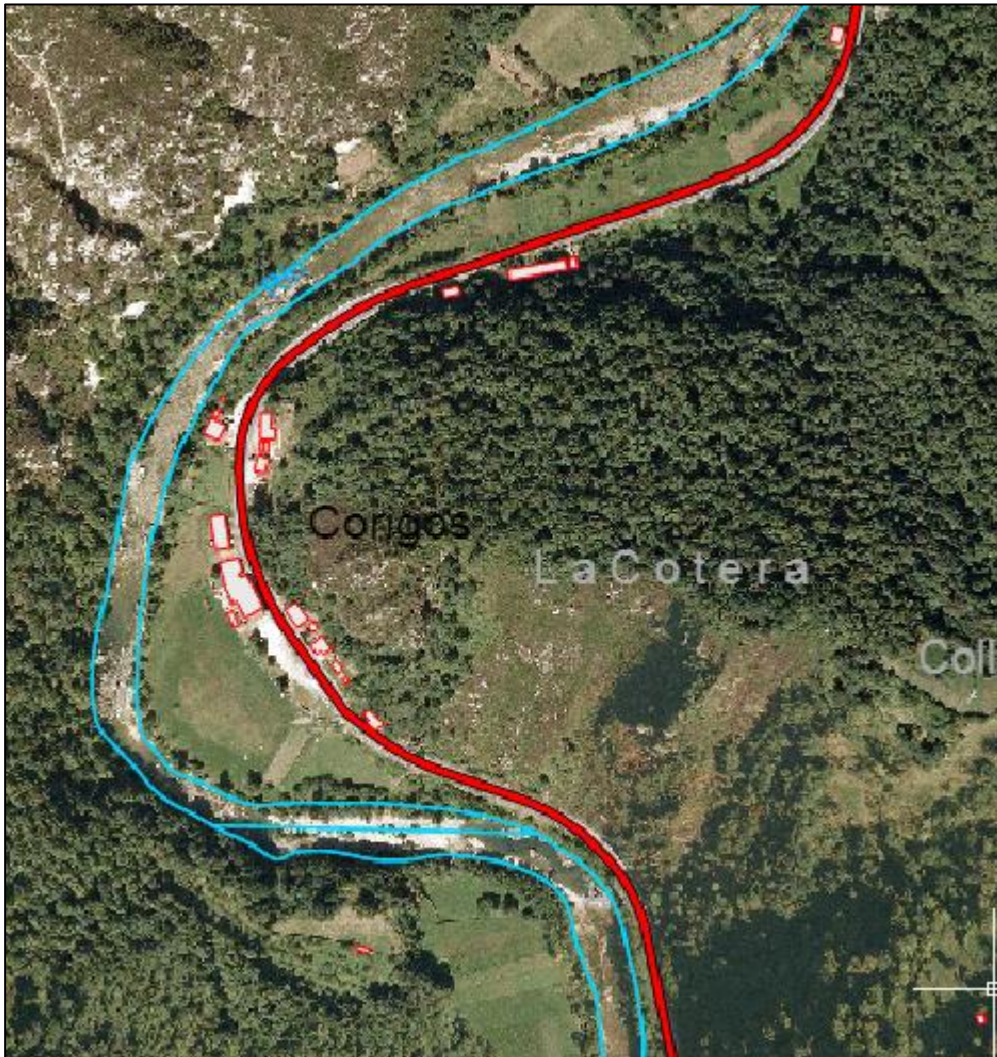


Ilustración 3 Emplazamiento del túnel. Elaboración Propia

#### 1.4 Estudio de alternativas

El estudio de alternativas se ha visto condicionado por el emplazamiento de las obras. Actualmente la carretera N-625 a su paso por Corigos se encuentra flanqueada por el macizo rocoso de la Cotera y el río Sella tal y como se ve en la siguiente ilustración.



*Ilustración 4 N-625 a su paso por Corigos. Elaboración Propia*

Por lo que la única forma de eliminar el tramo peligroso de la carretera es atacando el macizo rocoso mediante un túnel.

Dicho esto, las únicas alternativas que se han podido presentar desde el punto de vista técnico y normativo han sido, por ejemplo, del tipo selección del trazado en planta del túnel entre la unión de los extremos del túnel (recto o curvo)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Ver: “Anejo Descripción del Trazado”



## 1.5 Descripción del Proyecto

### 1.5.1 Características geológicas y geotécnicas<sup>3</sup>

De los estudios geológicos y geotécnicos presentados en el “*Anejo Geología y Geotecnia*” se ha concluido que el túnel atravesara un macizo rocoso formado por una única unidad litológica perteneciente al Cambro-Ordovícico. Concretamente formado por cuarcitas de barrios (Tremadoc-Arening) con espesores superiores a los quinientos metros.

La región de estudio denominada Región de Mantos, más concretamente nos situamos en el Manto del Ponga, no presenta fenómenos Karsticos. Tampoco será de aplicación la norma de construcción sismorresistente NCSE-02, al no existir registro alguno en toda la comunidad autónoma de que se hallan sobrepasado los 0.04 g.

Lo que si se constató, es que la zona de emplazamiento de la obra se trata de un área con movimientos actuales o potenciales del tipo deslizamiento y desprendimiento.

Se realizaron dos estaciones geomecánicas en lo que serán las futuras bocas de entrada del túnel. Obteniéndose los siguientes resultados:

Estación Geomecánica Nº1				
Nombre del Proyecto	Túnel carretero N-625		Tipo de roca	
Lugar	Corigos		Cuarcitas	
Realizado por	E. Milagros			
Fecha	23/07/2017			
Resistencia de la matriz rocosa			Calidad del Testigo , RQD	
Designación	Resistencia a compresión simple (MPa)			
Muy Alta	>250	X	Excelente	
Alta	100-250		Buena	X
Medio-Alta	50-100		Media	
Media	25-50		Mala	
Baja	5-25		Muy Mala	
Muy Baja	1-5			
Rumbo y buzamiento				
Familia	Rumbo	Buzamiento		
		Angulo	Dirección	
1	105°	45°	N	
2	250°	70°	N	

<sup>3</sup> Ver : “*Anejo Geología y Geotecnia*”

Espaciamiento entre discontinuidades					
		Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Muy Grande	>2 m				
Grande	0,6-2 m				
Medio	0,2-0,6 m				
Pequeño	0,06-0,2m	X			
Muy Pequeño	<0,06m				
Agua Subterránea					
Condiciones generales (completamente seco , ligeramente húmedo , húmedo , goteando o fluyendo)					
Completamente seco					

Tabla 1-1 Estación Geomecánica N°1.Elaboracion Propia

Estación Geomecánica N°2					
Nombre del Proyecto	Túnel carretero N-625		Tipo de roca		
Lugar	Corigos		Cuarcitas		
Realizado por	E. Milagros				
Fecha	23/07/2017				
Resistencia de la matriz rocosa				Calidad del Testigo , RQD	
Designación	Resistencia a compresión simple (MPa)				
Muy Alta	>250	X		Excelente	
Alta	100-250			Buena	X
Medio-Alta	50-100			Media	
Media	25-50			Mala	
Baja	5-25			Muy Mala	
Muy Baja	1-5				
Rumbo y buzamiento					
Familia	Rumbo		Buzamiento		
			Angulo	Dirección	
1	135° de N a E		70°	N	
2	260°		60°	N	
Espaciamiento entre discontinuidades					
		Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Muy Grande	>2 m				
Grande	0,6-2 m				
Medio	0,2-0,6 m				
Pequeño	0,06-0,2 m	X			
Muy Pequeño	<0,06 m				
Agua Subterránea					

Condiciones generales (completamente seco , ligeramente húmedo , húmedo , goteando o fluyendo)
Completamente Seco

*Tabla 1-2 Estación Geomecánica N°2.Elaboracion Propia*

Gracias a la información proporcionada por estas estaciones se pudo obtener las valoraciones para las principales clasificaciones geomecánicas.

Clasificación	Valor
RQD	86
RMR	73.1
Q	21.06
GSI	71

*Tabla 1-3 Valores obtenidos para las principales clasificaciones geomecánicas. Elaboración Propia*

### **1.5.2 Descripción del trazado**

Desarrollando lo expuesto en la normativa actual vigente acerca del trazado de carreteras:

- Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC, del Ministerio de Fomento.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de Mayo, Requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

Se concluyó que la sección transversal de la carretera, que determinara el ancho y por lo tanto la sección del túnel, para una carretera convencional tipo C-80 deberá tener el siguiente esquema:

Arcén 1.00 m + Carril 3.50 m + Zona Intermedia 1.00 m + Carril 3.50 m + Arcén 1.00 m

Con una altura mínima necesaria en cualquier punto de la plataforma de 5 metros y 2 metros sobre aceras.

Obteniéndose el siguiente perfil transversal del túnel:

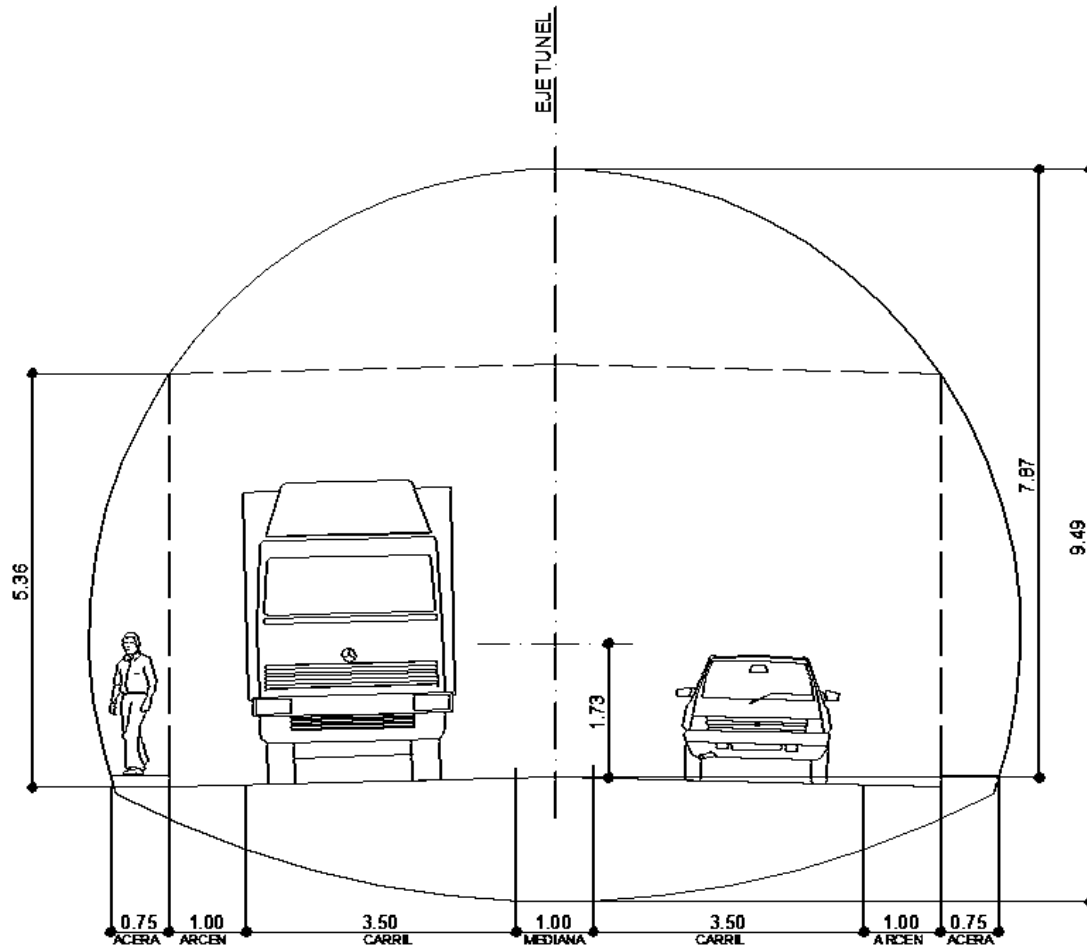


Ilustración 5 Sección transversal del túnel. Elaboración Propia

### 1.5.3 Método Constructivo<sup>4</sup>

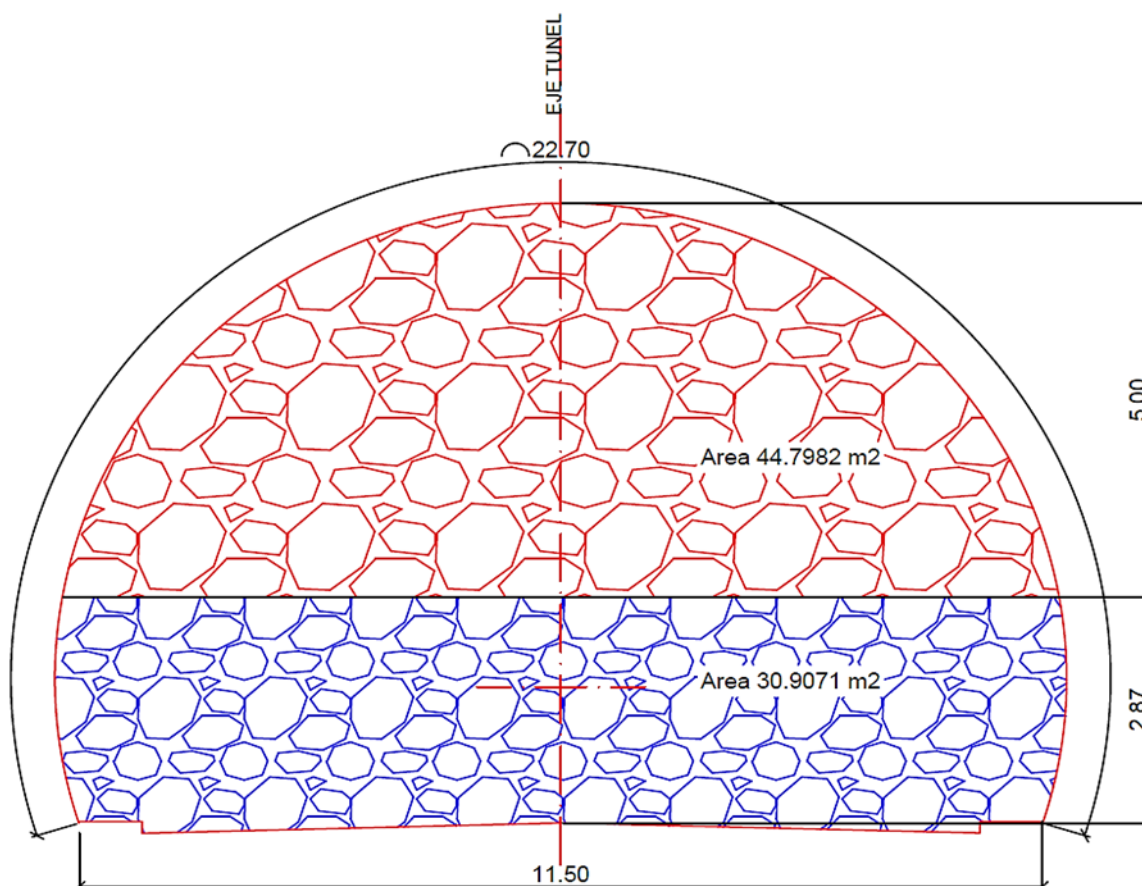
Para la correcta elección del método constructivo idóneo del túnel se tuvieron en cuenta las características intrínsecas del material a atravesar, cuarcitas, y las recomendaciones acerca de la excavación propuestas por Romana (2000).

Se concluyó, indudablemente, que para la excavación de un macizo rocoso formado por un material con una resistencia a compresión mayor de 200 MPa y unos valores de abrasividad de  $4.5 \times 10^{-1}$  mm para el Cerchar Abrasivity Index y mayor de 11 N/mm para Schimazek, el método adecuado será el de perforación y voladura descartando así el uso de TBMs o rozadoras.

<sup>4</sup> Ver: "Anejo Método Constructivo"

### 1.5.4 Perforación y Voladura<sup>5</sup>

El sistema de avance de la excavación por voladuras será el de Avance (con 5 m de altura) y Destroza (con 2.87 m de altura) con banqueo horizontal, consiguiéndose unos avances medios de 4 metros.



*Ilustración 6 Secciones de Avance y Destroza. Elaboración Propia*

En la sección de Avance, y para un diámetro de perforación de los barrenos de 51 mm, se realizara un cuele de cuatro secciones para abrir el frente libre de la voladura. Obteniéndose los siguientes resultados:

	Piedra (mm)	Frente Libre (mm)	Carga Barreno (kg)	Número de Barrenos	Carga Total (kg)
Primera Sección	226.78	320.72	3,87	4	15.48
Segunda Sección	300	650	3,87	4	15,48
Tercera Sección	428	1064	3,87	4	15,48
Cuarta Sección	548	1450	3,87	4	15,48

<sup>5</sup> Ver: “Anejo Voladura”



*Tabla 1-4 Resumen de los datos obtenidos del cuele y contracuele .Elaboración Propia*

Para la carga de los barrenos del cuele se utilizara explosivo tipo Riodin HE con calibres comprendidos entre 29x200 y 40x240 tal y como se especifica en el correspondiente anejo.

Una vez abierto el frente libre de la voladura se ha dividido la sección en destroza, zapateras y contorno. Obteniéndose los siguientes resultados:

	Piedra (m)	Espaciamiento (m)	Carga Barreno (kg.)	Numero de Barrenos	Carga Total (Kg.)
Destroza	1,01	1,01	4,27	28	119,56
Zapateras	1,29	Barrenos Centrales 1	6,3	11	69,3
		Barrenos Esquinas 0,9			
Contorno	-	0,766	1,135	23	26.105

*Tabla 1-5 Resumen de los datos obtenidos para la sección de avance. Elaboración Propia.*

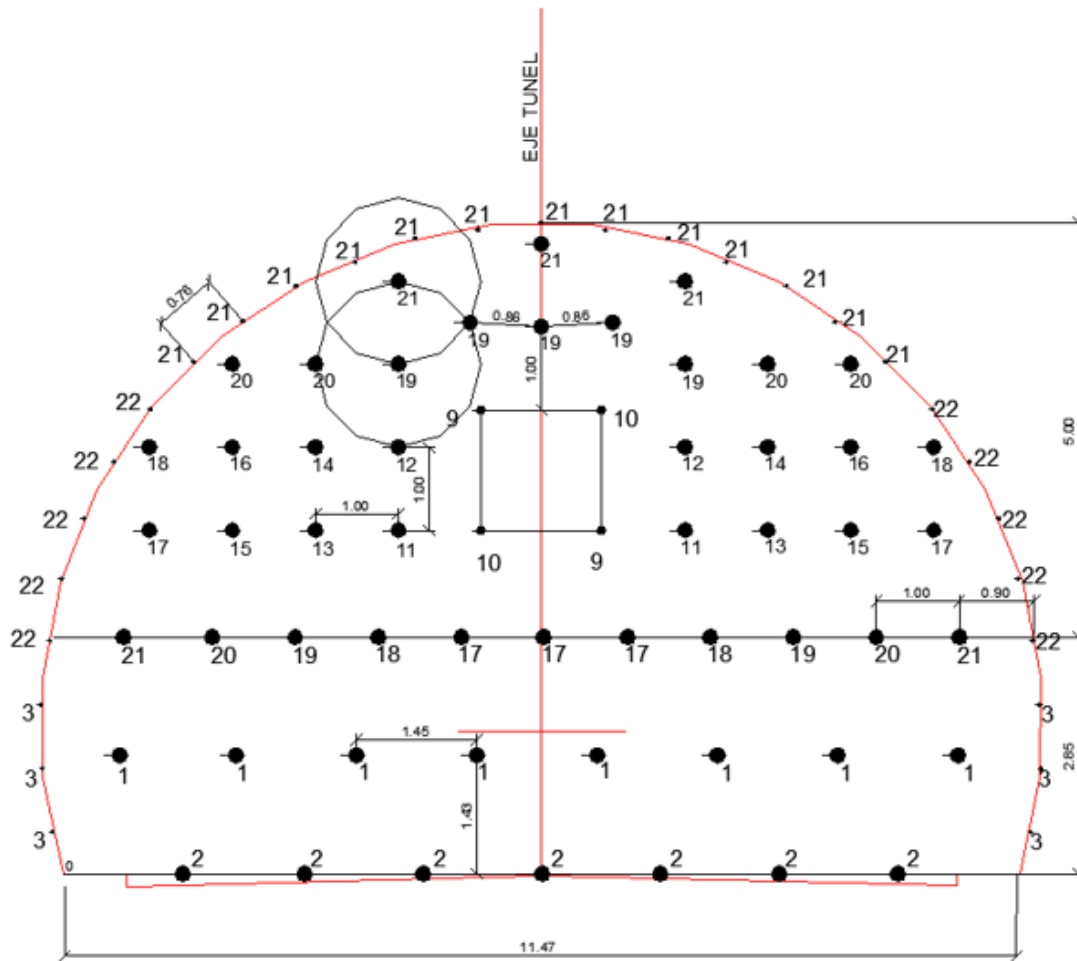
Para el avance en destroza se ha proyectado la siguiente voladura tipo:

	Piedra (m)	Espaciamiento (m)	Carga Barreno (kg.)	Numero de Barrenos	Carga Total
Avance en Destroza	1,43	1,45	4,27	15	64,05

*Tabla 1-6 Conclusión de los datos obtenidos para el avance en destroza. Elaboración Propia.*

Consiguiéndose unos consumos específicos para la voladura en avance de 1.62 kg/m<sup>3</sup> y para la voladura de avance en destroza 0.60 kg/m<sup>3</sup>.

La secuenciación de la voladura será la que sigue:



*Ilustración 7 Secuenciación de la voladura. Elaboración Propia*

La voladura se iniciara con detonadores eléctricos, y estos a su vez con un explosor de condensador tipo Zebra 122.

#### **1.5.4.1 Vibraciones Terrestres**

Desarrollando la norma UNE 22-381-93 para la prevención de las vibraciones terrestres, se concluyó que para una carga operante máxima de 12 kg. nos encontramos dentro del rango de proyecto tipo.

Por lo que se descarta cualquier incidencia relativa a las vibraciones terrestres que puedan afectar a los edificios colindantes.

#### **1.5.4.2 Efecto de las vibraciones sobre las personas**

Basándonos en los trabajos realizados por Goldman (1948) y para una velocidad de partícula de 18.48 mm/s se ha concluido que se presentaran molestias para la población cercana a la obra.

Se concluyó que el rango de percepción disminuirá considerablemente al avanzar la obra, al encontrarnos dentro de un macizo rocoso masivo que amortiguara el efecto de las voladuras sobre las personas.

Habría que mencionar que tras los cálculos realizados nos encontramos en un rango de percepción molesto pero en el límite con el rango de percepción de perceptible.

#### **1.5.4.3 Desescombro de la voladura**

El volumen a desescombrar en cada voladura de avance, teniendo en cuenta el factor de esponjamiento, será de 300 m<sup>3</sup> y de 206.6 m<sup>3</sup> en las voladuras de avance en destroza.

Para la operación de desescombro se han seleccionado, teniendo en cuenta diversos factores expuestos en el “*Anejo Voladura*”:

- Dos camiones articulados Caterpillar 735C.
- Pala de ruedas Caterpillar 930M.

Consiguiéndose unos tiempos de desescombro en la situación más favorable (en los inicios del túnel) y en la más desfavorable (última voladura) de:

- Voladura en Avance , 1.18 horas en la situación más favorable y 2.59 horas en la más desfavorable-
- Voladura en Avance en destroza, 1.19 horas en la situación más favorable y 2.60 horas en la situación más desfavorable.

#### **1.5.5 Emboquille y Taludes**

De la excavación del túnel se formaran dos taludes de emboquille, denominados Talud del emboquille Norte y Talud del emboquille Sur<sup>6</sup>.

La determinación de la estabilidad de estos taludes se ha llevado a cabo mediante cálculos “manuales” y utilizando el siguiente software:

- Plane Failure Analysis Module. Version 2.1.
- Swedge. Version 4.080. Estudio Probabilístico y Determinístico.
- Wedge Failure Analysis Module. Version 2.1.

---

<sup>6</sup> Ver: “*Anejo Taludes y Emboquille*”

- Slide. Version 5.014.

Concluyéndose que el factor de seguridad de los taludes naturales es el siguiente:

Rotura	Factor de Seguridad Natural		Resultante
Planar	Calculado Manualmente	0,5875	0,58775
	"Plane Failure Analysis Module"	0,588	
Cuña	Estudio Probabilístico (Swedge)	1,917	1,916
	Estudio Determinista (Swedge)	1,91657	
	Wedge Failure Analysis Module	1,917	
Circular	Ábacos Hoek y Bray	2,96-3,33	3,519
	Slide	3,519	

*Tabla 1-7 Factores de Seguridad para el talud Natural Sur. Elaboración Propia*

Rotura	Factor de Seguridad Natural		Resultante
Planar	Calculado Manualmente	0,834	0,834
	"Plane Failure Analysis Module"	0,834	
Cuña	Estudio Probabilístico (Swedge)	1,246	1,23
	Estudio Determinista (Swedge)	1,246	
	Wedge Failure Analysis Module	1,2	
Circular	Ábacos Hoek y Bray	3,68-4,050	4,527
	Slide	4,527	

*Tabla 1-8 Factores de Seguridad para el Talud natural Norte. Elaboración Propia.*

Para conseguir un factor de seguridad mayor, para todos los tipos de rotura, se llevaran a cabo las siguientes mejoras del talud:

- Talud Norte:
  - Estable frente a la rotura global o rotura circular.
  - Con respecto a la estabilidad estructuralmente controlada es susceptible de sufrir rotura planar. Para evitarlo se colocaran 9 bulones por metro de anchura de talud con una capacidad de anclaje de 200 kN, con una separación de 2.88 metros en la cara del talud y inclinados 65° respecto a la cara del talud.
  - En cuanto a la rotura por cuñas, se calculó necesaria la colocación de 14 bulones de 200 kN de capacidad con una longitud de 12 m y una dirección de 20° y rumbo -10° respecto a la cara del talud.

Implementando las medidas expuestas los factores de seguridad del talud sostenido serán de:

Rotura	Factor de Seguridad Final
Planar	3
Cuña	2,056
Circular	4.527

Tabla 1-9 Factores de seguridad globales del talud Norte con sostenimiento. Elaboración Propia

– **Talud Sur:**

- Estable frente a la rotura global.
- Para controlar la rotura planar se han dimensionado la colocación de 14 bulones con una capacidad de anclaje de 200kN. colocados con un ángulo de 75° con respecto a la cara del talud y con una separación de 1.88 m.
- Estable frente a la rotura por cuña.

Los factores de seguridad que se han obtenido tras el dimensionado del sostenimiento han sido:

Rotura	Factor de Seguridad Final
Planar	3
Cuña	1,916
Circular	3.519

Tabla 1-10 Factores de seguridad globales del talud Sur con sostenimiento. Elaboración Propia.

**1.5.5.1 Desprendimientos**

Del estudio geológico y geotécnico de la zona se desprendió que la zona es un “*área con movimientos actuales o potenciales del tipo deslizamiento y desprendimiento*” por lo que para subsanarlo se ha proyectado:

- Colocación de Malla de triple torsión con bulón de cosido de profundidad 1.3 metros formado por barra de acero corrugado de 16 mm y lechada de cemento.
- Capa de Hormigón proyectado de 150 mm.

**1.5.5.2 Drenajes**

No se detectó agua fluyente en el macizo rocoso por lo que el drenaje se ha dimensionado con el objetivo de impedir que las aguas de las cotas superiores resbalen por la cara del talud erosionándolo a largo plazo

Para un caudal de 0.625 m<sup>3</sup>/s se ha concluido suficiente la colocación de una cuneta de berma triangular de 0.5x0.5 metros.

### 1.5.5.3 Movimientos de Tierras

Los movimientos de tierras, terraplén o desmorte, necesarios para ejecutar los taludes se calcularon a través del programa M.D.T, el cual arroja que serían necesarios los siguientes movimientos de tierras:

	V.Desmorte (m <sup>3</sup> )	V.Terraplén(m <sup>3</sup> )
Talud Norte	7330,3778	2,588
Talud Sur	12354,333	13,078

*Tabla 1-11 Movimientos de Tierras Necesarios para la ejecución de los taludes. Elaboración Propia*

### 1.5.6 Sostenimiento de la galería<sup>7</sup>

En lo referente al sostenimiento de la galería, el anillo de roca que rodea al túnel será el principal elemento que proporcione estabilidad a la excavación.

Aun así desarrollando la I.T.C 04.6.05 Sostenimiento de obras, del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y para un nivel de proyecto B se ha calculado sostenimiento mediante modelos empíricos y numéricos, obteniéndose las siguientes conclusiones.

Estudiada la problemática del sostenimiento mediante los métodos empíricos:

- Sistema RMR de Bieniawski (1973).
- Clasificación de Romana (2000).
- Clasificación Q de Barton (1974).

Se obtuvieron las siguientes conclusiones según cada método aplicado:

Método	Sostenimiento	
RMR (Bieniawski)	No Aplicable	
Romana (2000)	Bulonado	L.3m , 1,5x1,5 o 2x2
	Hormigón Proyectado	E.6-10 cm ,1-2 Capas , Capa de Sellado
	Recomendada Armadura de Fibras	
	Cerchas No	
Q (Barton 1974)	Bulonado Puntual de Bulones pasivos Inyectados	

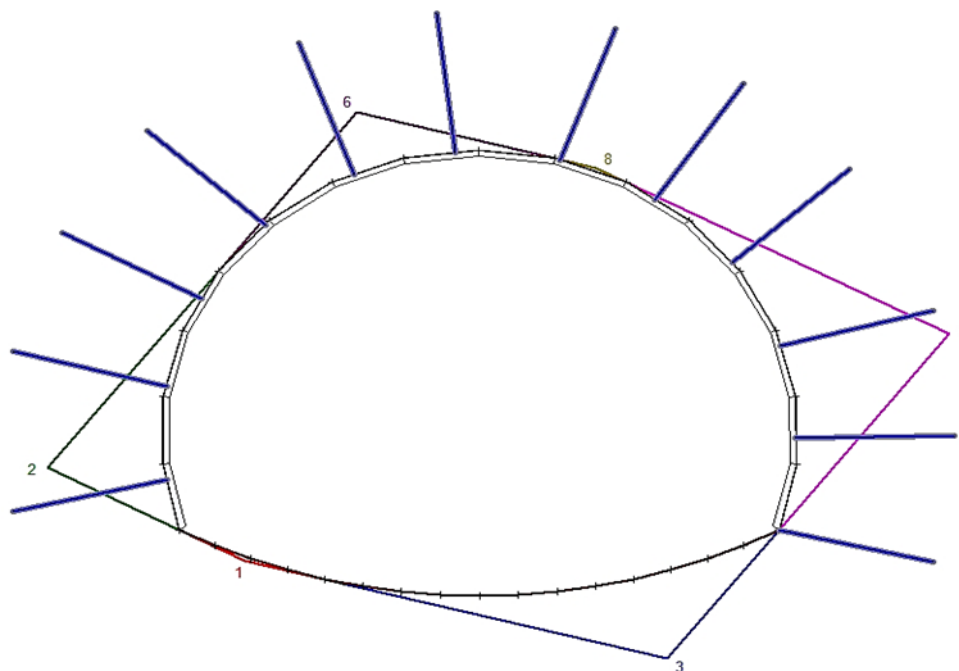
*Tabla 1-12 Resumen de las recomendaciones de sostenimiento según método utilizado. Elaboración Propia*

<sup>7</sup> Ver “Anejo Sostenimiento de la Galería”.



Una vez obtenidas las recomendaciones expuestas anteriormente para contar con un punto de partida, se estudiaron cada uno de los métodos individualmente mediante métodos numéricos usando el software Unwedge, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- Comprobación de las recomendaciones propuestas por Romana (2000):



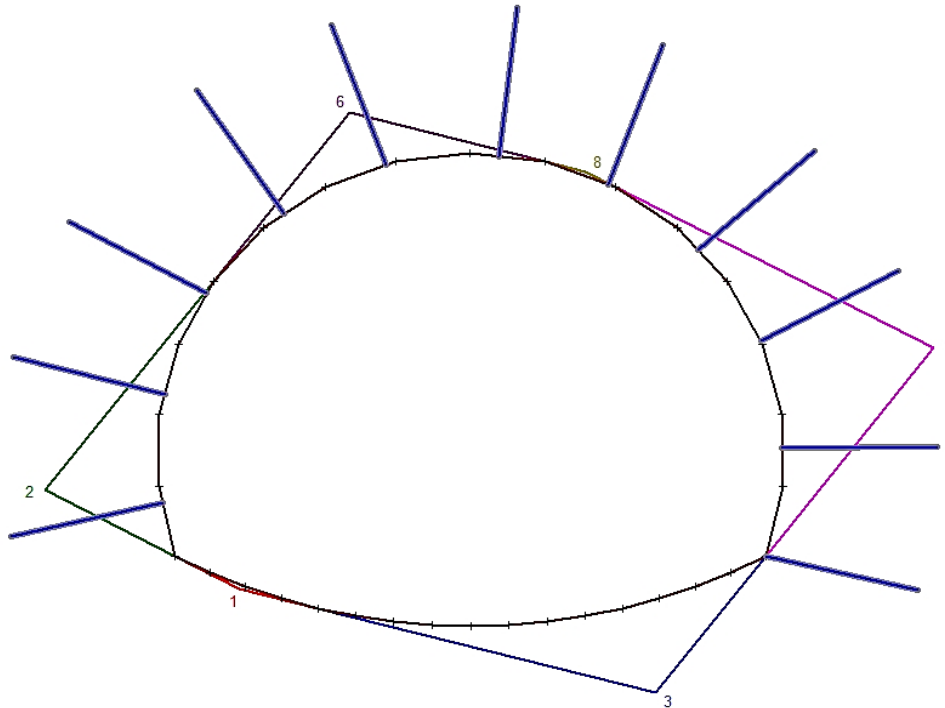
*Ilustración 8 Sección del túnel con el bulonado y hormigón proyectado propuesto por Romana. Elaboración Propia*

Obteniéndose los siguientes factores de seguridad:

Cuña	Factor Seguridad
Inferior Izquierda (1)	4,946
Inferior Izquierda (2)	8.974
Cuña del suelo (3)	Estable
Cuña Techo (6)	4.237
Superior Derecha (7)	4.568
Cuña Techo (8)	6.592

*Tabla 1-13 Factores de seguridad obtenidos aplicando las recomendaciones de Romana. Elaboración Propia*

- Comprobación recomendaciones propuestas por Barton (1974):



*Ilustración 9 Sostenimiento propuesto por Barton. Elaboración Propia*

Obteniéndose los siguientes factores de seguridad:

Cuña	Factor Seguridad
Inferior Izquierda (1)	4,946
Inferior Izquierda (2)	6.303
Cuña del suelo (3)	Estable
Cuña Techo (6)	0.185
Superior Derecha (7)	3.673
Cuña Techo (8)	0

*Tabla 1-14 Factores de seguridad obtenidos aplicando la configuración de sostenimiento propuesta por Barton. Elaboración Propia*

Por lo que, teniendo en cuenta lo anterior, se optó por implementar las recomendaciones propuestas por Romana tal y como sigue:

- Bulones tipo Swellex Pm24 (Atlas Copco).
- Longitud 3m.
- Espaciamiento 2x2 metros.
- Hormigón proyectado de espesor 6 cm y una capacidad de 1T/m<sup>2</sup>.



Obteniéndose un factor de seguridad final. Esto es teniendo en cuenta el hormigón y tipo de bulón seleccionado de:

Cuña	Factor Seguridad Swellex Pm24
Inferior Izquierda (1)	4,946
Inferior Izquierda (2)	9.510
Cuña del suelo (3)	Estable
Cuña Techo (6)	4.237
Superior Derecha (7)	4.957
Cuña Techo (8)	6.592

*Tabla 1-15 Factores de seguridad aplicando Swellex Pm24.Elaboración Propia*

Como medida complementaria se ha diseñado un paraguas medio para la mejora del sostenimiento del emboquille, siguiendo las recomendaciones para el sostenimiento de emboquilles de Romana (2000), con las siguientes características finales:

- Paraguas Medio:
  - Compuesto por 36 tubos de acero:
    - ØExterior, 90 mm.
    - ØInterior, 101.5 mm.
    - Longitud, 20 metros.
  - Diámetro de perforación 120 mm.
  - Viga de atado HA-25 de 0.35x0.30 m.

### **1.5.7 Ventilación<sup>8</sup>**

Siguiendo los criterios expuestos por la P.I.A.R.C (Permament International Association of Road Congresses) y por el C.E.T.U (Centre d’Etudes des Tunnels) se calculó que para una intensidad media diaria máxima de 1000 vehículos al día será necesaria una ventilación de.

#### **1.5.7.1 Ventilación Principal**

Las necesidades de aire fresco necesarias que se tuvieron en cuenta para el dimensionamiento de la ventilación principal y para la intensidad de tráfico esperada fueron las siguientes:

<sup>8</sup> Ver Anejo “Ventilación del Túnel”.

Gas	Producción (m <sup>3</sup> /h)	Caudal necesario para Dilución	
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s
Monóxido de Carbono (CO)	5.10	51021.83	14.172
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0,1273	8486,66	2,357
Partículas Sólidas en Suspensión	7182,727 (mg/h)	4788,484	1,33

*Tabla 1-16 Resumen de los caudales de producción y dilución de gases. Elaboración Propia*

La potencia necesaria para suministrar el caudal más desfavorable, 14.172 m<sup>3</sup>/s, teniendo en cuenta las pérdidas de carga producidas por el propio túnel, las singularidades y el efecto pistón de los vehículos fue de 2878.233 Pa.

Una vez conocida la potencia necesaria del ventilador y el caudal necesario para diluir los gases nocivos se tuvo en cuenta , atendiendo a la normativa Americana NFPA08 , el caso de incendio en el túnel calculando la velocidad crítica que sería necesaria para evitar el efecto de Backlayer.Siendo esta de 3.95 m/s.

Teniendo en cuenta todo lo anterior. Se instalaran 8 ventiladores reversibles JZR 9-15/4 (Zitron), separados por parejas cada 84 metros.

### **1.5.7.2 Ventilación Secundaria**

Los criterios determinantes para el dimensionamiento de la ventilación secundaria necesaria han sido los siguientes:

Motivo		Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Gases Voladura		57,72
Personal		0,5
Maquinaria	Combustión Interna	62,37
	Motores Eléctricos	6,87

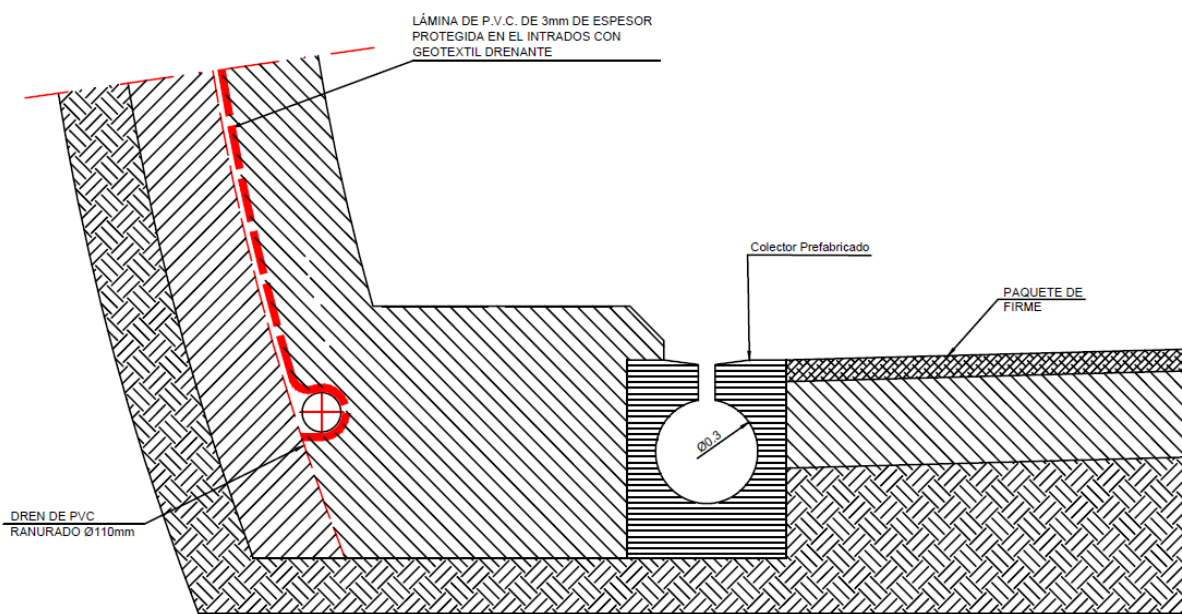
*Tabla 1-17 Resumen de las necesidades de Caudal de aire limpio. Elaboración Propia*

Para la correcta ventilación de estos gases se ha propuesto un ventilador AVH125 (Atlas Copco) que garantiza el suministro del caudal necesario para el caso más desfavorable. Conectado al interior del túnel mediante una tubería tipo soplante lisa con un diámetro de 1670 mm, proporcionadas por Fatuve S.A.

### 1.5.8 Impermeabilización y Drenaje<sup>9</sup>

En los estudios geológicos y geotécnicos no se detectó agua en el macizo. Aun así para proteger el túnel de la afluencia de agua desde el exterior que pueda proceder principalmente de los tramos a cielo abierto adyacentes se dispondrá de un sistema de impermeabilización principal formado por bandas drenantes y drenaje longitudinal. Constituido por una lámina impermeable colocada entre el sostenimiento y el revestimiento protegida por una capa de geotextil que interrumpa el flujo de agua y lo conduzca hacia un tubo dren longitudinal.

También se han diseñado dos colectores de 300 mm cada uno que se colocaran debajo de cada acera para la evacuación del agua hacia el exterior.



*Ilustración 10 Detalle impermeabilización. Elaboración Propia*

Para la fase de ejecución del túnel se ha previsto la utilización de bombas eléctricas sumergibles del tipo Bibo 2140 con una potencia de 12kW, así como la construcción de un pequeño dique en la boca del túnel que impida que el agua entre en este.

<sup>9</sup> Ver: “Anejo Impermeabilización y Drenaje”



### **1.5.9 Electrificación**

El suministro de energía eléctrica se realizara mediante una conexión a línea de media tensión, evitando el uso de generadores de Diésel para evitar la generación de humos tóxicos dentro del túnel.

Se instalara un centro de trasformación de 15kV de media tensión del que saldrán dos líneas de 5 kV cada una que suministraran las necesidades eléctricas del exterior e interior del túnel respectivamente.

- Para el suministro exterior:
  - Centro de Transformación tipo CT 2 de 5 kV/380 V y 630 KVA.
  - Sección del conductor tipo 3xXLPE con una intensidad admisible de 415 A y sección de 185 mm<sup>2</sup>.
- Para el suministro interior:
  - Centro de Transformación tipo C.T 3.
  - Sección del conductor tipo 3xXLPE con una intensidad admisible de 315 A y sección 240 mm<sup>2</sup>.

### **1.5.10 Firmes<sup>10</sup>**

Desarrollando la instrucción:

- Norma 6.1-IC, Secciones de Firme. Instrucción de Carreteras.

Se concluye que para una categoría de tráfico pesado T2 y una explanada tipo E<sub>1</sub> , la sección del firme estará formada por:

- 25 cm de Mezcla Bituminica
- 25 cm de Zahorra Artificial.
- 25 cm de Zahorra Natural.

El espesor de las capas será el siguiente:

- Capa de rodadura:
  - 6 cm de S-20.

---

<sup>10</sup> Ver: “Anejo Justificación de Firmes”

- Riego de Adherencia.
- Capa Intermedia:
  - 6 cm de G-20.
  - Riego de Adherencia.
- Base:
  - 13 cm de G-25.

### 1.5.11 Plan de Obra<sup>11</sup>

El plan de obra se ha estimado en base a los rendimientos de la maquinaria utilizada. Rendimientos presentes en los precios descompuestos utilizados para la redacción del presupuesto. Por lo que estos podrían sufrir modificaciones a lo largo de la ejecución de la obra.

Para la redacción del plan de obra se ha utilizado:

- Microsoft Project. Version 1708.Editor, Microsoft.

Con el programa anterior se redactó el correspondiente Diagrama de Gantt.

Los tiempos estimados para la realización de cada unidad de obra en las que se ha dividido el proyecto han sido los siguientes:

Descripción	Rend./U nidad	Cantidad	Tiempo (h)	Fact or	Tiempo Corregi do(h)	Tiempo( días)	Total (días)
Superficie Desbrozado	0,003	1970,04	5,91	1,15	6,80	0,28	1
Excavación de túnel en avance en terreno clase "A"	0,24	15950.53	3828.1	1,15	4402.35	183.43	184
Excavación de túnel en destroza en terreno clase "A"	0,106	10995.26	1165.5	1,15	1340.32	55.85	56
Excavación de túnel en destroza en boquillas	0,195	618.14	120.54	1,15	138.62	5.78	6
Excavación de túnel en avance en boquillas	0,427	896.72	382.90	1,15	440.34	18.35	19
Transporte a vertedero de material excavado en la traza	0,004	45090.07	180.36	1,15	207.41	8.64	9
Colocación Bulones Expansión Swellex PM24	0,17	2879,00	489,43	1,15	562,84	23,45	24

<sup>11</sup> Ver: “Anejo Plan de Obra”



Hormigón Projectado Interior Túnel	0,297	772,10	229,31	1,15	263,71	10,99	11
Colocación Lamina Geotextil Impermeabilización Principal	0,15	12868,47	1930,27	1,15	2219,81	92,49	93
Colocación Tubo de Conexión Al Drenaje Principal	0,1	1135,79	113,58	1,15	130,62	5,44	6
Colocación Caz Prefabricado	-	-	-	1,15	-	-	30
Colocación Ventilador Principal	-	-	-	1,15	-	-	30
Construcción Cuneta Drenaje Taludes	0,1	400,00	40,00	1,15	46,00	1,92	2
Colocación Capa de Hormigón Taludes	0,088	1970,04	173,36	1,15	199,37	8,31	9
Bulonado Talud	0,093	420,00	39,06	1,15	44,92	1,87	2
Excavación Desmonte	0,013	12354,33	160,61	1,15	184,70	7,70	8
Excavación Terraplén	0,006	15,67	0,09	1,15	0,11	0,00	1
Colocación Malla Desprendimientos	0,167	1970,08	329,00	1,15	378,35	15,76	16
Replanteo	-	-	-	-	-	-	-

*Tabla 1-18 Tiempos Estimados por cada Unidad de Obra. Elaboración Propia*

La duración total de la obra será de 452 días, iniciándose el 01/01/2019 y finalizando el 27/03/2020.

### 1.5.12 Resumen del Presupuesto<sup>12</sup>

Teniendo en cuenta lo expuesto en:

- Orden Circular 37/2016.Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras. Ministerio de Fomento.
- Base de precios tipo general para los proyectos de plataforma. Administración de Infraestructuras Ferroviarias (A.D.I, F).

El presupuesto resultante para el presente proyecto ha sido de:

<b>Capítulo</b>	<b>Importe (€)</b>
1. Obras Previas.....	3152,006
2. Taludes-Movimientos de Tierras.....	164936,04
3. Excavaciones.....	1454035,081
4. Sostenimiento.....	928390,26
5. Emboquilles.....	316243,68
6. Impermeabilización y Drenajes.....	204994,09
7. Firmes.....	135721,15

<sup>12</sup> Ver: “Anejo Presupuesto”



8. Ventilación.....	91524.184
9. Alumbrado.....	267565.11
10. Señalización.....	14318.36
11. Seguridad y Salud.....	121270.54
<b>Total Presupuesto ejecución material.....</b>	<b>3702150.501 €</b>
13% Gastos Generales.....	481279.5651 €
6% Beneficio Industrial.....	222129.03001€
21% I.V.A.....	777451.6052€
<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata.....</b>	<b>5183010.701 €</b>

*Tabla 1-19 Resumen del Presupuesto. Elaboración Propia*

El presupuesto de ejecución por contrata, incluido el I.V.A, asciende a la cantidad de **CINCO MILLONES, CIENTO OCHENTA Y TRES MIL, DIEZ EUROS CON SETECIENTOS UN CENTIMOS**.

## **1.6 Normativa**

- Ley 8/2006, de 13 de noviembre, de Carreteras de Asturias.
- Norma 3.1-IC.Trazado.Instrucción de Carreteras.
- Norma 5.2-IC.Drenaje Superficial. Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero.
- Norma 6.1-IC, Secciones de Firme. Instrucción de Carreteras.
- Norma 8.1-IC.Señalización Vertical. Instrucción de Carreteras. (BOE de 5 de abril de 2014).
- Norma 8.2-IC, sobre Marcas Viales. (BOE del 4 de agosto y 29 de septiembre de 1987).
- Real Decreto 635/2006, Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de Carreteras del Estado.
- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. (BOE del 30/9/2015).
- Real Decreto 1812/1994, de 2 de septiembre, Reglamento General de Carreteras.
- Reglamento de Explosivos, R.D. 230/1998, de 16 de febrero.
- Orden Circular 36/2015, de 24 de febrero, sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles.
- ORDEN de 19 noviembre 1998 por la que se aprueba la instrucción para el proyecto construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS- 98).
- Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación NCSE-02 R.D. 997/2002 de 27 de Septiembre.
- Norma UNE 22-381-93, Control de vibraciones producidas por voladuras.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes PG-3/75.
- Reglamento general de carreteras: R.D. 1812/1994 de 2 de Septiembre. Se exige el cumplimiento de los artículos 29 al 31 en la Orden de Estudios del Proyecto.
- Instrucción de carreteras: Norma 6.1.IC a tener en cuenta en la definición del tipo de firmes Orden/FOM/3460/2003 de 28 de Noviembre.
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, R.D. 863/1985, de 2 de abril, e Instrucciones Técnicas Complementarias referentes al Capítulo X, Explosivos, modificada por la O.M. de 29 de abril de 1987, O.M. de 29 de julio de 1994.
- Reglamento de Policía Minera y Metalúrgica





- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Pliego de cláusulas administrativas generales para la contratación de obras del estado: D. 3854/1970 de 31 de Diciembre.
- Ley de contratos del estado de las administraciones públicas: 13/1995 de 18 de Mayo.
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carreteras IAP aprobada el 12 de febrero de 1998 y publicada en el B.O.E. de 4 de marzo de 1998.
- Instrucción de hormigón estructural (EHE): R.D. 2661/1998 de 11 de Diciembre. modificada R.D. 996/1999 de 11 de Junio.
- pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC-97 R.D. 779/1997 de 30 de Mayo): completa al PG-3 en materias de su competencia.
- Normas UNE de cumplimiento obligatorio en el Ministerio de Obras Públicas.
- Real decreto 1627/1997 de 24 de octubre por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión y normativa complementaria.
- Reglamento de líneas Eléctricas de alta tensión

## 1.7 Bibliografía

### – Libros:

- Ayala Carcedo, F. and Vadillo Fernández, L. (1989). *Manual de Restauración de Terrenos y evaluación de Impactos Ambientales en Minería*. 1st ed. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J. and Herrera Herbert, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. 1st ed. Madrid: E.T.S de Ingenieros de Minas de Madrid.
- Camarero, V. and Miangolarra, J. (2004). *Estabilización de Taludes: Guía para la elaboración del procedimiento..* 1st ed. Bilbao: OSALAN.Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales.
- Cansinos Bajo, A. (2018). *Guía de Iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas*. 1st ed. Madrid: Smartlighting S.L.
- Caterpillar Performance Handbook. (2012). 42nd ed. U.S.A: Caterpillar.
- Cruz Lorenzen, C., Arriagada Moreno, E. and Belmar Lobos, N. (2001). *Manual de Carreteras. Volumen N°2 Procedimientos de estudios Viales*. 1st ed. Chile: Dirección de Viabilidad. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, M. (2014). *Manual de Carreteras, Túneles, Muros Y Obras Complementarias*. 1st ed. Lima (Perú): Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Dirección General de Carreteras, M. (1993). *Manual para el control y diseño de voladuras en obras de carretera*. 1st ed. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Escario, V. (1981). *Desmontes. Estado actual de la Técnica*. 1st ed. Madrid: M.O.P.U-Dirección General de Carreteras.
- Hernan Gavilanes, J. and Andrade Haro, B. (2004). *Introducción a la ingeniería de Túneles*. 1st ed. Quito (Ecuador): Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- Herrera Herbert, J. and Castilla Gomez, J. (2012). *Utilización de Técnicas de Sondeos en estudios Geotécnicos*. 1st ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- Lopez Jimeno, C. (2005). *Ingeniería de Túneles*. 1st ed. Madrid: E.T.S.I Minas-Universidad Politécnica de Madrid.
- Lopez Jimeno, C. (2005). *Ingeo Túneles-Libro 10*. 1st ed. Madrid: E.T.S.I Minas-Universidad Politécnica de Madrid.
- Lopez Jimeno, C., Pernia Llera, J., Pla Ortiz de Urbina, F. and Lopez Jimeno, E. (1987). *Manual de Perforación y Voladura en Rocas*. 1st ed. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Manual Práctico de Voladura. (2010). 1st ed. México: EXSA S.A.
- Megaw, T. and Bartlett, J. (1988). *Tuneles.Planeacion, diseño y construccion.Volumen I.* 1st ed. México: Editorial Limusa S.A de C.V.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, D. (2015). *Guía de control de incendios en Obras Subterráneas*. 1st ed. Madrid: Secretaria General de Energía.
- Mundial de Carreteras, A. (2016). *Manual de Túneles de Carretera*. 1st ed. Madrid: Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR).
- Navarro Carrasco, S., Primitivo Ortiz Gómez, R. and Ruiz Marín, J. (2014). *Geotecnia Aplicada a la construcción de Túneles*. 1st ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Oficial J.M Madariaga, L. (2015). *Guía sobre Control Geotécnico en Minería Subterránea*. 1st ed. Madrid: Laboratorio Oficial J.M Madariaga.
- Pedroza Rojas, A. (2015). *Compilación de conceptos y tablas de Mecánica de Rocas según consulta de diferentes fuentes*. 1st ed. Santander: Universidad Francisco de Paula.
- Puertas Herranz, J. (2010). *Estimación de coste y plazo en proyectos de túneles ejecutados mediante excavación convencional y voladura*. Licenciatura. Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.
- Puerto, J. (2014). *Túneles de Carretera. Compendio*. 1st ed. Bogotá: Pontifica Universidad Javeriana.
- Ramirez Oyanguren, P. and Alejano Monge, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. 1st ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- Rey Sabin, A., Pardo Fernández, G. and Hurtado Agra, R. (2010). *Túneles y Obras Subterráneas*. 1st ed. Madrid: SIKA S.A.U.
- Ruiz Esparza, G., Murrieta Cummings, R. and Poon Hung, C. (2016). *Manual de Diseño y Construcción de Túneles de Carretera*. 1st ed. México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Dirección General de Servicios Técnicos.
- Ruiz Flaño, P., Serrano Cañadas, E., Poblete Piedrabuena, M. and Ruiz Fernández, J. (2008). *De Castilla al Mar. La Naturaleza del paisaje en la montaña Cantábrica*. 1st ed. Oviedo: Asociación de Geógrafos Españoles. Universidad de Valladolid. Universidad de Oviedo.
- Slide (2018). *Manual de Slide*. 1st ed. Madrid: Slide.
- Sosa González, H. (1990). *Fundamentos sobre Excavación de Túneles*. 1st ed. Quito: Humberto Sosa González.
- Ventilación de Minas. (2010). 1st ed. Gijón: Zitron.
- Vie, G. (1970). *Problemas de desescombros en galería y otros trabajos subterráneos*. 1st ed. Madrid: Informes de la construcción.
- **Proyectos y Tesinas:**
  - Abando Seco, D. (2015). *Proyecto de ejecución de túnel carretero en la N-611*. Proyecto fin de Carrera. Universidad de Cantabria. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.
  - Aduvire, O., Quinteros, J. and Mazadiego, L. (2018). *Aplicación de los índices geomecánicos en el arranque de rocas mediante excavación o voladura*. Proyecto Técnico. SVS Ingenieros S.A.C, Golder Associates Perú S.A, Universidad Politécnica de Madrid.
  - Arias Estrella, M. (2016). *Diseño de Portales Evitando o Reduciendo el Corte en rocas*. Tesis Doctoral. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá.
  - Castresana González, L. (2016). *Análisis Comparativo de Metodología de Sostenimiento de Túneles*. Trabajo fin de Master. Universidad de Oviedo.
  - Cimadevila Salcines, A. (2008). *Proyecto de excavación y sostenimiento del túnel de Camijanes*. Proyecto de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

- Dianeth Veliz Arévalo, C. (2009). *Estabilización de taludes con pantallas de concreto lanzado con malla electrosoldada y anclajes de concreto reforzado*. Proyecto fin de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
- Diez Gil, D. (2017). *Proyecto de Ejecución de Túnel carretero en Oyon, Perú*. Trabajo fin de Master. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía Perú.
- ESTEYCO (2014). *Estudio Informativo de la solución soterrada de acceso al aeropuerto. Tramo: La ola-Sondika*. Proyecto Técnico. Euskal Trenbide Sarea.
- Etxebarria Altuna, A. (2017). *Análisis Comparativo del desescombro de un túnel ferroviario avanzado con rozadora (minador)*. Trabajo Fin de Master. Universidad de Oviedo. Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales.
- Euskontrol (2014). *Proyecto de actuación en talud de la A-8 en el P.K 134+600 D*. Proyecto Técnico. Euskontrol.Diputacion Foral de Bizkaia.
- Extremiana Vázquez, I. (2010). *Gestión de Riesgos en Proyectos de Túneles*. Licenciatura. Universidad de la Rioja.
- FCC Construcción (2004). *Túnel de L'Olleria II*. Valencia: FCC Construcción.
- Gómez García, J. (2015). *Proyecto de una instalación eléctrica de un túnel de autopista*. Trabajo fin de Grado. Universidad de Salamanca. Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- González Fernández, A. (2016). *Construcción de un Túnel ferroviario para la línea de alta velocidad Madrid-Extremadura en la provincia de Cáceres*. Grado. Universidad de Leon.Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas.
- Gullon Conejo, J. (2016). *Proyecto de construcción del túnel El Regajal .Incluido en la línea de alta velocidad de Levante-Madrid-Castilla la Mancha-Comunidad Valenciana-Región de Murcia. Tramo: Aranjuez-Ontigola*. Grado. Universidad de Leon.Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas.
- Martínez Lopez, J. (2016). *Proyecto de Construcción de un túnel carretero en Cabra de Santo Cristo*. Grado. Universidad de Jaen.Escuela Politécnica Superior de Linares.

- Mateo Santana, R. (2013). *Caracterización a Cortante de Hormigón Projectado*. Tesis de Master. UPC Barcelonatech.Escuela de Camins.
- Olivares Navarro, C. (2015). *Climatología en Asturias en el Periodo 1981-2010*. Trabajo fin de Master. Universidad de Oviedo.
- Puertas Herranz, J. (2010). *Estimación de coste y plazo en proyectos de túneles ejecutados mediante excavación convencional y voladura*. Licenciatura. Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i ports de Barcelona.
- Roberto Soto Saavedra, P. (2004). *Construcción de Túneles*. Tesis Fin de Carrera. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería.Escuela de Construcción Civil.
- Romeo Lacom, E. (2012). *Ventilación longitudinal del "Fuego Tipo" en túnel carretero*. Master. Universidad Pontificia de Comillas.
- Ruiz Fuentes, J. (2015). *Túnel Carretero en Molinicos (Albacete)*. Grado. Universidad de Jaen.Escuela Politécnica Superior de Linares.
- Sena Leite, F. (2013). *Desarrollo de una Herramienta para diseño de voladuras en túneles*. Proyecto Fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid.
- Solano Moli, G. (2012). *Proyecto de estabilización de taludes y protección contra desprendimientos en la ladera del Parral de la localidad de Benaocaz.Provincia de Cádiz*. Proyecto Final de Carrera. Escola Técnica Superior d Enginyeria Agraria.Universitat de Lleida.
- Trinidad Vega Morales, J. (2015). *Procedimiento Constructivo del túnel Sinaloense carretera Durango-Mazatlán*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de Mexico.Facultad de Ingeniería.
- Velez Isasmendi, G. (2012). *Modelado y simulación de hormigón proyectado para su uso en aplicaciones de entrenamiento en tiempo real*. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra. Escuela Superior de Ingenieros.
- Presentaciones y Conferencias:
- Andina, G. (2011). *Optimización en el diseño de Túneles*.
- Conde, R. (2013). *Hidráulica de Túneles*. 1st ed. Chile: Richard Conde.

- Copco, A. (2004). *Perforación, Voladuras y Tratamientos en desmontes, Túneles y Canteras*. 1st ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Fundación Agustín de Betancourt.
- Usabiaga, M., Pinillos, L., Ramírez, P., Martín, F. and Arroyo, J. (2014). *Diseño, Fabricación y puesta en obra del hormigón proyectado en obras subterráneas*.
- Vergara Medina, E. and Villanueva Tacilla, O. (2018). *Diseño de Secciones Típicas de un Túnel*. 1st ed. Lima (Perú): Universidad Alas Peruanas.
- **Documentación Universitaria:**
  - ADIF (2008). *Base de Precios tipo General para los proyectos de la plataforma*. 1st ed. Madrid: Administración de Infraestructuras Ferroviarias.
  - Cherne Tarilonte, J. and González Aguilar, A. (2012). *Movimientos de Tierras*. 1st ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Ingeniería Industrial.
  - Collazos Sandoval, C. (2016). *Diseño y Construcción de Túneles y Obras Subterráneas.3.1 Diseño de Portales*.
  - Fuentes-Cantillana Isusi, J. (n.d.). *Influencia de la Ventilación sobre los incendios en Túneles*. 1st ed. Siero (Asturias): Tunnel Safety Testing S.A.
  - G. Romana, M. (2006). *Curso Introducción a los túneles de carretera: Diseño y Seguridad*. 1st ed. Madrid: Escuela Técnica Superior de Caminos. Universidad Politécnica de Madrid. Fundación Agustín de Betancourt.
  - Julivert, M. (1967). *La ventana tectónica del río color y la prolongación Septentrional del Manto del Ponga (Cordillera Cantábrica, España)*. 1st ed. Oviedo: Facultad de Ciencias. Universidad de Oviedo.
  - Martínez Álvarez, J. (1991). *Rasgos Geológicos de la zona oriental de Asturias*. 1st ed. Oviedo: J.A Martínez Álvarez.
  - Muñoz Villalobos, J. (2014). *Perforación y voladura*.
  - Pérez Álvarez, R. (2016). *Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas*.
  - Politécnica de Catalunya, U. (2016). *Tunels i Mecánica de Roques*.
  - Romana Ruiz, M. (2000). *Nuevas Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles y boquillas*.
- **Documentación Gubernamental:**

- Anadón Álvarez, R. (2009). *Evidencias y Efectos potenciales del cambio climático en Asturias*. Oviedo: Gobierno del Principado de Asturias.
- Cámara de Comercio de Llanes (2006). *Observatorio Económico Local*. Llanes: Cámara de Comercio de Llanes.
- Consejo Económico y Social del Principado de Asturias (2007). *Población, Administración y Territorio en Asturias*. Oviedo: Consejo Económico y Social del Principado de Asturias.
- Departamento de Transportes y Obras Públicas (1996). *Costes de Inversión en Túneles de Carretera*. Vitoria-Gasteiz: Gobierno Vasco.
- Gobierno de Canarias. Conserjería de Empleo, Industria y Comercio. Dirección General de Industria (2011). *Manual Técnico para la ejecución de Galerías*. Tenerife: Gobierno de Canarias.
- Instituto Geológico y Minero de España (1984). *Mapa Geológico de España Escala 1/50000.Hoja Beleño*. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.
- Instituto Geológico y Minero de España (1987). *Mapa de Movimientos del Terreno de España a Escala 1: 1000000*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ministerio de Fomento. Gobierno de España (2016). *Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC*. Madrid: Dirección General de Infraestructuras.
- Ministerio de Industria. Dirección General de Minas. (1973). *Mapa Geotécnico General Escala: 1/200000*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- **Tutoriales.**
  - Manager Institute, P. (2013). *Microsoft Project Professional 2013*. 1st ed. Madrid: Project Manager Institute.
  - Manual de Examine 2D (2018). *Manual de Examine 2D*. 1st ed. Madrid: Examine.
  - Manual de Slide (2018). *Manual de Slide*. 1st ed. Madrid: Rocscience.
  - Manual Dips (2011). *Manual Dips*. 1st ed. Madrid: Dips.
  - Tutorial Swedge (2017). *Tutorial Swedge*. 1st ed. Madrid: Rocscience.
- **Revistas:**
  - Cornejo Álvarez, L. (1986). Rozabilidad, desgastes y rendimientos en la excavación de rocas con máquinas rozadoras. *Industria Minera*, (Nº 258), pp.1-49.





– **Software:**

- Bane Kroeger, E. (2002). *Wedge Failure Analysis Module*. Carbondale, Illinois.: Southern Illinois University. Department of Mining Resources Engineering.
- Bane Kroeger, E. (2003). *Plane Failure Analysis Module*. Carbondale, Illinois.: Southern Illinois University. Mining and Mineral Resources Engineering.
- MICROSOFT, M. (2018). *Microsoft Project*. U.S.A: Microsoft.
- Rocscience, R. (2004). *Slide*. 31 Balsam Ave., Toronto, Ontario, Canada: Rocscience Inc.
- Rocscience, R. (2005). *Swedge*. 31 Balsan Ave., Toronto, Ontario, Canadá: Rocscience Inc.
- Stowell, K. (2004). *Unwedge*. 31 Balsam Ave., Toronto, Ontario, Canada. Rocscience Inc.

## 2 **Documentos del Proyecto**

El presente Proyecto consta de los siguientes documentos:

– Anejos:

- Anejo N°1. Geología y Geotecnia.
- Anejo N°2. Definición Geométrica del Trazado.
- Anejo N°3. Método Constructivo.
- Anejo N°4. Voladuras.
- Anejo N°5. Taludes y Emboquille.
- Anejo N°6. Sostenimiento de la Galería.
- Anejo N°7. Ventilación.
- Anejo N°8. Electrificación.
- Anejo N°9. Impermeabilización y Drenaje.
- Anejo N°10. Justificación de Firmes.
- Anejo N°11. Plan de Obra.

– Planos:

- Plano N°1. Situación y Emplazamiento.
- Plano N°2. Perfil Longitudinal.
- Plano N°3. Sección Transversal del Túnel.
- Plano N°4. Planta General. Emboquille Norte.
- Plano N°5. Planta General. Emboquille Sur.
- Plano N°6. Cubicación Emboquille Norte.
- Plano N°7. Cubicación Emboquille Sur.
- Plano N°8. Perfiles Transversales. Salida Túnel Boca Norte.
- Plano N°9. Perfiles Transversales. Salida Túnel Boca Sur.
- Plano N°10. Perfiles Transversales. Cubicación Emboquille Norte.
- Plano N°11. Perfiles Transversales. Cubicación Emboquille Norte 2.
- Plano N°12. Perfiles Transversales. Cubicación Emboquille Sur.
- Plano N°13. Perfiles Transversales. Cubicación Emboquille Sur 2.
- Plano N°14. Perfiles Transversales Sección Túnel.



- Plano N°15.Voladuras.
- Plano N°16.Detalle Paraguas Emboquille.
- Plano N°17.Detalle Impermeabilización y Drenaje.