



RELACIÓN ENTRE EL RMR DEL TERRENO Y EL CONSUMO DE PICAS EN EL METRO DE SAN SEBASTIÁN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

AUTOR: JULEN SALAS CARNICERO

MÁSTER: CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL AGUA Y DEL TERRENO

TUTOR: EMILIO TRIGUEROS

FECHA: SEPTIEMBRE 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena

1. ANTECEDENTES Y OBJETOS DEL PROYECTO	3
1.1. Antecedentes Administrativos	3
1.2. Antecedentes Técnicos	4
1.3. Objeto del Proyecto	4
2. JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA	4
2.1. Situación actual	4
2.2. Justificación de la solución adoptada.....	5
3. DESCRIPCION DE LAS OBRAS.....	6
3.1. Descripción general y alcance de las obras.....	6
3.1.1. Descripción general.....	6
3.1.2. Situación y emplazamiento.	7
3.1.3. Geometría del proyecto	9
3.1.4. Alcance de las obras.....	9
3.2. Trazado.....	10
3.3. Obras singulares.....	11
3.3.1. Estación Bentaberri	11
3.3.2. Estación Matia Antiguo	11
3.3.3. Telescopio de Lugaritz.....	11
3.3.4 Rampa de Ataque y Ventilación Emergencia Bentaberri.	13
3.3.5 Rampa de Ataque, Ventilación y Salida de Emergencia La Concha.	13
3.4. Método Constructivo	14
4. GEOLOGIA Y GEOTECNIA.....	16
4.1. Geología	16
4.1.1. Marco geológico regional.....	16
4.1.2. Litología	17
4.2. Caracterización Geotécnica de los materiales.	22
4.3. Perfil Geológico	32
5. EXCAVACION MEDIANTE ROZADORA.	33
5.1. Introducción Rozadoras	33
5.2. Componentes principales y diferentes tipologías.....	34
5.2.1. Cabeza de corte.....	34
5.2.2. Herramientas de corte	36
5.3. Justificación del Sistema Constructivo	38
5.4. Selección de equipo	39
5.4.1. Configuración de los brazos y de la cabeza de corte	39

5.5. Parámetros geotécnicos.....	41
6. CONSUMO DE PICAS	42
6.1. Introducción	42
6.2. Tramificación del túnel.....	42
6.2.1. Dominios estructurales en el túnel.	43
6.2.2. Tramificación del túnel.....	45
6.3. Consumo de Picas: Tramo 1, Lugaritz	46
6.4. Consumo de picas: Tramo 2, Pio Baroja.....	48
6.5. Sostenimiento empleado en la excavación.....	51
7. ANALISIS DEL CONSUMO DE PICAS EN FUNCION DEL RMR.....	52
7.1. Análisis del consumo de picas, Tramo 1 Lugaritz.....	52
7.1.1. Introducción	52
7.1.2. Rendimiento neto	52
7.1.3. Rendimiento de corte instantáneo	53
7.1.4. Consumo de picas por metro cúbico.....	54
7.1.5. Relación lineal entre el consumo de picas y el RMR del terreno	55
7.2. Análisis del consumo de picas, Tramo 2 Pío Baroja	57
7.2.1. Introducción	57
7.2.2. Rendimiento neto	57
7.2.3. Rendimiento de corte instantáneo	58
7.2.4. Consumo de picas por metro cúbico.....	59
7.2.5. Relación lineal entre el consumo de picas y el RMR del terreno	60
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. ANTECEDENTES Y OBJETOS DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes Administrativos

El Gobierno Vasco a través de los sucesivos departamentos que han ostentado la competencia en materia de Transporte y Ferrocarriles y a través de las Sociedades Públicas relacionadas con estas materias, ha realizado e impulsado numerosas actuaciones con el fin de mejorar el transporte público por ferrocarril.

Desde la formalización del Plan de Construcción del Metro de Bilbao en 1987 (que llevó a la puesta en servicio de la Línea 1 en 1995) sucesivamente se han ido abordando los Planes de Actuación Ferroviaria (1989-1992 y 1994-1999) sobre la red existente, para continuar con los estudios generales de redes ferroviarias realizadas entre el 2000 y 2002 en los ámbitos de Bilbao Metropolitano, Donostialdea y Álava Central.

Las principales conclusiones de estos trabajos fueron plasmadas en una serie de actuaciones que se recogieron dentro del Plan Euskotren XXI dentro de las posibilidades presupuestarias existentes en cada momento.

Durante los últimos años se ha producido un gran crecimiento de la movilidad motorizada, con tasas anuales acumulativas de entre el 3,5 % y 5% según áreas. En muchas zonas, lamentablemente, este incremento de movilidad ha sido en base al vehículo privado de forma casi exclusiva, siendo la colaboración del transporte público algo simbólico.

Una de estas zonas donde el transporte público no ha sido capaz de captar este incremento de movilidad es el área de Donostialdea, donde tanto los autobuses como los ferrocarriles del área muestran un marcado estancamiento del número de viajeros.

Los motivos de esta situación son múltiples, tal y como se plantea en los documentos que dan soporte al Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Donostia-San Sebastián y requiere diversas actuaciones tal como se indica en este plan.

El incremento de movilidad que se ha producido ha sido muy superior al inicialmente previsto en el Estudio de Red Ferroviaria de Donostialdea, obligando así a adoptar soluciones más ambiciosas que las inicialmente propuestas.

Para ello, ETS adjudicó, en octubre de 2010, la redacción del Estudio Informativo del Metro de Donostialdea. Entre los documentos incluidos en dicho contrato y que guardan estrecha relación con el objeto del presente documento, se encuentran:

- Estudio de Viabilidad del Metro de Donostialdea.
- Estudio Informativo del Metro de Donostialdea tramo Lugaritz-Anoeta.

Con estas premisas, se justifica la viabilidad económica-social y la viabilidad funcional-técnica, ETS convoca los concursos públicos para la redacción de los proyectos de construcción que se dividen en los tramos Lugaritz-La Concha, La Concha-Morlans y Morlans-Anoeta. Se formaliza el contrato del tramo Lugaritz-La Concha el 24 de junio de 2011.

1.2. Antecedentes Técnicos

La realización de los trabajos objeto del presente proyecto se han basado en los siguientes estudios y proyectos:

- Estudio Informativo del Metro de Donostialdea. Tramo: Lugaritz-Anoeta (noviembre de 2010).
- Estudio de la red ferroviaria en el Área Funcional de Donostialdea (febrero de 2003).
- Modificación del Plan Territorial Sectorial de la Red Ferroviaria en la Comunidad Autónoma del País Vasco relativa a la ordenación ferroviaria en el Territorio Histórico de Gipuzkoa, aprobada inicialmente mediante Orden de 25 de enero de 2005, del Consejero de Transportes y Obras Públicas.
- Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Donostia-San Sebastián.
- Proyectos de construcción de los tramos Lasarte-Rekalde, Rekalde-Añorga, Loiola-Herrera y Fandería-Oiartzun de la línea Lasarte-Hendaia.
- Documentos de liquidación de obras ferroviarias ejecutadas en la zona, en especial, el correspondiente al tramo Añorga-Amara.

1.3. Objeto del Proyecto

El objeto del presente documento es definir, con el nivel propio de un proyecto de construcción, la relación existente (análisis estadístico) entre el consumo de picas de una Rozadora MT720 y el RMR (rock mass rating) del terreno que transcurre en el tramo entre Lugaritz y La Concha, tramo que pertenece a la variante ferroviaria de Donostia entre Lugaritz y Anoeta de la línea Lasarte-Hendaia.

2. JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA

2.1. Situación actual

Donostia (San Sebastián) dispone de un sistema ferroviario al que cabe achacarle los siguientes problemas:

- Imposibilidad de adecuación a las altas frecuencias, aceleraciones y velocidades exigidas por los sistemas de Metro, principalmente derivado de la inadecuada infraestructura (tramos en vía única), instalaciones (sistema de seguridad) o material móvil.

- Inadecuada accesibilidad al centro metropolitano, ya que la línea de Euskotren discurre por zonas perimetrales de la ciudad, entre Lugaritz y Herrera.
- Por último y sólo en algunos tramos de la línea, una baja accesibilidad a los principales centros residenciales y de actividad de los corredores comarcales y ausencia de cobertura de municipios como Hondarribia.

En la actualidad, la demanda ferroviaria se encuentra en ligero descenso y las conexiones comarcales con el centro metropolitano se realizan en gran medida en autobús. El autobús regular es capaz de soportar la congestión diaria del tráfico en hora punta, siendo necesario establecer sistemas de capacidad, independientes de la red viaria.

En lo referente al tramo objeto del presente proyecto, la línea de Euskotren actualmente atraviesa el oeste de Donostia-San Sebastián, desde Lugaritz hasta Amara, por Morlans. Esto representa un déficit de accesibilidad a zonas residenciales como Lorea, Bentaberri, Matia y Ondarreta; centros de actividad como los polígonos de Igara Zuatzu; equipamientos como la Universidad o las propias playas de Ondarreta y La Concha, como áreas de ocio.

2.2. Justificación de la solución adoptada.

El presente proyecto de construcción tiene su justificación en las conclusiones del Estudio Informativo del Metro de Donostialdea, estas conclusiones avalan las premisas que dieran lugar a su redacción. El Estudio de Viabilidad junto al Estudio Informativo del tramo Lugaritz-Anoeta, justifican la viabilidad económico-social, por un lado, y la factibilidad técnica, por otro.

Debido a la problemática que plantea la situación actual del sistema ferroviario, la adecuación de la actual línea de Euskotren entre Lasarte y Hendaia pasa por una mejora de la infraestructura, superestructura, instalaciones, estaciones y material móvil. Sobre todo, por implantar un sistema de metro, ya que se trata de un modo de transporte público de alta capacidad y mayor accesibilidad que los sistemas convencionales ferroviarios cercanos.

Con el fin de mejorar la cobertura y la accesibilidad comarcal, la propuesta del sistema de metro va acompañada de:

- Mayor cobertura poblacional con la construcción de nuevas estaciones, en los lugares adecuados desde el punto de vista de la demanda, accesibles para los peatones y con buena comunicación con los demás modos de transporte público. Todo ello haciendo compatible unas distancias entre estaciones similares a las que habitualmente se adoptan en los sistemas de metro.
- La construcción de una nueva estación en Riberas de Loiola que dé cobertura a tres modos de transporte: Metro, ferrocarril convencional y autobús urbano. Riberas de Loiola se considera el principal punto crítico para una adecuada

intermodalidad metropolitana, debido a que existe la posibilidad de realizar transbordos en dicha zona, permite acercar a la nueva línea de metro a barrios como Egia o Gros, a través de la posibilidad de realizar transbordo entre el ferrocarril convencional y el metro, se hace accesible la estación de Alta Velocidad de Atotxa y la futura estación de autobuses interurbanos.

- Extensión del servicio a Hondarribia y al aeropuerto, ya que estas zonas no tienen accesibilidad ferroviaria en la actualidad.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

3.1. Descripción general y alcance de las obras

3.1.1. Descripción general

El presente proyecto se enmarca en la conversión de la línea ferroviaria actual Lasarte-Hendaia en un sistema del servicio metropolitano de altas prestaciones en frecuencia y calidad, más concretamente, en la Variante de Donostia definida en el Estudio Informativo del Metro de Donostialdea. Dentro del tramo Lugaritz-Anoeta, se sustituye el trazado actual Lugaritz-Amara-Anoeta por otro que recorre las zonas bajas de la ciudad, dando accesibilidad a la población mediante cinco nuevas estaciones y dando continuidad a la línea mediante un recorrido completamente subterráneo.

El proyecto abarca el tramo inicial desde la estación de **Lugaritz** hasta **La Concha**, con una longitud de **2,6 km** de nuevo tramo de doble vía en túnel, en el que se incluyen dos estaciones subterráneas: **Bentaberri** y **Matia-Antiguo**.

La distancia entre la estación de Lugaritz y la de Bentaberri es de **1.160 m** y la correspondiente al tramo entre Bentaberri y Matia-Antiguo es de **555 m**.

La estación de **Bentaberri** dispone de dos bocas de acceso mediante cañón. Una en la calle Eugenio Imaz, para atender a las zonas de Lorea y la Universidad. La segunda en la calle José Goikoa, entre el instituto y la zona deportiva, que atiende a Bentaberri y el ámbito norte de la zona universitaria. La estación cuenta también con un ascensor de conexión con la calle Zarautz, situado junto al ascensor existente que da acceso a las zonas altas de la calle Aizkorri.

La estación de **Matia-Antiguo** dispone de tres cañones de acceso y de un acceso directo mediante ascensor. El primer cañón tiene su boca en la plaza de Bentaberri, dando cobertura a las zonas de Bentaberri, Matia y Ondarreta que confluyen en este entorno, estando situado muy próximo al ascensor municipal de acceso a las zonas altas. La segunda se ubica en la calle Matia, a la altura de la plaza Gascaña, cubriendo la zona tradicional del Antiguo, Ondarreta norte y la propia playa de Ondarreta, situándose a 250 m de ella. El tercer cañón constituye el acceso a las zonas altas situadas entre el paseo de Heriz, la calle Aizkorri y el Seminario, a través de un túnel/galería y un ascensor. El

ascensor de acceso directo a la estación se ubica en la calle Matia, frente a la plaza Txalupagillene.

Las estaciones van equipadas con un amplio programa de cuartos técnicos, e incluyen el túnel y salida de la ventilación de extracción bajo andén. En el túnel de línea y a cada lado de cada estación se sitúan los pozos de ventilación de emergencia.

Para la ejecución de la obra se proyectan **dos rampas de ataque: Bentaberri y La Concha**. La primera, con boca de acceso en la calle Zarautz al sur de la estación, hará las veces de túnel para ventilación de emergencia. La de La Concha, situada entre el paseo de La Concha y el paseo de Miraconcha (ocupando parte de éste) servirá de ataque para el tramo final de este proyecto y para el tramo inicial del proyecto que definirá la línea entre La Concha y Morlans. Ésta servirá, además, para ventilación y salida de emergencia.

El proyecto incluye una **obra singular** destacada, la conexión del nuevo túnel con el túnel actual de Lugaritz, una vez superada la estación, mediante la ampliación del túnel existente. La ampliación se realiza con la geometría denominada de **telescopio** que consiste en ampliar la anchura del túnel en tramos discretos (no de forma continua) hasta conseguir una anchura total en la que encajen los dos tubos independientes. Se han fijado **cinco tramos** para definir la geometría del telescopio siendo el primer tramo de una longitud de 20 m y las cuatro restantes de 12 m, hasta alcanzar la longitud total para esta obra singular de **68 m**. El acceso al tramo en cuestión se hará, en todo momento, desde el propio túnel en construcción.

3.1.2. Situación y emplazamiento.

El túnel objeto de estudio está ubicado en Donostia-San Sebastián, capital de la provincia de Guipúzcoa, en la comunidad autónoma del País Vasco. El trazado del túnel se desarrolla entre la Estación de Lugaritz y el entorno de La Concha. La estación de Lugaritz en el término municipal de San Sebastián es una estación ferroviaria situada entre los barrios de Ayete y Ibaeta-Antiguo, en el paseo de Lugaritz. Da servicio a la línea de metro de Donostialdea y a la línea de cercanías San Sebastián-Bilbao. La playa de La Concha es una playa situada en la bahía de la Concha de la ciudad de San Sebastián.



Imagen 1. Ubicación del tramo Lugaritz-La Concha.



Imagen 2. Ubicación del tramo Lugaritz-La Concha.

El **Emboquille Sur** del túnel se sitúa a unos 100 metros de la estación de Lugaritz (**Telescopio de Lugaritz**), en la vertical del edificio conocido como el Geriátrico, siendo el **PK 0+000.00**. El **emboquille Norte (La Concha)** se sitúa entre el paseo de La Concha y el paseo de Miraconcha (ocupando parte de éste), siendo el **PK 2+600**.



Imagen 3. Emplazamiento del tramo de túnel Lugaritz-La Concha (Proyecto constructivo del metro de donostialdea tramo Lugaritz – La Concha, marzo 2012).

3.1.3. Geometría del proyecto

El **trazado en planta** viene condicionado por la búsqueda de material competente para la ejecución del túnel, por lo que se sitúa en la banda del encuentro de la zona llana de la Vega del Antiguo con la ladera oeste del monte que la separa de la vega del Urumea, llegando así a un equilibrio entre la profundidad del trazado y la proximidad de las bocas de acceso a los puntos de máxima cobertura poblacional. Con ello se han adoptado radios de **150 m** en los encuentros con las estaciones, de **170 m** en el tramo Bentaberri-Matia Antiguo, de **200 m** entre Lugaritz y Bentaberri, y de **350 m** a partir de Matia-Antiguo.

En relación con el **trazado en alzado**, la cota impuesta de partida de la estación Lugaritz (+**14.00**) obliga a adoptar una pendiente límite de **39,5 %** en el tramo hasta la estación de Bentaberri (-**16.00**), entre esta y Matia-Antiguo (-**22.00**) de **35 %**, debido a la profundidad de la roca competente. En el tramo hacia la concha la pendiente máxima es de **30 %**. La tapada menor sobre la clave del túnel se encuentra sobre la estación de Matia-Antiguo, donde la distancia entre los sótanos de los edificios y la clave de la caverna se reduce a 14 m.

3.1.4. Alcance de las obras

Quedan excluidos en el proyecto los trabajos de ejecución del cañón de acceso a la estación de Matia-Antiguo desde Heriz, la excavación de la destroza y el revestimiento del túnel entre la estación de Matia y el P.K. 2+600 (en este tramo únicamente se ejecuta la excavación y el sostenimiento en avance). Los trabajos de revestimiento, salida y ventilación de emergencia y restitución de la urbanización, en la rampa de La Concha, también quedan excluidos.

Tampoco serán objeto de proyecto las siguientes instalaciones:

- Electrificación y señalización del tramo
- Alumbrado en túnel
- Instalaciones eléctricas y equipos asociados
- Instalaciones mecánicas: climatización y ventilación
- Medios de elevación y transporte mecánico (escaleras, ascensores y pasarelas)
- Instalaciones de información dinámica al viajero en estaciones, instalaciones de seguridad de viajeros e instalaciones de comunicación y control de estaciones.

3.2. Trazado

La definición del trazado se lleva a cabo a través de un eje principal y los ejes de vía izquierda y vía derecha. Al tratarse de un trazado en túnel, el eje principal representa el eje del túnel y las vías izquierda y derecha basculan respecto al mismo en función de los gálibos de entrevía, gálibo interior y gálibo exterior necesarios para cada radio de curvatura.

El trazado, tanto en planta como en alzado, se ajusta a los condicionantes existentes, consistentes principalmente en:

- Conexión con las vías existentes en el punto inicial del trazado.
- Ajuste a la geología del terreno buscando discurrir siempre en roca con recubrimiento suficiente, por lo que el trazado bordea el cerro de roca que constituye la parte alta del Antiguo.
- Ubicación de las estaciones de manera que sus bocas den servicio a las zonas de mayor importancia poblacional y de servicios.

Para el diseño de los ejes ferroviarios se ha realizado una comprobación cinemática del trazado, teniendo en cuenta los valores admisibles de aceleración no compensada y peralte para las curvas circulares y de rampa de peralte, velocidad ascensional y sobre aceleración para las clotoides.

Los parámetros de diseño del nuevo trazado resultantes del mencionado análisis cinemático son los siguientes:

- Tramo Lugaritz - Bentaberri: Radio mínimo de 200 m y velocidad de circulación de 75 km/h.
- Curvas de acceso a las estaciones de Bentaberri y Matia-Antiguo: Radio mínimo de 150 m y velocidad de circulación de 50 km/h.
- Tramo Bentaberri - Matia/Antiguo: Radio de 170 m y velocidad de circulación de 65 km/h.
- Tramo Matia/Antiguo – La Concha: Radio mínimo de 350 m y velocidad de circulación de 80 Km/h.

En alzado, la pendiente máxima alcanza los 39,5 % y el parámetro mínimo de los acuerdos verticales es de 1250 m (compatible con la aceleración máxima admisible para la velocidad de circulación).

3.3. Obras singulares

3.3.1. Estación Bentaberri

La estación de Bentaberri se sitúa entre los P.K. 1+048 y 1+128. Constituye la primera de las dos estaciones en caverna del tramo.

Los PP.KK. anteriores limitan la zona recta del trazado (tanto en planta como en alzado) dentro de la cual se disponen los andenes de 80 m de longitud. La longitud total de la estación es de 94,8, disponiéndose aproximadamente 6.20 m antes de la zona recta y 8.60 m posteriormente a la misma.

La distancia entre cota de carril y terreno natural oscila entre 32 y 47 m existiendo pues más de 20 m de terreno sobre la clave de la caverna.

La Estación de Bentaberri situada en el encuentro de la calle de Zarautz con la calle de Resurrección María de Azkue, ubicación desde la que cabe optimizar el grado de accesibilidad a los dos desarrollos más significativos de la zona de Bentaberri: por un lado, el conjunto del equipamiento universitario y educativo, y por otro el ensanche residencial.

3.3.2. Estación Matia Antiguo

La Estación de Matia-Antiguo se sitúa entre los PP.KK. 1+699 y 1+779. Constituye la segunda de las estaciones en caverna del tramo.

Los PP.KK. anteriores limitan la zona recta del trazado (tanto en planta como en alzado) dentro de la cual se disponen los andenes de 80 m de longitud. La longitud total de la estación es de 97,20 m, disponiéndose aproximadamente 8,60 m antes de la zona recta y 8,60 m posteriormente a la misma.

La distancia entre cota de carril y terreno natural oscila entre 32 y 33 m existiendo 14 m de terreno entre la clave de caverna y los sótanos más próximos.

El centro de la Estación de Matia-Antiguo se sitúa entre la calle Aizkorri y la calle Matia.

Al margen de la accesibilidad a través del ascensor vinculado a la estación, ubicado en la calle Matia junto a la Txalupagillene, se disponen de tres cañones de acceso a la estación: el primer de ellos situado en la plaza Bentaberri, el segundo en la Calle Matia a la altura de la Plaza Gascuña, y el tercero situado en el entorno de Heriz.

3.3.3. Telescopio de Lugaritz

El origen del tramo Lugaritz-La Concha se sitúa a unos 100 metros de la estación de Lugaritz, en la vertical del edificio conocido como el Geriátrico. Desde este punto el trazado del ferrocarril se separa de la alineación recta del túnel actual mediante dos desvíos del tipo DSMH-C-UIC54-300-1:11-CC-D/I-TC.

En los primeros 68 metros del trazado y antes de que el nuevo túnel sea independiente del existente, es preciso ejecutar la ampliación de este último para que puedan coexistir el trazado actual y el futuro trazado del ferrocarril.

La ampliación se podrá realizar con la geometría denominada de telescopio que consiste en ampliar la anchura del túnel en tramos discretos (no de forma continua) hasta conseguir una anchura total en la que encajen los dos tubos independientes. Se han fijado cinco tramos para definir la geometría del telescopio siendo el primer tramo de una longitud de 20 m y los cuatro restantes de 12 m, hasta alcanzar la longitud total para esta obra singular de 68 m.

El telescopio se consigue mediante seis secciones tipo, ampliando el túnel actual de geometría circular de doble radio.

Las secciones ampliadas cumplirán el galibo exigido, tendrán tres radios con bóveda rebajada para reducir la altura del túnel.

La anchura interior pasa de os 8,1 metros actuales a un máximo de 20,3 metros y la altura interior de 6,55 metros a 10,60 metros. El recubrimiento de roca en esta zona es de unos 50 metros.

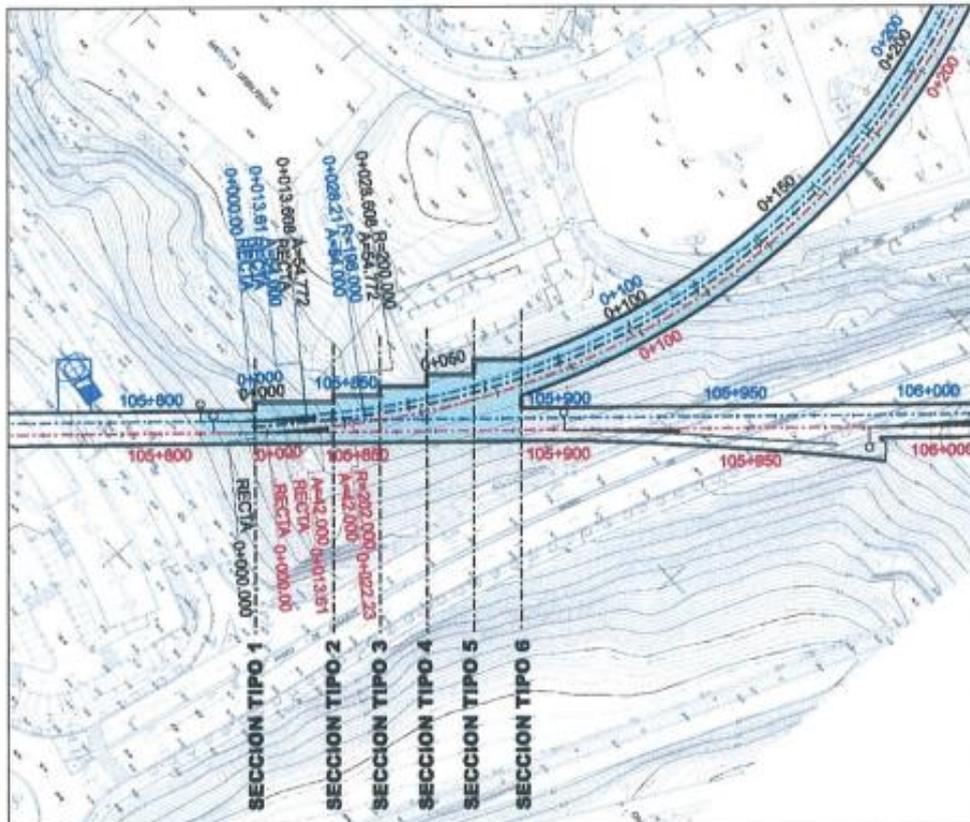


Imagen 4. Diferentes secciones del Telescopio de Lugaritz (Proyecto constructivo del metro de donostialdea tramo Lugaritz – La Concha, marzo 2012).

3.3.4 Rampa de Ataque y Ventilación Emergencia Bentaberri.

La rampa de Bentaberri, durante la obra permite el ataque para la construcción del túnel en mina y al finalizar las obras sirve para albergar el pozo de ventilación de emergencia del lado Lugaritz, de la estación de Bentaberri.

La rampa tiene una longitud de 160 m y un radio mínimo de 31 m. La pendiente con la que desciende desde la cota +5,87 (c/Zarautz) hasta la cota -15,08, 1 metro sobre la rasante de vía en el P.K. 1+019 del túnel de línea, es del 15 %. La sección de la rampa tiene un radio de 4,36 m y una anchura de 8,80. La sección de la rampa durante la ejecución de la obra (sin revestimiento) es de 4,80 m de radio, tiene una anchura de 9,60 m y un gálibo de 6,25 m en la clave.

La boca, que quedará accesible desde la explanada de la subestación eléctrica, se remata con una estructura de hormigón de la misma sección que la galería y un cierre de tramex.

3.3.5 Rampa de Ataque, Ventilación y Salida de Emergencia La Concha.

La rampa de la Concha constituye la segunda rampa del tramo de proyecto y durante la obra sirve para atacar el tramo final del proyecto y para el tramo inicial del proyecto que define la línea entre la Concha y Morlans. Al finalizar la obra servirá como ventilación de emergencia y salida de emergencia.

Desde el P.K. 0+085 hasta el P.K. 0+221, punto de entronque con el túnel de línea, la rampa discurre en túnel con una sección de radio 4,36 m y 8,80 m de anchura. En alzado, la rampa parte de la cota +9,97 y tras un tramo inicial al 5 %, desciende con una pendiente del 15 % hasta la cota -13,93 (un metro sobre la rasante de la vía) en el entronque con el P.K. 2+550 del túnel de línea. En el tramo final, donde van colocados dos ventiladores, la pendiente es del 2%.

Para dar servicio como salida de emergencia, la galería de la rampa de ataque se completa con una galería de 4,5 m de ancho que conecta el túnel de línea con la rampa de ataque, de esta manera se permite que el entronque entre rampa y túnel albergue los ventiladores y sea de uso exclusivo para la ventilación de emergencia. Desde el encuentro entre esta galería y la rampa de ataque, la sección de la rampa se divide en dos mediante un tabique, diferenciando los usos de ventilación y salida de emergencia.

La salida al exterior tanto de la ventilación como de las personas, se materializa mediante la ejecución de una arqueta que permite la evacuación de manera separada al jardín situado entre los paseos de la Concha y Miraconcha.

3.4. Método Constructivo

El túnel en línea se ha diseñado con una sección uniforme en recta y curva, con radio **4,10 m en bóveda, 8,60 m en hastiales y 20,35 en contrabóveda**. Supone una **anchura máxima** de **8,28 m**.

El tramo de estudio discurre íntegramente en túnel, en roca, iniciándose en la actual estación de Lugaritz, con dos nuevas estaciones en caverna previstas en Bentaberri y la calle Matia hasta llegar a la playa de la Concha.

El trazado va atravesando y bordeando el cerro de roca que limita las llanuras Flavio-mareales de la regata de Añorga y las playas de Ondarreta y La Concha.

Los recubrimientos máximos sobre la clave son de 60 m al inicio del trazado y los mínimos de 15 m al final del mismo y en algún paso de vaguada intermedio.

Toda la información geológica-geotécnica ha servido de base para poder realizar el diseño del túnel propiamente dicho (**sección tipo, secciones de sostenimiento, métodos de excavación...**) partiendo de los **índices de calidad del macizo rocoso** obtenidos exclusivamente a partir de los datos contenidos en este proyecto.

En general, las rocas presentan buenas condiciones para la excavación mecánica, con abrasividades bajas y ocasionalmente medias en el flysch. Como la orientación de los estratos más abrasivos es variable a lo largo del trazado, puede preverse la utilización de una **rozadora potente con desgaste de picas medio**. La voladura no será aconsejable para la ejecución de los túneles del metro, dado su carácter urbano.

Se descarta el empleo de Tuneladora (TBM) porque el túnel se ejecutará previsiblemente en varios tramos y la longitud es muy limitada para la rentabilidad del empleo de la misma.

En definitiva se ha previsto la **excavación** mediante **rozadora**, al menos **en avance y excavación mecánica mediante martillo para la destroza** y excavaciones localizadas. Los pozos para la ventilación y ascensores se realizarán en roca mediante la técnica de Raise-Boring, con diámetros de excavación de 3,60 m.

Para el **túnel de línea se prevén dos fases de excavación: avance y destroza**. Para las galerías de ventilación y cañones de acceso se prevé la excavación en sección completa para calidades de roca con RMR superiores a 45 y en dos fases para macizos de calidad inferior.

En las estaciones se ejecutarán 7 fases de excavación: galería piloto, ensanches avance derecho e izquierdo, destroza central, dos destrozas laterales y contrabóveda.

Para las coberteras limitadas, muy inferiores a 100 m, es de prever que en la mayor parte de la longitud del túnel, las tensiones provocadas en el macizo rocoso no superen la resistencia a rotura de la roca matriz, por lo que el comportamiento del material permanecerá en **régimen elástico**, produciéndose las deformaciones de forma instantánea. En estos casos el efecto que se produce es el de un macizo rocoso separado en bloques aislados por sus discontinuidades mecánicas, de las cuales se cerrarán los planos comprimidos y abrirán los traccionados, actuando sobre ellos su propio peso. En

estos casos, las secciones de sostenimiento se definen para las cargas obtenidas a partir de los cálculos clásicos de pirámides, bloques y cuñas delimitados por discontinuidades.

Únicamente en zonas de falla, pueden producirse deformaciones **plásticas** en el macizo. Se descartan, no obstante, grandes deformaciones por fluencia (squeezing). De acuerdo al criterio de Goel (1994), para que se produzca este fenómeno es necesario, en el caso de coberteras máximas de 100 m, valores de calidad del macizo rocoso muy bajos, RMR menor de 22 (squeezing ligero) y RMR menor de 12 (squeezing medio).

El sostenimiento se ha dimensionado a partir de las calificaciones geomecánicas del macizo. Para el **sostenimiento** se propone el sistema conocido como Nuevo Método Austriaco (**NATM**), a base de hormigón proyectado, fibra metálica, bulones, mallazo y cerchas metálicas.

A partir de las **clasificaciones geomecánicas** se ha realizado una **tramificación geotécnica** de las excavaciones subterráneas, definiéndose para cada sección de excavación y calidad del macizo una **sección tipo de sostenimiento**.

Las secciones de sostenimiento más ligeras se han comprobado mediante un cálculo cinemático de cargas sobre el sostenimiento a partir de las cuñas, bloques y pirámides que se forman, obteniéndose los factores de seguridad a corto y medio plazo.

Para las secciones de sostenimiento pesadas se han validado mediante una comprobación tenso-deformacional con ayuda del programa Phases.

Se descarta que se produzcan fenómenos de estallido de roca (**ROCKBURST**), que requieren una acumulación de exceso de energía deformacional elástica. El hecho de que los túneles se excaven en rocas estratificadas hace que la fracturación disipe las tensiones, reduciéndose la acumulación de energía.

Finalmente, otros comportamientos, como hinchamiento (swelling) o flujo (floring) se descartan a priori, ya que el primero se asocia a deformaciones volumétricas por absorción de agua, y el segundo a zonas de fallas cargadas de agua y zonas kársticas con relleno blando.

4. GEOLOGIA Y GEOTECNIA

4.1. Geología

4.1.1. Marco geológico regional

Para los trabajos geológicos generales resulta de enorme interés la cartografía geológica del EVE a escala 1:25.000 (Hoja 64-II, San Sebastián). Desde el punto de vista de la geología regional, la zona se encuentra en la terminación occidental de los Pirineos, dentro de la Cuenca Vasco-Cantábrica y, más concretamente, en la zona denominada Arco-Vasco, incluyendo parte del macizo paleozoico de Cinco Villas.

En lo que se refiere a la estratigrafía, los materiales más antiguos que afloran pertenecen al Paleozoico, si bien no llegan a afectar directamente al trazado. En general los materiales afectados son mayoritariamente de edad Cretácico superior Eoceno. Además en superficie aparecen diversos tipos de depósitos cuaternarios.

Todo este conjunto de materiales está afectado por varias fases de deformación durante la orogénesis Alpina de edad post-Eoceno. Desde un punto de vista estructural, más amplio, la zona de estudio se sitúa en la denominada Unidad de San Sebastián, que comprende materiales cuyas edades oscilan entre el Triásico y el Eoceno.

En la zona de estudio los materiales que aparecen abarcan el intervalo comprendido entre el Cretácico superior y el Terciario, constituyendo una serie de unidades normalmente concordantes.

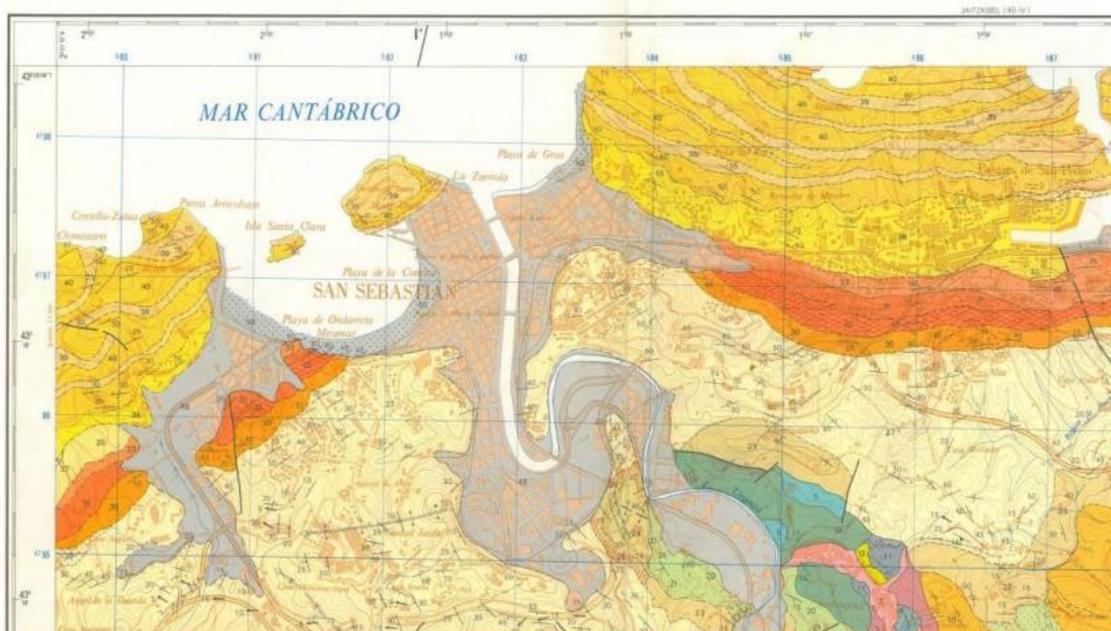


Imagen 5. Mapa geológico de situación del área estudiada (Fuente: EVE).

4.1.2. Litología

La mayor parte de los materiales que afloran en el subsuelo de la zona estudiada corresponden exclusivamente a dos grupos litológicos: **Flysch detrítico del Cretácico superior**, y **“Maastdaniense”**. Con esta denominación (acrónimo) se designa a un conjunto de materiales que corresponden a un amplio abanico de edad desde el final del Cretácico (Maastrichtiense) hasta el Paleoceno (Daniense). Este monótono conjunto, de naturaleza calcárea, resulta muy difícil de subdividir y a efectos geotécnicos su comportamiento es muy similar, por lo que se ha optado por mantener esta denominación. No obstante, en los sondeos se observa que existe un cierto cambio de tonalidad desde los niveles calcáreos de tonos grisáceos de la base hasta los de tonos marrón-rojizos al techo. En general no se observan discordancias entre estos niveles de ritmitas que permitan su individualización cartográfica. Se trata de unos materiales muy característicos en toda Guipúzcoa.

4.1.2.1. Flysch detrítico calcáreo (Fc) (Cretácico superior)

Se trata de la formación que aparece más ampliamente representada en el entorno del corredor estudiado. Está constituida por una alternancia rítmica de **calizas arenosas**, **calizas arcillosas** (o margocalizas) y **areniscas**, estratificadas en bancos centimétricos a decimétricos, de color gris claro y gris oscuro alternante en estado sano.

Como se observa en las fotos adjuntas, su característica primordial es su ritmicidad, que da lugar a potentes series sedimentarias, en las que alternan niveles de areniscas y calizas arenosas de grano fino a muy fino. Los bancos detríticos presentan numerosas estructuras sedimentarias, aunque son especialmente abundantes las debidas a escapes de agua.

En general, se observa que la potencia del conjunto es variable, debido a la falla de Orio-Urumea, de modo que mientras en el bloque occidental en el sector de San Sebastián se alcanzan unos 1.200 m de potencia. En el Sector oriental (Rentería) apenas llega a 500 m.

Desde un punto de vista sedimentológico esta unidad corresponde a facies turbidíticas distales, con depósitos de orla de lóbulo y llanura submarina.

En la zona de estudio estos materiales se han reconocido en numerosos afloramientos, en los que aparece sano con coloraciones grises, o también y frecuentemente muy o moderadamente meteorizado, presentando entonces coloraciones en tonos marrones y anaranjados, como se observa en el sector inicial del trazado en las proximidades de la Residencia de ancianos “Matia”. En este sector la traza del túnel discurrirá con un sentido casi paralelos a la dirección de las capas, siendo su buzamiento hacia el noroeste.



Imagen 6. Afloramiento de ritmitas (flysch) con bajo grado de meteorización (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).



Imagen 7. Afloramiento de ritmitas con mayor grado de meteorización (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Localmente en algunos puntos el espesor de roca meteorizada llega a superar los 15 m. Estas zonas suelen corresponder a zonas de falla, con elevada fracturación.

Como se observa en la foto adjunta, es muy característica la erosión diferencial de los estratos, quedando resaltes en los estratos más duros (calizas arenosas y areniscas calcáreas) como costillas que sobresalen entre los términos argilíticos más blandos y meteorizables. Todo ello favorece la degradación de los taludes y puede llegar a provocar desplomes de fragmentos en los estratos más duros, así como fenómenos de vuelco (“topling”) y disgregación en los más blandos.



Imagen 8. Detalle de la erosión diferencial en la serie de ritmitas cretácicas (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

4.1.2.2. Maastdaniense (C-T) (Cretácico inferior)

En esta formación se han agrupado una serie de unidades estratigráficas concordantes, muy similares entre sí, y por tanto en la práctica de muy difícil distinción, que abarcan estratigráficamente desde el Maastrichtiense (Cretácico Superior) hasta el Daniense (Paleoceno).

Se trata de **margas y margocalizas** grises o rosadas que en ocasiones se presentan muy masivas, con aspecto noduloso en superficie y fractura concoide. En otras zonas se observa un bandeo alternante muy característico entre términos más o menos carbonatados y con coloraciones blanco- rosáceas.

En los términos basales en contacto con el flysch detrítico-calcáreo, las coloraciones de las margas son grises, y presentan cierta alternancia entre términos más margosos y más

carbonatados, lo que hace que en ocasiones sea difícil establecer el contacto entre esta formación y el flysch detrítico-calcareo.

Comparado con el flysch, el Maastdaniense en general es **más masivo**, aparece incluso **menos fracturado** y es **menos meteorizable**, lo cual se ha comprobado en los numerosos sondeos perforados en esta formación.

Aunque no se ha cortado ni observado ninguna cavidad cárstica, en los niveles más carbonatados del Daniense, se ha descrito en otras zonas la existencia de cuevas a favor de los estratos y las juntas que proporcionan caudales instantáneos de cierta entidad, por lo que no se descarta la existencia de alguna cavidad que pueda ser cortada por el futuro túnel.

Por encima de estos niveles se sitúan unas **calizas micritas y margocalizas** rojas, bien estratificadas en bancos poco potentes, que en ocasiones alternan con margocalizas grises y gris azulado-verdoso que constituyen el Daniense propiamente dicho. La potencia máxima del conjunto denominado Maastdaniense es de unos 250 m.

Estos materiales están menos y peor representados en la zona de estudio, en ocasiones constituyen pequeños afloramientos semicubiertos como el observado junto a la tapia sur del Seminario, ver foto adjunta.



Imagen 9. Pequeño afloramiento de Maastdaniense en el Seminario (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Por otra parte, las tonalidades rojizas, en ocasiones masivas y en otras alternantes, permiten identificar fácilmente estos materiales en el testigo obtenido a partir de los sondeos realizados.



Imagen 10. Testigos de sondeos de margocalizas rojizas ,(Maastdaniense) (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Hay que señalar sin embargo, que el límite entre el Flysch detrítico-calcáreo y el Maastdaniense es transicional ya que en la base del Maastdaniense las margocalizas son grises, alternantes y con ocasionales niveles de calizas arenosas lo que dificulta en esas zonas la interpretación, tal como queda reflejado en la fotografía adjunta de una margocaliza situada muy próxima al contacto con el flysch.



Imagen 11. Testigos de la parte basal del Maastdaniense (Margocalizas grises) (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

4.2. Caracterización Geotécnica de los materiales.

El objetivo de este apartado consiste en la caracterización geotécnica de los diferentes materiales que serán atravesados por el túnel y afectados por las obras auxiliares.

Se ha partido de una extensa información previa, en concreto del **Estudio Informativo de 2010**, el Proyecto Constructivo redactado a continuación para este mismo tramo, aunque con un trazado diferente al actual, y presentado a ETS en **2012** y el **Estudio Informativo desarrollado en 2015** entre Lugaritz y Easo.

Estos estudios constituyen el punto de partida principal, ya que en ellos se proyecta un trazado en gran parte coincidente con el del presente Proyecto de Construcción el cual en la práctica constituye un modificación de los proyectos anteriores.

Los trabajos han consistido en una labor previa de recopilación y gestión de la información ya existente, a partir de la cual se han planteado las labores de investigación geotécnica.

Posteriormente se completó la investigación existente con la ejecución de sondeos y perfiles de sísmica y tomografía eléctrica en aquellas zonas que no se disponía de suficiente información.

Todos los datos procedentes de los estudios previos y presente han permitido complementar los datos de geología de superficie y caracterizar el tipo y espesor de suelos existente, así como el macizo rocoso.

El objetivo final es poder reflejar en planta y en perfil longitudinal el tipo de terreno y su disposición previsible al ser atravesado por el túnel y obras auxiliares, así como las características de los materiales afectados

En este apartado se realiza la caracterización geotécnica de los materiales afectados por el trazado y obras auxiliares. Esta caracterización se realiza a partir de **prospecciones realizadas, ensayos in situ, ensayos de laboratorio, observaciones realizadas en campo, bibliografía** y experiencias en materiales similares.

En este apartado se indican las características principales de las distintas unidades litológicas y parámetros de comportamiento esperable de las mismas.

El túnel, el Telescopio de Lugaritz y la Estación de Bentaberri se excavan en su totalidad en el macizo rocoso de Flysch o Maastdaniense. Los niveles más alterados de macizo rocoso o de suelos de recubrimiento prácticamente no se afectan salvo en los primeros metros de los cañones de acceso a la estación, rampas de acceso y pozos de ventilación.

Se caracterizan ambas unidades del macizo rocoso, Flysch detrítico calcáreo y margocalizas del Maastdaniense, con sus distintos grados de alteración y fracturación.

Flysch detrítico calcáreo

El Flysch detrítico calcáreo es la litología más antigua de las afectadas por el trazado. Está formado por intercalaciones centimétricas de **areniscas y caliza**, lo que le confiere un aspecto bandeado. Esta interposición de materiales le confiere un **número elevado de juntas**, que cuando está poco alterado se encuentran cerradas y presenta un aspecto masivo, pero cuando se altera se encuentran abiertas, obteniéndose testigos de escasa continuidad. Así el comportamiento de esta litología varía según el grado de alteración de la misma, presentando un comportamiento masivo cuando las intercalaciones son de mayor espesor y las juntas están cerradas, y un comportamiento a favor de estratificación cuando las juntas se encuentran abiertas, aunque el rozamiento de las mismas, cuando no existen relleno, es elevado.

Esta unidad aparece al inicio del trazado, hasta el p.k 0+750 aproximadamente. Hacia el final del trazado, desde el p.k. 2+000 aproximadamente vuelve a excavar el túnel en esta unidad. Además de afectarse en el trazado del túnel principal, el inicio de la rampa de acceso de Bentaberri y la totalidad de la rampa de acceso de Pío Baroja se excavan en esta unidad.

La caracterización geotécnica de esta unidad se ha realizado considerando los intervalos de RMR empleados en el diseño de las secciones de sostenimiento del túnel, cañones y estación.

Al tratarse de una unidad formada por **intercalaciones de areniscas y calizas**, algunos de los ensayos realizados mostraban esta dualidad, con dos series de datos muy diferenciadas. Sin embargo, es necesario reseñar que el comportamiento de esta unidad es conjunto de ambas.

Ensayos realizados

Para conocer la caracterización geotécnica se necesita realizar una serie de ensayos, los ensayos realizados en el Flysch detrítico calcáreo son los siguientes:

- Ensayos de estado
- Ensayos de resistencia y deformabilidad
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos de abrasividad y dureza
- Ensayos de desmoronamiento en agua
- Parámetros de cálculo

Ensayos de estado

Con testigos de roca obtenidos en los sondeos se han realizado ensayos para obtener la densidad seca y humedad natural de esta unidad.

En el caso de la densidad seca, se han obtenido unos valores homogéneos entre 2,55 t/m³ y 2,70 t/m³. Únicamente en casos puntuales, los resultados obtenidos eran inferiores, hasta 2,30 t/m³. La humedad natural es inferior al 2%.

Ensayos de resistencia y deformabilidad

En los ensayos de resistencia a compresión simple realizados se observa la dualidad de resultados indicados anteriormente. Así se ha obtenido una serie de resultados de **resistencia a compresión simple** entre **70 y 80 MPa**, otra serie entre **10 y 20 MPa**, y algún valor aislado intermedio entre 30 y 40 MPa. Observando la resistencia a compresión obtenida en el Maastdaniense, puede concluirse que los valores de **menor resistencia** se corresponden con muestras de **calizas**, obteniéndose **mayor resistencia** en los niveles de **areniscas**.

En los ensayos de compresión simple con bandas extensométricas se han obtenido unos resultados de **módulo de deformación** entre **25000 y 55000 MPa** y **coeficiente de Poisson** entre **0,20 y 0,23**.

Se han realizado ensayos presiométricos tipo OYO y Menard en el flysch. Se han obtenido valores de módulo de deformación en carga entre 15000 y 20000 kp/cm² en los niveles menos alterados de flysch, y valores de 2500 kp/cm² en las zonas de fracturación o fallas. La relación obtenida entre los módulos de deformación de carga y descarga se encuentra entre 2 y 4, relación habitual en este tipo de materiales.

Sondeo	Profundidad (m)	Material	E.carga (kp/cm ²)	Pfluencia (kp/cm ²)	Plímite (kp/cm ²)
SPA-1	15	Flysch	40215	90,5	90,5
SPA-1	35	Flysch	142795	93,1	93,1
SPA-1	45	Flysch	55789	94,1	94,1
SPA-1	50	Flysch	77074	95,4	95,4
SPA-1	55	Flysch	63234	94,4	94,4

Tabla 1. Ensayos presiométricos tipo Menard en Flysch realizados en este proyecto ((Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Ensayos de permeabilidad

La única circulación de agua en los macizos rocosos es por la red de fracturación de los mismos. En los sondeos efectuados no se han observado procesos de disolución de la caliza, por lo que no es esperable que este problema aparezca.

En los sondeos realizados los valores de RQD obtenidos son muy elevados, generalmente **superior al 80%**, lo que indica una fracturación muy baja del macizo y por tanto una circulación de agua pequeña, siendo muy impermeable el conjunto del macizo rocoso. Para comprobar esta afirmación se realizaron 4 ensayos Lugeon en el flysch, obteniéndose los siguientes resultados.

La permeabilidad obtenida varía entre 2×10^{-7} y 5×10^{-8} cm/s, lo que permite afirmar que, salvo en zonas puntuales de fallas o especialmente fracturadas, el macizo es impermeable.

Sondeo	Profundidad	Litología	RQD	Presión Máxima (kp/cm ²)	Unidad Lugeon	Permeabilidad (cm/s)
MLC-1	21.80 – 25.10	Flysch	80 %	5,0	2,8	$2,8 \times 10^{-7}$
MLC-8	18.80 – 23.80	Flysch	60 %	4,5	2,0	$2,0 \times 10^{-7}$
MLC-10	39.20 – 44.20	Flysch	75-80 %	9,0	0,5	$5,0 \times 10^{-8}$
MLC-12	10.40 – 15.40	Flysch	55-60 %	2,0	2,9	$2,9 \times 10^{-7}$

Tabla 2. Ensayos de permeabilidad en Flysch recopilados de proyectos anteriores (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Ensayos de abrasividad y dureza

En los proyectos anteriores se realizaron 6 ensayos de abrasividad, entre el Ensayo Cerchar y el Schimacek.

En excavaciones con rozadora la abrasividad del material a excavar es un parámetro importante para conocer el desgaste esperable de los útiles de la máquina.

La dualidad (areniscas-caliza) se observa en los resultados de abrasividad Cerchar obtenida.

Según el ensayo Cerchar la roca es en general muy **poco abrasiva** ($IN < 1,2$) con valores puntuales en los que puede ser poco **abrasiva** ($IN = 1,4$) en tramos más areniscosos. La experiencia obtenida en túneles ejecutados en San Sebastián en este flysch indica que la

abrasividad de los niveles de areniscas es muy superior a la obtenida en estos ensayos de laboratorio.

Según el ensayo **Schimacek**, el índice F que califica la abrasividad, rozabilidad de la roca, en función del tamaño de grano y % de minerales abrasivos y de la resistencia a la tracción, en los tres valores obtenidos se observa que son **rocas rozables**.

REFERENCIA					ENSAYOS DE ABRASIVIDAD		
Sondeo	Profundidad		Tipo de muestra	Descripción	Abrasividad cerchar	Índice Schimazek	
	Inicio	Final			Índice A _{IN} (0.1 MM)	Índice F (KN/m)	φ (cm)
MSS-13	60.00	60.30	MTP-6	Flysch		0,0077	0,00228
MSS-13	63.80	64.10	MTP-7	Flysch	1,4		
MSS-15	33.60	34.20	MTP-3	Flysch	0,4		
MLC-8	15.2	15.6	MTP	Flysch		0,035	0,00388
MLC-9	4.8	5.3	MTP	Flysch	0,02		
MLC-10	19.8	20.15	MTP	Flysch	0,05		

Tabla 3. Ensayos de abrasividad en Flysch recopilados de proyectos anteriores (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Ensayos de desmoronamiento de agua

Se ha realizado un ensayo de estabilidad, con el fin de valorar el comportamiento de esta roca frente a la acción del agua, obteniéndose una pérdida de masa de 0,9 y 2,69% para tamices del 63,5 y 2,5%.

Se trata de una roca durable y en la que no se aprecia pérdida de masa.

Parámetros de cálculo

Para la obtención de los parámetros de cálculo de esta unidad se ha adoptado el criterio de Hoek-Brown. Para el cálculo de los mismos se ha empleado el programa de cálculo Roclab. A continuación, se muestran los resultados obtenidos y los ensayos de laboratorio realizados en este proyecto, no mostrándose los ensayos de laboratorio recopilados de proyectos anteriores.

PARAMETROS FLYSCH													
RMR	gsi	RCS (MPa)	mi	D	Ei (MPa)	mb	s	a	γ (t/m ³)	c (t/m ²)	φ (°)	σ _{tracc} (kp/cm ²)	Em (t/m ²)
<30	20	5	14	0	5000	0,804	0,0001	0,544	2,2	7	33	0,01	22836
30-45	30	15	14	0	15000	1,149	0,0004	0,522	2,6	15	43	0,05	122075
45-55	45	30	14	0	30000	1,964	0,0022	0,508	2,6	29	53	0,34	670950
55-70	55	50	14	0	45000	2,806	0,0067	0,504	2,6	56	58	1,20	1837263
>70	65	75	14	0	60000	4,011	0,0205	0,502	2,6	127	61	3,83	3790316

Tabla 4. Parámetros de cálculo del Flysch (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

SONDEO	MUESTRAS / ENSAYOS				ENSAYOS DE RESISTENCIA					
	TIPO	PROFUNDIDAD INICIO (m)	PROFUNDIDAD FIN (m)	LITOLOGÍA	DENSIDAD SECA t/m ³	HUMEDAD NATURAL %	COMPRESIÓN SIMPLE			TRACCIÓN INDIRECTA (MÉTODO BRASILEÑO) kp/cm ²
							kp/cm ²	Módulo de deformación kp/cm ²	Coeficiente de Poisson	
SPA-1	TP	29,80	30,10	Flysch	2,77	0,13	594,6			
	TP	40,60	40,90	Flysch	2,63	1,74	547,4			
	TP	47,00	47,20	Flysch	2,6	1,82	228,1			
	TP	50,90	51,30	Flysch	2,68	0,18	829	552770	0,225	140,3
	TP	53,40	53,80	Flysch	2,68	0,09	588,3			
	TP	57,40	57,80	Flysch	2,66	0,16	410	387260	0,566	76,3
	TP	60,60	60,90	Flysch	2,67	0,28	787,5			

Tabla 5. Ensayos de laboratorio en Flysch realizados en este proyecto (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Maastdaniense

El Maastdaniense está formado por margocalizas, intercalaciones de niveles de calizas y margas, de hasta nivel métrico, de aspecto masivo, con RQD elevados, generalmente superior al 80%, y con un nivel de alteración superior pequeño, máximo 2 metros, presentando el resto del sustrato un grado de alteración II.

Se trata de la unidad más afectada en el trazado, excavándose en la misma gran parte del túnel, la estación de Bentaberri y la mayoría de las obras auxiliares.

En este apartado se realiza la caracterización del macizo rocoso de esta unidad, según los intervalos de RMR empleados en el diseño de las secciones de sostenimiento del túnel, cañones y estación.

Ensayos realizados

Para conocer la caracterización geotécnica se necesita realizar una serie de ensayos, los ensayos realizados en el Maastdaniense son los siguientes:

- Ensayos de estado
- Ensayos de resistencia y deformabilidad
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos de abrasividad y dureza
- Ensayos de desmoronamiento en agua
- Parámetros de cálculo

Ensayos de estado

Con testigos de roca obtenidos en los sondeos se han realizado ensayos para obtener la densidad seca y humedad natural de esta unidad.

En el caso de la densidad seca, se han obtenido unos valores homogéneos entre $2,51 \text{ t/m}^3$ y $2,64 \text{ t/m}^3$. La humedad natural suele ser inferior al 2%, aunque puntualmente puede alcanzar el 4%.

Ensayos de resistencia y deformabilidad

Como puede comprobarse en el gráfico adjunto, la mayoría de resultados de resistencia a compresión simple obtenida en los ensayos realizados se encuentra entre **10 y 30 MPa**, sin observarse una variación de la misma con la profundidad.

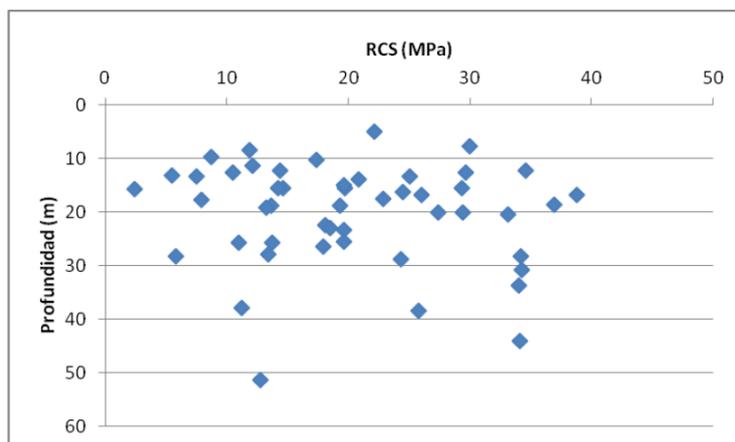


Gráfico 1. Variación de la resistencia a compresión simple con la profundidad en el Maastdaniense (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

En los ensayos de compresión simple con bandas extensométricas se han obtenido unos resultados de **módulo de deformación** entre **20000 y 55000 MPa**, aunque en los niveles más **margosos** este valor descendía hasta los **10000 MPa**.

El **coeficiente de Poisson** obtenido en estos ensayos variaba entre **0,20 y 0,35**.

En los ensayos a resistencia a tracción indirecta, **ensayo brasileño**, se ha obtenido una variabilidad similar a la obtenida en la resistencia a compresión simple, con resistencias a tracción entre **2,3 y 6,7 MPa**.

Se han realizado ensayos presiométricos tipo OYO y Menard en las margocalizas. Se han obtenido valores de **módulo de deformación en carga** entre **20000 y 30000 kp/cm²** en los niveles menos alterados, y valores de **4000 kp/cm²** en las **zonas de fracturación o**

fallas. La relación obtenida entre los módulos de deformación de carga y descargase encuentra entre 2 y 4, relación habitual en este tipo de materiales.

En los presiómetros Menard se han obtenido módulos de deformación del orden de 2 a 4 veces superiores a los obtenidos en los presiómetros tipo OYO.

Sondeo	Profundidad (m)	Material	Ecarga (kp/cm ²)	Edescarga (kp/cm ²)	Pfluencia (kp/cm ²)	Plímite (kp/cm ²)	n=Edescar/Ecarg	Tipo
MLC-5	23	Margocalizas	29376	133458	>75	>150	4,54	OYO
MLC-5	28	Margocalizas	22942	47905	>95	>190	2,09	OYO
MLC-5	33	Margocalizas	20477	29772	>95	>190	1,45	OYO
MLC-5	38	Margocalizas	27021	55922	>95	>190	2,07	OYO
MSS-15	31	Margocalizas	14113	45402	>80	>160	3,22	OYO
MSS-15	38	Margocalizas	26120	56377	>75	>150	2,16	OYO
MSS-15	43	Margocalizas	4458	20230	>61	>122	4,54	OYO
MSS-15	48	Margocalizas	21325	70656	>85	>170	3,31	OYO
MSS-15	52	Margocalizas	35293	127883	>85	>170	3,62	OYO

Tabla 6. Ensayos presiométricos tipo OYO en Maastdaniense recopilados de proyectos anteriores (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Sondeo	Profundidad (m)	Material	Ecarga (kp/cm ²)	Pfluencia (kp/cm ²)	Plímite (kp/cm ²)
SPA-3	30	Maastd.	62771	71,7	>71,7
SPA-3	40	Maastd.	99273	66,2	>66,2
SPA-3	45	Maastd.	154382	74,5	74,5
SPA-3	50	Maastd.	55503	74,8	>74,8
SPA-3	55	Maastd.	84948	76,6	>76,6
SPA-5	25	Maastd.	115275	72,0	>72,0
SPA-5	30	Maastd.	48130	72,5	>72,5
SPA-5	35	Maastd.	164660	74,4	>74,4

Tabla 7. Ensayos presiométricos tipo Menard en Maastdaniense realizados en este proyecto (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Permeabilidad

La única circulación de agua en los macizos rocosos es por la red de fracturación de los mismos. En los sondeos efectuados no se han observado procesos de disolución de la caliza, por lo que no es esperable que este problema aparezca.

En los sondeos realizados los valores de **RQD** obtenidos son muy elevados, generalmente **superior al 80%**, lo que indica una fracturación muy baja del macizo y por tanto una circulación de agua pequeña, siendo muy impermeable el conjunto del macizo rocoso. Para comprobar esta afirmación se realizaron 21 ensayos Lugeon en las margocalizas, obteniéndose los siguientes resultados.

Sondeo	Profundidad (m)	Litología	Fracturación (RQD)	Presión máxima (kp/cm ²)	Unidad Lugeon	Permeabilidad (cm/s)
MSS-2	15-18	Maastdaniense	80%	3,5	5,5	5,5 x 10 ⁻⁵
MSS-3	12,9-15,9	Maastdaniense	80%	3,0	4	4,0 x 10 ⁻⁵
MSS-14	21,5-24,5	Maastdaniense	50%	5,0	21,3	2,1 x 10 ⁻⁴
MSS-16	16,0 - 19,4	Maastdaniense	80-90%	4,5	1,9	1,9 x 10 ⁻⁵
MLC-2	25,00-30,00	Maastdaniense	80%	6,0	6,8	6,8 x 10 ⁻⁷
MLC-3	30,00-35,00	Maastdaniense	90-100%	7,0	1,0	1,0 x 10 ⁻⁷
MLC-4	22,60-27,60	Maastdaniense	95%	4,0	5,0	5,0 x 10 ⁻⁷
MLC-4	32,00-37,00	Maastdaniense	60-100%	7,5	0,7	7,0 x 10 ⁻⁸
MLC-6	28,00-33,00	Maastdaniense	80-100%	6,5	3,5	3,5 x 10 ⁻⁷
MLC-7	16,30-19,60	Maastdaniense	80%	4,5	1,6	1,6 x 10 ⁻⁷
MLC-7	30,00-35,00	Maastdaniense	60-80%	7,0	1,3	1,3 x 10 ⁻⁷
MLC-11	10,30-15,30	Maastdaniense	40-75%	2,0	4,6	4,6 x 10 ⁻⁷
MLC-13	16,20-21,20	Maastdaniense	60-80%	4,0	0,9	9,0 x 10 ⁻⁸
MLC-14	21,35-26,35	Maastdaniense	45-60%	5,5	3,0	3,0 x 10 ⁻⁷
MLC-16	10,65-13,95	Maastdaniense	75-80%	3,0	4,0	4,0 x 10 ⁻⁷
MLC-17	18,75-23,75	Maastdaniense	100%	5,0	0,7	7,0 x 10 ⁻⁸
MLC-18	33,80-38,80	Maastdaniense	100%	8,0	1,7	1,7 x 10 ⁻⁷
MLC-19	48,20-53,20	Maastdaniense	75-80%	10,5	1,5	1,5 x 10 ⁻⁷
MLC-20	15,00-20,00	Maastdaniense	85-95%	3,5	5,7	5,7 x 10 ⁻⁷
MLC-21	30,00-35,00	Maastdaniense	95%	8,0	1,5	1,5 x 10 ⁻⁷
MLC-22	10,00-15,00	Maastdaniense	80-90%	2,5	0,3	3,0 x 10 ⁻⁸

Tabla 8. Ensayos de permeabilidad en Maastdaniense recopilados de proyectos anteriores (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

La permeabilidad se sitúa entre 1×10^{-7} cm/s en las zonas menos fracturadas y 5×10^{-5} cm/s en las zonas más fracturadas, lo que permite afirmar que, salvo en zonas puntuales de fallas o especialmente fracturadas, el macizo es impermeable

Sondeo	Profundidad (m)	Litología	Fracturación (RQD)	Altura de agua (m)	Permeabilidad (cm/s)
SPA-3	39,60-40,40	Maastdaniense	50%	40,6	3,6 x 10 ⁻⁸
SPA-3	49,00-50,20	Maastdaniense	980%	50,0	2,4 x 10 ⁻⁸

Tabla 9. Ensayos de permeabilidad realizados para este proyecto en Maastdaniense (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Ensayos de abrasividad y dureza

En los proyectos anteriores se realizaron 9 ensayos de abrasividad y dureza **Cerchar** y 10 ensayos del índice de **Schimacek**.

En excavaciones con rozadora la abrasividad del material a excavar es un parámetro importante para conocer el desgaste esperable de los útiles de la máquina. En el caso del flysch la abrasividad de los niveles de **calizas** y **areniscas** es muy distinta, siendo **baja** para los primeros y **media a dura** para las **areniscas**.

Los resultados obtenidos indican que es una roca de **abrasividad baja** o **muy baja** y **fácilmente rozable**, según los índices Schimacek reflejados en la tabla adjunta. Igualmente, según el ensayo Cerchar la roca es muy poco abrasiva (IN<1,2).

REFERENCIA						ENSAYOS DE ABRASIVIDAD			
Sondeo	Profundidad		Tipo de muestra	Litología	Descripción	Dureza cerchar (seg)	Abrasividad cerchar	Índice Schimacek	
	Inicio	Final						Índice A ₉₀ (0.1 MM)	Índice F (KN/m)
MSS-2	20.60	20.90	MTP-4	Margocaliza	Maastdaniense			0,0073	0,00285/0,00156
MSS-3	18.20	18.60	MTP-4	CA ARC	Maastdaniense	25	0,2		
MSS-4	23.00	23.40	MTP-3	CA ARC	Maastdaniense	20	0,8		
MSS-6	18.85	19.20	MTP-3	CA ARC	Maastdaniense			0,0169	0,00346/0,00189
MSS-16	29.60	30.00	MTP-6	Margocaliza	Maastdaniense			0,0146	0,00294
MLC-2	18.3	18.6	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	34	0,1		
MLC-3	21.1	21.6	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,021	0,0038
MLC-4	25.4	25.8	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	27	0,03		
MLC-5	19.2	19.5	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	37	0,02		
MLC-5	22.5	22.8	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,036	0,00346
MLC-6	29.5	29.8	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,011	0,00304
MLC-7	13.8	14.2	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	31	0,05		
MLC-7	31.8	32.2	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,018	0,00296
MLC-13	12.8	13.2	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	15	0,01		
MLC-13	14.6	15.0	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,042	0,0048
MLC-17	11.0	11.4	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	19	0,02		
MLC-18	10.2	10.4	MTP	Margocaliza	Maastdaniense	17	0,06		
MLC-18	17.4	17.8	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,133	0,00818
MLC-19	25.3	25.8	MTP	Margocaliza	Maastdaniense			0,039	0,00404

Tabla 10. Ensayos de abrasividad en Maastdaniense recopilados de proyectos anteriores (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

Ensayos de desmoronamiento en agua

En proyectos anteriores se realizaron 4 ensayos de índice Sehudes de durabilidad y 3 ensayos de estabilidad frente al agua.

En estos ensayos se han obtenido unos valores del índice Sehudes superior al 97% en todos los casos.

Respecto a la pérdida de masa para los tamices del 63,5 y 2,5%, en dos de los ensayos la pérdida de masa era igual para ambos tamices, inferior al 0,2%. En el otro ensayo se obtuvieron unos valores de pérdida de peso anormalmente altos del 3%

Puede concluirse que se trata de una roca durable y en la que no se aprecia pérdida de masa.

Parámetros de cálculo

Para la obtención de los parámetros de cálculo de esta unidad se ha adoptado el criterio de Hoek-Brown. Para el cálculo de los mismos se ha empleado el programa de cálculo Roclab. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

PARAMETROS CALIZAS													
RMR	gsi	RCS (MPa)	mi	D	Ei (MPa)	mb	s	a	γ (t/m ³)	c (t/m ²)	ϕ (°)	σ_{tacc} (kp/cm ²)	Em (t/m ²)
<30	20	5	10	0	5000	0,574	0,0001	0,544	2,2	6	30	0,01	22836
30-45	30	10	10	0	10000	0,821	0,0004	0,522	2,6	12	37	0,05	81383
45-55	45	15	10	0	20000	1,403	0,0022	0,508	2,6	20	45	0,24	447300
55-70	55	25	10	0	25000	2,005	0,0067	0,504	2,6	36	51	0,84	1020701
>70	65	35	10	0	35000	2,865	0,0205	0,502	2,6	73	55	2,50	2211018

Tabla 11. Parámetros de cálculo del Maastdaniense (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

SONDEO	MUESTRAS / ENSAYOS				ESTADO NATURAL		ENSAYOS DE RESISTENCIA			
	TIPO	PROFUNDIDAD INICIO (m)	PROFUNDIDAD FIN (m)	LITOLOGÍA	DENSIDAD SECA t/m ³	HUMEDAD NATURAL %	COMPRESIÓN SIMPLE			TRACCIÓN INDIRECTA (MÉTODO BRASILEÑO) kp/cm ²
							kp/cm ²	Módulo de deformación kp/cm ²	Coeficiente de Poisson	
SPA-2	TP	46,20	46,80	Maastd	2,53	2,12	339,4			
	TP	50,50	50,80	Maastd	2,56	1,44	248,8			
	TP	55,20	55,60	Maastd	2,52	3,38	126,8			
	TP	59,60	59,90	Maastd	2,59	0,89	308,7			
	TP	64,20	64,60	Maastd	2,55	1,34	168,2			
	TP	67,40	67,80	Maastd	2,55	1,09	133,6			
SPA-3	TP	70,30	70,80	Maastd	2,64	1,15	149,8			
	TP	35,00	35,40	Maastd	2,57	1,23	154,3			
	TP	43,40	43,80	Maastd	2,61	1,33	140,4			
	TP	46,60	47,10	Maastd	2,61	0,18	280	254340	0,291	28,8
	TP	50,40	51,00	Maastd	2,64	1,05	199,3			33,3
	TP	53,40	53,80	Maastd	2,62	0,21	218	214050	0,392	
	TP	55,20	55,70	Maastd	2,65	1,19	182,9			
	TP	58,80	59,25	Maastd	2,65	1,26	252,3			
SPA-4	TP	62,10	62,40	Maastd	2,56	0,97	199,3			
	TP	19,90	20,40	Maastd	2,47	4,56	187,4			
	TP	24,80	25,20	Maastd	2,56	2,92	209,6			
	TP	31,80	32,40	Maastd	2,58	2,04	275,1			
	TP	36,60	37,20	Maastd	2,57	2	170			
SPA-5	TP	41,90	42,35	Maastd	2,56	2,82	195,5			
	TP	17,95	18,15	Maastd	2,59	1,13	160,8			
	TP	28,40	28,80	Maastd	2,61	0,68	156			
	TP	31,80	32,10	Maastd	2,6	1,47	179,1			
	TP	36,50	36,70	Maastd	2,61	1,03	225,8			
TP	40,50	41,00	Maastd	2,54	1,25	196,5				

Tabla 12. Ensayos de laboratorio realizados en este proyecto en Maastdaniense (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

4.3. Perfil Geológico

En los siguientes perfiles geológicos se muestran las diferentes unidades litológicas que se encuentran a lo largo del del trazado del túnel. El túnel se divide en 9 tramos. El perfil geológico se muestra en el ANEJO I.

5. EXCAVACION MEDIANTE ROZADORA.

La información geológica-geotécnica ha servido de base para poder realizar el diseño del túnel propiamente dicho (sección tipo, secciones de sostenimiento, **métodos de excavación...**) partiendo de los índices de calidad del macizo rocoso obtenidos exclusivamente a partir de los datos contenidos en este proyecto.

Las rocas presentan buenas condiciones para la excavación mecánica, con abrasividades bajas y ocasionalmente medias en el flysch. Como la orientación de los estratos más abrasivos es variable a lo largo del trazado, puede preverse la utilización de una **rozadora potente con desgaste de picas medio**.

En definitiva, se ha previsto la **excavación** mediante **rozadora**, al menos **en avance** y excavación mecánica mediante martillo para la destroza y excavaciones localizadas. Los pozos para la ventilación y ascensores se realizarán en roca mediante la técnica de Raise-Boring, con diámetros de excavación de 3,60 m.

El túnel en línea se ha diseñado con una sección uniforme en recta y curva, con radio 4,10 m en bóveda, 8,60 m en hastiales y 20,35 en contrabóveda. Supone una anchura máxima de 8,28 m.

5.1. Introducción Rozadoras

La rozadora es una máquina excavadora que desarrolla un sistema de trabajo mediante un cabezal rotatorio montado sobre un brazo articulado y provisto de herramienta de corte de metal duro que incide sobre la roca; un sistema de recogida y transporte de escombros desde el frente hacia la parte trasera de la máquina, mediante el ensamblado de los mecanismos descritos a un chasis móvil sobre orugas, completa el sistema de trabajo de estas máquinas.

En muchas ocasiones se emplean mal los términos rozadora y minador. Ambas son máquinas de ataque puntual que se emplean para el mismo fin. Las rozadoras están preparadas para obra civil (túneles), mientras que los minadores se emplean en la industria extractiva (minería).

5.2. Componentes principales y diferentes tipologías

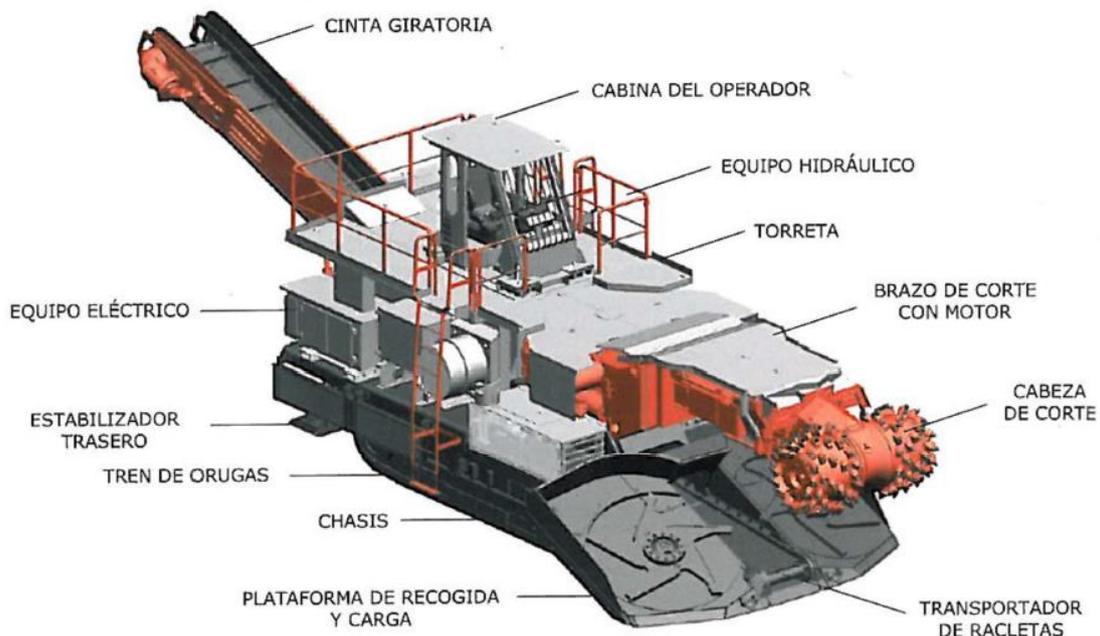


Imagen 12. Componentes principales de una rozadora (Sandvik Mining and Construction).

5.2.1. Cabeza de corte

Existen dos sistemas de corte:

- Ripping de cabeza frontal (transversal): la cabeza gira en torno a un eje perpendicular al eje del túnel. Velocidades típicas entre 20 y 70 rpm
- Milling de cabeza radial (longitudinal): la cabeza gira en torno a un eje longitudinal, paralelo al eje del túnel. Velocidades típicas entre 40 y 100 rpm.

La cabeza longitudinal presente una serie de ventajas:

- Desde el punto de vista mecánico la transmisión de la potencia al motor es más simple.
- Mejor adaptación a contornos irregulares, produciendo menor sobrexcaación.
- Sencillez de disposición de las picas.
- En roca Muy Blanda puede conseguir buenas producciones (hasta 40-50 Mpa).
- Menor inversión en reductores y cabeza de corte.



Imagen 13. Rozadora cabeza de corte longitudinal.

Ventajas de la cabeza transversal:

- Mayor estabilidad de la máquina.
- Se ven menos afectadas por los cambios de roca y diferente dureza de la misma.
- Mayor capacidad para rozar rocas de **gran dureza y tenacidad**.



Imagen 14. Rozadora de cabeza transversal.

5.2.2. Herramientas de corte

La herramienta de corte de las rozadoras está compuesta por:

- Pica (Inserción de carburo de tungsteno)
- Casquillo
- Portapicas (muy problemático si se destroza)
- Soldadura de unión a la cabeza de rozado

Se dispone de un sistema de pulverización de agua para producir la precipitación del polvo, reduciendo así la temperatura de las herramientas de corte (durabilidad).

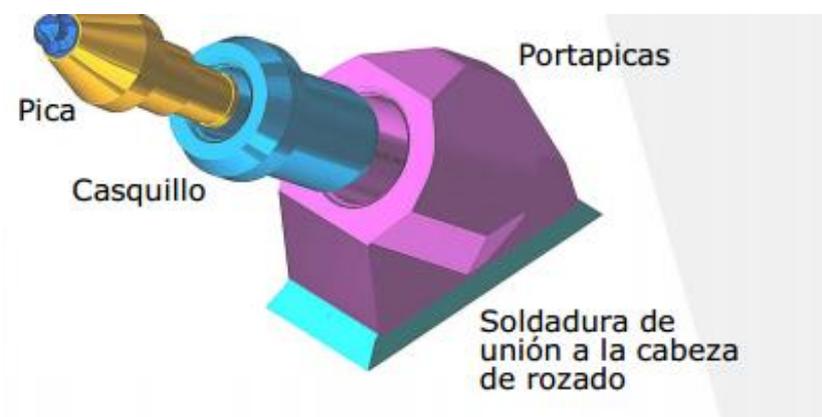


Imagen 15. Herramienta de corte de las rozadoras.

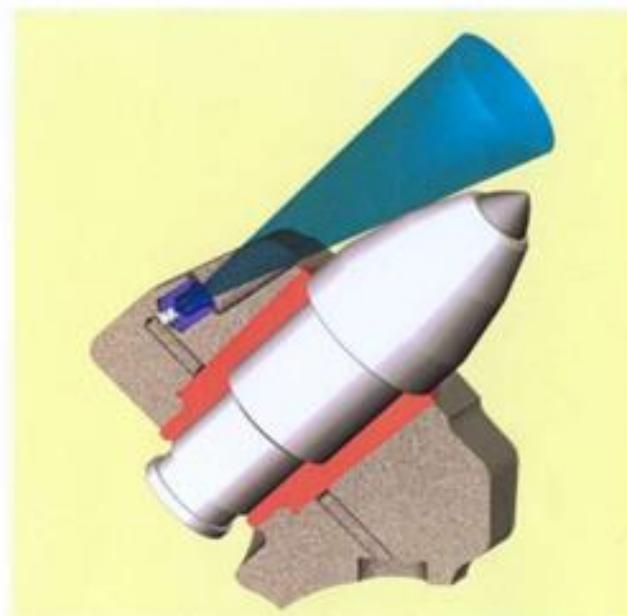


Imagen 16. Detalle del sistema de pulverización.

El correcto posicionamiento de las picas, es clave para maximizar la productividad, minimizar el desgaste de fungibles y reducir averías.

El perder el portapicas, es decir, llegar a golpear con el portapicas en el proceso de rozado y dañarlo es muy perjudicial, ya que se pierde el posicionamiento inicial de las picas y el reductor absorbe mayores esfuerzos. El reductor es una pieza clave de la tuneladora, es el "corazón" de la tuneladora.

Debido a lo anteriormente dicho, la sustitución de las picas, es clave para optimizar la productividad y la durabilidad de la cabeza de rozado y del reductor.

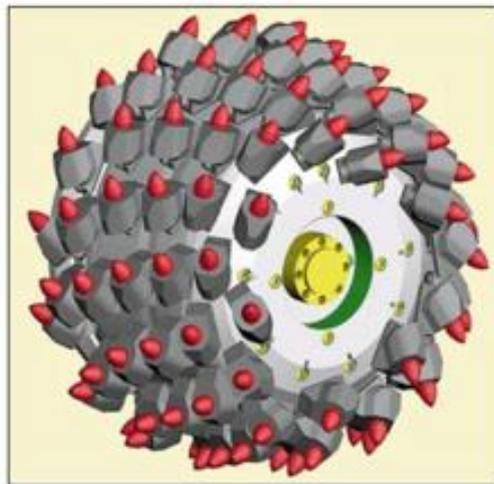


Imagen 17. Posicionamiento de los portapicas.



Imagen 18. Diferentes desgastes de las picas.

Proceso de corte de las herramientas de corte

El proceso de corte no es por roce, es por golpeo (impacto). En el proceso de corte se podrían diferenciar tres fases:

- Creación de zona de contacto entre la pica y la roca.
- Aparición de zona de trituración frente a la pica. (Iniciación de grieta).
- Desprendimiento de fragmentos de roca. La mayor parte de energía se emplea en generar finos, solo el 15 % de la energía se disipa en desprender grandes fragmentos.

5.3. Justificación del Sistema Constructivo

Las rocas presentan buenas condiciones para la excavación mecánica, con abrasividades bajas y ocasionalmente medias en el flysch. Como la orientación de los estratos más abrasivos es variable a lo largo del trazado, puede preverse la utilización de una **rozadora potente con desgaste de picas medio**.

El sistema más adecuado para la ejecución de la excavación será mediante Rozadora. El principal motivo por el que se opta por la rozadora y no por perforación y voladura es por la menor afección a edificaciones cercanas, ya que al estar realizando una excavación que se utilizará para el empleo de metro, el túnel transcurre por un núcleo urbano y la afección será siempre menor con una rozadora que mediante el empleo de explosivos.

Se descarta la utilización de una tuneladora, ya que la longitud del túnel no es la suficiente como para que se justifique el uso de una tuneladora.

Se escoge la excavación mediante rozadora frente a perforación y voladura por los siguientes motivos:

- Ausencia de ondas de choque. Se evitan molestias a poblaciones cercanas a la excavación, protegiendo así las estructuras cercanas y el macizo rocoso.
- Mejora de la calidad efectiva del macizo rocoso. Ahorro en el sostenimiento del terreno y mejora del comportamiento del túnel a largo plazo.
- Sobreexcavación mínima. La Sobreexcavación, parámetro muy importante en túnel, es menor que mediante perforación y voladura, esto se traduce en un menor coste de hormigón de revestimiento.
- Retraso en el inicio de la deformación de la roca. Mayor libertad en el momento de aplicación de las medidas de sostenimiento.

5.4. Selección de equipo

La roca está representada por dos formaciones prácticamente impermeables que aparecen en la misma proporción atravesadas por el túnel: Flysch detrítico calcáreo (alternancia calizas arenosas, calizas arcillosas y areniscas) y la formación denominada Maastdaniense (margocalizas y calizas arcillosas). El tránsito entre ambas formaciones suele ser gradual y en ocasiones mecánica (por fallas).

Teniendo en cuenta las dimensiones de la sección de excavación y las características geotécnicas de las formaciones dominantes se opta por el uso de la rozadora **SANDVIK MINNER MT720**.

La rozadora **SANDVIK MINNER MT720** se encuentra descrita en el **ANEJO II**.

5.4.1. Configuración de los brazos y de la cabeza de corte

La configuración de los brazos será de brazos telescópicos, ya que aporta una mayor maniobrabilidad. El tipo de cabeza de corte, será transversal, ya que no es recomendable el empleo de cabeza longitudinal, debido a la alta resistencia a compresión simple de las formaciones. Además, la cabeza de corte transversal se ve menos afectada por los cambios de roca y diferente dureza de la misma. Queda así justificado el empleo de una cabeza de corte transversal.

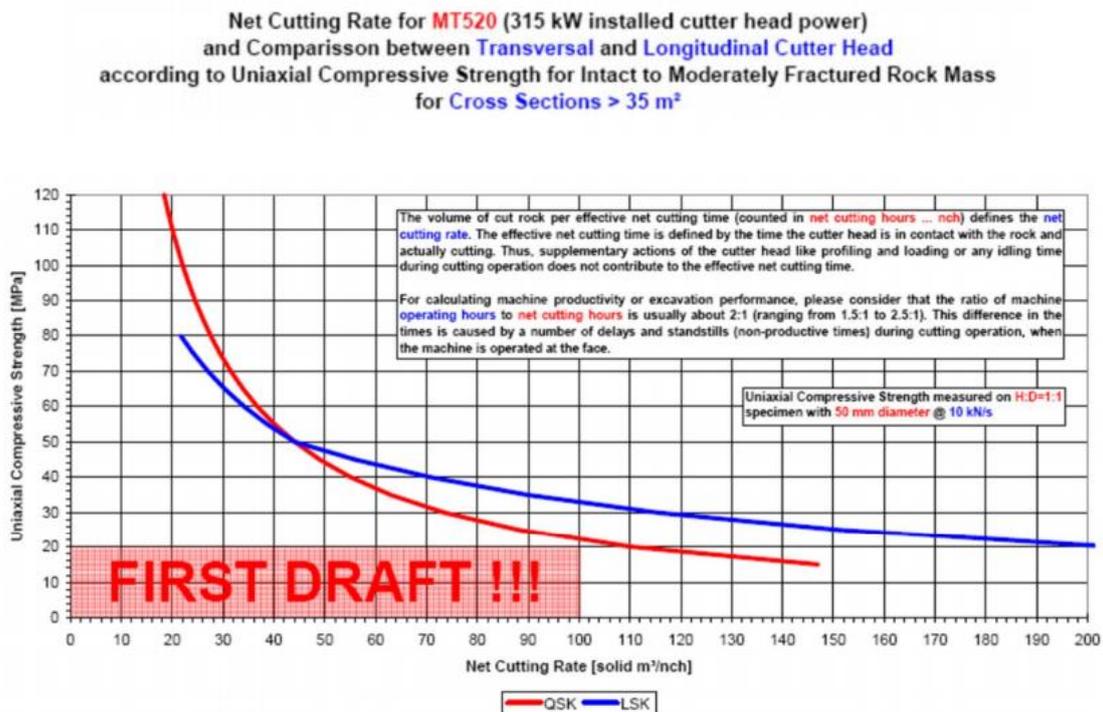


Gráfico 2. Relación entre la compresión uniaxial simple y el rendimiento neto de corte (Sandvik Mining and Construction).

La gráfica relaciona la Compresión Uniaxial (UCS) y el rendimiento neto de corte, en función de utilizar una cabeza de corte transversal o una cabeza de corte longitudinal.

El rendimiento real de corte suele ser aproximadamente la mitad del rendimiento neto de corte.

Se debe tener en cuenta que la Compresión Uniaxial es entre un 35-40 % superior a la Resistencia a Compresión simple. Por este motivo, es imposible el empleo de una cabeza de corte longitudinal, ya que en los niveles de areniscas pertenecientes al Flysch detrítico calcáreo, se obtienen valores de resistencia a compresión simple entre 70 y 80 Mpa, siendo imposible excavar esos niveles de arenisca mediante el empleo de una cabeza de corte longitudinal.

Elección de la cabeza de corte

En este proyecto, debido a la alta resistencia a compresión simple que presentan los niveles de arenisca, se opta por dos cabezas de corte: **105-G57 y 105-G57 plus**. De esta manera, los tramos de mayor resistencia a compresión simple (80 Mpa), podrán ser excavados, ya que estos tipos de cabeza son capaces de aguantar resistencias a compresión simple de 100 Mpa.

Net Cutting Rate for MH621 (300 kW installed cutter head power) equipped with Different R425-TC Cutter Heads and 22 mm TC Insert Picks according to Uniaxial Compressive Strength for Intact to Moderately Fractured Rock Mass

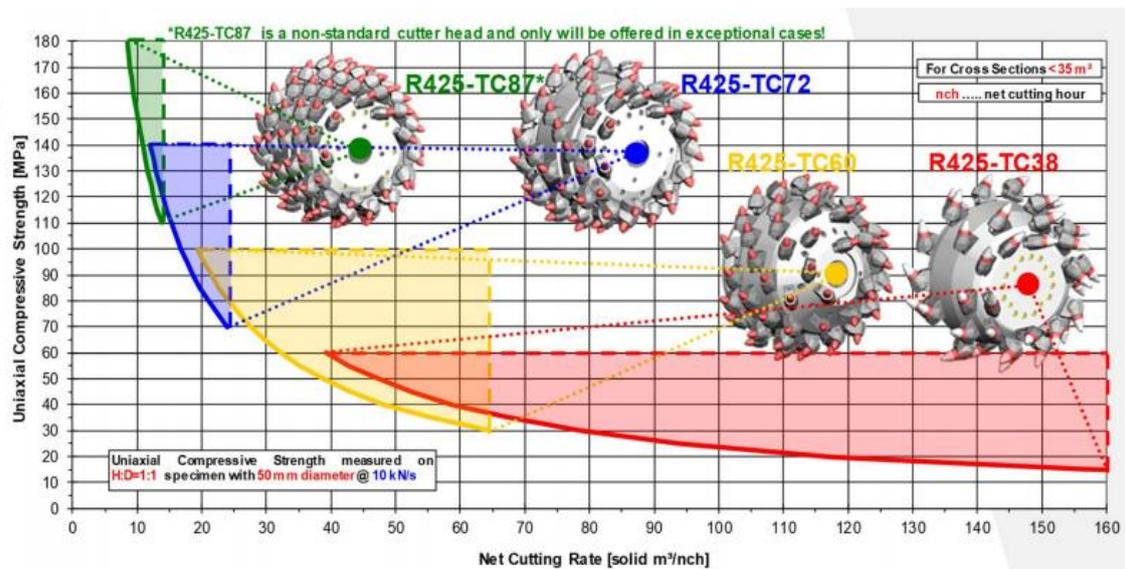


Gráfico 3. Elección de la cabeza de corte en función de la resistencia a compresión uniaxial (Sandvik Mining and Construction).

La gráfica pertenece a un modelo de rozadora muy similar al empleado en el presente proyecto, por lo que el nombre de las cabezas de corte es diferente. No obstante, sirve para entender la elección de la cabeza de corte.

La cabeza de corte utilizada en el presente proyecto es la cabeza de corte **105-G57 y 105-G57 plus**, muy similar en cuanto a características a la cabeza de corte **R425-TC72**.

Los niveles de areniscas llegan a presentar valores de resistencia a compresión de simple de hasta 80 Mpa, por lo que es necesaria una cabeza de corte capaz de realizar la excavación. La cabeza de corte R425-TC72 es capaz de aguantar resistencias a compresión uniaxial de 140 Mpa.

En el **ANEJO II**, se realiza una descripción más detallada de las características de las cabezas de corte.

5.5. Parámetros geotécnicos

En el **ANEJO III**, se describen con detalle los parámetros geotécnicos más importantes que intervienen en el consumo de picas de una rozadora. Estos parámetros geotécnicos son los siguientes:

- Clasificación Geomecánica de Bieniawski (**RMR**)
- **Abrasividad**: Índice de Schimazek y Ensayo Cerchar
- Rock Quality Designation (**RQD**)
- RMR14 **Básico**
- **RMR14**

6. CONSUMO DE PICAS

6.1. Introducción

El objeto del presente documento es definir, con el nivel propio de un proyecto de construcción, la relación existente (análisis estadístico) entre el consumo de picas de una Rozadora MT720 y el RMR (rock mass rating) del terreno que transcurre en el tramo entre Lugaritz y La Concha, tramo que pertenece a la variante ferroviaria de Donostia entre Lugaritz y Anoeta de la línea Lasarte-Hendaia.

Se dispone unicamante del número de picas consumido **en avance, en dos tramos específicos del túnel**. No se dispone del número de picas empleado en las rampas de acceso, ni el número de picas empleado en el telescopio de Lugaritz, ni el número de picas consumido en la realización de las estaciones.

Dicho esto, se va a dividir en dos tramos el análisis del consumo de picas:

TRAMO 1 (LUGARITZ)

Transcurre desde el P.K. 0 +828 (cercano a la rampa de ataque 1), hasta el P.K. 0 + 101 (cercano al Telescopio de Lugaritz).

TRAMO 2 (PIO BAROJA)

Transcurre desde el P.K. 2 + 100 (cercano a la rampa de ataque 2), hasta el P.K. 1 + 200 (cercano a la Estación de Bentaberri).

En el **ANEJO I PERFILES GEOLÓGICOS**, se puede apreciar con detalle el inicio y final de ambos tramos, así como la unidad geológico-geotécnica atravesada.

6.2. Tramificación del túnel

Para la excavación y sostenimiento del túnel, rampas y cañones de acceso a la estación que se ejecutan en mina, se han establecido una serie de secciones de sostenimiento que agrupan a materiales rocosos con un comportamiento geotécnico tensiodeformacional similar.

Las dos unidades en las que se excava el túnel, Flysch y Maastdaniense, aunque presentan características diferentes tienen un **comportamiento frente a las excavaciones muy similar, salvo** en el aspecto de la **abrasividad**, por lo que las secciones de sostenimiento únicamente se diferenciarán en función de la calidad que presente el macizo rocoso en cada zona. De este modo se simplifica la ejecución de las obras al contar con un menor número de secciones de sostenimiento y elementos a emplear en su ejecución.

Se ha realizado una tramificación del trazado en función de la calidad previsible que presente el macizo rocoso en cada zona. Como **índice de calidad del macizo rocoso** se ha adoptado el valor del **RMR corregido** que tiene en consideración tanto las características intrínsecas del macizo rocoso como factores tectónicos y estructurales asociados a la orientación y sentidos de excavación del túnel.

El túnel se excavará a partir de las **dos rampas de accesos** que se ejecutan e intersectan al túnel hacia el p.k. 0+870 (rampa 1) y al final del trazado.

Desde la rampa 1 se realiza la excavación del túnel en ambos sentidos, hacia el principio del trazado en sentido decreciente de p.k., y hacia la estación de Bentaberri, que se excavará en sentido creciente de p.k. Desde la **rampa 2** se ejecutará el resto del túnel, hasta alcanzar la estación de Bentaberri, en sentido decreciente de p.k. Los cañones de la estación se ejecutarán desde la propia estación, hasta alcanzar el emboquille entre pantallas exterior.

Respecto a los materiales en los que se realizan las excavaciones en mina, serían los siguientes, debiendo tomarse los p.k de contacto con la incertidumbre habitual en obras subterráneas.

- Túnel principal

- 0+000 – 0+850 Flysch
- 0+850 – 2+120 Maastdaniense
- 2+120 – 2+140 (fin del túnel) Flysch

- Estación de Bentaberri y cañones de acceso

- Maastadaniense

- Rampa 1 de acceso

- 0+000 – 0+080 Flysch
- 0+080 – 0+215 Maastdaniense

- Rampa 2 de acceso

- Flysch

6.2.1. Dominios estructurales en el túnel.

El macizo rocoso presenta una estratificación general muy constante a lo largo de todo el trazado, con una dirección N 50°-70° E con buzamientos hacia el noroeste entre 20° y 40°. Sin embargo, el tramo presenta una planta curvilínea que hace que puedan diferenciarse varios dominios estructurales.

P.k. Túnel	Litología	Dominio estructural	
0+000 – 0+185 Telescopio de Lugaritz	Flysch	Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 10-20°	
0+185 – 0+200		Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 10-20°	
0+200 – 0+800		Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 15-30° Estación Geomecánica EG-2	
0+800 – 0+850		Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 15-30° Estación Geomecánica EG-4 Zona muy fracturada	
0+850 – 0+930	Maastdaniense	Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 20-40° Estación Geomecánica EG-6	
0+930 – 1+100		Zona muy replegada y fracturada Estación Geomecánica EG-6	
1+100 – 1+200 Estación Bentaberri		Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 20-40° Estación Geomecánica EG-6	
1+100 - 1+250		Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 20-40° Estación Geomecánica EG-6 y EG-7	
1+250 – 1+450		Zona muy fracturada Estratificación transversal al túnel. Buzamiento 20-40° Estación Geomecánica EG-6 y EG-7	
1+450 – 1+650		Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 30-45° Estación Geomecánica EG-7	
1+650 – 1+750		Zona muy fracturada Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 30-45° Estación Geomecánica EG-7	
1+750 – 1+850		Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 20-45°	
1+850 – 2+120		Flysch	Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 20-45°
2+120 – 2+140 Fin del tramo			Estratificación paralela al túnel. Buzamiento 20-45°

Tabla 13. Dominios estructurales en el túnel (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

6.2.2. Tramificación del túnel.

A partir de los **dominios estructurales** reflejados en la tabla anterior, las **características del terreno** obtenidas en las distintas prospecciones ejecutadas, observaciones in situ realizadas, condicionantes en la excavación del túnel..., se ha realizado la **tramificación del túnel** en función de los valores **RMR corregidos** esperables a lo largo del túnel.

PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Valores de RMR corregido esperables					Observaciones
			>70	70-55	55-45	45-30	<30	
0+000	0+097	97						Telescopio de Lugaritz
0+097	0+200	103	5% 5m	15% 15.5m	50% 51.5m	30% 31m	--	Estratificación paralela al eje del túnel. Buzamiento: 10° a 20°
0+200	0+820	620	--	10% 62m	35% 217m	55% 341m	--	Estratificación perpendicular al eje del túnel. Buzamiento: 15° a 30°. Desfavorable para la excavación (EG-2)
0+820	0+940	120	--	--	10% 12m	60% 72m	30% 36m	Enjambres de fracturas subhorizontales (Buzamiento: 20° a 30°) (EG-4). Peligro de techos planos Rampa 1. Avda Zarautz (PK 0+875). Desde este punto se inicia la excavación del túnel de línea en ambos sentidos.
0+940	1+085	145	--	--	40% 58m	60% 87m	--	De PK 1+100 a 1+130 zona de vaguada, 19 m de altura de montera sobre clave de túnel
1+085	1+099	14	--	--	--	100% 14m	--	Zona de caverna: Cañón 1- Túnel de línea. Estratificación paralela a eje longitudinal (EG-6)
1+099	1+194	95	--	--	--	100%	--	Zona de caverna de estación de Bentaberri Estratificación paralela a eje longitudinal (EG-6)
1+194	1+216	22	--	--	--	100% 22m	--	Zona de caverna: Cañón 2- Túnel de línea Estratificación paralela a eje longitudinal (EG-6)
1+216	1+445	229	--	--	25% 57,5m	75% 171,5m	--	Estratificación paralela a eje de túnel (EG-6 y EG-7)
1+445	1+455	10					100% 10m	Paso de falla

PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Valores de RMR corregido esperables					Observaciones
			>70	70-55	55-45	45-30	<30	
1+455	1+620	165	--	--	25% 41.5m	60% 99m	15% 25m	Zona de valle. Alturas de montera en clave inferiores a 20 m. Paso bajo edificios. Incluye pozo de bombeo PB3 (PK 1+601) Estratificación paralela a eje de túnel (EG-6 y EG-7)
1+620	1+750	130	10% 13m	30% 39m	50% 65m	10% 13m	--	Estratificación perpendicular al eje del túnel. Buzamiento: 35° a 45°. Favorable para la excavación (EG-7)
1+750	1+830	80	--	--	35% 28m	45% 36m	20% 16m	Posible zona de falla en el tramo. Estratificación perpendicular al eje del túnel. Buzamiento: 35° a 45°. Favorable para la excavación (EG-7)
1+830	2+140.44	310.4 4	5% 15.5m	10% 31m	35% 109m	35% 108.5m	10% 31.44m	Estratificación perpendicular al eje del túnel. Buzamiento: 35° a 45°. Favorable para la excavación (EG-7)

Tabla 14. Tramificación del túnel de Línea (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

6.3. Consumo de Picas: Tramo 1, Lugaritz

Transcurre desde el P.K. 0 +828 (cercano a la rampa de ataque 1), hasta el P.K. 0 + 101 (cercano al Telescopio de Lugaritz).

Como se observa en la tramificación del túnel, este tramo se divide en dos tramos:

- Del P.K. 0+820 al P.K. 0+200
- Del P.K. 0+200 al P.K. 0+097

En el **ANEJO IV**, se muestra la tabla de datos de la que partimos, en esta tabla aparecen los siguientes datos:

- Fecha realización
- PK inicial y PK final
- Metros excavados
- Picas consumidas

TRAMO 0+820 0+200 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 201 hasta el P.K. 828,8. Sumando así una longitud total de 641,8 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 641,8 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 64,18 metros corresponden a un **RMR de 62,5** (10%)
- 224,63 metros corresponden a un **RMR de 50** (35%)
- 353 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (55%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 2, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 3, **ANEJO IV**.

TRAMO 0+200 0+097 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 101 al P.K. 197. Sumando así una longitud total de 95,5 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 95,5 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 4,8 metros corresponden a un **RMR de 70** (5%)
- 14,3 metros corresponden a un **RMR de 62,5** (15%)
- 48 metros corresponden a un **RMR de 50** (50%)
- 28,7 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (30 %)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 4, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 5, **ANEJO IV**.

TABLA FINAL, CONSUMO DE PICAS LUGARITZ

En el ANEJO IV se muestra una única tabla (Tabla 6) ordenada de menor a mayor P.K, en la que se relaciona el consumo de picas por metro lineal y el RMR.

6.4. Consumo de picas: Tramo 2, Pio Baroja

Transcurre desde el P.K. 2+112,5 (cercano a la rampa de ataque 2), hasta el P.K. 1+212,5 (cercano a la estación de Bentaberri).

Como se observa en la tramificación del túnel, este tramo se divide en cinco tramos:

- Del P.K. 2 + 140,44 al P.K. 1 + 830
- Del P.K. 1 + 830 al P.K. 1 + 750
- Del P.K. 1 + 750 al P.K. 1 + 620
- Del P.K. 1 + 620 al P.K. 1 + 455
- Del P.K. 1 + 455 al P.K. 1 + 216

En el **ANEJO IV**, se muestra la tabla de datos de la que partimos, en esta tabla aparecen los siguientes datos:

- Fecha realización
- PK inicial y PK final
- Metros excavados
- Picas consumidas

TRAMO 2+140,44 1+830 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 2+112,5 hasta el P.K. 1+837,6 . Sumando así una longitud total de 281,4 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 281,4 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 14,07 metros corresponden a un **RMR de 70** (5%)
- 28,14 metros corresponden a un **RMR de 62,5** (10%)
- 98,49 metros corresponden a un **RMR de 50** (35%)
- 98,49 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (35%)
- 42,21 metros corresponden a un **RMR de 30** (15%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 8, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 9, **ANEJO IV**.

TRAMO 1+830 1+750 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 1+829,1 hasta el P.K. 1+752. Sumando así una longitud total de 77,1 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 77,1 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 27 metros corresponden a un **RMR de 50** (35%)
- 34,7 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (45%)
- 15,42 metros corresponden a un **RMR de 30** (20%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 10, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 11, **ANEJO IV**.

TRAMO 1+750 1+620 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 1+752 hasta el P.K. 1+624. Sumando así una longitud total de 128 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 128 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 12,8 metros corresponden a un **RMR de 70** (10%)
- 38,4 metros corresponden a un **RMR de 62,5** (30%)
- 64 metros corresponden a un **RMR de 50** (50%)
- 12,8 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (10%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 12, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 13, **ANEJO IV**.

TRAMO 1+620 1+455 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 1+624 hasta el P.K. 1+458,5. Sumando así una longitud total de 165,5 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 165,5 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 41,4 metros corresponden a un **RMR de 50** (25%)
- 99,3 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (60%)
- 24,8 metros corresponden a un **RMR de 30** (15%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 14, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 15, **ANEJO IV**.

TRAMO 1+445 1+216 (AVANCE)

Como se puede observar en la tabla de datos del **ANEJO IV**, este tramo comprende desde el P.K. 1 + 458,5 hasta el P.K. 1 + 212,5. Sumando así una longitud total de 246 metros. Gracias a la tramificación de túnel, estos 246 metros se pueden dividir de la siguiente manera:

- 61,5 metros corresponden a un **RMR de 50** (25%)
- 184,5 metros corresponden a un **RMR de 37,5** (75%)

Se ordenan los diferentes P.K. de mayor a menor en función del consumo de picas, asignándole mayor RMR a los PK con mayor consumo de picas. Se ordenan los diferentes PK de mayor a menor en función del **RMR** y la **distancia** asignada según la tramificación de túnel. Tabla 16, **ANEJO IV**.

Se realiza otra tabla, ordenando los datos de mayor a menor número de P.K. Tabla 17, **ANEJO IV**.

TABLA FINAL, CONSUMO DE PICAS PIO BAROJA

En el ANEJO IV se muestra una única tabla (Tabla 18), ordenada de menor a mayor P.K., en la que se relaciona el consumo de picas por metro lineal y el RMR.

6.5. Sostenimiento empleado en la excavación

En este apartado se va a comentar de manera resumida, los diferentes tipos de sostenimiento empleados en la excavación del Tramo-Lugaritz y el Tramo-Pío Baroja, en función del RMR del terreno.

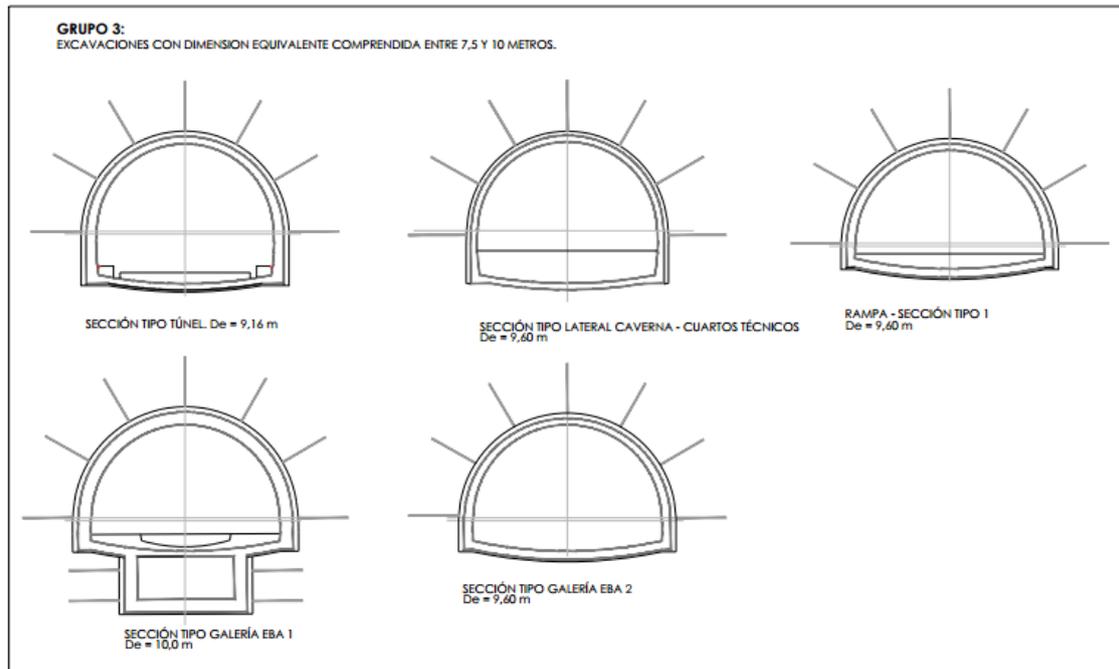


Imagen 18. Secciones Tipo de excavaciones comprendidas entre 7,5 y 10 metros (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miranconcha del metro de Donostialdea).

Terreno Tipo I RMR>70	Terreno Tipo II 70>RMR>55	Terreno Tipo III 55>RMR>45	Terreno Tipo IV 45>RMR>30	Terreno Tipo V 30>RMR y Zonas de falla
Esp. Hormig. p. 5+5 cm Armado, Fibra Bulones tipo swellex L = 3,0 m Sxd = 2x2,5 m ² Pase 5 m Avance + destroza	Esp. Hormig. p. 5+10 cm Armado, Fibra Bulones tipo swellex L = 3,0 m Sxd = 2x2 m ² Pase 4 m Avance + destroza	Esp. Hormig. p. 5+10 cm Armado, Fibra Bulones tipo swellex L = 3,0 m Sxd = 1,5x1,5 m ² Pase 3 m Avance + destroza	Esp. Hormig. p. 5+15 cm Armado, Mallazo electrosoldado 150x150x6mm TH-21 c/1,0 m Bulones tipo swellex L = 4,0 m Sxd = 1,5x1 m Pase 2 m Avance + destroza	Esp. Hormig. p. 5+20 cm Armado, Mallazo electrosoldado 150x150x6mm HEB-180 c/1,0 m Pase 1 m Avance + destroza Paraguas de micropilotes: D= 88,9 mm e= 7,1 mm Pata de elefante

Tabla 15. Resumen del sostenimiento empleado en función del RMR (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miranconcha del metro de Donostialdea).

7. ANALISIS DEL CONSUMO DE PICAS EN FUNCION DEL RMR

7.1. Análisis del consumo de picas, Tramo 1 Lugaritz

7.1.1. Introducción

El Tramo 1 Lugaritz, transcurre en su totalidad por la unidad geológica-geotécnica Flysch Detrítico Calcáreo, formado por: **calizas** arenosas, **calizas** arcillosas y **areniscas**.

Como ya se ha visto en el apartado de geotecnia, se han obtenido una serie de resultados de resistencia a compresión simple entre 70 y 80 Mpa, se ha obtenido también otra serie entre 10 y 20 Mpa. Los resultados de menor resistencia corresponden a las calizas, mientras que los valores de mayor resistencia corresponden a las areniscas.

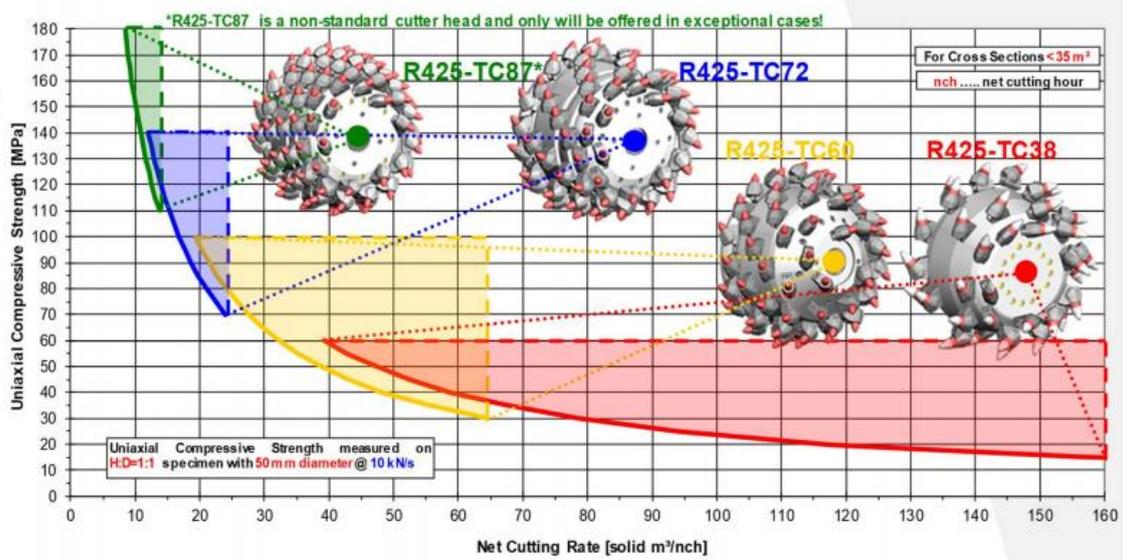
Las areniscas presentan una abrasividad moderada, CAI = 3,50 – 4,00 mientras que las calizas son muy poco abrasivas, CAI < 1,2.

	ARENISCAS	CALIZAS
RCS	70-80 MPa	10-20 MPa
RQD	80 %	80 %
CAI	3,50 – 4,00	< 1,2

Tabla 16. Parámetros geotécnicos de las areniscas y calizas.

7.1.2. Rendimiento neto

En función del tipo de piña seleccionado, se va a determinar de manera gráfica el rendimiento neto en cada formación, sabiendo que el rendimiento neto suele ser el doble del rendimiento real.



Como ya se ha explicado anteriormente en el apartado 5.4.1. *Configuración de la cabeza de corte*, la cabeza de corte utilizada en el presente proyecto es la cabeza de corte **105-G57 y 105-G57 plus**, muy similar en cuanto a características a la cabeza de corte **R425-TC72**.

Areniscas

La resistencia a compresión simple de las areniscas es de 75 MPa, por lo que la resistencia a compresión uniaxial será de 112,5 MPa, obteniendo así un rendimiento neto de 16 m³/h.

Calizas

La resistencia a compresión simple de las calizas es de 20 Mpa, por lo que la resistencia a compresión uniaxial será de 30 Mpa, obteniendo así un rendimiento neto de 48 m³/h.

7.1.3. Rendimiento de corte instantáneo

Se va a calcular de manera numérica el rendimiento de corte instantáneo en ambas formaciones, mediante el Método de Bilgin. Se calcula el índice de cortabilidad, para después poder calcular el rendimiento de corte instantáneo.

Índice de cortabilidad

$$RMCI = RC \cdot \frac{RQD^{2/3}}{100}$$

Rendimiento de corte instantáneo

$$ICR = 0,28 \cdot P \cdot (0,974)^{RMCI}$$

Areniscas

La resistencia a compresión simple es de 75 Mpa, el RQD del 80 % y la potencia de 30 KW. Se obtiene un índice de cortabilidad igual a 14 y el rendimiento de corte instantáneo es del 58 %.

Calizas

La resistencia a compresión simple es de 20 Mpa, el RQD del 80 % y la potencia de 30 KW. Se obtiene un índice de cortabilidad igual a 3,71 y el rendimiento de corte instantáneo es del 76 %.

Al ser la arenisca un terreno moderadamente abrasivo y presentar resistencias a compresión simple altas, el rendimiento de corte instantáneo es menor que en las calizas.

7.1.4. Consumo de picas por metro cúbico.

Se va a calcular de manera gráfica el consumo de picas por metro cúbico en las areniscas y calizas. En el gráfico que se muestra a continuación, se relaciona la resistencia a compresión uniaxial, el Índice Cerchar (Abrasividad) y el consumo de picas por metro cúbico.

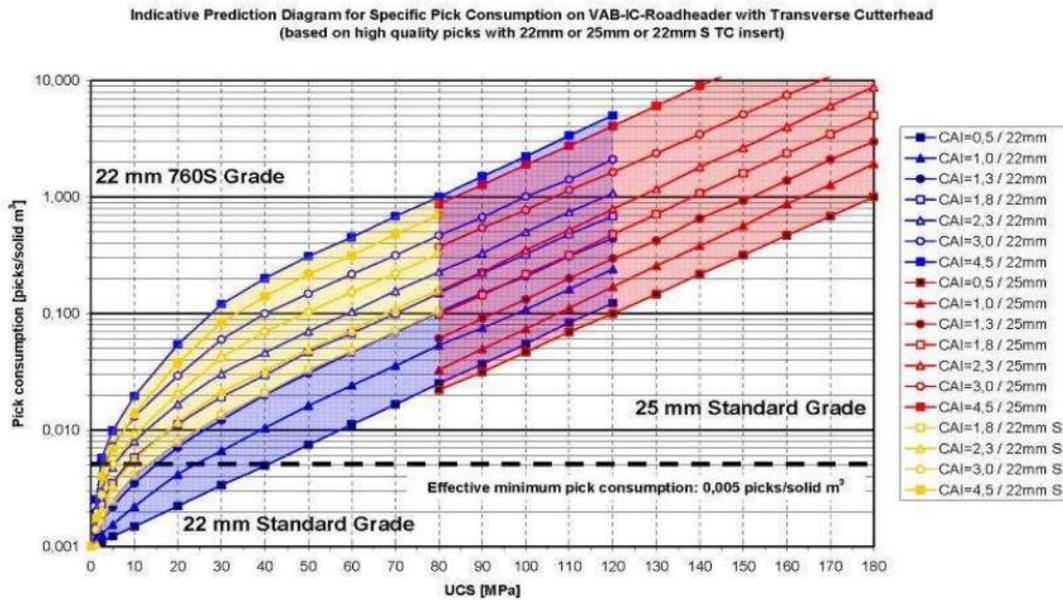


Gráfico 4. Relación entre UCS, Índice CERCHAR y el consumo de picas por metro cúbico (Sandvik Mining and Construction).

Areniscas

La resistencia a compresión simple es de 75 Mpa, la resistencia a compresión uniaxial es de 112,5 Mpa y el Índice Cerchar es igual a 3. Las picas adecuadas serían las de 25 mm, obteniendo así un **consumo de picas por metro cúbico igual a 1**.

Lo adecuado es no pasar de las 0,1 picas por metro cúbico, al tratarse de un terreno moderadamente abrasivo el consumo de picas es elevado.

Calizas

La resistencia a compresión simples es de 20 Mpa, la resistencia a compresión uniaxial es de 30 Mpa y el Índice Cerchar es menor de 1,2. Las picas adecuadas serían las de 22 mm, obteniendo así un **consumo de picas por metro cúbico igual a 0,006**.

En el gráfico anterior se relaciona el consumo de picas por metro lineal con el valor del RMR del terreno. Tras haber recopilado y organizado una serie de datos, se llega a la siguiente relación lineal: $Y = 0,735x - 26,95$.

La variable Y, es el consumo de picas por metro lineal.

La variable X, es el valor del RMR.

Esta relación lineal puede ser de gran utilidad en trabajos de ingeniería en los que se utilice una rozadora, ya que a partir de la estimación del RMR del terreno, valor que estima un geólogo en el frente de excavación, se puede conocer el número de picas que se emplearán por metro lineal de túnel.

Desde el punto de vista económico, conocer el número de picas que se emplearán en la excavación es muy útil, ya que se sabe de manera aproximada el dinero que se destinará a los fungibles.

Desde el punto de vista de la producción es muy útil, ya que se conoce el número de picas que se empleará por metro lineal de túnel, disponiendo así de un número de picas suficiente para poder realizar la excavación en cualquier momento, no existiendo tiempos muertos por la no disponibilidad de picas.

7.2. Análisis del consumo de picas, Tramo 2 Pío Baroja

7.2.1. Introducción

El Tramo 2 Pío Baroja, transcurre en su totalidad por la unidad geológica-geotécnica Maastdaniense, formado por margocalizas, intercalaciones de niveles de calizas y margas.

Como ya se ha visto en el apartado de geotecnia, se han obtenido una serie de resultados de resistencia a compresión simple entre 10 y 30 Mpa.

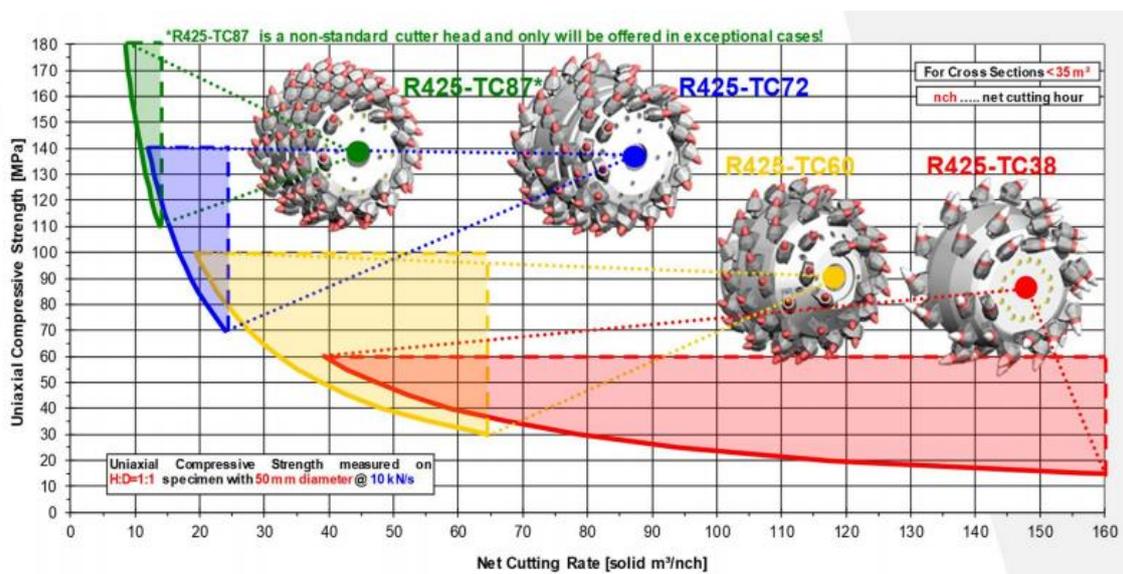
La abrasividad que presentan estas margocalizas es baja o muy baja, siendo muy fácilmente rozables, CAI < 1,2.

	Margocalizas
RCS	30 Mpa
RQD	80 %
CAI	< 1,2

Tabla 16. Parámetros geotécnicos de las margocalizas.

7.2.2. Rendimiento neto

En función del tipo de piña seleccionado, se va a determinar de manera gráfica el rendimiento neto en las margocalizas, sabiendo que el rendimiento neto suele ser el doble del rendimiento real.



Como ya se ha explicado anteriormente en el apartado 5.4.1. *Configuración de la cabeza de corte*, la cabeza de corte utilizada en el presente proyecto es la cabeza de corte **105-G57 y 105-G57 plus**, muy similar en cuanto a características a la cabeza de corte **R425-TC72**.

Margocalizas

La resistencia a compresión simple de las margocalizas es de 30 MPa, por lo que la resistencia a compresión uniaxial será de 45 MPa, obteniendo así un rendimiento neto de 38 m3/h.

7.2.3. Rendimiento de corte instantáneo

Se va a calcular de manera numérica el rendimiento de corte instantáneo en las margocalizas, mediante el Método de Bilgin. Se calcula el índice de cortabilidad, para después poder calcular el rendimiento de corte instantáneo.

Índice de cortabilidad

$$RMCI = RC \cdot \frac{RQD^{2/3}}{100}$$

Rendimiento de corte instantáneo

$$ICR = 0,28 \cdot P \cdot (0,974)^{RMCI}$$

Margocalizas

La resistencia a compresión simple es de 30 Mpa, el RQD del 80 % y la potencia de 30 KW. Se obtiene un índice de cortabilidad igual a 5,6 y el **rendimiento de corte instantáneo es del 72 %**.

7.2.4. Consumo de picas por metro cúbico.

Se va a calcular de manera gráfica el consumo de picas por metro cúbico en las margocalizas. En el gráfico que se muestra a continuación, se relaciona la resistencia a compresión uniaxial, el Índice Cerchar (Abrasividad) y el consumo de picas por metro cúbico.

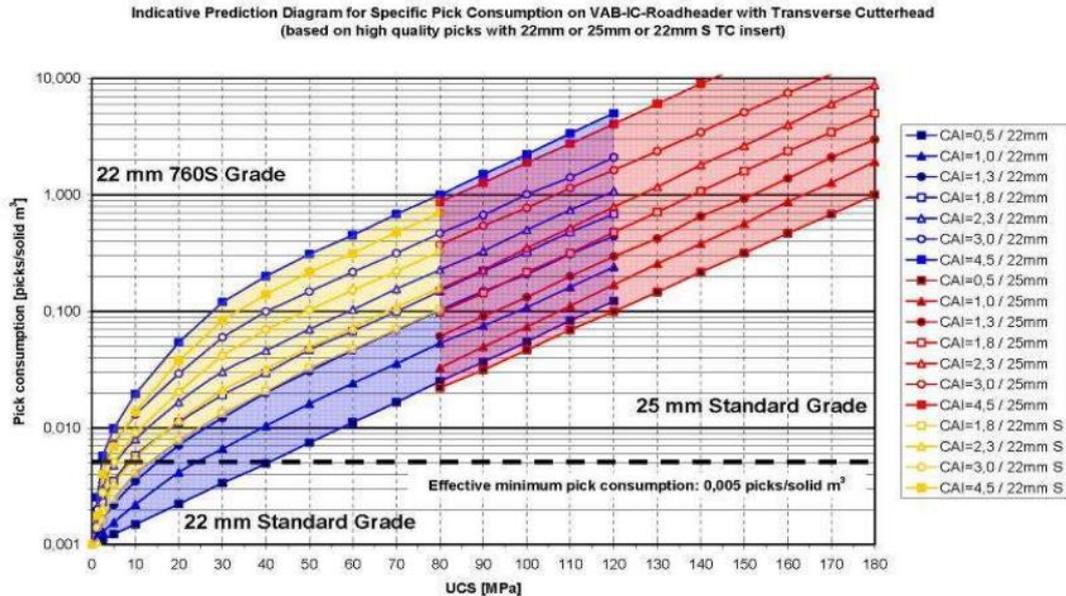


Gráfico 6. Relación entre UCS, Índice CERCHAR y el consumo de picas por metro cúbico (Sandvik Mining and Construction).

Margocalizas

La resistencia a compresión simple es de 30 Mpa, la resistencia a compresión uniaxial es de 45 Mpa y el Índice Cerchar es menor a 1,2. Las picas adecuadas serían las de 22 mm, obteniendo así un **consumo de picas por metro cúbico igual a 0,014**.

Al tratarse de un terreno que presenta una abrasividad muy baja, el consumo de picas por metro cúbico excavado, será menor que en la otra formación.

7.2.5. Relación lineal entre el consumo de picas y el RMR del terreno

En primer lugar, se va a realizar un breve análisis de la tabla 18 del ANEJO IV.

- Se han excavado un total de 898 metros mediante rozadora.
- Han sido empleadas un total de 583 picas.
- El número de picas empleadas por metro lineal es de 0,65.
- El consumo de picas por metro cúbico es de 0,02 picas.
- La sección de avance es de 33 metros cuadrados.

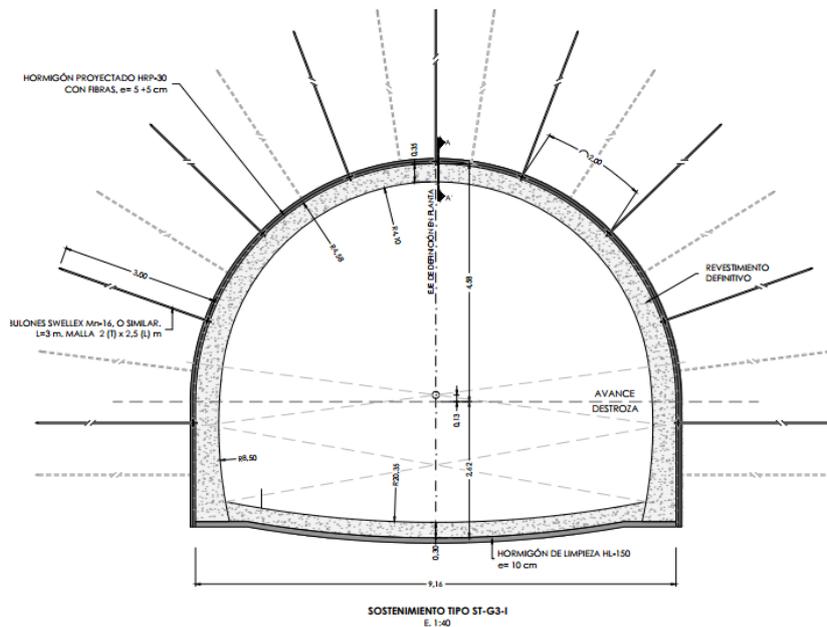


Imagen 20. Sección del túnel (Proyecto constructivo del tramo Lugaritz – Miraconcha del metro de Donostialdea).

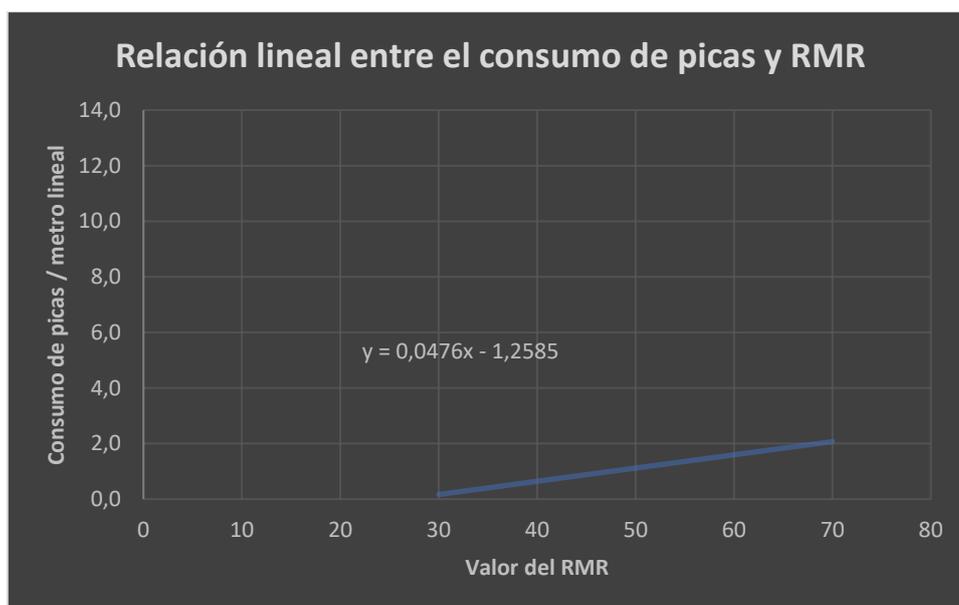


Gráfico 7. Relación lineal entre el consumo de picas y el RMR del terreno.

En el gráfico anterior se relaciona el consumo de picas por metro lineal con el valor del RMR del terreno. Tras haber recopilado y organizado una serie de datos, se llega a la siguiente relación lineal: $Y = 0,0476x - 1,2585$.

La variable Y, es el consumo de picas por metro lineal.

La variable X, es el valor del RMR.

Como se puede observar en el gráfico, existen valores que se alejan de la mayoría de los datos, esto es debido a que las picas van sufriendo un desgaste y cada cierto tiempo es necesario el sustituir las picas, por lo que en un tramo con características similares y distancia similar, pueden emplearse mayor número de picas en la excavación, debido al desgaste sufrido previamente.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Manual de Túneles y Obras Subterráneas (Vol 1 y 2), Carlos López Jimeno, Et Al (1997).

Manual de Excavación de Túneles con Rozadoras, Carlos López Jimeno, Miguel Torija Maillo, Pilar García Bermúdez (2012).

El rendimiento de excavación con rozadoras – influencias geológicas y geotécnicas, Ingeotúneles Vol 8, Carlos López Jimeno (2004).

ARTÍCULOS Y APUNTES

Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas, Tema 7. Excavación Mecánica de Túneles, Rubén Pérez Álvarez, Universidad de Cantabria.

Métodos de Excavación, Silvio Rojas, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Departamento de Vías y Geotecnia, (2009).

Obras Subterráneas, Tema 4. Excavación mediante máquinas de ataque puntual, Isidro Diego Alvarez, Universidad de Oviedo (2011).

La Tunelización del Siglo XXI, Nuevas Herramientas para la Optimización de la Construcción de Túneles, Miguel Torija, Sandvik Mining and Construction (2011)

Métodos de Excavación (Rozadoras), Iñigo Escobal Marcos, Máster en Túneles y Obras Subterráneas, Universidad de Oviedo (2020–2021).

Mecánica Avanzada de Rocas, Emilio Trigueros, Máster Ciencia y Tecnología del Agua y del Terreno, UPCT (2019-2020).

Ejecución de los Túneles de Atsusain y Sorozarreta en la nueva red ferroviaria de la Y Vasca, LURPELAN (Lurpeko Lan Bereziak, S.A.)

PROYECTOS TÉCNICOS

Proyecto Constructivo del Tramo Lugaritz – Miraconcha del Metro de Donostialdea (2018).

PÁGINAS WEB

Sandvik Mining and Construction <https://www.rocktechnology.sandvik/>

Euskal Trenbide Sarea <https://www.ets-rfv.euskadi.eus>

NORMATIVA

Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera:

ITC 04.7.01. Circulación de la corriente de aire.

ITC 04.7.02. Concentraciones límites de gases. Temperatura, humedad, clima.

ITC 04.5.04. Labores Subterráneas. Vehículos Automotores.

ANEJO I

PERFILES GEOLÓGICOS

LEYENDA

SUELOS		SUSTRATO	
	Ra: Rellenos antrópicos		C-T: Calizas arcillosas grises y margocalizas rojas y grises. "Maastrianiense" (CRETÁCICO-TERCIARIO: Maastrichtiense-Daniense).
	Qa: Depósitos aluviales y mareales (arenas y limos)		Fc: Alternancia cm-dm de margas calizas arenosas y areniscas, en facies Flysch. "Flysch detrítico-calcáreo" (CRETÁCICO: Campaniense-Maastrichtiense).
	Qc: Depósitos coluviales		
	Qdes: Depósitos de deslizamientos		

CUATERNARIO

SIMBOLOGÍA

	26°	Dirección de estratificación con indicación de buzamiento.
		Contacto entre suelos y suelo-roca.
		Falla.
		Falla supuesta.
		Directriz estructural (repliegue).
		Plegue sinclinal.
		Plegue anticlinal.
		Plegue sinclinal tumbado.
		Plegue anticlinal tumbado.
		Ladera inestable.
		Escarpe.
		Deslizamiento.

CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA REALIZADA. LUGARITZ-MIRACONCHA

	SPA-7	Sondeo geotécnico
	PPA-7	Perfil Geofísico Sísmica pasiva
	TPA-1	Perfil de Tomografía eléctrica

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA RECOPIADA

	S-1	Sondeo Ikarbur (2004) / Lurtek (2008)
	[MLC]	Sondeo P.C. Lugaritz-La Concha (2012).
	MSS-7	Sondeo F.I. 2010
		Perfil geofísica sísmica pasiva realizado. (P.C. Lugaritz-La Concha 2012).
		Estación Geomecánica.(P.C. Lugaritz-La Concha 2012)

CHARRAK:
NOTAS:

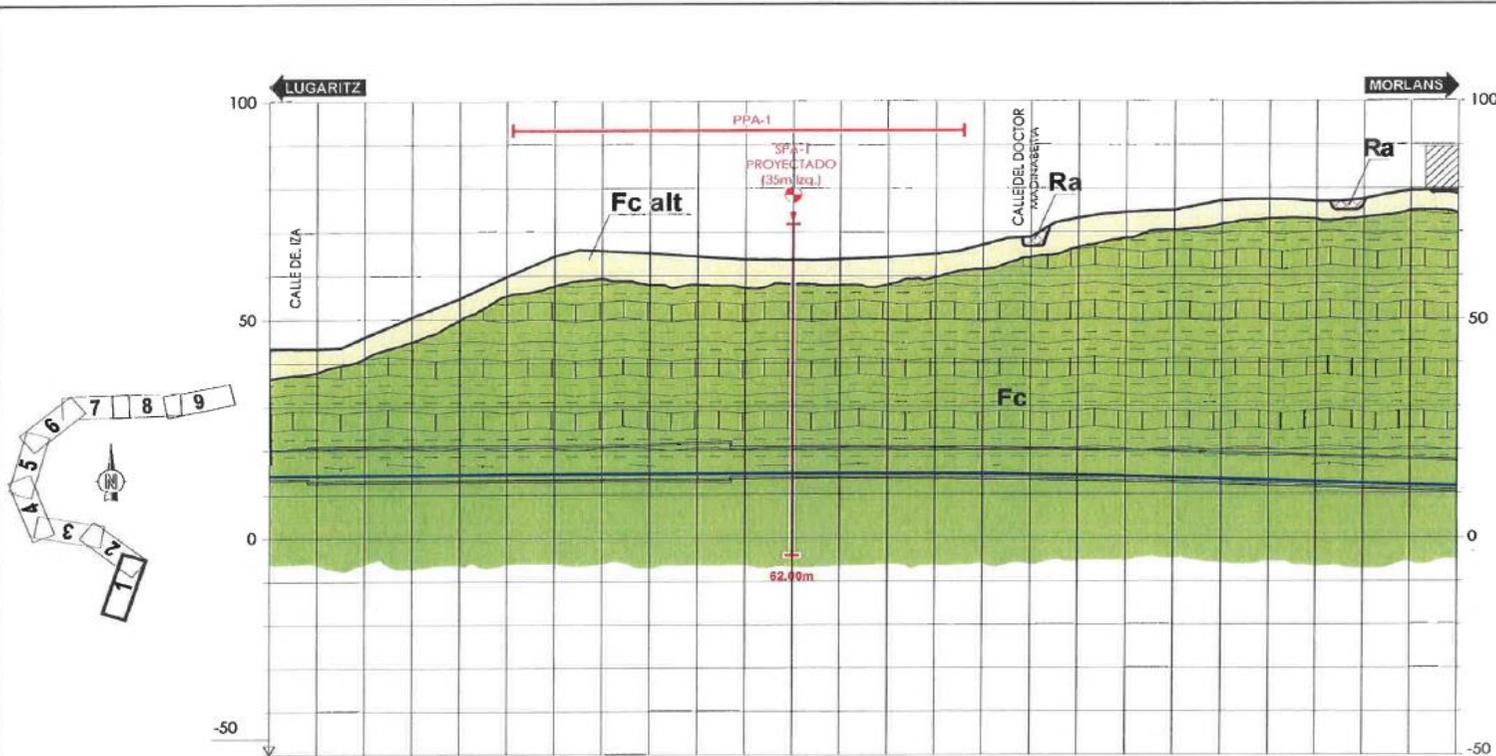
et s **Euskal trenbide sarea**
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

10 NOV. 2017

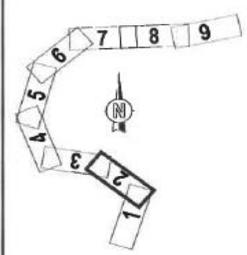
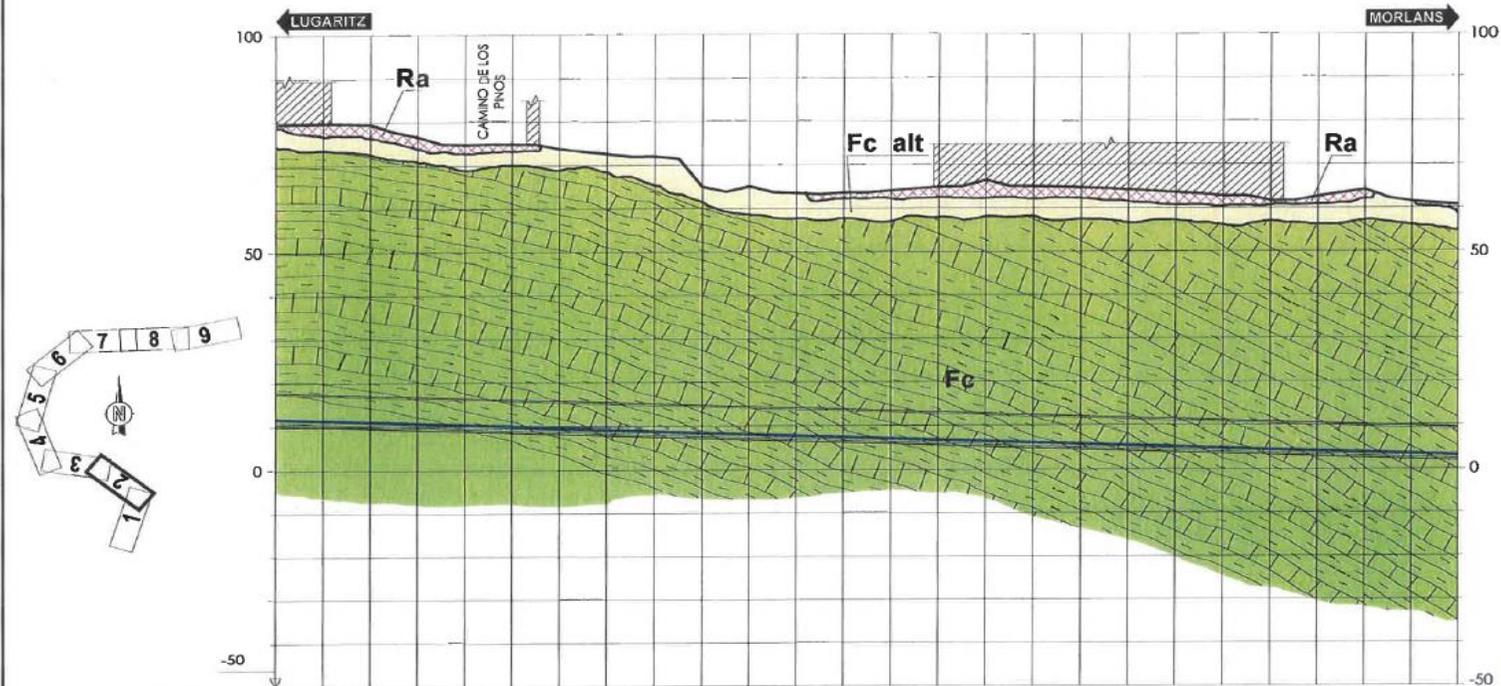
Signadura / Firmat:

DOKUMENTU HONEK AURRERAKU EDIZIOAK EZEZ DATZEN DITU / ESTE DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES

A	PREPARA DIBUJO	NOV. 16	MOX.	ETE	17
SEN.	CLAYTON BOSTONIAKOH	FECHA	PLAZA	COMP.	OSMA
REVISORIAK / REVISIONES					
ANOLAKUNA / CONSULTA			INGENIARI EGILEA		
pointec			INGENIERO AUTÓNOMO		
ANOLAKUNA ERREFERENTIA			ERREFERENTIA		
REFERENCIA CONSULTA			REFERENCIA		
MDLM-16-046-A					



P.K.	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250
COTAS	14.147	14.140	14.130	14.120	14.110	14.100
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	42.84	43.81	44.80	45.80	46.80	47.80
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	28.122	31.247	34.372	37.497	40.622	43.747
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	36.324	40.521	44.718	48.915	53.112	57.309
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	40.521	45.485	50.449	55.413	60.377	65.341
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	44.718	50.170	55.622	61.074	66.526	71.978
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	48.915	54.860	60.805	66.750	72.695	78.640
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	53.112	59.640	66.168	72.696	79.224	85.752
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	57.309	64.320	71.340	78.360	85.380	92.400
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	61.506	68.910	76.314	83.718	91.122	98.526
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	65.703	73.500	81.297	89.094	96.891	104.688
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	69.900	78.190	86.480	94.770	103.060	111.350
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	74.097	82.380	90.670	98.960	107.250	115.540
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	78.294	87.170	95.460	103.750	112.040	120.330
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	82.491	91.560	100.140	108.540	117.030	125.320
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	86.688	96.140	104.930	113.330	121.820	130.310
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	90.885	100.730	109.320	117.720	126.210	135.300
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	95.082	105.320	113.710	122.110	130.600	140.290
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	99.279	109.910	118.100	126.500	135.000	145.280
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	103.476	114.500	122.490	130.890	139.400	150.270
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	107.673	119.090	126.880	135.280	143.800	155.260
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	111.870	123.680	131.270	139.670	148.200	160.250
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	116.067	128.270	135.660	144.060	152.600	165.240
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	120.264	132.860	140.050	148.450	157.000	170.230
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	124.461	137.450	144.440	152.840	161.400	175.220
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	128.658	142.040	148.830	157.230	165.800	180.210
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	132.855	146.630	153.220	161.620	170.200	185.200
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	137.052	151.220	157.610	165.410	174.600	190.190
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	141.249	155.810	161.600	169.200	179.000	195.180
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	145.446	160.400	165.590	172.990	183.400	200.170
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	149.643	164.990	169.580	176.780	187.800	205.160
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	153.840	169.580	173.570	180.570	192.200	210.150
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	158.037	174.170	177.560	184.360	196.600	215.140
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	162.234	178.760	181.550	188.150	201.000	220.130
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	166.431	183.350	185.540	191.940	205.400	225.120
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	170.628	187.940	189.530	195.730	209.800	230.110
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	174.825	192.530	193.520	199.520	214.200	235.100
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	179.022	197.120	197.510	203.310	218.600	240.090
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	183.219	201.710	201.500	207.100	223.000	245.080
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	187.416	206.300	205.490	210.890	227.400	250.070
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	191.613	210.890	209.480	214.680	231.800	255.060
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	195.810	215.480	213.470	218.470	236.200	260.050
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	200.007	220.070	217.460	222.260	240.600	265.040
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	204.204	224.660	221.450	226.050	245.000	270.030
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	208.401	229.250	225.440	229.840	249.400	275.020
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	212.598	233.840	229.430	233.630	253.800	280.010
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	216.795	238.430	233.420	237.420	258.200	285.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	220.992	243.020	237.410	241.210	262.600	290.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	225.189	247.610	241.400	245.000	267.000	295.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	229.386	252.200	245.390	248.790	271.400	300.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	233.583	256.790	249.380	252.580	275.800	305.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	237.780	261.380	253.370	256.370	280.200	310.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	241.977	265.970	257.360	260.160	284.600	315.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	246.174	270.560	261.350	263.950	289.000	320.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	250.371	275.150	265.340	267.740	293.400	325.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	254.568	279.740	269.330	271.530	297.800	330.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	258.765	284.330	273.320	275.320	302.200	335.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	262.962	288.920	277.310	279.110	306.600	340.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	267.159	293.510	281.300	282.900	311.000	345.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	271.356	298.100	285.290	286.690	315.400	350.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	275.553	302.690	289.280	290.480	319.800	355.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	279.750	307.280	293.270	294.270	324.200	360.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	283.947	311.870	297.260	298.060	328.600	365.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	288.144	316.460	301.250	301.850	333.000	370.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	292.341	321.050	305.240	305.640	337.400	375.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	296.538	325.640	309.230	309.430	341.800	380.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	300.735	330.230	313.220	313.220	346.200	385.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	304.932	334.820	317.210	317.010	350.600	390.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	309.129	339.410	321.200	320.800	355.000	395.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	313.326	344.000	325.190	324.590	359.400	400.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	317.523	348.590	329.180	328.380	363.800	405.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	321.720	353.180	333.170	332.170	368.200	410.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	325.917	357.770	337.160	335.960	372.600	415.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	330.114	362.360	341.150	339.750	377.000	420.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	334.311	366.950	345.140	343.540	381.400	425.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	338.508	371.540	349.130	347.330	385.800	430.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	342.705	376.130	353.120	351.120	390.200	435.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	346.902	380.720	357.110	354.910	394.600	440.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	351.099	385.310	361.100	358.700	399.000	445.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	355.296	389.900	365.090	362.490	403.400	450.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	359.493	394.490	369.080	366.280	407.800	455.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	363.690	399.080	373.070	370.070	412.200	460.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	367.887	403.670	377.060	373.860	416.600	465.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	372.084	408.260	381.050	377.650	421.000	470.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	376.281	412.850	385.040	381.440	425.400	475.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	380.478	417.440	389.030	385.230	429.800	480.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	384.675	422.030	393.020	389.020	434.200	485.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	388.872	426.620	397.010	392.810	438.600	490.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	393.069	431.210	401.000	396.600	443.000	495.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	397.266	435.800	404.990	400.390	447.400	500.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	401.463	440.390	408.980	404.180	451.800	505.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	405.660	444.980	412.970	407.970	456.200	510.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	409.857	449.570	416.960	411.760	460.600	515.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	414.054	454.160	420.950	415.550	465.000	520.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	418.251	458.750	424.940	419.340	469.400	525.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	422.448	463.340	428.930	423.130	473.800	530.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	426.645	467.930	432.920	426.920	478.200	535.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	430.842	472.520	436.910	430.710	482.600	540.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	435.039	477.110	440.900	434.500	487.000	545.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	439.236	481.700	444.890	438.290	491.400	550.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	443.433	486.290	448.880	442.080	495.800	555.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	447.630	490.880	452.870	445.870	500.200	560.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	451.827	495.470	456.860	449.660	504.600	565.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	456.024	500.060	460.850	453.450	509.000	570.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	460.221	504.650	464.840	457.240	513.400	575.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	464.418	509.240	468.830	461.030	517.800	580.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	468.615	513.830	472.820	464.820	522.200	585.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	472.812	518.420	476.810	468.610	526.600	590.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	477.009	523.010	480.800	472.400	531.000	595.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	481.206	527.600	484.790	476.190	535.400	600.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	485.403	532.190	488.780	479.980	539.800	605.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	489.600	536.780	492.770	483.770	544.200	610.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	493.797	541.370	496.760	487.560	548.600	615.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	497.994	545.960	500.750	491.350	553.000	620.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	502.191	550.550	504.740	495.140	557.400	625.000
COISA ROJA (CORMONTO) (TERRAPIEN)	506.3					



P.X.	0+250	0+300	0+350	0+400	0+450	0+500
COIAS PASANTE	11.600	11.205	10.800	10.400	10.000	9.600
COIAS TERRESTRE	78.49	78.67	78.84	79.01	79.18	79.35
COIA ROJA (DESARROLLO)	68.425	68.511	68.597	68.683	68.769	68.855
COIA ROJA (TERMINAL)	67.590	68.425	68.511	68.597	68.683	68.769
	78.49	78.67	78.84	79.01	79.18	79.35
	10.249	10.215	10.181	10.147	10.113	10.079
	74.81	74.92	75.03	75.14	75.25	75.36
	9.595	9.585	9.575	9.565	9.555	9.545
	74.92	74.92	74.92	74.92	74.92	74.92
	78.84	78.84	78.84	78.84	78.84	78.84
	72.63	72.63	72.63	72.63	72.63	72.63
	72.90	72.90	72.90	72.90	72.90	72.90
	8.981	8.981	8.981	8.981	8.981	8.981
	26.03	26.03	26.03	26.03	26.03	26.03
	8.256	8.256	8.256	8.256	8.256	8.256
	85.12	85.12	85.12	85.12	85.12	85.12
	7.915	7.915	7.915	7.915	7.915	7.915
	62.63	62.63	62.63	62.63	62.63	62.63
	7.886	7.886	7.886	7.886	7.886	7.886
	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65	63.65
	7.265	7.265	7.265	7.265	7.265	7.265
	84.07	84.07	84.07	84.07	84.07	84.07
	6.919	6.919	6.919	6.919	6.919	6.919
	84.87	84.87	84.87	84.87	84.87	84.87
	6.679	6.679	6.679	6.679	6.679	6.679
	86.42	86.42	86.42	86.42	86.42	86.42
	6.249	6.249	6.249	6.249	6.249	6.249
	84.08	84.08	84.08	84.08	84.08	84.08
	8.905	8.905	8.905	8.905	8.905	8.905
	64.69	64.69	64.69	64.69	64.69	64.69
	5.979	5.979	5.979	5.979	5.979	5.979
	84.17	84.17	84.17	84.17	84.17	84.17
	5.223	5.223	5.223	5.223	5.223	5.223
	62.20	62.20	62.20	62.20	62.20	62.20
	4.900	4.900	4.900	4.900	4.900	4.900
	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71	62.71
	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585
	61.09	61.09	61.09	61.09	61.09	61.09
	4.226	4.226	4.226	4.226	4.226	4.226
	62.28	62.28	62.28	62.28	62.28	62.28
	3.869	3.869	3.869	3.869	3.869	3.869
	64.19	64.19	64.19	64.19	64.19	64.19
	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
	61.94	61.94	61.94	61.94	61.94	61.94
	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225
	62.81	62.81	62.81	62.81	62.81	62.81

LONGITUD TRAMO (m)
MONTERIA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA
RMR (I)
SOSTENIMIENTO
MÉTODO DE EXCAVACIÓN
TRATAMIENTOS ESPECIALES

620m
73m
FC (FLYSCH DETRÍTICO CALCÁREO)
RMR 20-55: 10% / RMR 55-45: 35% / RMR 45-30: 55%
S1-G3 II: 62m / S1-G3 III: 217m / S1-G3 IV: 341m
ROZADORA

DIAGRAMA:
NOTAS:

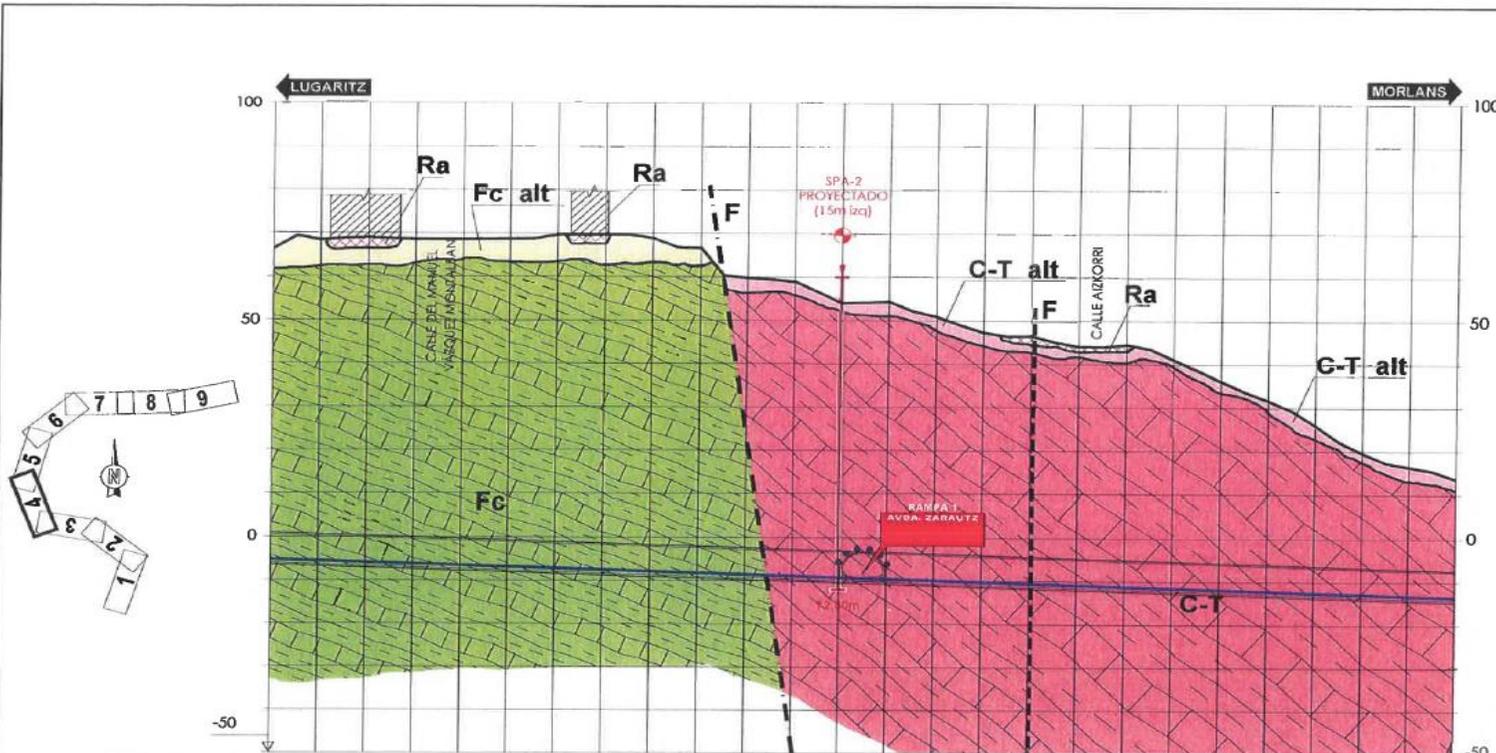
euskal trenbide sarea
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

10 NOV. 2017

Sinadura / Firma

DOCUMENTU HONEK AURRERERU EDIZIOAK EZEZTATZEN DITU / ESTE DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES

A	PRIMERA EDICIÓN	10/11/2017	MLL	ETS	SI
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	INGENIERO	COMP	OTRO
BERROGABERAK / REVISIONES					
ANULADORA / CONSULTOR			INGENIERO EDICIÓN		
pointec			INGENIERO AUTORIZADO		
ANULADORA REFERENCIA			INGENIERO REFERENCIA		
REFERENCIA CONSULTOR			REFERENCIA		
MDLM-16-048-A					



P.K.	0+750	0+800	0+850	0+900	0+950	1+000
COTAS	-8.180	-8.065	-8.020	-8.005	-8.005	-8.005
COTA ROJA (DEBONTE) (TERRAPLEN)	71.550	73.020	74.770	76.420	78.070	79.720
ALTURA	79.670	81.085	82.790	84.425	86.075	87.725
TERMINO	66.47	66.42	66.95	67.52	68.07	68.62

LONGITUD TRAMO (m)
MCHERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)
UNIDAD GEOLOGICO-GEOTÉCNICA
RMR (%)
SOSENMIENTO
MÉTODO DE EXCAVACIÓN
TRATAMIENTOS ESPECIALES

120m
71m
FC (FLYSCH DE INTRINCO CALCÁREO) / C-T MAESTRANIE
VER PÁGINA ANTERIOR TRAMO 0+200 A 0+800
RMR 55-45: 10% / RMR 45-30: 40% / RMR < 30: 30%
ST-G3 IR: 12m / ST-G3 IV: 72m / ST-G3 V: 36m
ROLADORA
SONDEOS EXPLORATORIOS EN FRENTE DE AVANCE, DRENAJE DEL FRENTE, BULCHES DE FIBRA DE VIDRIO EN FRENTE DE AVANCE, BULCHES AUTOPERFORANTES EN HASTALES, TRATAMIENTOS ASOCIADOS A ST-G3-V. LIGERILLO DE APLICACIÓN 18m (15% DEL TOTAL).
VER PÁGINA SIGUIENTE TRAMO 0+900 A 1+000

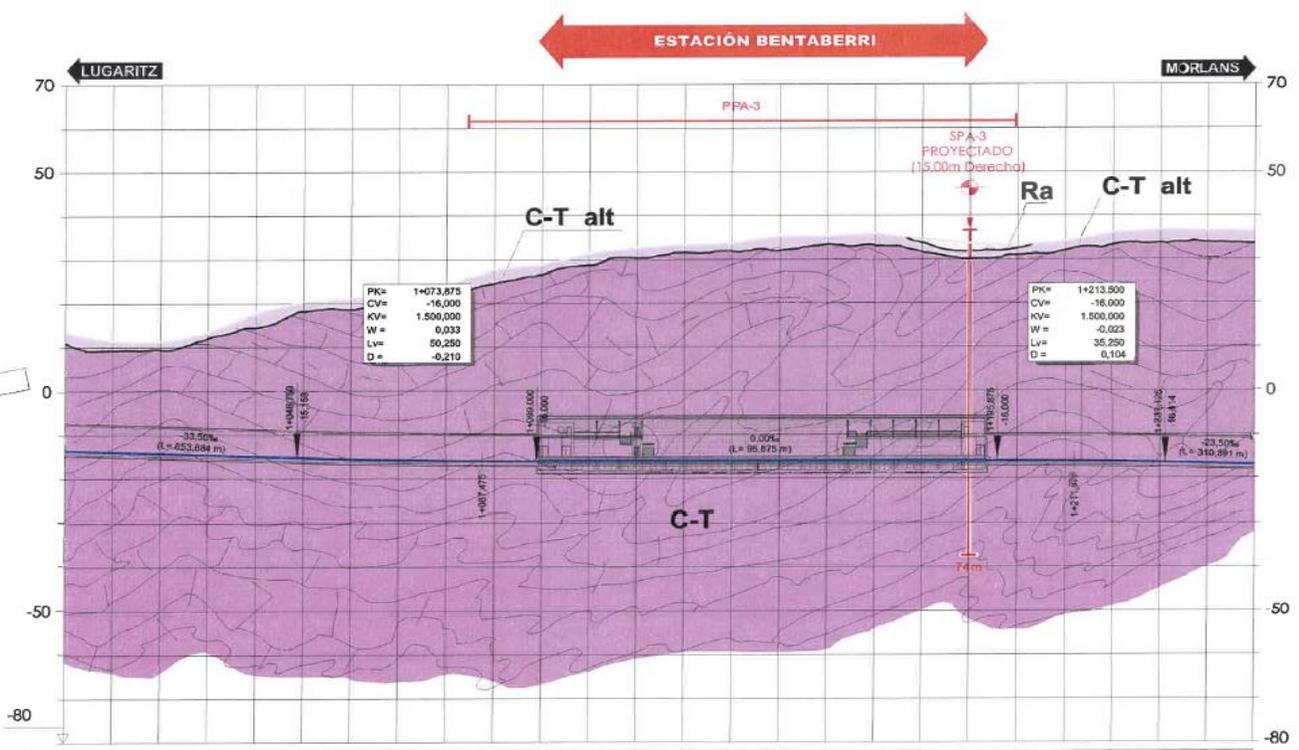
euskal trenbide sarea
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

10 NOV. 2017

Sinadura / Firma

DOKUMENTU HONEK AURRERAKO EDIZIOAK EZEZTATZEN DITU; ESTE DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES

A	PRIMERA FASE	Rev 01	MDL	ETS	BT
TÍTULO	CLASE DE DOCUMENTACIÓN	FECHA	INICIADO	COMP.	CIERRA
REVISIONES					
AJUSTADORA / CONSULTOR			INGENIERO EN CA		
pointec			INGENIERO AUTÓNOMO		
AJUSTADORA REFERENCIAL			INGENIERO AUTÓNOMO		
REFERENCIAL CONSULTOR			REFERENCIAL		
MDLM-16-050-A					



P.K.	1+000	1+050	1+100	1+150	1+200	1+250
COTAS PASANTE TERRENO	-13,625 27,087	-13,660 25,273	-14,195 21,652	-14,520 21,864	-15,206 20,537	-15,499 19,114
COTA ROJA (CONCRETO) (TERRAPLEN)	-13,625 27,087	-13,660 25,273	-14,195 21,652	-14,520 21,864	-15,206 20,537	-15,499 19,114

LONGITUD TRAMO (m)	145m	12m	96m	22m
ALCANTARILLA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	50m	40m	45m	45m
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	C-T MAASTANIENSE			
RMR (*)	RMR 35-45: 40% / RMR 45-50: 60%			
SOSTENIMIENTO	ST-G3 III: 58m / ST-G3 IV: 87m			
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA			
TRATAMIENTOS ESPECIALES	PARAGUAS LIGERO DE MICROPILOTOS DE L=12m PARA APERTURA DE GALERÍA DE VENTILACIÓN V1 (PK: 1+067)			

	1+085	1+097	1+193	1+216
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	C-T			
RMR (*)	RMR 30-45: 100%			
SOSTENIMIENTO	ST-SG1-IV / ST-SG2-IV / ST-SG4-IV			
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA			
TRATAMIENTOS ESPECIALES	(*)			

CHARRAK :
NOTAS :

(*) ZONA DE CAVERNA. CARÓN. TUNEL. EXTREMAR LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y EFICIENCIA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO. REFUERZO DE PARAMENTO VERICAL INFERIOR (EN EL TUNEL DE LÍNEA BAJO CARÓN), MEDIANTE BULONES AUTOPERFORANTES DE 6m DE LONGITUD. LONGITUD DE APLICACIÓN 11m (80%).

(**) ZONA DE CAVERNA. CARÓN. TUNEL. EXTREMAR LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y EFICIENCIA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO. REFUERZO DE PARAMENTO VERICAL INFERIOR (EN EL TUNEL DE LÍNEA BAJO CARÓN), MEDIANTE BULONES AUTOPERFORANTES DE 6m DE LONGITUD. LONGITUD DE APLICACIÓN 16m (80%).

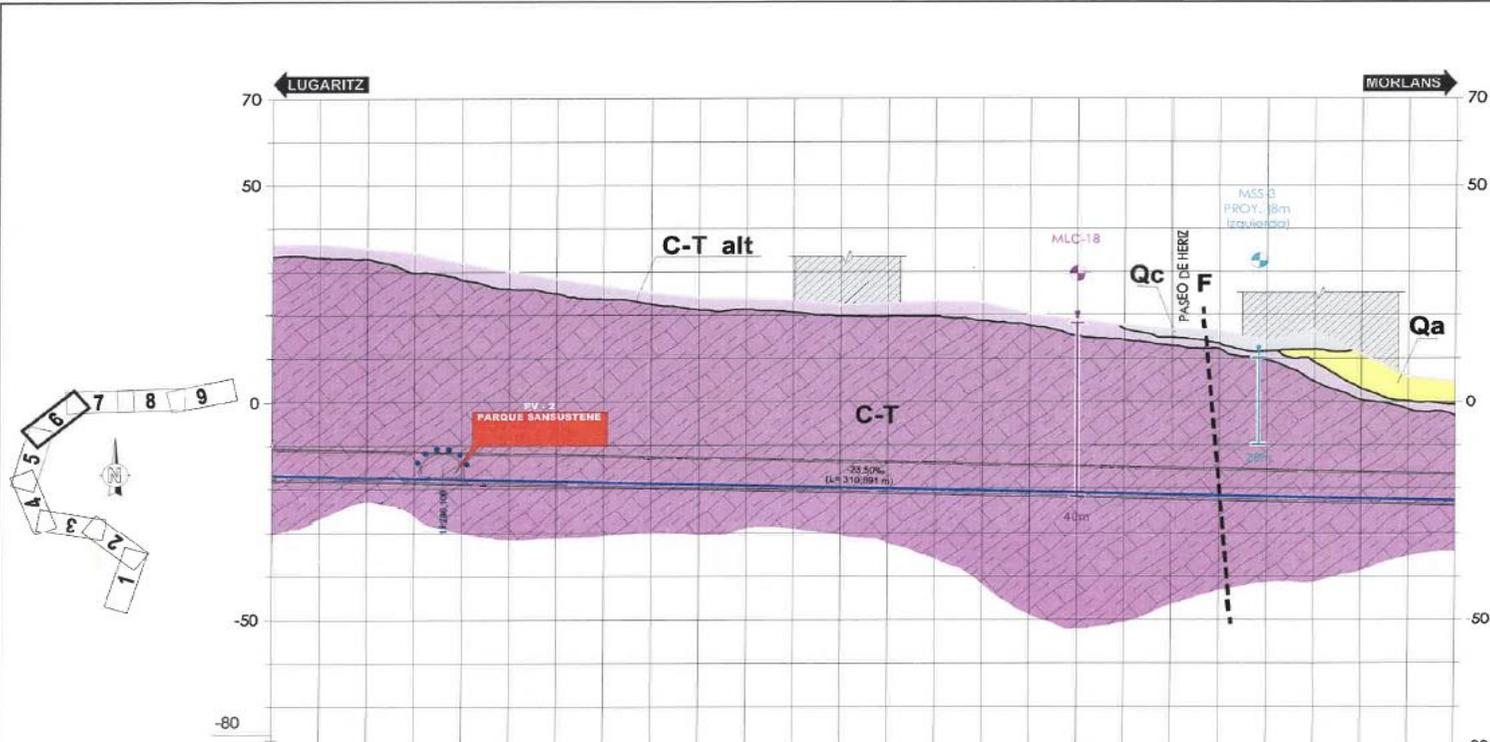
euskal trenbide sare
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

16 SET. 2013

Sinadura / Firma

DOKUMENTU HONEK AURRERERU EDIZIO EZEZTATZEN DTU / ESTI DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES

B	MODIFICADO (M)	JAN 18	AJL	ETS	SI
A	PRIMERA EMISIÓN	MAR 16	MCI	ETS	SI
REV.	CAUSAS DE MODIFICACIÓN	FECHA	MODIFICADO	EMISOR	REVISOR
BERRIKAPENAK / REVISIONES					
ANULAZLARA / CONSULTA			INGENIAR ESOLA		
UTB METRO DENTA BERRI			INGENIERO AUTOR		
ANULAZLARA ERREPENTINDA			ANULAZLARA		
REFERENTZIA			REFERENTZIA		
MDLM-16-051-B					



P.K.	1+250	1+300	1+350	1+400	1+450	1+500
COTAS PASANTE	-16.659	-17.053	-17.328	-17.593	-17.843	-18.078
COTAS TERRENO	36.69	36.69	35.44	34.57	32.04	30.08
COTA ROJA (DESNIVEL)	-53.348	-53.746	-54.666	-55.093	-55.646	-56.078
COTA ROJA (TERRENO)	36.69	36.69	35.44	34.57	32.04	30.08

LONGITUD TRAMO (m)	229m
MONTERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	47m
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOFÓNICA	C-T MAASTIDANENSE
RMR (*)	RMR 55-45: 25% / RMR 45-30: 75%
SOSTENIMIENTO	ST-Q3 II: 57m / ST-Q3 IV: 172m
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA
TRATAMIENTOS ESPECIALES	PARAGUAS LIGERO DE MICROPILOTOS DE L=6m PARA APERTURA DE GALERÍA DE VENTILACIÓN V2 (PK 1+289)

LONGITUD TRAMO (m)	229m	10m
MONTERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	47m	30m
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOFÓNICA	C-T MAASTIDANENSE	ZONA DE FALLA
RMR (*)	RMR 55-45: 25% / RMR 45-30: 75%	RMR-30: 100%
SOSTENIMIENTO	ST-Q3 II: 57m / ST-Q3 IV: 172m	ST-Q3-V
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA	ROZADORA
TRATAMIENTOS ESPECIALES	PARAGUAS LIGERO DE MICROPILOTOS DE L=6m PARA APERTURA DE GALERÍA DE VENTILACIÓN V2 (PK 1+289)	(*)

OBARRAK:
NOTAS:
[*] DRENAJE DEL FRENTE, BULONES DE FIBRA DE VIDRO EN FRENE DE AVANCE, BULONES AUTOPERFORANTES EN PASTILLAS. LONGITUD DE APLICACIÓN 50% (50% DEL TOTAL DEL TRAMO).

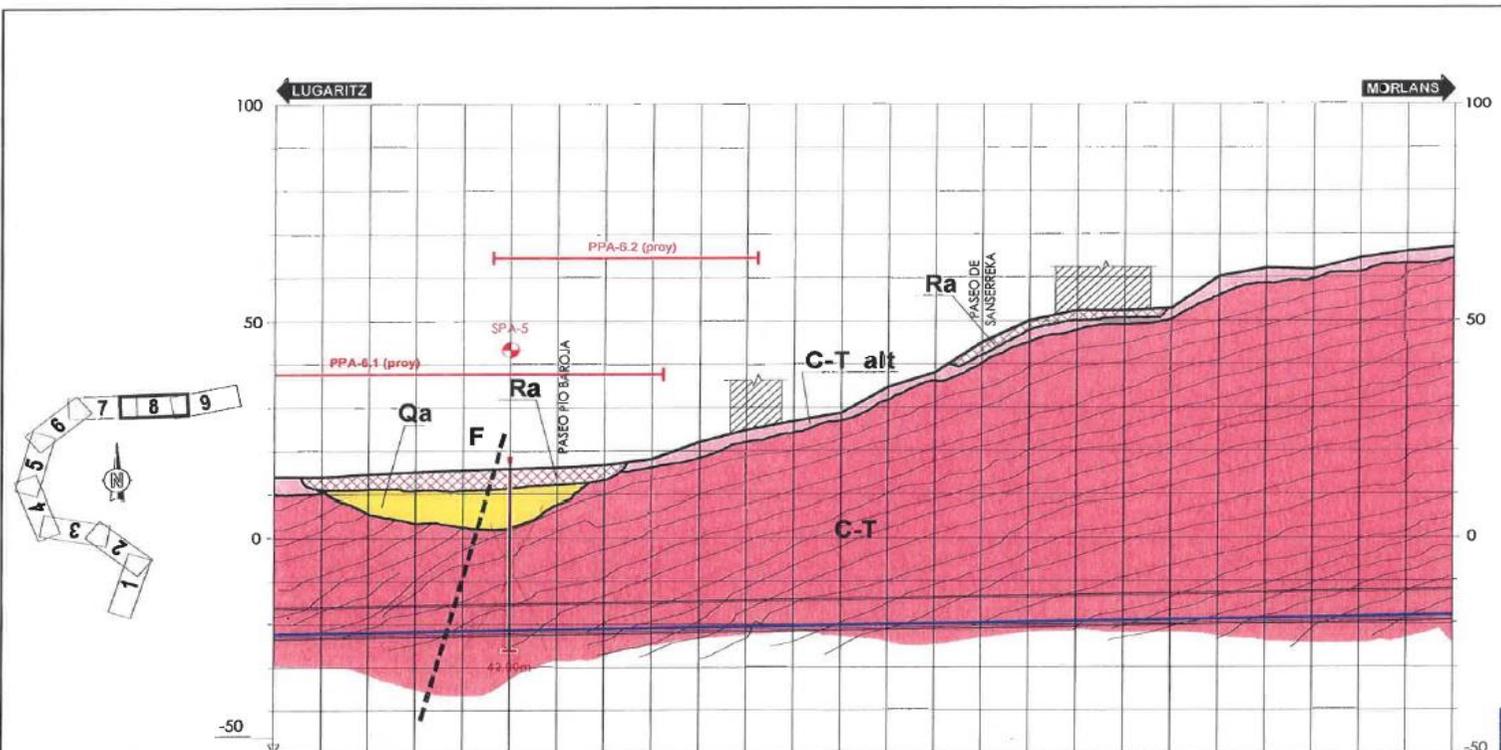
euskal trenbide sare
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

16 SET. 2019

Sinadura / Firma

DOKUMENTU HONEK AURERERU FIDIZIAK EZEZTATZEN DITU. ESTE DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES.

B MODIFICACION	Ver. 19	A.U.C.	ETS	0
A PRIMERA EDICION	Ver. 16	M.C.I.	ETS	0
REV. CLASE DE MODIFICACION	FECHA	NUMERO DE PLAN	TIPO	OTRO
REVISIONES / REVISIONES				
ANULACION / CONSULTA		INFORMACION INGENIERO/AUTOR		
UTE METODO DIRECTA DESARROLLO		AUTOR		
ANULACION DIFERENCIADA REFERENCIA CONSULTA		DIFERENCIADA REFERENCIA		
MDLM-16-052-B				



P.K.	1+750	1+800	1+850	1+900	1+950	2+000
C.OHAS	-22,209	-21,919	-20,099	-20,138	-18,722	-18,000
INSTRUMENTE	13,58	15,57	22,37	20,87	24,24	24,24
TERMINO	13,58	15,57	22,37	20,87	24,24	24,24
COTA ROJA (DESIGN) (SERRAILEN)	-35,956	-31,948	-26,292	-26,084	-24,627	-24,000
	-35,956	-31,948	-26,292	-26,084	-24,627	-24,000
	-36,415	-31,884	-26,165	-25,911	-24,461	-23,840
	-36,415	-31,884	-26,165	-25,911	-24,461	-23,840
	-36,762	-31,681	-25,922	-25,678	-24,217	-23,596
	-36,762	-31,681	-25,922	-25,678	-24,217	-23,596
	-37,025	-31,519	-25,699	-25,456	-23,972	-23,351
	-37,025	-31,519	-25,699	-25,456	-23,972	-23,351
	-37,165	-31,348	-25,481	-25,237	-23,722	-23,101
	-37,165	-31,348	-25,481	-25,237	-23,722	-23,101
	-37,305	-31,174	-25,264	-25,018	-23,472	-22,851
	-37,305	-31,174	-25,264	-25,018	-23,472	-22,851
	-37,737	-30,701	-24,791	-24,541	-23,000	-22,379
	-37,737	-30,701	-24,791	-24,541	-23,000	-22,379
	-38,000	-30,028	-24,118	-23,868	-22,327	-21,706
	-38,000	-30,028	-24,118	-23,868	-22,327	-21,706
	-42,730	-30,099	-23,545	-23,295	-21,851	-21,230
	-42,730	-30,099	-23,545	-23,295	-21,851	-21,230
	-46,292	-29,617	-22,972	-22,722	-21,279	-20,658
	-46,292	-29,617	-22,972	-22,722	-21,279	-20,658
	-47,178	-29,311	-22,666	-22,416	-20,973	-20,352
	-47,178	-29,311	-22,666	-22,416	-20,973	-20,352
	-48,385	-28,907	-22,252	-22,002	-20,559	-19,938
	-48,385	-28,907	-22,252	-22,002	-20,559	-19,938
	-54,670	-28,000	-21,345	-21,095	-19,646	-19,025
	-54,670	-28,000	-21,345	-21,095	-19,646	-19,025
	-57,387	-26,784	-20,438	-20,188	-18,737	-18,116
	-57,387	-26,784	-20,438	-20,188	-18,737	-18,116
	-58,842	-25,877	-19,531	-19,281	-17,830	-17,209
	-58,842	-25,877	-19,531	-19,281	-17,830	-17,209
	-59,427	-25,169	-18,823	-18,573	-17,122	-16,501
	-59,427	-25,169	-18,823	-18,573	-17,122	-16,501
	-71,697	-23,276	-16,926	-16,676	-15,175	-14,554
	-71,697	-23,276	-16,926	-16,676	-15,175	-14,554
	-71,461	-22,862	-16,512	-16,262	-14,761	-14,140
	-71,461	-22,862	-16,512	-16,262	-14,761	-14,140
	-71,824	-22,055	-15,605	-15,355	-13,854	-13,233
	-71,824	-22,055	-15,605	-15,355	-13,854	-13,233
	-75,072	-20,759	-14,309	-14,059	-12,558	-11,937
	-75,072	-20,759	-14,309	-14,059	-12,558	-11,937
	-80,722	-18,900	-12,412	-12,162	-10,661	-10,040
	-80,722	-18,900	-12,412	-12,162	-10,661	-10,040
	-80,323	-18,614	-12,126	-11,876	-10,375	-9,754
	-80,323	-18,614	-12,126	-11,876	-10,375	-9,754
	-82,743	-18,241	-11,753	-11,503	-10,002	-9,381
	-82,743	-18,241	-11,753	-11,503	-10,002	-9,381
	-84,071	-17,000	-10,408	-10,158	-8,657	-8,036
	-84,071	-17,000	-10,408	-10,158	-8,657	-8,036
	-84,815	-16,800	-10,208	-9,958	-8,457	-7,836
	-84,815	-16,800	-10,208	-9,958	-8,457	-7,836

LONGITUD TRAMO (m)	60m	310m
MCHTERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	35m	44m
UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	C-T MAASTADANIENSE	FC (LYLSCH DETRÍTICO CALCÁREO) / C-T MAASTADANIENSE
RMR (°)	RMR 55-45: 35% / RMR 45-30: 45% / RMR <30: 20%	RMR > 70: 5% / RMR 70-55: 10% / RMR 45-55: 40% / RMR 30-45: 35% / RMR <30: 10%
TOSSEAMIENTO	ST-G3 III: 26m / ST-G3 IV: 36m / ST-G3 IV: 16m	ST-G3 I: 15m / ST-G3 II: 31m / ST-G3 III: 124m / ST-G3 IV: 109m / ST-G3 V: 31,44m
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA	ROZADORA
TRATAMIENTOS ESPECIALES	SONDOS EXPLOSCIVOS EN FRENTES DE AVANCE: BUCLES DE FIBRA DE VIDRIO TRIBRILDE DE EXCAVACIÓN. DRENAJE DEL FRENTES: BUCLES AUTOPORANTES EN HASTILES. TRATAMIENTOS ASOCIADOS A ST-G3 V.	SONDOS EXPLOSCIVOS EN FRENTES DE AVANCE: BUCLES DE FIBRA DE VIDRIO EN FRENTES DE EXCAVACIÓN. DRENAJE DEL FRENTES: BUCLES AUTOPORANTES EN HASTILES. TRATAMIENTOS ASOCIADOS A ST-G3 V. LONGITUD DE APLICACIÓN 14,5m (DE DEL TOTAL DEL TRAMO).

euskal trenbide sarea
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

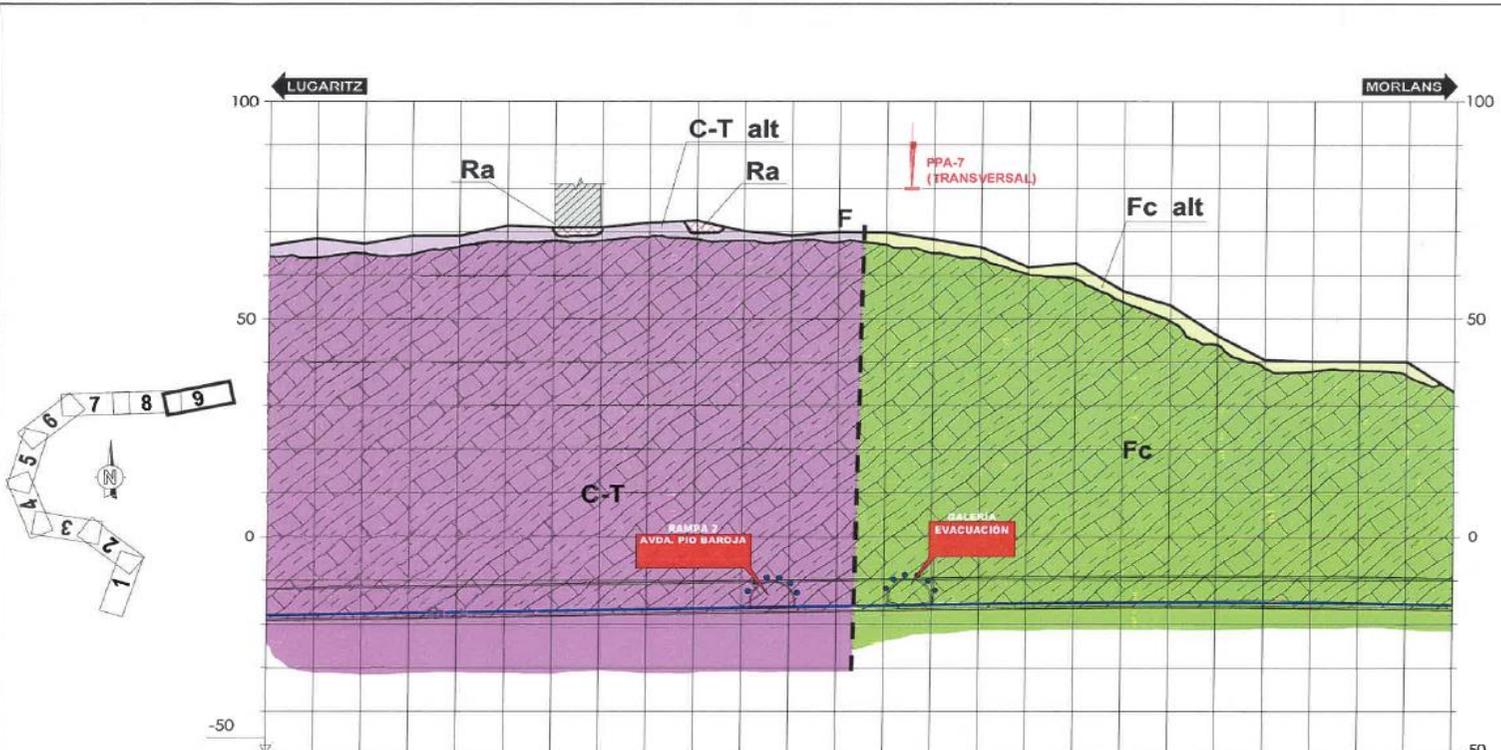
10 NOV. 2017

Sinadura / Firma

DOKUMENTU HONEK AURREREU EDIZIOAK
EZEZTATZEN DITU / ESTE DOCUMENTO
ANULA EDICIONES ANTERIORES

A	PRIMERA EMISIÓN	ING.	MI	ETS	SI
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	FECHA	MODIFICADO	IMP.	EDIDA

AKOLABARIA / CONSULTOR	INGENIERIA ESCALA (INGENIERO/AUTOS)
pointec	1:750
AKOLABARIA ENPREZTATZEA / REFERENCIA	INGENIERIA ESCALA (INGENIERO/AUTOS)
	MDLM-16-054-A



P.K.	2+000	2+050	2+100	2+140.441	2+200	2+250
COTAS	84,815	85,414	84,708	88,484	86,329	85,482
BASANTE	86,892	87,724	87,251	89,121	87,236	86,121
TERRENO	86,892	86,449	87,251	89,121	86,329	86,121
COTA ROJA (DESIGNATE) (TERRAPLEN)	86,214	86,449	87,251	89,121	87,236	86,121

LONGITUD TRAMO (m)	310m
MONTERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	83m
UNIDAD GEOLOGICO-GEOTÉCNICA	FC (FLYSCH DETRÍTICO CALCÁREO) / C-T MAASDANENSE
RMR (*)	RMR > 70: 5% / RMR 70-55: 10% / RMR 45-35: 40% / RMR 30-45: 35% / RMR <30: 10%
SOSTENIMIENTO	ST-G3 I: 15,5m / ST-G3 II: 31m / ST-G3 III: 124m / ST-G3 IV: 108,5m / ST-G3 V: 31,44m
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA
TRATAMIENTOS ESPECIALES	PARAGUAS LIGERO DE MICROPIOTES DE L=6m, PARA APERTURA DE GALERÍA DE EVACUACIÓN PK.(2+116) Y RAMPA 2. PASEO PIO BARROJA (PK. 2+135)

LONGITUD TRAMO (m)	310m
MONTERA MÁXIMA SOBRE CLAVE (m)	83m
UNIDAD GEOLOGICO-GEOTÉCNICA	FC (FLYSCH DETRÍTICO CALCÁREO) / C-T MAASDANENSE
RMR (*)	RMR > 70: 5% / RMR 70-55: 10% / RMR 45-35: 40% / RMR 30-45: 35% / RMR <30: 10%
SOSTENIMIENTO	ST-G3 I: 15,5m / ST-G3 II: 31m / ST-G3 III: 124m / ST-G3 IV: 108,5m / ST-G3 V: 31,44m
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	ROZADORA
TRATAMIENTOS ESPECIALES	PARAGUAS LIGERO DE MICROPIOTES DE L=6m, PARA APERTURA DE GALERÍA DE EVACUACIÓN PK.(2+116) Y RAMPA 2. PASEO PIO BARROJA (PK. 2+135)

OHARRAK:
NOTAS:

euskal trenbide sareak
ERAIKUNTZARAKO
PARA CONSTRUCCIÓN

24 ENE. 2019

Stnadura / Firma:

DOKUMENTU HONEK AURREKUI EDIZIOAK EZEZTATZEN DITU / ESTE DOCUMENTO ANULA EDICIONES ANTERIORES

N	MODIFICADO Nº1	CG 18	A.U.C.	ETS	BT
A	PRIMERA EJECUCIÓN	Mic. 18	M.S.L.	ETS	BT
REV.	CLASE DE MODIFICACIÓN	PRECIA	COMB	COMP.	COMB.
RESPONSABLES / REVISORES					
ANULADURA / CONSULTOR			INGENIARI BULETA INGENIERO(A)UTOR		
UTE METRO BENTA BEHON					
ANULADURA ENFERMERIA REFERENCIA CONSULTOR			ENFERMERIA REFERENCIA		
MDLM-16-055-B					

ANEJO II

DESCRIPCION DE LA ROZADORA MT20

DESCRIPCIÓN DE LA ROZADORA SANDVIK MINER MT720

1. Descripción Técnica.

1.1. Descripción general

El SANDVIK MINER MT720 es un cortador (rozadora) de carretera de servicio pesado y diseñado para un desarrollo rápido de carretera para cortar roca dura y abrasiva. Por este motivo, el cortador de carretera puede exceder límites de rangos de operación existentes para otros cortadores de carretera; sin embargo, también enfrenta los valores extremos fijados por la interacción de la máquina con la roca bajo condiciones extremas.

El SANDVIK MINER MT720 es de accionamiento eléctrico. Seguridad y comodidad óptima para el operador, lograda a través de una protección total del área de corte.

Los límites de la rozadora están definidos por las herramientas de corte disponibles (picas) con respecto a:

- Resistencia a la carga de impacto con roca de extrema resistencia (propicia el rompimiento de las puntas de tungsteno-carburo).
- Resistencia al desgaste por abrasión cuando encuentra rocas con alto contenido de minerales duros.

Características del SANDVIK MINER MT720:

- Sistema integrado de lavado de alta presión de los picos. SANDVIK tiene varios cabezales de carretera operando con este sistema por muchos años.
- Baja velocidad de rotación del cabezal cortador y alta potencia instalada para reducir el desarrollo de polvo al mínimo.
- Baja presión sobre el terreno de las pistas de oruga.
- Las cadenas de oruga no se mueven durante el desbaste por la unidad cortadora (por lo tanto no hay destrucción del piso en condiciones suaves).
- Sistema de engrasado totalmente automático para fácil mantenimiento.
- Diseñado para excavación económica de rocas que excedan una resistencia a la compresión uniaxial de 120 Mpa, optimizando el diseño robusto y potencia de corte para cortes a baja velocidad.

Campo de aplicación de la Rozadora SANDVIK MINER MT720:

- Montaje y desarme sencillo de sus principales componentes o unidades transportables.
- Velocidad de corte lenta con el fin de reducir el desgaste de las picas.
- Posibilidad de ser integrado en sistemas existentes de excavación
- Corte de perfiles por encima del ancho normal maniobrando la máquina.
- Las cadenas de oruga no se mueven durante el desbaste por la unidad cortadora (no hay destrucción del terreno en condiciones más suaves).
- Sistema de engrase totalmente automático para los principales componentes.
- Rápido cambio de lugar debido a la alta velocidad de rotación de la pista.
- Posible corte de perfiles en una simple pasada con aceptables inclinaciones de la máquina.

1.2. Datos técnicos

1.2.1. Datos generales

Longitud Total (m)	15,2
Altura mínima con cobertura (m)	4,6
Ancho de pista de la máquina (m)	2,8
Ancho de mesa de carga (m)	4,6
Ancho de pista de oruga (m)	0,7
Peso total (t)	135
Presión de la máquina sobre el terreno (Mpa)	0,23
Espacio libre sobre terreno (mm)	0,23
Máxima altura de corte (m)	6,6
Máxima anchura de corte (m)	9,1

Tabla 1. Datos generales Sandvik Miner MT720.

1.2.2. Sistema eléctrico

Motor del cortador (enfriado por agua):

Potencia Nominal (kW)	300
Revoluciones (rpm)	1470
Torque nominal (Nm)	1950

Tabla 2. Sistema eléctrico del motor del cortador.

Motor hidráulico (enfriado por aire):

Potencia Nominal (kW)	150
Revoluciones (rpm)	1470
Torque nominal (Nm)	975

Tabla 3. Sistema eléctrico del motor hidráulico.

Motores de cargadores (enfriados por agua):

Potencia Nominal (kW)	2*36
Revoluciones (rpm)	1450
Torque nominal (Nm)	225

Tabla 4. Sistema eléctrico motores de cargadores.

1.3. Perfil de corte

Perfil de corte mediante brazo telescópico.

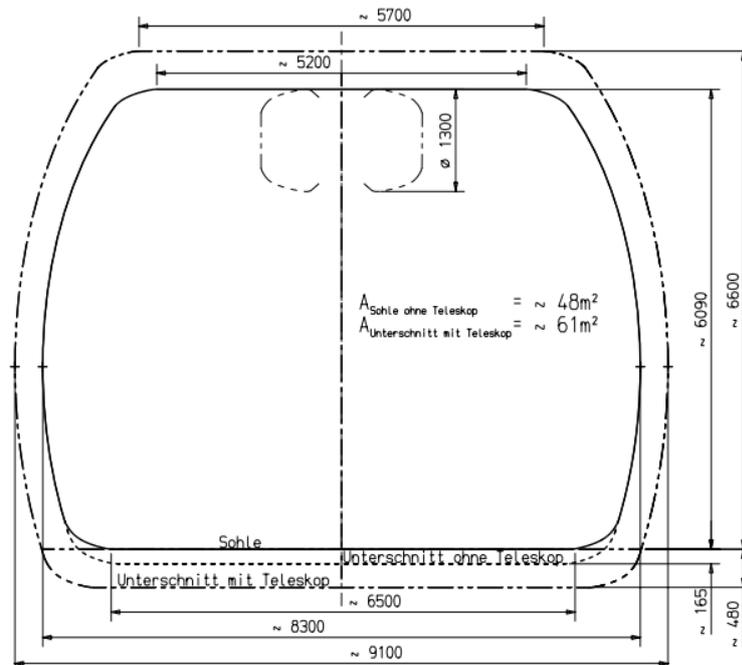


Imagen 1. Perfil de corte mediante la Rozadora MT720.

2. Descripción de grupos de montaje

En este apartado se ubican y se detallan los diferentes ensambles principales de la máquina.

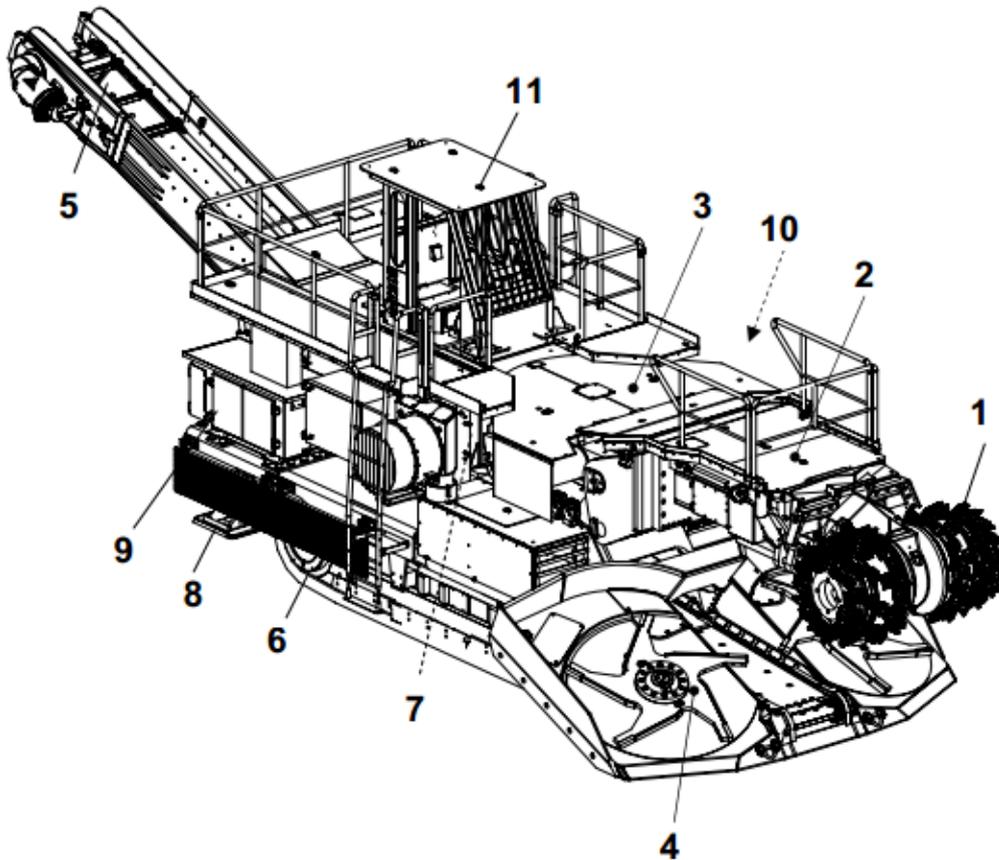


Imagen 2. Elementos principales de la Rozadora Sandvik Miner MT720.

1. Cabeza de corte	7. Bastidor
2. Brazo de corte con motor	8. Estabilizador trasero
3. Torreta	9. Equipo eléctrico
4. Plataforma de recogida y carga	10. Equipo hidráulico
5. Cinta transportadora	11. Cabina del operador
6. Tren de orugas	

Tabla 5. Elementos principales de la Rozadora Sandvik Miner MT720.

2.1. Brazo de corte con motor.

El sistema de corte de la rozadora tiene un motor eléctrico de 300 kW y 50 Hz, que es enfriado por agua. Diseñado, desarrollado y fabricado para proveer una operación productiva y confiable.

El conjunto del brazo de corte comprende la base del brazo cortador con unidad telescópica, motor cortador, caja de engranajes, cabeza de corte y piezas de conexión.

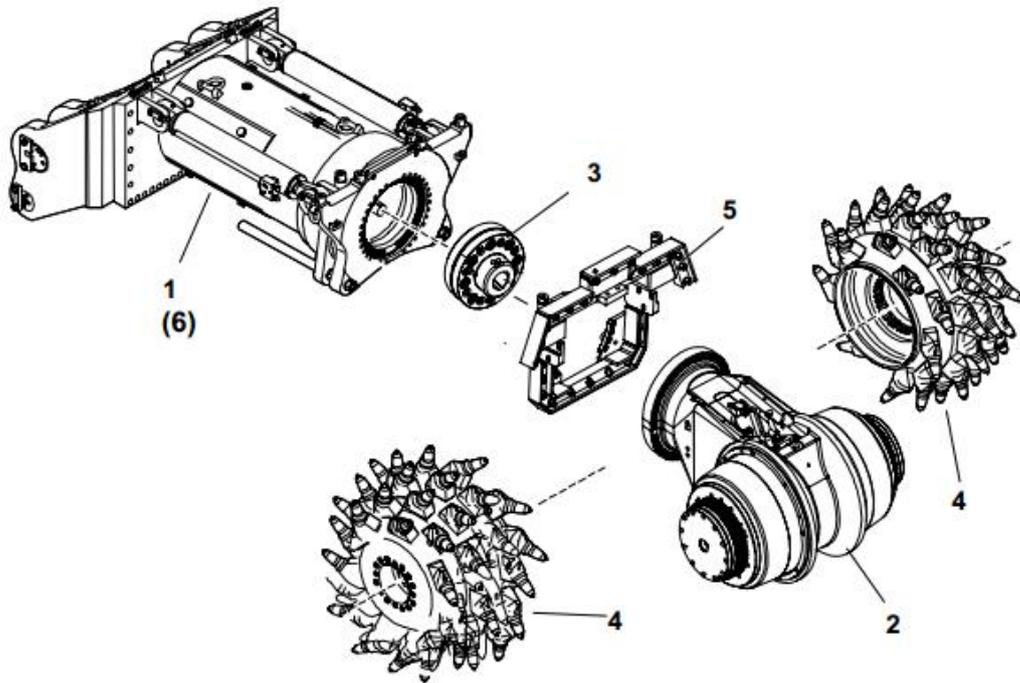


Imagen 3. Elementos principales del brazo de corte.

1. Base del brazo cortador y unidad telescópica	4. Cabeza de corte
2. Caja de engranajes (Reductor)	5. Barra de inyectores
3. Piezas de conexión	6. Motor eléctrico

Tabla 6. Elementos principales del brazo de corte

El diseño avanzado de los engranajes permite una expectativa de vida alta para la transmisión. El suministro de agua para el lavado de alta presión de los picos es llevado a través de la caja de engranajes.

2.1.1. Cabeza de corte

Dependiendo de las condiciones geológicas, se pueden emplear diferentes cabezas de corte. Para aplicaciones estándar se recomienda la cabeza de corte R400-TC60 con 60 portapicas (tipo: EF58).

El R400-TC60 es una cabeza de corte que se emplea para condiciones de corte de dureza media y dureza alta, como pizarra, pizarra arenosa, arenisca, etc.

La cabeza de corte se fija a la caja de cambios con tornillos cilíndricos y una ranura para la transmisión del par. Esta disposición permite un intercambio fácil y rápido de las cabezas de corte.

En este caso se emplearán las cabezas de corte: **105-G57 y 105-G57 plus.**

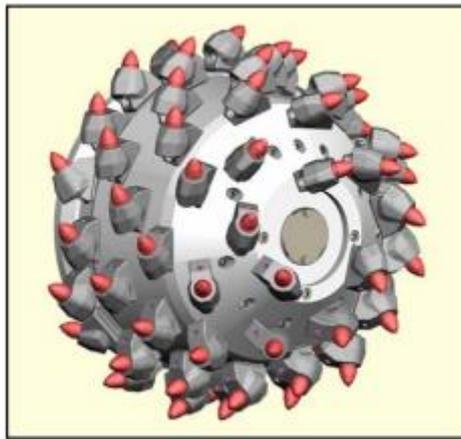


Imagen 4. Cabeza de corte de la rozadora.

Tipo cabeza de corte	105-G57 y 105-G57 plus
Rango operación óptimo	Hasta Resistencia Compresión de 100 Mpa.
Equipado con	2*60 cajas de picas aptas para picas de 38 mm de diámetro.
Reductor	SG400/L
Diámetro	1.300 mm
Velocidad de corte	1,38 m/s con 50 Hz
Velocidad de giro	0,17 – 0,19 m/s con 50 Hz

Tabla 7. Características de las cabezas de corte.

2.1.2. Barra de inyectoros

28 boquillas de pulverización especiales se insertan en una estructura de acero maciza y rígida que es altamente resistente a daños externos. Las boquillas de pulverización rodean el cabezal de corte en forma circular, cubriendo toda zona de corte con cortina de agua cerrada.

Se requiere una cantidad de agua de 52 l/min para garantizar una capacidad de enfriamiento suficiente y proporcionar un polvo óptimo efecto de supresión.

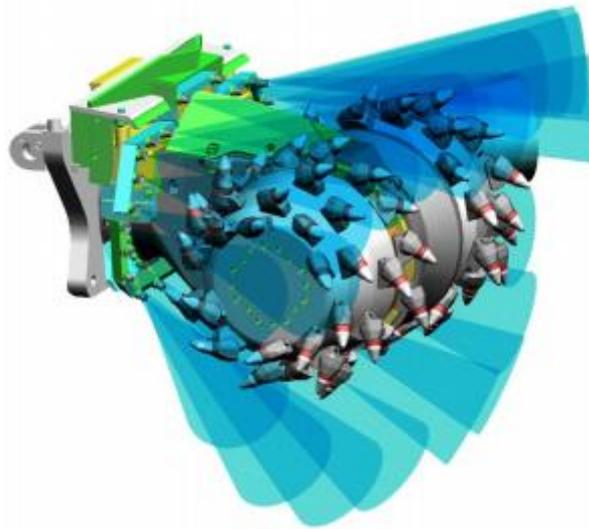


Imagen 5. Boquillas de pulverización en funcionamiento.

Caudal (l/min)	52
Presión entrante (bar)	Min 7 ; Max 20
Temperatura entrante (°C)	Max 35

Tabla 8. Características principales de los inyectoros.

El sistema de anillo de rociado de agua a alta presión presenta una serie de ventajas:

- Máximo efecto de supresión de polvo en la zona de corte.
- Refrigeración eficaz de las puntas de las picas, reduciendo así el desgaste de las mismas.

2.1.3. Reductor (Caja de engranajes)

El utilizado en este caso es el reductor **Tipo SG400/L** (frecuencia 50 Hz).

La caja de engranajes contiene una etapa de engranajes rectos, una de engranajes cónicos, una de engranajes planetarios y una con engranajes planetarios en ambos lados.

Todas las superficies están selladas contra penetración de aceite con compuestos selladores adecuados. El cojinete del eje conductor tiene sellos de eje y está sellado con sellos mecánicos rotativos.

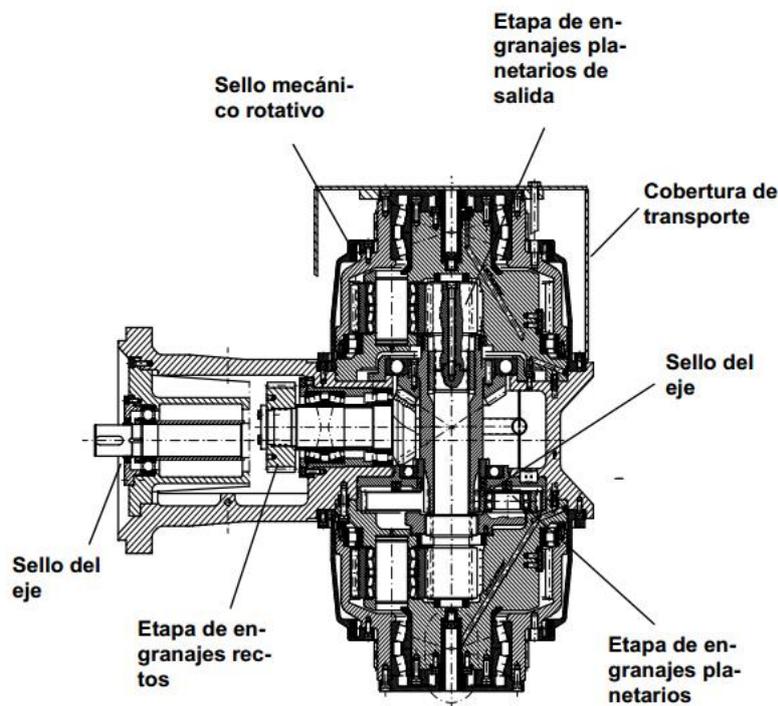


Imagen 6. Componentes principales del reductor.

Potencia (kW)	300
Velocidad de entrada (rpm)	1470
Torque de entrada (Nm)	1950
Relación transmisión engranajes	73,58
Torque de salida (kNm)	143,40

Tabla 9. Características principales del reductor.

2.2. Torreta

La torreta se emplea para mover el brazo de corte en dirección vertical y horizontal. Está unido al bastidor. Un rodamiento de disco asegura que ocurran muy pocas vibraciones durante la operación, incluso durante condiciones difíciles.

El pivote horizontal se logra con ayuda de dos cilindros hidráulicos. El rango de pivote es aproximadamente 37° a cada lado, derecha e izquierda.

El pivote vertical se logra con ayuda de dos cilindros hidráulicos fijados al soporte del motor y a la torreta. El rango del pivote es aproximadamente 73° .

Los rodamientos (bocinas y pines) deben estar siempre suficientemente lubricados. Durante el montaje y desmontaje observe un alto grado de limpieza.

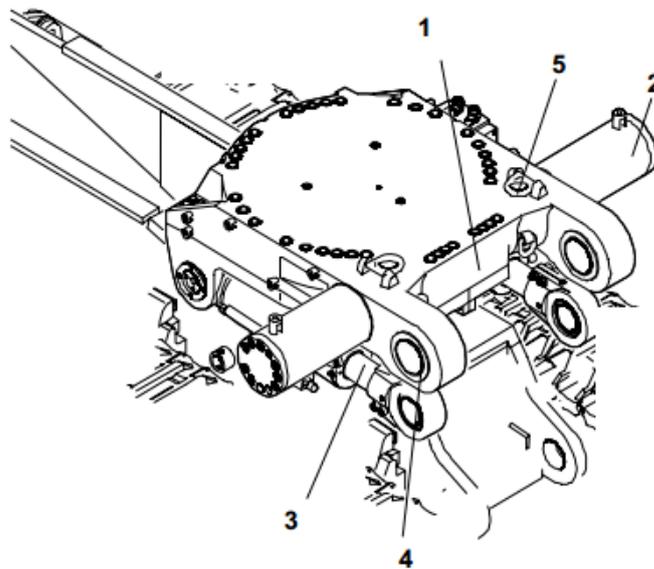


Imagen 7. Posición de los elementos principales de la torreta.

1. Caja de rodamientos de disco, lado superior
2. Cilindro pivote horizontal
3. Cilindro pivote vertical
4. Rodamiento cabeza de corte
5. Puntos elevación

Tabla 10. Elementos principales de la torreta.

2.3. Plataforma de recogida y carga

El conjunto de carga consta de la mesa de carga que se puede subir y bajar hidráulicamente, las dos transmisiones del cargador y las estrellas de carga.

La mesa de carga tiene un diseño resistente con un ancho básico de 4.560 mm.

Opcionalmente hay disponibles extensiones de mesa de carga para diferentes anchos, ya sea extensiones fijas o extensiones variables operadas hidráulicamente.

Toda la superficie superior de la mesa de carga que está en contacto con el material cargado, está cubierta con placas especiales resistentes al desgaste de 12 mm de espesor.

La mesa de carga también se utiliza para estabilizar la máquina durante el corte con sus dos cilindros hidráulicos.

Las dos estrellas de carga mueven el material de la mesa de carga al transportador de cadena. Las estrellas de carga también están protegidas con placas de alta resistencia al desgaste.

Cada estrella de carga es impulsada por un motor eléctrico refrigerado por agua de 36 kW. Los motores están totalmente sellados para evitar la entrada de agua.

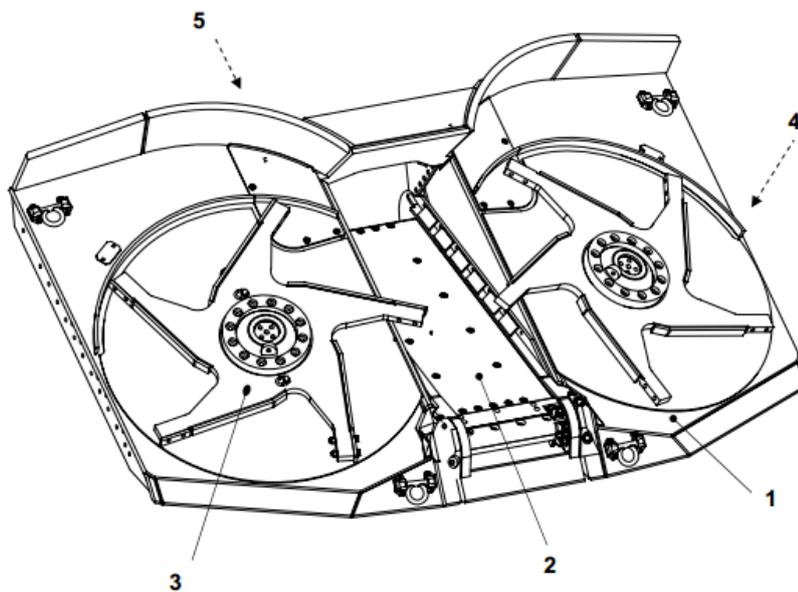


Imagen 8. Posición de los elementos principales de la plataforma de recogida y carga.

1. Mesa de carga 4,5 metros
2. Transportador parte frontal
3. Estrella
4. Caja de engranaje con motor eléctrico
5. Cilindro hidráulico

Tabla 11. Elementos principales de la plataforma de recogida y carga.

2.5. Cinta transportadora

La cadena transportadora está dispuesta en el centro de la máquina. Transporta el material recogido por las dos estrellas de carga en la parte trasera de la máquina. Utilizando un sistema de transporte de doble cadena.

La cinta transportadora es accionada por un motor hidráulico a través de una caja de engranajes planetarios cónicos.

El extremo de descarga de la doble cinta transportadora está lo suficientemente alto por encima del nivel de la pista para permitir la carga de la mayoría de los camiones.

La capacidad máxima de transporte es de 400 m³/h, lo que permite una carga rápida del camión.

La cadena es una cadena estándar continua voladora tipo Miner de 19 mm de paso y 64,5 mm de ancho. La distancia de la cadena doble es de 700 mm.

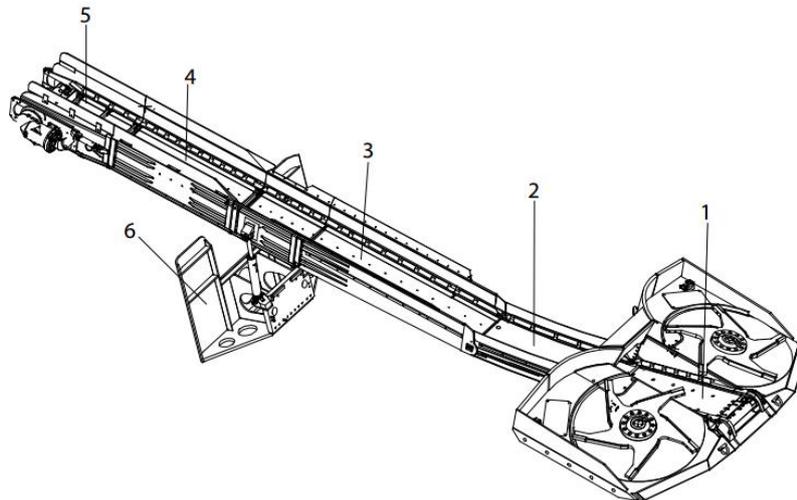


Imagen 9. Elementos principales de la cinta transportadora.

1. Parte delantera (mandil del cargador)	4. Pieza de extensión
2. Parte central de la cinta	5. Unidad motriz y de extensión
3. Parte trasera de la cinta	6. Parachoques trasero

Tabla 12. Posición de los elementos de la cinta transportadora.

2.6. Tren de orugas

El equipo de pista se usa para maniobrar el Sandvik Miner durante el corte y para alinear la máquina sobre largas distancias.

El MT720 utiliza la unidad motriz de tracción hidráulica estándar MT720. Este sistema ha sido diseñado con el fin de eliminar todo mantenimiento asociado con la tradicional cadena de rodillos. Debido al fácil acceso a la caja de engranajes, motor hidráulico y cilindros de tensión de cadenas, el mantenimiento resulta mínimo.

La cadena de 720 mm de ancho asegura una tracción positiva sobre una amplia variedad de terrenos. La velocidad de alineamiento asegura un cambio de lugar eficiente y seguro. Esta cadena de orugas está tensionada mediante cilindros.

El sistema (tren de orugas) es conducido por dos motores hidráulicos con frenos, los cuales son liberados hidráulicamente. En caso de que la presión hidráulica caiga, los frenos responden inmediatamente y bloquean el Miner.

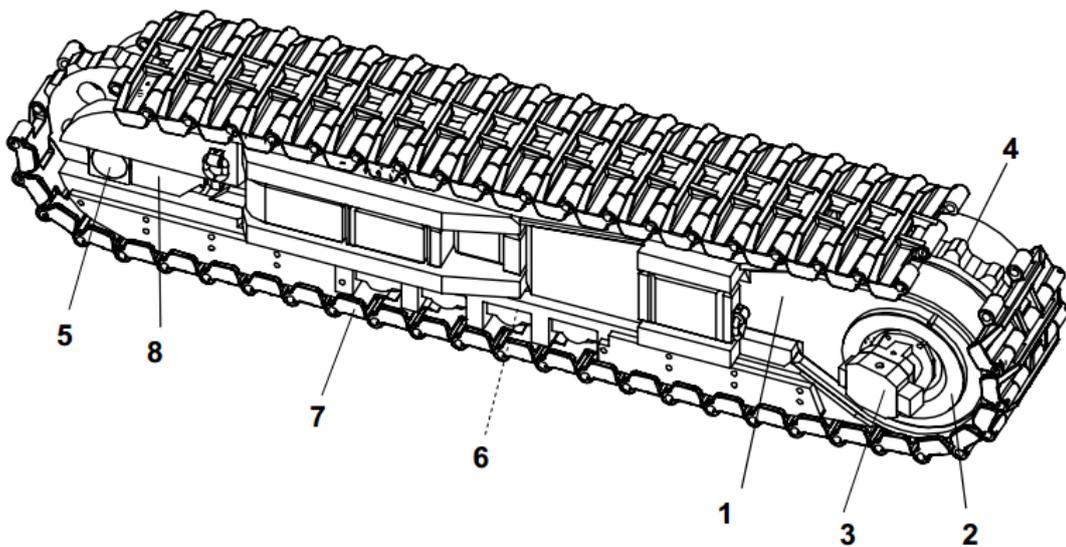


Imagen 10. Posición de los elementos principales del tren de orugas.

1. Bastidor de la pista	5. Rodillos de retorno
2. Unidad motriz y caja de engranajes con freno	6. Rodillos de la pista
3. Motor hidráulica	7. Cadena de la pista
4. Catalina	8. Dispositivo tensionado

Tabla 13. Elementos principales Tren de orugas.

Fuerza de tracción	(KN)	465
Ancho de pista	(mm)	720
Presión del suelo	(Mpa)	0,23
Velocidad equipo de pista	(m/min)	0 – 18

Tabla 14. Datos técnicos del tren de orugas.

2.7. Bastidor

El bastidor es una pieza de acero sólido. Este lleva todos los grupos de ensamble. Contiene un estabilizador de accionamiento hidráulico en la parte trasera y actúa como soporte durante las funciones de desbaste y corte.

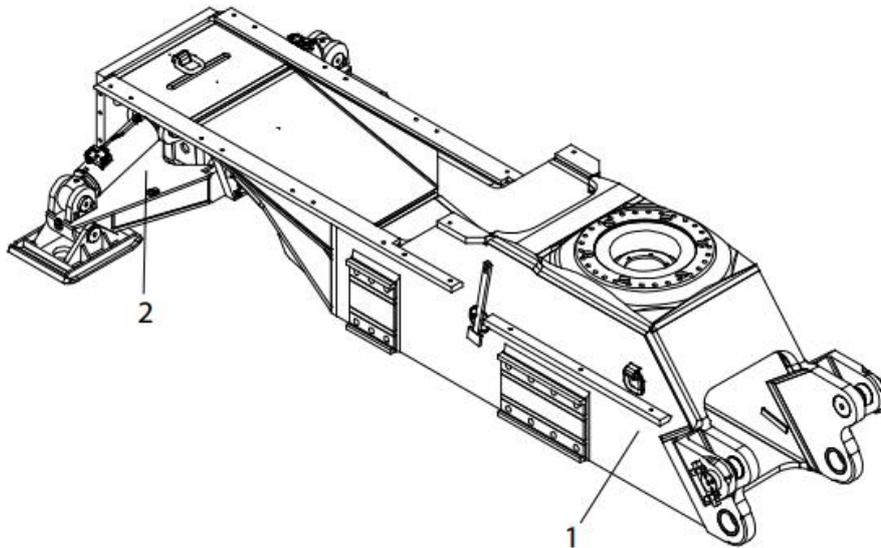


Imagen 11. Posición de los elementos principales del bastidor.

1. Bastidor	2. Estabilizador trasero
-------------	--------------------------

Tabla 15. Elementos principales del bastidor.

2.8. Estabilizador trasero

Los estabilizadores a derecha e izquierda de la parte trasera del bastidor pueden levantarse o bajarse individualmente con ayuda de un cilindro hidráulico.

El propósito de los estabilizadores es transferir el peso de la máquina hacia el frente para ayudar durante el corte dentro de la superficie. Adicionalmente, proveen un soporte sólido para la parte trasera de la máquina, la cual tiene la tendencia de bajar durante el ciclo de corte.

Los estabilizadores pueden ser usados también como gastos de servicio para levantar la máquina para mantenimiento.

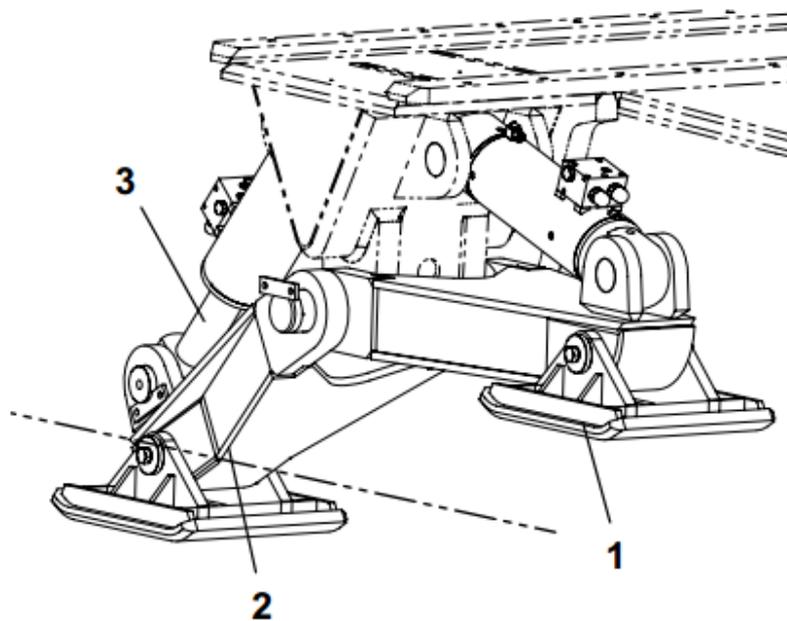


Imagen 12. Posición de los elementos del estabilizador trasero.

1. Estabilizador, dcha	2. Estabilizador izqda	3. Cilindro Hidráulico
------------------------	------------------------	------------------------

Tabla 15. Elementos principales Estabilizador trasero.

2.9. Sistema eléctrico

El equipo eléctrico del MT720 está diseñado para trabajar a 1000 (V) / 50 (Hz).

El equipo eléctrico se basa en la aplicación del sistema de conductor de protección. Todas las partes del sistema eléctrico que hacen contacto con el cuerpo están conectados a un conductor de protección.

El sistema de control es monitoreado permanentemente por falla a tierra. En caso de que ocurra una falla a tierra, el circuito se desconecta.

Todos los interruptores están ubicados en una caja de servicio pesado no ignífugo (panel principal, controlador de motor) donde se conectan motores, faros, luces de área, solenoides, bocina de advertencia, sensores de campo y cables.

Todos los motores eléctricos son de tres fases, tipo de jaula de ardilla y de arranque directo de la línea, lo cual requiere de un suministro de energía estable.

2. 10. Sistema hidráulico

La unidad hidráulica del MT720, contiene un tanque hidráulico despresurizado, las dos bombas de pistón, el sistema de control, los accesorios y las líneas de tuberías.

El sistema hidráulico opera con circuitos abiertos. Los componentes hidráulicos estándar están diseñados para aceite hidráulico. El sistema ha sido previamente probado con el fluido hidráulico tipo Mineral Oil 68.

La unidad de potencia hidráulica es accionada por un motor eléctrico. La bomba hidráulica (bomba de pistón axial) cuenta con controles de capacidad y presión. Las tuberías de succión pueden ser selladas de forma que las bombas puedan ser intercambiadas sin tener que drenar el fluido hidráulico.

El sistema de sensor de carga produce la salida hidráulica requerida por cada usuario. Las pérdidas en la salida son minimizadas de esta manera. El sistema se compone de circuitos independientes.

2. 11. Cabina del operador

La cabina del operador está localizada al lado derecho de la máquina, detrás de la torreta. La cabina protege al operador de la caída de rocas.

El techo de la cabina es desmontable para propósitos de transferencia y transporte. Al desmontar la cabina del operador se debe asegurar que las líneas eléctricas estén desconectadas.

El asiento del operador puede ser apoyado separadamente por unidad deslizante.

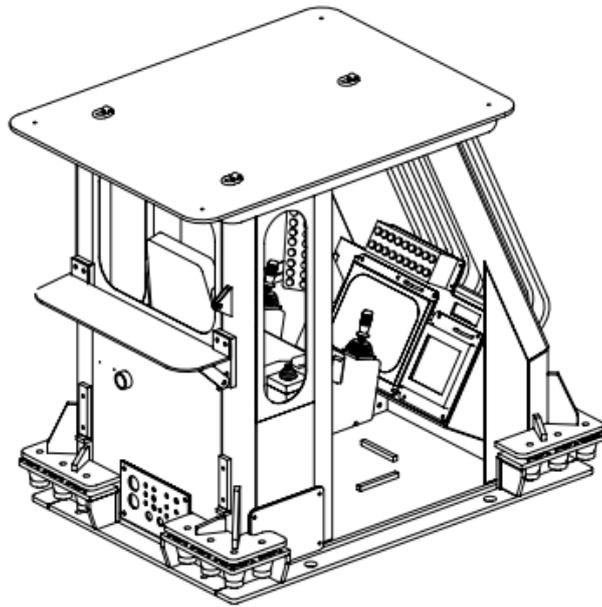


Imagen 13. Cabina del operador

2. 12. Sistema de suministro de agua y enfriamiento

La rozadora está equipada con un circuito de refrigeración abierto para mantener la temperatura de funcionamiento de los siguientes componentes:

- Motor de corte (camisa de enfriamiento)
- Transmisión del cortador (intercambiador de calor)
- Motores para unidad de carga (camisa de enfriamiento)
- Fluido hidráulico (intercambiador de calor)

2. 13. Sistema de lubricación

La rozadora está equipada con dos bombas de lubricación multilínea accionadas hidráulicamente, accionadas desde el circuito hidráulico de trabajo y montadas a ambos lados de la torreta.

La bomba de lubricación multilínea aloja elementos de la bomba y puntos de lubricación . El volumen de suministro es infinitamente variable dentro de cierto rango. La grasa se suministra continuamente a los puntos de lubricación conectados.

Algunos elementos no se lubrican a través del sistema de lubricación central, pero deben engrasarse manualmente mediante unos engrasadores individuales y tiras de lubricación. Las tiras de lubricación actúan como central distribuidor para llegar a puntos de difícil acceso o que se encuentren en una zona que entrañe peligro para la máquina.

2. 14. Equipo adicional

La máquina cuenta con un motor adicional, un Motor Diesel – Caterpillar.

ANEJO III

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ROZADORA

Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR)

La clasificación geomecánica de Bieniawski o RMR (rock mass rating) fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema consiste en una metodología de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento.

Las clasificaciones geomecánicas permiten calcular un índice numérico (cuantitativo) a partir del cual se puede valorar (de forma cualitativa) la calidad del macizo y realizar recomendaciones de sostenimiento o de ejecución para los diferentes tipos de obra.

El RMR se obtiene estimando seis parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada
- R.Q.D.
- Espaciamiento de las discontinuidades (fisuras, diaclasas)
- Estado de las discontinuidades (condición de las juntas)
- Presencia de agua subterránea
- Orientación de las discontinuidades respecto al eje de desarrollo

A cada uno de los parámetros se les asigna, según las tablas, un valor y se suman todos ellos para obtener el índice de calidad RMR.

Ventajas que presenta la clasificación de Bieniawski:

- Sencillo de utilizar
- Parámetros fáciles de obtener
- Su uso es muy extendido

Limitaciones de la clasificación de Bieniawski:

- Los macizos de muy mala calidad no están bien representados
- Excesiva influencia del tamaño de bloque
- Al ser sumatorio, no es muy sensible a la variación de parámetros

1	Resistencia de la roca intacta	Carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Preferible la resistencia a compresión simple		
		Compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
		Valor	15	12	7	4	2	1	0
2	R. Q. D.		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las juntas		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4	Condición de las juntas		Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca labios sana	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios algo meteorizados	Ligeramente rugosa separación ≤ 1 mm roca labios muy meteorizados	Espejo de falla o relleno de espesor <5 mm, o juntas abiertas 1-5 mm (juntas continuas)	Relleno blando de espesor >5 mm, o juntas abiertas >5 mm (juntas continuas)		
	Valor		30	25	20	10	0		
5	Agua	Flujo en cada 10 m de túnel, o bien	Ninguno	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Relación presión del agua en la junta/tensión principal máxima	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condiciones Generales	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy húmedo	Goteo	Flujo de agua		
		Valor	15	10	7	4	0		

6	Orientación de las discontinuidades		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
	Valores	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
		Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Orientaciones relativas entre las juntas y el eje de la cavidad			
Dirección perpendicular al eje del túnel			
Buzamiento 45-90° según dirección	Dirección según buzamiento 20-45°	Dirección contra buzamiento 45-90°	Dirección contra buzamiento 20-45°
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable
Dirección paralela al eje del túnel			
Buzamiento 45-90°		Buzamiento 20-45°	
Muy desfavorable		Regular	
Buzamiento 0-20° (Independiente del rumbo)			
Regular			

Tabla 1. Parámetros que intervienen en el cálculo del RMR.

RMR	CLASE	DESCRIPCIÓN
< 20	V	Muy malo
21 ÷ 40	IV	Malo
41 ÷ 60	III	Medio
61 ÷ 80	II	Bueno
81 ÷ 100	I	Muy bueno

Tabla 2. Clasificación del macizo rocoso en función del valor del RMR.

Abrasividad

La abrasividad consiste en la capacidad de la roca para desgastar a la superficie de contacto de otro cuerpo más duro, como consecuencia del rozamiento registrado durante el desplazamiento relativo existente entre ambas durante la excavación.

La abrasividad se puede medir de forma cuantitativa utilizando para ello diferentes ensayos:

- Contenido en cuarzo (sílice) equivalente
- Índice Schimazek
- Ensayo Cerchar

Índice de Schimazek

La abrasividad de las rocas no depende únicamente de la dureza de los minerales y el contenido en dichos minerales de la misma, también depende de otros parámetros como tamaño de grano y resistencia a tracción de la roca.

COEFICIENTE DE SCHIMAZEK (F)
(Schimazek y Knazt, 1976)

Permite determinar la **rozabilidad** de una determinada roca a través de la siguiente expresión:

$$F = Q^* \cdot d_{50} \cdot RT$$

↓

- ☞ **F** = coeficiente de abrasividad en N/mm.
- ☞ **Q*** = contenido equivalente en cuarzo de minerales abrasivos (%).
- ☞ **d₅₀** = diámetro promedio del grano de cuarzo.
- ☞ **RT** = resistencia a tracción en N/mm².

F (kp/cm)	ROZABILIDAD
0,8 - 1,0	Muy mala
0,6 - 0,8	mala
0,5 - 0,6	Regular
0,4 - 0,5	Moderada
0,3 - 0,4	Buena
0,2 - 0,3	Muy buena

$$Q^* = 1,00 \cdot (\% \text{ Cuarzo}) + 0,33 \cdot (\% \text{ Feldespato}) + 0,40 \cdot (\% \text{ Filosilicato}) + 0,03 \cdot (\% \text{ Carbonato})$$

Tabla 3. Clasificación abrasividad en función del índice Schimazek

Ensayo Cerchar

Consiste en desplazar 10 mm sobre la superficie de la muestra a determinar, una aguja de acero (de dureza Rockwell C determinada) con punta cónica (90° de ángulo de cono) y dimensiones dadas, sometida a una carga de 7 kg , midiendo el desgaste sufrido por la aguja.

El índice de abrasividad cerchar (CAI) es diámetro de la punta (d) en el plano de desgaste tras el ensayo, expresado en décimas de mm, que varía entre 0 y 6.

ÍNDICE CERCHAR (C.A.I., 10^{-4} m)	TIPO DE ROCA	CLASIFICACIÓN
> 4,5	Gneis, pegmatita, granito	Extremadamente abrasiva
4,25 - 4,50	Anfibolita, granito	Altamente abrasiva
4,00 - 4,25	Granito, gneis, esquistos, piroxenita, arenisca	Abrasiva
3,50 - 4,00	Arenisca	Moderadamente abrasiva
2,50 - 3,50	Gneis, granito, dolerita	Abrasividad media
1,20 - 2,50	Arenisca	Poco abrasiva
< 1,20	Caliza	Muy poco abrasiva

Tabla 4. Clasificación Abrasividad en función del Ensayo Cerchar.

Comparativa entre el Índice de Schimazek y C.E.R.C.H.A.R.

CLASIFICACIÓN	C.A.I. (10^{-1} mm)	TIPO DE ROCA	F de SCHIMAZEK (N/mm)
No abrasiva	<0,5	Caliza joven	< 0,5
Muy ligeramente abrasiva	<1,2	Caliza joven	< 0,5
Ligeramente abrasiva	1,2 a 2,5	Arenisca joven	0,5 a 2
Medianamente abrasiva	2,5 a 3,5	Granito meteorizado / dolerita	2 a 4
Moderadamente abrasiva	3,5 a 4,0	Arenisca	4 a 5
Abrasiva	4,0 a 4,2	Granito / Esquisto / Piroxenita	5 a 8
Áltamente abrasiva	4,2 a 4,5	Anfibolita	8 a 11
Extremadamente abrasiva	> 4,5	Cuarcita/Gneiss/Pegmatita	> 11

Tabla 5. Correlación Índice Schimazek y C.E.R.C.H.A.R.

Rock Quality Designation (RQD)

No se trata de un sistema de clasificación geomecánico completo, ya que únicamente valora el grado de fracturación del macizo y no la calidad del macizo en su conjunto.

Es muy sencillo de calcular y muy popular para evaluar la fracturación y se emplea en otros sistemas de clasificación geomecánica.

Se define como el porcentaje de recuperación de testigos o núcleos de más de 10 cm de longitud, a lo largo del sondeo efectuado en el macizo que se pretende clasificar (sin tener en cuenta las roturas frescas provocadas por la propia perforación).

$$RQD = \frac{\sum L_{i10}}{L} 100$$

El problema del RQD es que al ser el sondeo lineal, se pueden obtener resultados muy diferentes en función de la orientación del sondeo con respecto a las juntas.

Existen otras dos formas de evaluación del RQD, a partir de la densidad de juntas y a partir de la densidad volumétrica.

Calidad de la roca	Calificación	RQD (%)
Muy mala (roca completamente meteorizada)	I	<25%
Mala (roca meteorizada)	II	25 a 50%
Media (Roca levemente meteorizada)	III	51 a 75%
Buena (Roca dura)	IV	76 a 90%
Muy buena (Roca fresca o intacta)	V	91 a 100%

Tabla 6. Clasificación de la roca a partir del RQD.

RMR básico revisado

El RMR89 básico presenta algunas dificultades en la determinación del RQD y el espaciado entre juntas en un frente de excavación. Por este mismo motivo en el año 2000 se introdujo una modificación en el cálculo del RMR básico. La modificación consistió en sustituir los apartados del RQD y espaciado de juntas por un único apartado basado en el **número de juntas por metro** obtenido en el frente de excavación (variando de 0 a 40 que es la suma de los apartados 2 y 3).

También se introdujeron mejoras en la estimación de la condición de las discontinuidades (de 0 a 30) dividiendo la estimación conjunta en 5 apartados (de 0 a 6 cada uno) **persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de los planos de junta.**

RMR 14

Posteriormente se introdujeron modificaciones en el cálculo del RMR para tener en cuenta la mejora del terreno cuando se **excava con tuneladora** y la **plastificación** del terreno en el frente.

Se mantienen las puntuaciones correspondientes a la resistencia de la matriz y las otorgadas al efecto del agua. Se sustituye el RQD y la separación entre juntas por la valoración en función del número de juntas por metro, tal y como se había hecho en la anterior propuesta del 2000.

Para la valoración de la condición de las juntas, se mantienen 4 apartados: **continuidad, rugosidad, relleno y grado de meteorización** de los labios de junta, cada uno de ellos se puntúa de 0 a 5 (frente a los 6 anteriores) lo que otorga una puntuación máxima de 20 puntos. Desaparece así el apartado de separación de las juntas. Se liberan así 10 puntos que se dejan para introducir un nuevo parámetro en la evaluación del RMR: la **alterabilidad** de la matriz rocosa.

La alterabilidad de la matriz rocosa mide el grado de degradación que puede sufrir la matriz rocosa al producirse desplazamientos relativo entre los bloques. Para medir esta alterabilidad se emplea el ensayo de Los Ángeles, este ensayo mide la resistencia de la roca al desgaste y desintegración en condiciones variables de humedad.

En el RMR14 la alterabilidad de la matriz rocosa se mide en función del índice de durabilidad del ensayo de Los Ángeles. Cuanto mayor sea el índice de durabilidad, mayor será la resistencia de la roca al desgaste y por tanto, será menor su alterabilidad, recibiendo por ello una puntuación más elevada.

Cálculo del RMR14 básico

Evaluadas las puntuaciones (obtenidas de la tabla resumen que se muestra) correspondientes a la **resistencia a compresión, número de juntas por metro, resistencia y condición de las juntas, presencia de agua y alterabilidad**, se calcula el RMR14 básico sumando todas ellas.

$$RMR14_B = RMR14_1 + RMR14_2 + RMR14_3 + RMR14_4 + RMR14_5$$

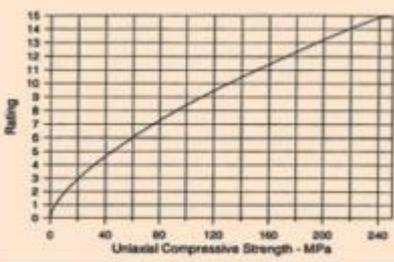
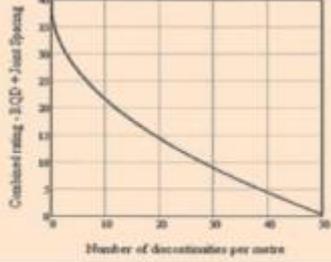
1. Strength of Intact Rock		2. Number of discontinuities			
					
3. Discontinuities Condition					
Continuity	< 1 m	1-3m	3-10m	> 10m	
	5	4	2	0	
Roughness	Very rough	Rough	Smooth	Slickensided	
	5	3	1	0	
Gouge infilling	Hard		Soft		
	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm	
	5	2	2	0	
Weathering	Unweathered	Moderately weathered	Highly	Decomposed	
	5	3	1	0	
4. Presence of water					
Ground state	Dry	Slightly wet	wet	Dripping	Water flow
Assessment	15	10	7	4	0
5. Alterability					
Alterability I_{a2} (%)					
> 85	60-85	30-60	< 30		
10	8	4	0		

Tabla 7. Parámetros que intervienen en el cálculo del RMR14 básico.

Cálculo del RMR14

A partir del RMR14 básico obtenido con la incorporación de las modificaciones comentadas, el RMR se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{RMR14} = (\text{RMR14}_b + F_0) F_e F_s$$

F_0 : Factor que tiene en cuenta la orientación del eje del túnel con respecto a las discontinuidades predominantes presentes en el macizo.

F_e : Factor que tienen en cuenta la mejora introducida en el macizo al emplear tuneladoras frente a los métodos tradicionales con explosivos.

F_s : Factor de plastificación del terreno en el frente.

PERPENDICULAR				PARALELA		INCLINACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES
AVANCE A FAVOR DE LA INCLINACIÓN		AVANCE EN CONTRA DE LA INCLINACIÓN		INCLINACIÓN (°)		
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	MENOR DE 20°
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Tabla 8. Orientación del eje del túnel respecto a las discontinuidades predominantes.

Factor de mejora por avance con tuneladora (F_e)

El avance del túnel empleando minadores induce menor fracturación del frente y por tanto el RMR resultante en el macizo ha de ser mayor que el obtenido empleando la estimación tradicional orientada al avance por métodos tradicionales.

RMR	20	40	60	80
RMR_{TBM}	21	53	70	85
$\frac{\text{RMR}_{\text{TBM}}}{\text{RMR}}$	1,05	1,32	1,16	1,06

Tabla 9. Relación RMR, métodos tradicionales vs minadores.

Como se puede observar en el gráfico, el factor de corrección crece hasta un RMR de 40, para luego decrecer. El beneficio de emplear minadores en el avance de la excavación es mayor en los **macizos de calidad media**.

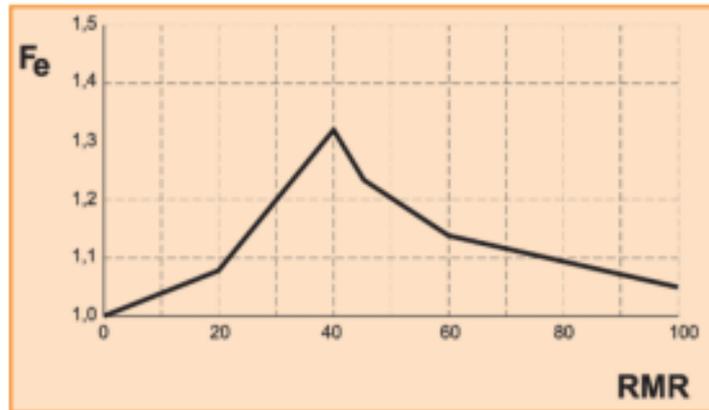


Imagen 1. Relación entre el factor de mejora por avance con tuneladora y el RMR.

Ecuaciones para el cálculo del factor de mejora por avance con tuneladora:

$$RMR < 40: F_e = 1 + 2 \left(\frac{RMR}{100} \right)^2 \quad RMR > 40: F_e = 1,32 - \frac{\sqrt{RMR - 40}}{25}$$

Factor de plastificación del frente (Fs)

En el frente de un túnel, el grado de fracturación que se observa tras su excavación es por una parte consecuencia de la fracturación natural (diaclasas) del macizo y por otra, consecuencia de la plastificación inducida en el mismo por el hueco excavado. Por tanto, si pretendemos emplear la observación del frente para estimar el RMR, hemos de corregir el efecto inducido por la plastificación del mismo.

Si la excavación se hace en un macizo suficientemente competente, éste no plastificará, sino que se producirán únicamente deformaciones elásticas y por tanto no se verá alterado el RMR del macizo. El grado de plastificación del frente se puede valorar a través del Índice de Comportamiento Elástico (ICE).

Como se observa en la tabla, valores de ICE superiores a 70, indican un macizo muy poco plastificado, en el que los desplazamientos inducidos no son suficientes para inducir una mayor fracturación, y por tanto el factor de plastificación será 1.

ICE	Comportamiento del frente del túnel
> 130	Completamente elástico
70-130	Elástico con incipiente plastificación
40-69	Moderadamente plastificado
15-39	Intensamente plastificado
< 15	Totalmente plastificado

Tabla 10. Comportamiento del frente del túnel en función del Índice de Comportamiento Elástico.

Para determinar el factor de corrección a emplear en aquellos casos en los que el ICE es inferior a 70, los investigadores compararon los valores de RMR obtenidos en el frente de RMR obtenidos en sondeos cercanos no afectados por la plastificación inducida.

La gráfica adjunta proporciona los resultados obtenidos, que se pueden calcular a partir de las siguientes expresiones a partir del ICE:

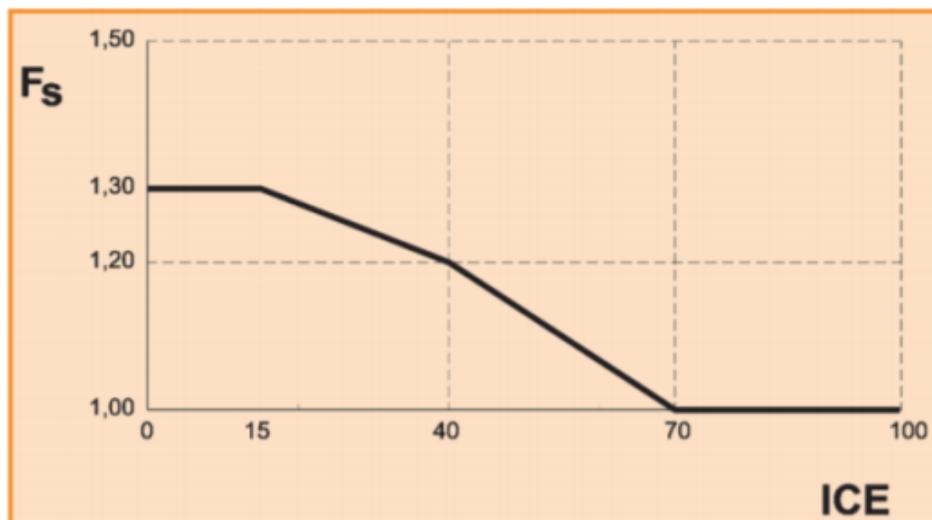


Imagen 2. Relación entre el factor de plastificación del frente y el índice ICE.

$$ICE \leq 15: F_s = 1,3$$

$$15 < ICE < 70: F_s = 1,3 - 0,6 \left(\frac{ICE}{100} \right)^2$$

$$ICE \geq 70: F_s = 1$$

Resumen del cálculo del RMR14

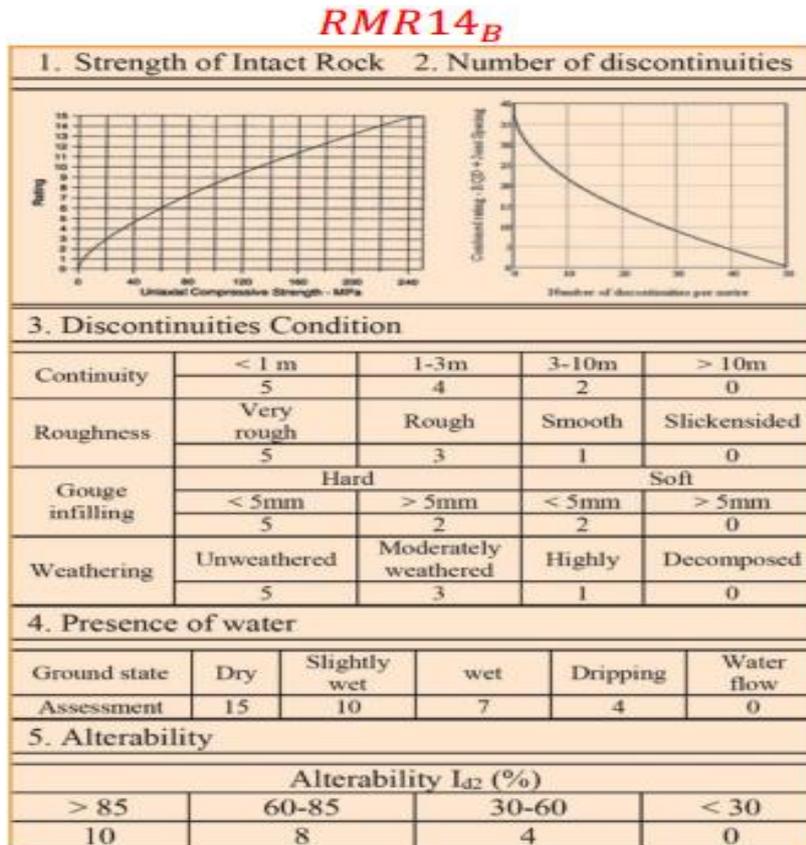
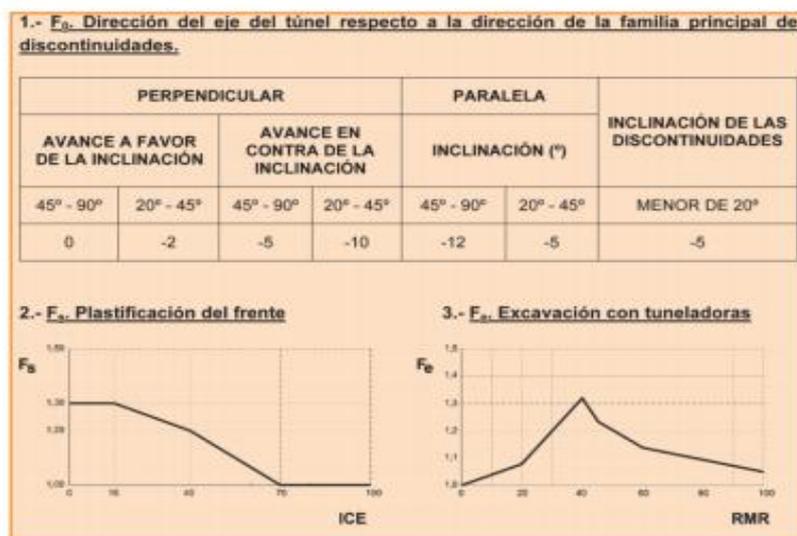


Tabla 11. Parámetros que intervienen en el cálculo del RMR14 básico



$$RMR14 = (RMR14_b + F_0)F_eF_s$$

Tabla 12. Parámetros que intervienen en el cálculo del RMR14

ANEJO IV

TABLAS CONSUMO DE PICAS - RMR

1. Datos de Partida Consumo de Picas, Tramo 1 Lugaritz

FECHA	Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML
10/09/2019	828,8	824,8	4	13	3,3
11/09/2019	824,8	816,2	8,6	6	0,7
12/09/2019	816,2	807	9,2	10	1,1
13/09/2019	807	799,2	7,8	4	0,5
14/09/2019	799,2	795,2	4	0	0,0
16/09/2019	795,2	787,7	7,5	7	0,9
17/09/2019	787,7	779,5	8,2	7	0,9
18/09/2019	779,5	771	8,5	10	1,2
19/09/2019	771	765	6	0	0,0
20/09/2019	765	762	3	0	0,0
24/09/2019	762	753,5	8,5	31	3,6
25/09/2019	753,5	745	8,5	20	2,4
26/09/2019	745	736	9	26	2,9
27/09/2019	736	727	9	22	2,4
28/09/2019	727	723	4	4	1,0
30/09/2019	723	711,5	11,5	27	2,3
01/10/2019	711,5	703,5	8	22	2,8
02/10/2019	703,5	695,5	8	13	1,6
03/10/2019	695,5	688	7,5	11	1,5
04/10/2019	688	680	8	14	1,8
05/10/2019	680	675,8	4,2	0	0,0
07/10/2019	675,8	667,8	8	9	1,1
08/10/2019	667,8	659,4	8,4	45	5,4
09/10/2019	659,4	651,5	7,9	48	6,1
10/10/2019	651,5	647,5	4	81	20,3
11/10/2019	647,5	641,5	6	138	23,0
12/10/2019	641,5	638	3,5	33	9,4
14/10/2019	638	630	8	144	18,0
15/10/2019	630	623,5	6,5	117	18,0
16/10/2019	623,5	618,5	5	22	4,4
17/10/2019	618,5	614,3	4,2	24	5,7
18/10/2019	614,3	606	8,3	48	5,8
19/10/2019	606	603	3	6	2,0
21/10/2019	603	595	8	40	5,0
22/10/2019	595	586,5	8,5	19	2,2
23/10/2019	586,5	578,5	8	43	5,4
24/10/2019	578,5	571,5	7	57	8,1
25/10/2019	571,5	565,5	6	43	7,2
26/10/2019	565,5	562,5	3	7	2,3

28/10/2019	562,5	555	7,5	93	12,4
29/10/2019	555	548	7	60	8,6
30/10/2019	548	540,8	7,2	51	7,1
31/10/2019	540,8	532,8	8	74	9,3
01/11/2019	532,8	524,8	8	55	6,9
02/11/2019	524,8	521	3,8	57	15,0
04/11/2019	521	512,9	8,1	33	4,1
05/11/2019	512,9	508,4	4,5	9	2,0
06/11/2019	508,4	500	8,4	37	4,4
07/11/2019	500	488	12	55	4,6
08/11/2019	488	482,5	5,5	37	6,7
09/11/2019	482,5	477	5,5	9	1,6
11/11/2019	477	468	9	32	3,6
12/11/2019	468	459	9	48	5,3
13/11/2019	459	455	4	46	11,5
14/11/2019	455	445	10	42	4,2
20/11/2019	455	424,5	30,5	148	4,9
21/11/2019	424,5	415,5	9	1	0,1
22/11/2019	415,5	406	9,5	4	0,4
23/11/2019	406	401	5	6	1,2
25/11/2019	401	391	10	7	0,7
26/11/2019	391	378	13	9	0,7
27/11/2019	378	375	3	15	5,0
28/11/2019	375	371,3	3,7	9	2,4
29/11/2019	371,3	362,2	9,1	10	1,1
02/12/2019	362,2	349,2	13	5	0,4
04/12/2019	349,2	337	12,2	16	1,3
05/12/2019	337	328,8	8,2	11	1,3
06/12/2019	328,8	324,8	4	8	2,0
09/12/2019	324,8	316,8	8	5	0,6
10/12/2019	316,8	312,8	4	21	5,3
11/12/2019	312,8	304	8,8	33	3,8
13/01/2020	304	292	12	71	5,9
14/01/2020	292	283	9	17	1,9
15/01/2020	283	274,8	8,2	46	5,6
16/01/2020	274,8	270	4,8	50	10,4
17/01/2020	270	262	8	66	8,3
20/01/2020	262	247	15	34	2,3
21/01/2020	247	237	10	29	2,9
22/01/2020	237	233	4	4	1,0
23/01/2020	233	228	5	29	5,8
24/01/2020	228	219	9	37	4,1
25/01/2020	219	215	4	36	9,0
27/01/2020	215	206	9	148	16,4
28/01/2020	206	201	5	103	20,6

29/01/2020	201	197	4	131	32,8
30/01/2020	197	188	9	169	18,8
31/01/2020	188	185	3	168	56,0
01/02/2020	185	181	4	63	15,8
03/02/2020	181	173	8	160	20,0
04/02/2020	173	168	5	161	32,2
05/02/2020	168	161	7	203	29,0
10/02/2020	161	158	3	57	19,0
11/02/2020	158	152,6	5,4	60	11,1
12/02/2020	152,6	150	2,6	22	8,5
13/02/2020	150	145	5	32	6,4
14/02/2020	145	140	5	6	1,2
17/02/2020	140	131	9	30	3,3
18/02/2020	131	125	6	23	3,8
19/02/2020	125	115,5	9,5	30	3,2
20/02/2020	115,5	107,5	8	25	3,1
21/02/2020	107,5	103	4,5	24	5,3
24/02/2020	103	101,5	1,5	6	4,0
TOTALES			737,3	4257	5,8

Tabla 1. Datos de partida, Consumo de Picas en el Tramo 1 Lugaritz.

1.1. Consumo de Picas, Tramo 0+820 0+200

TRAMO 0+200 0+820 (AVANCE)						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
201	197	4	131	32,8	4	62,5
647,5	641,5	6	138	23,0	10	62,5
206	201	5	103	20,6	15	62,5
651,5	647,5	4	81	20,3	19	62,5
638	630	8	144	18,0	27	62,5
630	623,5	6,5	117	18,0	33,5	62,5
215	206	9	148	16,4	42,5	62,5
524,8	521	3,8	57	15,0	46,3	62,5
562,5	555	7,5	93	12,4	53,8	62,5
459	455	4	46	11,5	57,8	62,5
274,8	270	4,8	50	10,4	62,6	62,5
641,5	638	3,5	33	9,4	66,1	62,5
540,8	532,8	8	74	9,3	74,1	50
219	215	4	36	9,0	78,1	50
555	548	7	60	8,6	85,1	50
270	262	8	66	8,3	93,1	50
578,5	571,5	7	57	8,1	100,1	50
571,5	565,5	6	43	7,2	106,1	50
548	540,8	7,2	51	7,1	113,3	50
532,8	524,8	8	55	6,9	121,3	50
488	482,5	5,5	37	6,7	126,8	50
659,4	651,5	7,9	48	6,1	134,7	50
304	292	12	71	5,9	146,7	50
233	228	5	29	5,8	151,7	50
614,3	606	8,3	48	5,8	160	50
618,5	614,3	4,2	24	5,7	164,2	50
283	274,8	8,2	46	5,6	172,4	50
586,5	578,5	8	43	5,4	180,4	50
667,8	659,4	8,4	45	5,4	188,8	50
468	459	9	48	5,3	197,8	50
316,8	312,8	4	21	5,3	201,8	50
603	595	8	40	5,0	209,8	50
378	375	3	15	5,0	212,8	50
455	424,5	30,5	148	4,9	243,3	50
500	488	12	55	4,6	255,3	50
508,4	500	8,4	37	4,4	263,7	50
623,5	618,5	5	22	4,4	268,7	50

455	445	10	42	4,2	278,7	50
228	219	9	37	4,1	287,7	50
521	512,9	8,1	33	4,1	295,8	37,5
312,8	304	8,8	33	3,8	304,6	37,5
762	753,5	8,5	31	3,6	313,1	37,5
477	468	9	32	3,6	322,1	37,5
828,8	824,8	4	13	3,3	326,1	37,5
247	237	10	29	2,9	336,1	37,5
745	736	9	26	2,9	345,1	37,5
711,5	703,5	8	22	2,8	353,1	37,5
736	727	9	22	2,4	362,1	37,5
375	371,3	3,7	9	2,4	365,8	37,5
753,5	745	8,5	20	2,4	374,3	37,5
723	711,5	11,5	27	2,3	385,8	37,5
565,5	562,5	3	7	2,3	388,8	37,5
262	247	15	34	2,3	403,8	37,5
595	586,5	8,5	19	2,2	412,3	37,5
606	603	3	6	2,0	415,3	37,5
512,9	508,4	4,5	9	2,0	419,8	37,5
328,8	324,8	4	8	2,0	423,8	37,5
292	283	9	17	1,9	432,8	37,5
688	680	8	14	1,8	440,8	37,5
482,5	477	5,5	9	1,6	446,3	37,5
703,5	695,5	8	13	1,6	454,3	37,5
695,5	688	7,5	11	1,5	461,8	37,5
337	328,8	8,2	11	1,3	470	37,5
349,2	337	12,2	16	1,3	482,2	37,5
406	401	5	6	1,2	487,2	37,5
779,5	771	8,5	10	1,2	495,7	37,5
675,8	667,8	8	9	1,1	503,7	37,5
371,3	362,2	9,1	10	1,1	512,8	37,5
816,2	807	9,2	10	1,1	522	37,5
727	723	4	4	1,0	526	37,5
237	233	4	4	1,0	530	37,5
795,2	787,7	7,5	7	0,9	537,5	37,5
787,7	779,5	8,2	7	0,9	545,7	37,5
401	391	10	7	0,7	555,7	37,5
824,8	816,2	8,6	6	0,7	564,3	37,5
391	378	13	9	0,7	577,3	37,5
324,8	316,8	8	5	0,6	585,3	37,5
807	799,2	7,8	4	0,5	593,1	37,5
415,5	406	9,5	4	0,4	602,6	37,5
362,2	349,2	13	5	0,4	615,6	37,5
424,5	415,5	9	1	0,1	624,6	37,5
799,2	795,2	4	0	0,0	628,6	37,5

771	765	6	0	0,0	634,6	37,5
765	762	3	0	0,0	637,6	37,5
680	675,8	4,2	0	0,0	641,8	37,5

Tabla 2. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 0+820 0+200 (Lugaritz).

TRAMO 0+200 0+820 (AVANCE)					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
828,8	824,8	4	13	3,3	37,5
824,8	816,2	8,6	6	0,7	37,5
816,2	807	9,2	10	1,1	37,5
807	799,2	7,8	4	0,5	37,5
799,2	795,2	4	0	0,0	37,5
795,2	787,7	7,5	7	0,9	37,5
787,7	779,5	8,2	7	0,9	37,5
779,5	771	8,5	10	1,2	37,5
771	765	6	0	0,0	37,5
765	762	3	0	0,0	37,5
762	753,5	8,5	31	3,6	37,5
753,5	745	8,5	20	2,4	37,5
745	736	9	26	2,9	37,5
736	727	9	22	2,4	37,5
727	723	4	4	1,0	37,5
723	711,5	11,5	27	2,3	37,5
711,5	703,5	8	22	2,8	37,5
703,5	695,5	8	13	1,6	37,5
695,5	688	7,5	11	1,5	37,5
688	680	8	14	1,8	37,5
680	675,8	4,2	0	0,0	37,5
675,8	667,8	8	9	1,1	37,5
667,8	659,4	8,4	45	5,4	50
659,4	651,5	7,9	48	6,1	50
651,5	647,5	4	81	20,3	62,5
647,5	641,5	6	138	23,0	62,5
641,5	638	3,5	33	9,4	62,5
638	630	8	144	18,0	62,5
630	623,5	6,5	117	18,0	62,5
623,5	618,5	5	22	4,4	50
618,5	614,3	4,2	24	5,7	50
614,3	606	8,3	48	5,8	50
606	603	3	6	2,0	37,5
603	595	8	40	5,0	50
595	586,5	8,5	19	2,2	37,5
586,5	578,5	8	43	5,4	50
578,5	571,5	7	57	8,1	50
571,5	565,5	6	43	7,2	50
565,5	562,5	3	7	2,3	37,5
562,5	555	7,5	93	12,4	62,5
555	548	7	60	8,6	50
548	540,8	7,2	51	7,1	50
540,8	532,8	8	74	9,3	50

532,8	524,8	8	55	6,9	50
524,8	521	3,8	57	15,0	62,5
521	512,9	8,1	33	4,1	37,5
512,9	508,4	4,5	9	2,0	37,5
508,4	500	8,4	37	4,4	50
500	488	12	55	4,6	50
488	482,5	5,5	37	6,7	50
482,5	477	5,5	9	1,6	37,5
477	468	9	32	3,6	37,5
468	459	9	48	5,3	50
459	455	4	46	11,5	62,5
455	424,5	30,5	148	4,9	50
455	445	10	42	4,2	50
424,5	415,5	9	1	0,1	37,5
415,5	406	9,5	4	0,4	37,5
406	401	5	6	1,2	37,5
401	391	10	7	0,7	37,5
391	378	13	9	0,7	37,5
378	375	3	15	5,0	50
375	371,3	3,7	9	2,4	37,5
371,3	362,2	9,1	10	1,1	37,5
362,2	349,2	13	5	0,4	37,5
349,2	337	12,2	16	1,3	37,5
337	328,8	8,2	11	1,3	37,5
328,8	324,8	4	8	2,0	37,5
324,8	316,8	8	5	0,6	37,5
316,8	312,8	4	21	5,3	50
312,8	304	8,8	33	3,8	37,5
304	292	12	71	5,9	50
292	283	9	17	1,9	37,5
283	274,8	8,2	46	5,6	50
274,8	270	4,8	50	10,4	62,5
270	262	8	66	8,3	50
262	247	15	34	2,3	37,5
247	237	10	29	2,9	37,5
237	233	4	4	1,0	37,5
233	228	5	29	5,8	50
228	219	9	37	4,1	50
219	215	4	36	9,0	50
215	206	9	148	16,4	62,5
206	201	5	103	20,6	62,5
201	197	4	131	32,8	62,5

Tabla 3. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 0+820 0+200 (Lugaritz).

1.2. Consumo de Picas, Tramo 0+200 0+097

TRAMO 0+097 0+200 (AVANCE)						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
188	185	3	168	56,0	3	70
173	168	5	161	32,2	8	62,5
168	161	7	203	29,0	15	62,5
181	173	8	160	20,0	23	50
161	158	3	57	19,0	26	50
197	188	9	169	18,8	35	50
185	181	4	63	15,8	39	50
158	152,6	5,4	60	11,1	44,4	50
152,6	150	2,6	22	8,5	47	50
150	145	5	32	6,4	52	50
107,5	103	4,5	24	5,3	56,5	50
103	101,5	1,5	6	4,0	58	50
131	125	6	23	3,8	64	50
140	131	9	30	3,3	73	37,5
125	115,5	9,5	30	3,2	82,5	37,5
115,5	107,5	8	25	3,1	90,5	37,5
145	140	5	6	1,2	95,5	37,5

Tabla 4. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 0+200 0+097 Lugaritz.

TRAMO 0+097 0+200 (AVANCE)					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
197	188	9	169	18,8	50
188	185	3	168	56,0	70
185	181	4	63	15,8	50
181	173	8	160	20,0	50
173	168	5	161	32,2	62,5
168	161	7	203	29,0	62,5
161	158	3	57	19,0	50
158	152,6	5,4	60	11,1	50
152,6	150	2,6	22	8,5	50
150	145	5	32	6,4	50
145	140	5	6	1,2	37,5
140	131	9	30	3,3	37,5
131	125	6	23	3,8	50
125	115,5	9,5	30	3,2	37,5
115,5	107,5	8	25	3,1	37,5
107,5	103	4,5	24	5,3	50
103	101,5	1,5	6	4,0	50

Tabla 5. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 0+200 0+097 Lugaritz.

1.3. Consumo de Picas, Rampa 1 – Telescopio Lugaritz

Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
828,8	824,8	4	13	3,3	37,5
824,8	816,2	8,6	6	0,7	37,5
816,2	807	9,2	10	1,1	37,5
807	799,2	7,8	4	0,5	37,5
799,2	795,2	4	0	0,0	37,5
795,2	787,7	7,5	7	0,9	37,5
787,7	779,5	8,2	7	0,9	37,5
779,5	771	8,5	10	1,2	37,5
771	765	6	0	0,0	37,5
765	762	3	0	0,0	37,5
762	753,5	8,5	31	3,6	37,5
753,5	745	8,5	20	2,4	37,5
745	736	9	26	2,9	37,5
736	727	9	22	2,4	37,5
727	723	4	4	1,0	37,5
723	711,5	11,5	27	2,3	37,5
711,5	703,5	8	22	2,8	37,5
703,5	695,5	8	13	1,6	37,5
695,5	688	7,5	11	1,5	37,5
688	680	8	14	1,8	37,5
680	675,8	4,2	0	0,0	37,5
675,8	667,8	8	9	1,1	37,5
667,8	659,4	8,4	45	5,4	50
659,4	651,5	7,9	48	6,1	50
651,5	647,5	4	81	20,3	62,5
647,5	641,5	6	138	23,0	62,5
641,5	638	3,5	33	9,4	62,5
638	630	8	144	18,0	62,5
630	623,5	6,5	117	18,0	62,5
623,5	618,5	5	22	4,4	50
618,5	614,3	4,2	24	5,7	50
614,3	606	8,3	48	5,8	50
606	603	3	6	2,0	37,5
603	595	8	40	5,0	50
595	586,5	8,5	19	2,2	37,5
586,5	578,5	8	43	5,4	50
578,5	571,5	7	57	8,1	50
571,5	565,5	6	43	7,2	50
565,5	562,5	3	7	2,3	37,5
562,5	555	7,5	93	12,4	62,5

555	548	7	60	8,6	50
548	540,8	7,2	51	7,1	50
540,8	532,8	8	74	9,3	50
532,8	524,8	8	55	6,9	50
524,8	521	3,8	57	15,0	62,5
521	512,9	8,1	33	4,1	37,5
512,9	508,4	4,5	9	2,0	37,5
508,4	500	8,4	37	4,4	50
500	488	12	55	4,6	50
488	482,5	5,5	37	6,7	50
482,5	477	5,5	9	1,6	37,5
477	468	9	32	3,6	37,5
468	459	9	48	5,3	50
459	455	4	46	11,5	62,5
455	424,5	30,5	148	4,9	50
455	445	10	42	4,2	50
424,5	415,5	9	1	0,1	37,5
415,5	406	9,5	4	0,4	37,5
406	401	5	6	1,2	37,5
401	391	10	7	0,7	37,5
391	378	13	9	0,7	37,5
378	375	3	15	5,0	50
375	371,3	3,7	9	2,4	37,5
371,3	362,2	9,1	10	1,1	37,5
362,2	349,2	13	5	0,4	37,5
349,2	337	12,2	16	1,3	37,5
337	328,8	8,2	11	1,3	37,5
328,8	324,8	4	8	2,0	37,5
324,8	316,8	8	5	0,6	37,5
316,8	312,8	4	21	5,3	50
312,8	304	8,8	33	3,8	37,5
304	292	12	71	5,9	50
292	283	9	17	1,9	37,5
283	274,8	8,2	46	5,6	50
274,8	270	4,8	50	10,4	62,5
270	262	8	66	8,3	50
262	247	15	34	2,3	37,5
247	237	10	29	2,9	37,5
237	233	4	4	1,0	37,5
233	228	5	29	5,8	50
228	219	9	37	4,1	50
219	215	4	36	9,0	50
215	206	9	148	16,4	62,5
206	201	5	103	20,6	62,5
201	197	4	131	32,8	62,5

197	188	9	169	18,8	50
188	185	3	168	56,0	70
185	181	4	63	15,8	50
181	173	8	160	20,0	50
173	168	5	161	32,2	62,5
168	161	7	203	29,0	62,5
161	158	3	57	19,0	50
158	152,6	5,4	60	11,1	50
152,6	150	2,6	22	8,5	50
150	145	5	32	6,4	50
145	140	5	6	1,2	37,5
140	131	9	30	3,3	37,5
131	125	6	23	3,8	50
125	115,5	9,5	30	3,2	37,5
115,5	107,5	8	25	3,1	37,5
107,5	103	4,5	24	5,3	50
103	101,5	1,5	6	4,0	50
		737,3	4257	5,8	

Tabla 6. Tabla ordenada de mayor a menor punto kilométrico, donde se relaciona el consumo de picas por metro lineal y el RMR.

2. Datos de Partida Consumo de Picas, Tramo 2 Pío Baroja

FECHA	Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML
19/12/2018	2112,5	2122	9,5	8	0,8
07/01/2019	2099	2100	1	5	5,0
08/01/2019	2100	2097,6	2,4	3	1,2
09/01/2019	2097,6	2090,6	7	2	0,3
10/01/2019	2090,6	2079,5	11,1	2	0,2
14/01/2019	2079,5	2076,7	2,8	5	1,8
15/01/2019	2076,7	2067,6	9,1	4	0,4
16/01/2019	2067,6	2062,7	4,9	2	0,4
17/01/2019	2062,7	2054,3	8,4	2	0,2
21/01/2019	2054,3	2037,5	16,8	7	0,4
22/01/2019	2037,5	2030,2	7,3	6	0,8
23/01/2019	2030,2	2023	7,2	3	0,4
24/01/2019	2023	2014,8	8,2	1	0,1
25/01/2019	2014,8	2007,7	7,1	9	1,3
28/01/2019	2007,7	1996	11,7	6	0,5
29/01/2019	1996	1988	8	4	0,5
31/01/2019	1988	1974	14	18	1,3
05/02/2019	1974	1952	22	3	0,1
06/02/2019	1952	1947,5	4,5	4	0,9
07/02/2019	1947,5	1944,2	3,3	2	0,6
08/02/2019	1944,2	1937,1	7,1	5	0,7
09/02/2019	1937,1	1934,5	2,6	4	1,5
11/02/2019	1934,5	1927	7,5	5	0,7
12/02/2019	1927	1923	4	3	0,8
13/02/2019	1923	1915	8	4	0,5
14/02/2019	1915	1906,8	8,2	9	1,1
15/02/2019	1906,8	1899,4	7,4	6	0,8
18/02/2019	1899,4	1886,4	13	6	0,5
19/02/2019	1886,4	1877,8	8,6	4	0,5
20/02/2019	1877,8	1868,3	9,5	5	0,5
21/02/2019	1868,3	1860,3	8	8	1,0
22/02/2019	1860,3	1850,8	9,5	12	1,3
23/02/2019	1850,8	1837,6	13,2	8	0,6
26/02/2019	1837,6	1829,1	8,5	5	0,6
27/02/2019	1829,1	1821,3	7,8	9	1,2
28/02/2019	1821,3	1813	8,3	10	1,2
01/03/2019	1813	1803,5	9,5	5	0,5

02/03/2019	1803,5	1798,5	5	2	0,4
04/03/2019	1798,5	1789,2	9,3	6	0,6
05/03/2019	1789,2	1781,2	8	5	0,6
06/03/2019	1781,2	1774,5	6,7	6	0,9
07/03/2019	1774,5	1766	8,5	7	0,8
08/03/2019	1766	1757	9	2	0,2
09/03/2019	1757	1752	5	2	0,4
11/03/2019	1752	1744	8	2	0,3
12/03/2019	1744	1737,5	6,5	5	0,8
13/03/2019	1737,5	1729,6	7,9	5	0,6
14/03/2019	1729,6	1721,4	8,2	4	0,5
15/03/2019	1721,4	1714,1	7,3	4	0,5
16/03/2019	1714,1	1710	4,1	4	1,0
19/03/2019	1710	1696	14	9	0,6
20/03/2019	1696	1689	7	3	0,4
21/03/2019	1689	1681	8	10	1,3
22/03/2019	1681	1671	10	12	1,2
25/03/2019	1671	1662,4	8,6	5	0,6
26/03/2019	1662,4	1654	8,4	3	0,4
27/03/2019	1654	1645,9	8,1	2	0,2
28/03/2019	1645,9	1637,5	8,4	2	0,2
29/03/2019	1637,5	1629	8,5	4	0,5
30/03/2019	1629	1624	5	3	0,6
01/04/2019	1624	1616	8	3	0,4
02/04/2019	1616	1608	8	1	0,1
03/04/2019	1608	1600	8	3	0,4
04/04/2019	1600	1591,2	8,8	3	0,3
05/04/2019	1591,2	1582,5	8,7	7	0,8
06/04/2019	1582,5	1574	8,5	6	0,7
09/04/2019	1574	1566,7	7,3	3	0,4
10/04/2019	1566,7	1561,3	5,4	1	0,2
15/04/2019	1561,3	1557,2	4,1	3	0,7
17/04/2019	1557,2	1554	3,2	4	1,2
23/04/2019	1554	1548	6	7	1,2
24/04/2019	1548	1543,5	4,5	2	0,4
29/04/2019	1543,5	1534,5	9	3	0,3
02/05/2019	1534,5	1530	4,5	3	0,7
06/05/2019	1530	1519,5	10,5	6	0,6
08/05/2019	1519,5	1518	1,5	4	2,7
09/05/2019	1518	1512	6	28	4,7
10/05/2019	1512	1509	3	5	1,7

13/05/2019	1509	1504,5	4,5	52	11,6
14/05/2019	1504,5	1501,5	3	6	2,0
15/05/2019	1501,5	1497	4,5	2	0,4
17/05/2019	1497	1494	3	3	1,0
21/05/2019	1494	1486,5	7,5	9	1,2
28/05/2019	1486,5	1470	16,5	3	0,2
30/05/2019	1470	1462,5	7,5	38	5,1
31/05/2019	1462,5	1458,5	4	3	0,8
08/07/2019	1458,5	1421,5	37	2	0,1
10/07/2019	1421,5	1411,5	10	2	0,2
16/07/2019	1411,5	1376	35,5	2	0,1
17/07/2019	1376	1366,5	9,5	2	0,2
19/07/2019	1366,5	1348,5	18	2	0,1
22/07/2019	1348,5	1338	10,5	12	1,1
23/07/2019	1338	1333,5	4,5	10	2,2
24/07/2019	1333,5	1324,5	9	1	0,1
25/07/2019	1324,5	1315	9,5	4	0,4
29/07/2019	1315	1296	19	1	0,1
30/07/2019	1296	1262	34	2	0,1
06/08/2019	1262	1252,5	9,5	8	0,8
08/08/2019	1252,5	1237,5	15	2	0,1
09/08/2019	1237,5	1228,5	9	1	0,1
12/08/2019	1228,5	1217,5	11	2	0,2
16/08/2019	1217,5	1212,5	5	11	2,2
TOTALES			898	583	0,6

Tabla 7. Datos de partida, Consumo de Picas en el Tramo 2 Pío Baroja.

2.1. Consumo de Picas, Tramo 2+140,44 1+830

TRAMO 1+830 2+140,44						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
2099	2100	1	5	5,0	1	70
2079,5	2076,7	2,8	5	1,8	3,8	70
1937,1	1934,5	2,6	4	1,5	6,4	70
1988	1974	14	18	1,3	20,4	70
2014,8	2007,7	7,1	9	1,3	27,5	62,5
1860,3	1850,8	9,5	12	1,3	37	62,5
2100	2097,6	2,4	3	1,2	39,4	62,5
1915	1906,8	8,2	9	1,1	47,6	50
1868,3	1860,3	8	8	1,0	55,6	50
1952	1947,5	4,5	4	0,9	60,1	50
2112,5	2122	9,5	8	0,8	69,6	50
2037,5	2030,2	7,3	6	0,8	76,9	50
1906,8	1899,4	7,4	6	0,8	84,3	50
1927	1923	4	3	0,8	88,3	50
1944,2	1937,1	7,1	5	0,7	95,4	50
1934,5	1927	7,5	5	0,7	102,9	50
1947,5	1944,2	3,3	2	0,6	106,2	50
1850,8	1837,6	13,2	8	0,6	119,4	50
1837,6	1829,1	8,5	5	0,6	127,9	50
1877,8	1868,3	9,5	5	0,5	137,4	50
2007,7	1996	11,7	6	0,5	149,1	37,5
1996	1988	8	4	0,5	157,1	37,5
1923	1915	8	4	0,5	165,1	37,5
1886,4	1877,8	8,6	4	0,5	173,7	37,5
1899,4	1886,4	13	6	0,5	186,7	37,5
2076,7	2067,6	9,1	4	0,4	195,8	37,5
2030,2	2023	7,2	3	0,4	203	37,5
2054,3	2037,5	16,8	7	0,4	219,8	37,5
2067,6	2062,7	4,9	2	0,4	224,7	37,5
2097,6	2090,6	7	2	0,3	231,7	37,5
2062,7	2054,3	8,4	2	0,2	240,1	37,5
2090,6	2079,5	11,1	2	0,2	251,2	30
1974	1952	22	3	0,1	273,2	30
2023	2014,8	8,2	1	0,1	281,4	30

Tabla 8. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 2+140,44 1+840 (Pío Baroja).

TRAMO 1+830 2+140,44					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
2112,5	2122	9,5	8	0,84	50
2099	2100	1	5	5,00	70
2100	2097,6	2,4	3	1,25	62,5
2097,6	2090,6	7	2	0,29	37,5
2090,6	2079,5	11,1	2	0,18	30
2079,5	2076,7	2,8	5	1,79	70
2076,7	2067,6	9,1	4	0,44	37,5
2067,6	2062,7	4,9	2	0,41	37,5
2062,7	2054,3	8,4	2	0,24	37,5
2054,3	2037,5	16,8	7	0,42	37,5
2037,5	2030,2	7,3	6	0,82	50
2030,2	2023	7,2	3	0,42	37,5
2023	2014,8	8,2	1	0,12	30
2014,8	2007,7	7,1	9	1,27	62,5
2007,7	1996	11,7	6	0,51	37,5
1996	1988	8	4	0,50	37,5
1988	1974	14	18	1,29	70
1974	1952	22	3	0,14	30
1952	1947,5	4,5	4	0,89	50
1947,5	1944,2	3,3	2	0,61	50
1944,2	1937,1	7,1	5	0,70	50
1937,1	1934,5	2,6	4	1,54	70
1934,5	1927	7,5	5	0,67	50
1927	1923	4	3	0,75	50
1923	1915	8	4	0,50	37,5
1915	1906,8	8,2	9	1,10	50
1906,8	1899,4	7,4	6	0,81	50
1899,4	1886,4	13	6	0,46	37,5
1886,4	1877,8	8,6	4	0,47	37,5
1877,8	1868,3	9,5	5	0,53	50
1868,3	1860,3	8	8	1,00	50
1860,3	1850,8	9,5	12	1,26	62,5
1850,8	1837,6	13,2	8	0,61	50
1837,6	1829,1	8,5	5	0,59	50

Tabla 9. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 2+140,44 1+840 (Pío Baroja).

2.2. Consumo de Picas, Tramo 1+830 1+750

TRAMO 1+750 1+830						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
1821,3	1813	8,3	10	1,2	8,3	50
1829,1	1821,3	7,8	9	1,2	16,1	50
1781,2	1774,5	6,7	6	0,9	22,8	50
1774,5	1766	8,5	7	0,8	31,3	50
1798,5	1789,2	9,3	6	0,6	40,6	37,5
1789,2	1781,2	8	5	0,6	48,6	37,5
1813	1803,5	9,5	5	0,5	58,1	37,5
1803,5	1798,5	5	2	0,4	63,1	37,5
1757	1752	5	2	0,4	68,1	30
1766	1757	9	2	0,2	77,1	30

Tabla 10. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo1+830 1+750 (Pío Baroja).

TRAMO 1+750 1+830					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
1829,1	1821,3	7,8	9	1,15	50
1821,3	1813	8,3	10	1,20	50
1813	1803,5	9,5	5	0,53	37,5
1803,5	1798,5	5	2	0,40	37,5
1798,5	1789,2	9,3	6	0,65	37,5
1789,2	1781,2	8	5	0,63	37,5
1781,2	1774,5	6,7	6	0,90	50
1774,5	1766	8,5	7	0,82	50
1766	1757	9	2	0,22	30
1757	1752	5	2	0,40	30

Tabla 11. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo1+830 1+750 (Pío Baroja).

2.3. Consumo de Picas, Tramo 1+750 1+620

TRAMO 1+620 1+750						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
1689	1681	8	10	1,3	8	70
1681	1671	10	12	1,2	18	62,5
1714,1	1710	4,1	4	1,0	22,1	62,5
1744	1737,5	6,5	5	0,8	28,6	62,5
1710	1696	14	9	0,6	42,6	62,5
1737,5	1729,6	7,9	5	0,6	50,5	62,5
1629	1624	5	3	0,6	55,5	50
1671	1662,4	8,6	5	0,6	64,1	50
1721,4	1714,1	7,3	4	0,5	71,4	50
1729,6	1721,4	8,2	4	0,5	79,6	50
1637,5	1629	8,5	4	0,5	88,1	50
1696	1689	7	3	0,4	95,1	50
1662,4	1654	8,4	3	0,4	103,5	50
1752	1744	8	2	0,3	111,5	50
1654	1645,9	8,1	2	0,2	119,6	37,5
1645,9	1637,5	8,4	2	0,2	128	37,5

Tabla 12. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 1+750 1+620 (Pío Baroja).

TRAMO 1+620 1+750					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
1752	1744	8	2	0,3	50
1744	1737,5	6,5	5	0,8	62,5
1737,5	1729,6	7,9	5	0,6	62,5
1729,6	1721,4	8,2	4	0,5	50
1721,4	1714,1	7,3	4	0,5	50
1714,1	1710	4,1	4	1,0	62,5
1710	1696	14	9	0,6	62,5
1696	1689	7	3	0,4	50
1689	1681	8	10	1,3	70
1681	1671	10	12	1,2	62,5
1671	1662,4	8,6	5	0,6	50
1662,4	1654	8,4	3	0,4	50
1654	1645,9	8,1	2	0,2	37,5
1645,9	1637,5	8,4	2	0,2	37,5
1637,5	1629	8,5	4	0,5	50
1629	1624	5	3	0,6	50

Tabla 13. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 1+750 1+620 (Pío Baroja).

2.4. Consumo de Picas, Tramo 1+620 1+455

TRAMO 1+455 1+620						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
1509	1504,5	4,5	52	11,6	4,5	50
1470	1462,5	7,5	38	5,1	12	50
1518	1512	6	28	4,7	18	50
1519,5	1518	1,5	4	2,7	19,5	50
1504,5	1501,5	3	6	2,0	22,5	50
1512	1509	3	5	1,7	25,5	50
1557,2	1554	3,2	4	1,2	28,7	50
1494	1486,5	7,5	9	1,2	36,2	50
1554	1548	6	7	1,2	42,2	50
1497	1494	3	3	1,0	45,2	37,5
1591,2	1582,5	8,7	7	0,8	53,9	37,5
1462,5	1458,5	4	3	0,8	57,9	37,5
1561,3	1557,2	4,1	3	0,7	62	37,5
1582,5	1574	8,5	6	0,7	70,5	37,5
1534,5	1530	4,5	3	0,7	75	37,5
1530	1519,5	10,5	6	0,6	85,5	37,5
1548	1543,5	4,5	2	0,4	90	37,5
1501,5	1497	4,5	2	0,4	94,5	37,5
1574	1566,7	7,3	3	0,4	101,8	37,5
1624	1616	8	3	0,4	109,8	37,5
1608	1600	8	3	0,4	117,8	37,5
1600	1591,2	8,8	3	0,3	126,6	37,5
1543,5	1534,5	9	3	0,3	135,6	37,5
1566,7	1561,3	5,4	1	0,2	141	37,5
1486,5	1470	16,5	3	0,2	157,5	30
1616	1608	8	1	0,1	165,5	30

Tabla 14. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 1+620 1+455 (Pío Baroja).

TRAMO 1+455 1+620					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
1624	1616	8	3	0,4	37,5
1616	1608	8	1	0,1	30
1608	1600	8	3	0,4	37,5
1600	1591,2	8,8	3	0,3	37,5
1591,2	1582,5	8,7	7	0,8	37,5
1582,5	1574	8,5	6	0,7	37,5
1574	1566,7	7,3	3	0,4	37,5
1566,7	1561,3	5,4	1	0,2	37,5
1561,3	1557,2	4,1	3	0,7	37,5
1557,2	1554	3,2	4	1,2	50
1554	1548	6	7	1,2	50
1548	1543,5	4,5	2	0,4	37,5
1543,5	1534,5	9	3	0,3	37,5
1534,5	1530	4,5	3	0,7	37,5
1530	1519,5	10,5	6	0,6	37,5
1519,5	1518	1,5	4	2,7	50
1518	1512	6	28	4,7	50
1512	1509	3	5	1,7	50
1509	1504,5	4,5	52	11,6	50
1504,5	1501,5	3	6	2,0	50
1501,5	1497	4,5	2	0,4	37,5
1497	1494	3	3	1,0	37,5
1494	1486,5	7,5	9	1,2	50
1486,5	1470	16,5	3	0,2	30
1470	1462,5	7,5	38	5,1	50
1462,5	1458,5	4	3	0,8	37,5

Tabla 15. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 1+620 1+455 (Pío Baroja).

2.5. Consumo de Picas, Tramo 1+455 1+216

TRAMO 1+216 1+445						
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	Distancia	RMR
1338	1333,5	4,5	10	2,2	4,5	50
1217,5	1212,5	5	11	2,2	9,5	50
1348,5	1338	10,5	12	1,1	20	50
1262	1252,5	9,5	8	0,8	29,5	50
1324,5	1315	9,5	4	0,4	39	50
1376	1366,5	9,5	2	0,2	48,5	50
1421,5	1411,5	10	2	0,2	58,5	50
1228,5	1217,5	11	2	0,2	69,5	37,5
1252,5	1237,5	15	2	0,1	84,5	37,5
1366,5	1348,5	18	2	0,1	102,5	37,5
1333,5	1324,5	9	1	0,1	111,5	37,5
1237,5	1228,5	9	1	0,1	120,5	37,5
1296	1262	34	2	0,1	154,5	37,5
1411,5	1376	35,5	2	0,1	190	37,5
1458,5	1421,5	37	2	0,1	227	37,5
1315	1296	19	1	0,1	246	37,5

Tabla 16. Tabla ordenada en función del consumo de picas por metro lineal, Tramo 1+445 1+216 (Pío Baroja).

TRAMO 1+216 1+445					
Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
1458,5	1421,5	37	2	0,1	37,5
1421,5	1411,5	10	2	0,2	50
1411,5	1376	35,5	2	0,1	37,5
1376	1366,5	9,5	2	0,2	50
1366,5	1348,5	18	2	0,1	37,5
1348,5	1338	10,5	12	1,1	50
1338	1333,5	4,5	10	2,2	50
1333,5	1324,5	9	1	0,1	37,5
1324,5	1315	9,5	4	0,4	50
1315	1296	19	1	0,1	37,5
1296	1262	34	2	0,1	37,5
1262	1252,5	9,5	8	0,8	50
1252,5	1237,5	15	2	0,1	37,5
1237,5	1228,5	9	1	0,1	37,5
1228,5	1217,5	11	2	0,2	37,5
1217,5	1212,5	5	11	2,2	50

Tabla 17. Tabla ordenada en función de los puntos kilométricos, Tramo 1+445 1+216 (Pío Baroja).

2.6. Consumo de Picas, Rampa 2 – Estación Bentaberri

Pki	PKf	METROS	PICAS	CONSUMO/ML	RMR
2112,5	2122	9,5	8	0,8	50
2099	2100	1	5	5,0	70
2100	2097,6	2,4	3	1,2	62,5
2097,6	2090,6	7	2	0,3	37,5
2090,6	2079,5	11,1	2	0,2	30
2079,5	2076,7	2,8	5	1,8	70
2076,7	2067,6	9,1	4	0,4	37,5
2067,6	2062,7	4,9	2	0,4	37,5
2062,7	2054,3	8,4	2	0,2	37,5
2054,3	2037,5	16,8	7	0,4	37,5
2037,5	2030,2	7,3	6	0,8	50
2030,2	2023	7,2	3	0,4	37,5
2023	2014,8	8,2	1	0,1	30
2014,8	2007,7	7,1	9	1,3	62,5
2007,7	1996	11,7	6	0,5	37,5
1996	1988	8	4	0,5	37,5
1988	1974	14	18	1,3	70
1974	1952	22	3	0,1	30
1952	1947,5	4,5	4	0,9	50
1947,5	1944,2	3,3	2	0,6	50
1944,2	1937,1	7,1	5	0,7	50
1937,1	1934,5	2,6	4	1,5	70
1934,5	1927	7,5	5	0,7	50
1927	1923	4	3	0,8	50
1923	1915	8	4	0,5	37,5
1915	1906,8	8,2	9	1,1	50
1906,8	1899,4	7,4	6	0,8	50
1899,4	1886,4	13	6	0,5	37,5
1886,4	1877,8	8,6	4	0,5	37,5
1877,8	1868,3	9,5	5	0,5	50
1868,3	1860,3	8	8	1,0	50
1860,3	1850,8	9,5	12	1,3	62,5
1850,8	1837,6	13,2	8	0,6	50
1837,6	1829,1	8,5	5	0,6	50
1829,1	1821,3	7,8	9	1,2	50
1821,3	1813	8,3	10	1,2	50
1813	1803,5	9,5	5	0,5	37,5

1803,5	1798,5	5	2	0,4	37,5
1798,5	1789,2	9,3	6	0,6	37,5
1789,2	1781,2	8	5	0,6	37,5
1781,2	1774,5	6,7	6	0,9	50
1774,5	1766	8,5	7	0,8	50
1766	1757	9	2	0,2	30
1757	1752	5	2	0,4	30
1752	1744	8	2	0,3	50
1744	1737,5	6,5	5	0,8	62,5
1737,5	1729,6	7,9	5	0,6	62,5
1729,6	1721,4	8,2	4	0,5	50
1721,4	1714,1	7,3	4	0,5	50
1714,1	1710	4,1	4	1,0	62,5
1710	1696	14	9	0,6	62,5
1696	1689	7	3	0,4	50
1689	1681	8	10	1,3	70
1681	1671	10	12	1,2	62,5
1671	1662,4	8,6	5	0,6	50
1662,4	1654	8,4	3	0,4	50
1654	1645,9	8,1	2	0,2	37,5
1645,9	1637,5	8,4	2	0,2	37,5
1637,5	1629	8,5	4	0,5	50
1629	1624	5	3	0,6	50
1624	1616	8	3	0,4	37,5
1616	1608	8	1	0,1	30
1608	1600	8	3	0,4	37,5
1600	1591,2	8,8	3	0,3	37,5
1591,2	1582,5	8,7	7	0,8	37,5
1582,5	1574	8,5	6	0,7	37,5
1574	1566,7	7,3	3	0,4	37,5
1566,7	1561,3	5,4	1	0,2	37,5
1561,3	1557,2	4,1	3	0,7	37,5
1557,2	1554	3,2	4	1,2	50
1554	1548	6	7	1,2	50
1548	1543,5	4,5	2	0,4	37,5
1543,5	1534,5	9	3	0,3	37,5
1534,5	1530	4,5	3	0,7	37,5
1530	1519,5	10,5	6	0,6	37,5
1519,5	1518	1,5	4	2,7	50
1518	1512	6	28	4,7	50
1512	1509	3	5	1,7	50

1509	1504,5	4,5	52	11,6	50
1504,5	1501,5	3	6	2,0	50
1501,5	1497	4,5	2	0,4	37,5
1497	1494	3	3	1,0	37,5
1494	1486,5	7,5	9	1,2	50
1486,5	1470	16,5	3	0,2	30
1470	1462,5	7,5	38	5,1	50
1462,5	1458,5	4	3	0,8	37,5
1458,5	1421,5	37	2	0,1	37,5
1421,5	1411,5	10	2	0,2	50
1411,5	1376	35,5	2	0,1	37,5
1376	1366,5	9,5	2	0,2	50
1366,5	1348,5	18	2	0,1	37,5
1348,5	1338	10,5	12	1,1	50
1338	1333,5	4,5	10	2,2	50
1333,5	1324,5	9	1	0,1	37,5
1324,5	1315	9,5	4	0,4	50
1315	1296	19	1	0,1	37,5
1296	1262	34	2	0,1	37,5
1262	1252,5	9,5	8	0,8	50
1252,5	1237,5	15	2	0,1	37,5
1237,5	1228,5	9	1	0,1	37,5
1228,5	1217,5	11	2	0,2	37,5
1217,5	1212,5	5	11	2,2	50
		898	583	0,65	

Tabla 18. Tabla ordenada de mayor a menor punto kilométrico, donde se relaciona el consumo de picas por metro lineal y el RMR.