

PROYECTO FIN DE CARRERA

***ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS
OVIEDO***



***TITULO: "PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO
CIUDAD DE OVIEDO. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO"***

AUTOR: ANTONIO TOSAL LOPEZ

DIRECTOR: RAFAEL RODRIGEZ DIEZ

JUNIO 2012



AGRADECIMIENTOS

Para mí este trabajo significa la continuación de mi gran proyecto de vida y de las innumerables experiencias que he ido acumulado a lo largo de ella, que me han hecho crecer como persona y como profesional, las cuales he querido expresar en él.

Durante la realización de la ingeniería he aprendido a valorar mucho a mis seres queridos, compañeros, amigos y todas aquellas personas que han sido un gran apoyo para llegar al final de esta etapa y a quienes indiscutiblemente dedico este símbolo de esfuerzo tan importante para mí.

Primero que nada se lo dedico a mis padres y mi hermano, por ser las personas con las que he contado, cuento y contaré incondicionalmente durante toda mi vida, porque ha sido un trabajo en equipo protagonizado por mí, pero con una gran recompensa y satisfacción personal que sé que ellos sentirán.

A todos mis compañeros y amigos de CAVOSA, SACYR, FERROVIAL y A.C.S., Gerentes, Jefes de Obra, Jefes de Producción, Administrativos, Topógrafos, Encargados y demás personal, con quienes he tenido el placer de trabajar en estos últimos años, con los cuales he compartido muchos momentos y hemos ido aprendiendo a resolver todas las dificultades técnicas que nos hemos encontrado en el camino, que se han sabido resolver con acierto, en las que me he apoyado para realizar este proyecto.

Finalmente agradecer a todos los profesores de la Escuela de Minas de Oviedo, por su dedicación y su esfuerzo, quienes me han aportado todos los conocimientos profesionales y personales, y me han facilitado la labor para llegar a finalizar con éxito esta gran meta.

A todos ustedes les agradezco su apoyo y participación en el proyecto final de carrera.

Gracias a todos, que me hacéis que aún tenga tantas inquietudes y muchas ganas de seguir luchando y adquiriendo nuevos conocimientos, nuevamente gracias, mil gracias.



INDICE GENERAL

MEMORIA

ANEXO Nº1. ANTECEDENTES

ANEXO Nº2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

ANEXO Nº3. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

ANEXO Nº4. CRITERIO DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

ANEXO Nº5. GEOLOGIA Y GEOTECNIA

ANEXO Nº6. TUNEL

ANEXO Nº7. INSTACIONES AUXILIARES

ANEXO Nº8. PROCEDIMIENTOS DE AUSCULTACION

ANEXO Nº9. PROCEDIMIENTOS TOPOGRAFICOS

ANEXO Nº10. PLAN DE OBRA

ANEXO Nº11. JUSTIFICACION DE PRECIOS Y PRESUPUESTO

ANEXO Nº12. PLANOS

BIBLIOGRAFIA

INDICE

- 1. ANTECEDENTES**
- 2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO**
- 3. DESCRIPCION DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO**
 - 3.1. CARACTERISTICAS DEL TRAZADO
 - 3.2. GEOLOGIA Y GEOTECNIA
 - 3.3. TUNEL
 - 3.4. INSTALACIONES AUXILIARES
 - 3.5. AUSCULTACION Y CONTROL
 - 3.6. TOPOGRAFIA
- 4. PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL**
- 5. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO**
- 6. CONCLUSIONES**

1. ANTECEDENTES

Oviedo como ciudad Cosmopolitan y modelo de ciudad peatonalizada, que cada vez se hace más complicado circular por sus calles, carece de transporte de metro. Para ello se ha propuesto el desarrollo de un proyecto singular, la construcción de la primera línea de metro de Asturias, que no solamente de servicio a los 200.000 habitantes que tiene la ciudad, sino a toda persona que se acerque a ella. Se trata de un proyecto ambicioso que poco a poco se irá ampliando por el resto de la ciudad y sus alrededores.

Hoy en día se trata de un proyecto que se podría considerar como inviable, debido a la crisis económica y que se trata de una ciudad muy pequeña para implantar una infraestructura de estas características, aunque en un futuro, cuando la contaminación del medio ambiente obligue a las ciudades a restringir el tráfico, podría considerarse este proyecto. Como dato orientativo tenemos que por la ciudad se mueven al día 15.000 personas en autobuses urbanos y unas 12.000 en vehículos propios y de servicio público. Tendríamos unos 10 millones de desplazamientos al año, con lo que podría llegar a ser rentable en un futuro dicha infraestructura para moverse por la ciudad.

El presente proyecto consiste en la construcción de un túnel que atraviese la ciudad. Dicha línea de metro aprovechara en su parte exterior las líneas de F.E.V.E. de cercanías y conectara en varios puntos con las líneas de cercanías de R.E.N.F.E., para dar servicio tanto a la ciudad como a los exteriores. De esta manera fomentara el desarrollo y mejor aprovechamiento de las líneas de F.E.V.E.

El ámbito de las actuaciones de este servicio acercara todos los puntos universitarios de la ciudad uniendo los diferentes campus universitarios, como son los del Milán, El Cristo, Oviedo Centro, Los Catalanes y Llamaquique. Además unirá los hospitales de Oviedo (Hospital Central de Oviedo y el H.U.C.A.) así como el casco antiguo de la ciudad y fomentara el desarrollo comercial de las grandes superficies ubicadas en Oviedo y sus alrededores. Dara también servicio para las cercanías uniendo el servicio con la estación central del NORTE de R.E.N.F.E y F.E.V.E. así como la estación central de autobuses. De esta manera permitirá no solo moverse a los habitantes de la ciudad sino también los que se acerquen a ella.

2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es la definición de las obras necesarias para la construcción de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo.

Dentro de las obras a ejecutar se encuentra la ejecución del túnel de línea (dentro del presente documento), la superestructura de la línea, la construcción de diversas estaciones, pozos de bombeo, salidas de emergencia, pozos de ventilación así como el abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad, alumbrado, tanto de la estaciones como de las diferentes instalaciones (todo ello se realizara en un proyecto diferente).

El presente proyecto se encargara del estudio para la ejecución del túnel así como de las recomendaciones a seguir para la correcta ejecución, también abarcara la elección del mejor método para su construcción así como el sostenimiento empleado.

Se completara el proyecto con las instalaciones auxiliares para la construcción del túnel, así como el plan de auscultación a seguir y los procedimientos topográficos para la correcta ejecución del trazado.

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO

3.1. CARACTERISTICAS DEL TRAZADO

El trazado del túnel discurre de manera que afecte lo menos posible a los edificios y que quede un trazado que abarque muchos puntos importantes de la ciudad donde se realizaran las estaciones. De esta manera se busca que cubra la mayor área posible de la ciudad.

También cabe comentar que la línea no es solo el túnel que se menciona en este proyecto sino que se completara con la conexión con la líneas de cercanías de F.E.V.E. que va desde las estaciones de Parque principado hasta Oviedo y de Oviedo hasta la Argañosa (ya en funcionamiento), juntándose todo en una línea dando servicio a la otra parte de la ciudad.

El trazado del Túnel comienza en el pozo de arranque de la Tuneladora pk 0+000, donde se prepara el pozo de ataque de la Tuneladora y se montaran las instalaciones que darán servicio a esta durante de construcción del túnel.

El pk de comienzo del túnel será el 0+032, donde la tuneladora comenzara a horadar el subsuelo de la Ciudad de Oviedo, comenzara en un tramo curvo ($R=405$ m) de 415,49 m de longitud y atravesara perpendicularmente el Rio Nora y la línea de cercanías de F.E.V.E que viene de Colloto, para comenzar a adentrarse en el Polígono industrial del Espíritu Santo.

En el Pk 0+415,49 ya dentro del Polígono industrial del Espíritu Santo cogerá un tramo recto de 707,6 m de longitud que transcurrirá bajo las antiguas vías de entrada a Oviedo, donde en el pk 0+851,54 se ubicara el primer pozo de mantenimiento de la TBM y futura estación (Pozo Polígono del Espíritu Santo), para posteriormente situarse en la entrada de la Autopista de Oviedo-Gijón-Avilés, donde la recorrerá hasta su entrada al casco urbano.

A continuación, y bajo la entrada de la autopista, la tuneladora recorrerá un tramo curvo ($R=1704$ m) y de longitud 1015,17 m (pk 1+430,66). Posteriormente se unirá a otro tramo curvo ($R= 388$ m) de longitud 376,26 para en el pk 2+416,66 entrar en otro de los pozo de mantenimiento de la Tuneladora (Pozo de Los Prados) y que servirá para albergar una estación próxima al nuevo Hospital Universitario Central de Asturias, de ahí la curvatura del tramo.

Una vez salido del pozo comenzara otro tramo curvo, en el pk 2+514,52, ($R=1149$ m), y de longitud de 817,48 m, donde se ubicara otro pozo en el pk 3+107,62 (Pozo del Palacio de los deportes), que continuara su recorrido por debajo de la Autopista, para enlazar con otra curva ($R=807$ m) y de longitud 338,61 m donde en el pk 3+592,41 se ubicara otro pozo de mantenimiento (Pozo Campus Milán) y futura estación próxima al campus Universitario del Milán, al acabar la curva el túnel se encontrara ya la entrada del casco urbano, en la glorieta de la Calle General Elorza, donde continuara con un tramo recto que tiene una longitud de 312,62 mts y comenzara a entrar en la Calle Víctor Chavarri, camino del centro de la ciudad.

A continuación y por debajo de la misma calle avanzara en tramos curvos de varios radios, donde se ubicara un nuevo pozo pk 4+005 (Pozo Gascona), ($R=516$ m, $R=387$ m, $R=392$ m y $R=429$ m) hasta el Paseo de los Álamos, donde se encontrara otro de los pozos de mantenimiento pk 4+470 (Pozo Paseo de los Álamos) y que albergara una estación en el centro de la Ciudad. Estos tramos tendrán una longitud respectivamente de 97,71 m, 155,92 mts, 146,88 m y 261,84 m y llegaran hasta el pk 4+521,26, donde comenzara otro tramo curvo ($R=371$ m) que conectara el parque San Francisco, con la Calle Marqués de Santa Cruz y el cruce con la Calle de Santa Susana pk 4+770,79.

A la altura del cruce de la Calle Santa Susana con Marques de Santa Cruz y Calvo Sotelo, comenzara un tramo recto de longitud 332,89 m que discurrirá por la Calle Calvo Sotelo, donde tendremos el pozo de La Plaza la Gesta (pk 5+025,52), y proseguirá en dirección a la Plaza Castilla, hasta el pk 5+103,31.

En el pk 5+103,31 comenzara un tramo curvo ($R=375$ m) de longitud 215,54 m donde ira ubicado otro de los pozos de mantenimiento (Pozo Plaza Castilla) pk 5+237,67 y que servirá para que haya una estación para el Campus Universitario de Llamaquique y de conexión con la línea de cercanías de Oviedo de R.E.N.F.E. que viene de Puente de la Fierros.

A partir de ahí comenzara una serie de tramos rectos y curvos hacia el Hospital Central de Asturias y que atravesara el barrio del Cristo de las Cadenas, donde se ubicara el pozo de mantenimiento del Cristo (pk 5+572,43). Los tramos serán uno curvo ($R=625$ m) de longitud 129,26 m, para posteriormente pasar a un tramo recto de 131,63 m de longitud, luego otro curvo ($R=350$ mts) de longitud 154,01 m y otra recta, de longitud 312,54 m, hasta llevar al Hospital Central, en el pk 6+045,78.

A partir del tramo anterior comenzara un tramo curvo ($R=368,11\text{m}$) de longitud 175,49 m, que acogerá otro de los pozos de manteniendo pk 6+200 (Pozo Plaza de Toros) y que será una futura estación para dar servicio al Campus Universitario del Cristo, que está próximo a dicha estación.

A partir del pk 6+221,19 que sale del tramo anterior, saldrá de la zona de la Plaza de Toros para comenzar a discurrir por la calle Alejandro Casona en un tramo curvo ($R=393\text{ m}$) de longitud 443,95 m, para comenzar con otro tramo recto de longitud 449,37 mts y que albergara el pozo de mantenimiento (Pozo Marcos Peña Arroyo), para continuar ese tramo, hasta el pozo de extracción de la Tuneladora en el pk 7+063,31. Donde conectara con la estación de La Argañosa de la Línea de F.E.V.E. de cercanías.

3.2. GEOLOGIA Y GEOTECNIA

Para la redacción del estudio geológico-geotécnico se ha hecho un completo estudio sobre los datos obtenidos en las diferentes épocas en la ciudad tales como reconocimientos de campo, sondeos de diversos tipos, ensayos geotécnicos de laboratorio tales como: ensayos de identificación, la humedad natural, densidad seca, densidad aparente, corte directo, triaxial en suelos, edométrico, compresión simple, proctor, C.B.R., determinación de la materia orgánica y análisis químicos, así como elaboración de perfiles para determinar la geometría de las distintas unidades estratificadas, así como su composición.

Con todos los datos recopilados de las diferentes épocas y obras realizadas en la ciudad se ha realizado un completo estudio geológico-geotécnico de la zona que se presenta en el anejo nº5 del presente proyecto.

En Oviedo, donde se ejecutaran las obras del túnel, sobre el sustrato paleozoico, formado por la mayoría de las rocas de esta edad presentan carácter siliclastico, están constituidas por la Cuarcita de Barrios, las Pizarras del Formigoso y la mayor parte de las Areniscas de Furada, se asienta sedimentos cretácicos representada por materiales de esta edad, como son las arcillas, margas, arenas y areniscas alternas en las diferentes formaciones sobre las que se encuentran calizas y calizas arenosas de la formación Oviedo. Cabe destacar los materiales terciarios formado por sedimentos fluviolacustres dispuestos discordantemente sobre el fuerte paleorelieve del cretácico, sobre los que se asienta depósitos cuaternarios formado por aluviones, eluviones, coluviones y rellenos de depresiones carticas.

Los materiales a atravesar son los correspondientes al Terciario, calizas margosas blanquecinas con intercalaciones de arcillas y margas, y Cretácico, en el que encontraremos dos formaciones, Formación Oviedo formada principalmente por calizas y calizas arenosas y La Argañosa al que le corresponde arenas, arcillas y gravas.

Se describen a continuación las características de los terrenos a atravesar.

Se puede distinguir un primer tramo que abarca desde el inicio del túnel hasta el pk 1+400 que discurre atravesando a sección completa materiales correspondientes a la edad terciaria, que constara de calizas margosa blanquecinas con pequeñas intercalaciones de arcillas y margas. Desde ese punto y hasta el pk 3+000 comenzara a tener mayor presencia

los materiales de la cretácica de la formación Oviedo, constituida por calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillenta, niveles brechoides con abundante dolomitización y areniscas calcáreas amarillentas, llegándolos a tener incluso a sección completa en algunos tramos, cabe destacar que la presencia de esta formación producirá puntos de mucha inestabilidad en el frente de excavación y más en concreto en la clave del túnel.

Hacia el pk 3+000 comenzaremos a tener en la parte inferior de la sección la presencia de la Formación La Argañosa, perteneciente al cretácico, formada por arenas de grano fino pardo-amarillentas, con arenas de grano medio subredondeadas e intercalaciones arcillosas de varios colores. Desde el pk 3+200 al 3+592,42 en este punto se comenzara a tener más presencia de la Formación La Argañosa junto con la Formación Oviedo ambas del Cretácico, que irá variando de espesores desde los 0 a los 6 m aproximadamente.

A continuación tendremos un tramo que comienza en el Pozo de Campus Milán pk 3+592,42 va hasta pk 4+650 donde atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo, constituida por calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillenta, niveles brechoides con abundante dolomitización y areniscas calcáreas amarillentas, que irán en espesores variables de 2 a 6 m y de la formación La Argañosa, en espesores de 2 a 11,55 m, que constara en este tramo de arenas de grano fino pardo-amarillentas, con arenas de grano medio subredondeadas e intercalaciones de arcillosas de varios colores, además de arenas muy gruesas y limos amarillentos, esta variación de las dos formaciones es debido a la presencia de tres fallas que nos producirán varios cambios de terreno.

A partir del pk 4+650 y hasta el pozo de extracción de la T.B.M. en el pk 7+063,31 los materiales a atravesar son los correspondientes a la formación la Argañosa, perteneciente al Cretácico, formada por arenas muy gruesas a microconglomeraticas, subangulosas mal clasificadas, arenas de grano medio amarillo-blanquecinas, arcillas amarillentas y arenas de grano fino pardo amarillentas, subredondeadas y limos. Los espesores de la capa que atraviesa el Túnel son de 11,55 m, es decir a sección completa.

Para la descripción de las características geotécnicas de la zona a atravesar se ha analizado la información obtenida de los distintos estudios de la ciudad de Oviedo, así como los diferentes sondeos realizados en diferentes épocas y diferentes zonas y que describen los materiales a travesar. Además de todos los ensayos y reconocimientos realizados, para

los diferentes proyectos que se han ejecutado en la ciudad a lo largo de los años y que nos han servido para la realización del estudio geológico-geotécnico de la obra a ejecutar.

Podemos describir las características geotécnicas de los materiales a atravesar de la siguiente manera.

- *Sedimentos Terciarios*

Los materiales del Terciario ocupan una gran extensión superficial. El hecho de sedimentar sobre un fuerte paleorelieve labrado en rocas cretácicas.

A efectos de la caracterización geotécnica se diferenciarán tres tramos: superior arcilloso-margo arenoso, medio margo-arcilloso e inferior calcáreo. De estos tres tramos el trazado del túnel solo se verá afectado por el inferior, aunque en ocasiones se tengan intercalaciones del tramo medio.

Tramo superior arcilloso-arenoso

Está constituido por arcillas de baja plasticidad y arenas limosas, entre las que se intercalan esporádicamente niveles conglomeráticos y de calizas margosas hacia el techo. A efectos de cimentaciones la capacidad portante es muy baja, 1 a 2 kg/cm², en el caso de los niveles arcillosos, incrementándose en los arcillo-arenosos y, sobre todo en los calcáreos. La aparición de asientos es reducida pero puede ocurrir en horizontes superficiales embebidos de agua.

Tramo medio margo-arcilloso

Formado por niveles de margas, arcillas margosas y arcillas de tonos blanquecinos y verdosos. La composición mineralógica de las fracciones arcillosas es de tipo expansivo causando una alta plasticidad y la consiguiente aparición de asientos en las cimentaciones, tal y como se deduce de la observación de las curvas edométricas. Tiene una capacidad portante baja (< 2 kg/cm²).

Las excavaciones en estos materiales plantean ciertos problemas de estabilidad.

Tramo inferior calcáreo

En la mayor parte del núcleo urbano el Terciario comienza con un conglomerado calcáreo (1-4 m de espesor) constituido por cantos y bloque de calizas del Cretácico Superior, la serie está integrada por calizas y calizas margosas de tipo blanquecino o rosados, con intercalaciones margosas de tonos verdosos clarosos, finaliza con un conjunto de tramos de margas y calizas arcillosas blanquecinas y verdosas. Son materiales de capacidad portante elevada (6 a 10 kg/cm²).

- *Sedimentos Cretácicos*

Por su presencia en el subsuelo ovetense cabe destacar dos importantes formaciones que son las que afectan al trazado del túnel, que son las formaciones Oviedo y La Argañosa.

Formación Oviedo

Calizas y calizas arenosas amarillentas. Son materiales de gran calidad y alta capacidad portante (>10 kg/cm², puede llegar hasta los 30 kg/cm² en algunos puntos de la ciudad).

La problemática, a efectos de estabilizaciones del terreno es de carácter puntual y vinculada a zonas carstificadas. Cuando progresa la carstificación se pueden llegar a desarrollar, en excavaciones importantes, conducciones subterráneas de cierta entidad, inductoras de fracasos zonales por hundimientos y de acumulaciones de agua. La circulación acuosa en estas rocas es dual, combinando mecanismos de carstificaciones con fisurales.

Constituye un hecho geotécnico muy importante que estos niveles carbonatados, especialmente las areniscas calcáreas, presenten de modo puntual, producto de procesos de meteorización superficial, zona arenizada a modo de bolsadas irregulares; alteraciones que han de tenerse muy en cuenta dados los procesos de compresibilidad que originan en puntos de carga con respecto a los apoyos circundantes.

Formación La Argañosa

Compuesta por unos 40 m de arenas con intercalaciones de micro conglomerados silíceos, arcillas y limos, destaca por la acumulación de importantes caudales de aguas subterráneas de local carácter artesiano.

La capacidad portante es muy reducida ($0,5$ a 2 kg/cm^2) en el caso de horizontes arcillosos y limosos, susceptibles, los primeros, de originar asentamientos. Las arenas, arcillo-limosas poseen una baja capacidad portante evaluable entre 1 y 3 kg/cm^2 . Las pruebas de permeabilidad ponen de manifiesto un coeficiente de los niveles arenosos valores medios (aprox. 5 cm/s) condicionados por la fracción arcillo-limosa acompañante. Los limos muestran una baja permeabilidad y una casi plena impermeabilidad las arcillas.

Es un material con muchas inestabilidades, con posible afluencia de agua en el interior y fenómenos de subpresión.

3.3. TUNEL

El ejecución de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo contempla la ejecución de un túnel de aproximadamente 7.030 m, que se ejecutaran mediante una tuneladora del tipo E.P.B. con el empleo de un sostenimiento a base de colocación de dovelas que conforman un anillo circular, todos los criterios de elección y funcionamiento de tuneladora, así como su sostenimiento serán expuestos en el anejo nº6.

A lo largo del trazado del túnel, aparte del Pozo de Ataque (pk 0+032) y del Pozo de Extracción de la Tuneladora (pk 7+063,31), se ha previsto la realización de otros once pozos a lo largo del trazado:

- *Pk 0+85,54: Pozo Polígono del Espíritu Santo.*
- *Pk 2+416,96: Pozo de Los Pardos.*
- *Pk 3+107,62: Pozo del Palacio de los Deportes.*
- *Pk 3+592,42: Pozo Campus el Milán.*
- *Pk 4+005: Pozo Gascona.*
- *Pk 4+470: Pozo Paseo de los Álamos.*
- *Pk 5+025,52: Pozo Plaza de la Gesta.*
- *Pk 5+237,67: Pozo Plaza Castilla (conexión con la línea de R.E.N.F.E. cercanías).*
- *Pk 5+572,43: Pozo el Cristo.*
- *Pk 6+200: Pozo Plaza de Toros.*
- *Pk 6+850: Pozo Marcos Peña Royo*

De estos 11 pozos se considera necesario la ejecución de 8 de ellos para el mantenimiento pudiendo dejarse los otros 3 para una vez que pase la tuneladora, que además servirán a su vez para la posterior ejecución de las estaciones de la línea de metro.

El diámetro de túnel finalmente adoptado es de 10,40 m, que nos permitirá dejar una sección tipo con un galibo horizontal de 9,74 m y un galibo vertical 7,46 m, donde irán los andenes, aceras, instalaciones y catenaria.

Las estaciones tendrán una longitud de unos 90 m (según diseño posterior), con un andén lateral que ocupara parte del túnel, con una anchura de 5,2 m y una sola vía. Antes de la

llegada y salida de las estaciones se dispondrá de un desvío para bifurcarse a dos vías hasta la siguiente estación.

La altura de los andenes sobre cabeza de carril es de 1,05 m y la distancia de cota de carril al punto más bajo de la contra bóveda será de 2,67 m.

Túnel ejecutado con tuneladora tipo E.P.B.

Para la ejecución del Túnel se han considerando diversos tipo de máquina para su construcción, desde maquinas de roca, hasta las escudos pasando también por las maquinas mixtas que han aparecido en los últimos años.

Después de estudiar el trazado y el terreno atravesado se ha optado por el uso de una máquina para suelos del tipo E.P.B. (Earth Pressure Balanced), más conocidas en España con escudos de Presión de tierras. Este tipo de maquinas se han inventado para resolver el problema que plantea la inestabilidad del frente de excavación cuando el terreno es inestable. Esto se suele dar en terrenos tipo suelo, sobre todo si están situados por debajo del nivel freático o cuando el terreno está constituido por una roca blanda y, la profundidad a la que se debe excavar el túnel es apreciable.

Los Escudos de Presión de Tierras estabilizan el frente con un material a presión, que es el propio escombros, una vez convertido, con productos de adición, en una mezcla de consistencia visco-plástica.

En función de la granulometría y de su grado de humedad, el terreno excavado será más o menos fácil de amasar, por ello, cuando existen dificultades para el amasado hay que acondicionar el escombros añadiéndoles agentes espumantes, polímeros o suspensiones de arcillas.

Para que la mezcla se pueda extraer sin perder la presión interior se utilizan los tornillos sinfín, que en los escudos de mayor diámetro llega a tener 1,5 m de diámetro.

La tuneladora se puede diferenciar en tres partes: la cabeza de corte, escudos y los back-ups.

La cabeza de corte extrae el terreno del frente de excavación valiéndose de las herramientas de la rueda de corte en rotación, en algunos casos si el terreno tiene baja capacidad portante se podrán sustituir estas herramientas por rippers. Este material arrancado del frente penetra a través de las aberturas (ventanas de entrada) de la rueda de corte hacia la cámara de tierras. Aquí el terreno nuevo se mezcla con el terreno tratado anteriormente durante el proceso de excavación. Con el empuje de los cilindros de avance y controlando la salida de material con el tornillo sinfín se evita una penetración incontrolada del frente a la cámara de tierras.

Los escudos son dos, escudo principal y cola del escudo, articulados estos en el medio que albergan la parte mecánica de la maquina (motores, cilindros de empuje, rodamiento principal, etc.) y es donde se monta el anillo de dovelas que permite el desplazamiento de la T.B.M. por empuje de los cilindros de empuje contra las dovelas.

Los escudos arrastran a su vez los denominados back-ups, que está constituido por una serie de plataformas que se deslizan sobre el propio revestimiento, donde se incorporan el resto de instalaciones necesarias para la ejecución como son: los transformadores, sistema de evacuación de escombros, compresores, bombas de inyección y transferencia, etc.

Para la correcta ejecución del túnel deben realizarse una serie de operaciones:

- Control de presiones en la cámara de tierras: Consiste en mantener la cámara llena de terreno bien acondicionado para el correcto trabajo con escudo EPB. Es necesario garantizar que la presión que marcan los sensores se corresponde a una presión de tierras y no a la presión de los acondicionadores en la zona superior de la cámara (burbuja del aire inyectado con las espumas), es decir; verificar que no tenemos la parte superior de la cámara vacía de tierras. Si trabajamos bajo nivel freático no sólo se deben tener tierras en la zona superior, sino un material con alguna impermeabilidad para evitar que el gradiente hidráulico entre el exterior del escudo y la cámara de presión arrastre material de forma incontrolada.
- Pesos de excavación: de manera que el peso extraído por el tornillo sinfín es el correcto que está marcado para cada terreno, de esta manera evitaremos extraer más de la cuenta que pueda llegar a provocar asientos en superficie.

- Penetración, velocidad de avance, empuje y par: son parámetros que se deben controlar a lo largo de los ciclos de excavación, ya que valores anómalos podrían indicar problemas en la herramienta de corte, problemas con el escudo, etc.
- Inyecciones de mortero: La misión principal de este relleno es bloquear a los anillos en la excavación, evitando asentamientos y, por otra parte, ayudar a que el agua del terreno no se filtre a través de las juntas entre dovelas de un anillo, o entre anillos.
- Inyecciones de mortero inerte: se inyectará bentonita en el espacio anular, escudo-terreno, a una presión superior en 0,2 bar a la presión de confinamiento en clave, de manera que se evite asentamientos producidos desde la excavación hasta que se rellena de mortero el trasdós del anillo.
- Revisión y cambios de herramienta: durante las excavaciones el terreno desgasta las herramientas de corte que deberán ser sustituidas, ya sea en los pozos ubicados en diferentes puntos y que servirán para tal efecto, incluso para realizar alguna reparación mas o en puntos intermedios que se realizaran con la presión del terreno en esos puntos (en ambiente hiperbárico).

Sostenimiento empleado

Los revestimientos prefabricados son los sistemas que se aplican hoy en día, con carácter prácticamente universal a las tuneladoras, siendo el revestimiento más empleado el constituido por anillos prefabricados de hormigón armado atornillados entre sí y formados, a su vez, por piezas (llamadas dovelas) también atornilladas.

Se ha adoptado un anillo universal, formado por seis dovelas más cierre, con una relación entre la dovela de cierre y el resto de 1:2. La dovela de cierre puede situarse en 19 posiciones distintas, puesto que hay 19 tornillos en las juntas circunferenciales.

Pozos de mantenimiento

Se ha propuesto la ejecución de diversos pozos a lo largo de la traza del túnel que servirán para la revisión y el mantenimiento de la Tuneladora. Estos pozos se ejecutarán de dos formas diferentes: por pantallas en forma circular que contarán con un diámetro suficiente para alojar el escudo por completo y, otros que se ejecutarán por medio de tuneladora

vertical y se accederá a esta mediante una galería transversal ejecutada en el pozo y con sección suficiente para poder trabajar en el mantenimiento de la tuneladora.

Se ha hecho una descripción genérica, en el anejo nº6, de la manera de ejecutar estos pozos, aunque los cálculos y diseño final serán objeto de otro proyecto de manera que se puedan adaptar mejor a los diseños de las distintas estaciones, pero eso si que nos sirvan para el fin aquí mencionado.

3.4. INSTALACIONES AUXILIARES

Para el correcto funcionamiento de la tuneladora es necesaria la implantación de una serie de instalaciones que serán las encargadas de suministrar todo lo necesario para la correcta ejecución del túnel.

Entre los elementos importantes que conforman las instalaciones auxiliares, que se presentan en el anejo nº7, cabe destacar las siguientes:

- Red de suministro eléctrico, necesario para el funcionamiento de la tuneladora y del resto de instalaciones que se encuentran en el pozo de ataque. Cabe destacar que la red eléctrica de la obra consta de un centro de transformación que se conecta a la línea general y de tres centros de distribución, encargados de suministrar corriente a los distintos puntos e instalaciones.
- Red de agua industrial, el agua que llega de la acometida general será almacenada en unos grandes depósitos, los cuales a través de varios grupos de presión suministrarán el agua a la tuneladora y a las distintas instalaciones.
- Planta de depuración, encargada de tratar el agua proceden de la tuneladora y de los distintos puntos de achique.
- Planta de fabricación de mortero, bentonita, cal y dovelas, que se ubican en el pozo de introducción de la tuneladora y serán los encargados de fabricar las distintas materias primas que emplea la tuneladora para la ejecución del túnel.
- Red de ventilación.
- Sistemas de transporte, podemos diferenciar dos tipos de sistemas:
 - Sistema de transporte de materiales, este se realizara a través de composiciones de trenes y diferentes vagones que introducen al túnel todas las materias primas para la ejecución de este.
 - Sistema de transporte de escombros, que a través de una serie de cintas conectadas una tras otra extraen el material de la excavación de la tuneladora hasta un foso de tierras desde donde será transportado hasta un vertedero próximo a través de camiones.
- Pórtico-grúa, que se utilizara para la carga introducir en el interior del túnel.

-
- Además para completar esta instalaciones tendremos oficinas, vestuarios, almacenes, talleres, acopio de materiales, bascula y lavadero que servirán de complemento a estas.

3.5. AUSCULTACION Y CONTROL

Se ha desarrollado un Plan de instrumentación y auscultación, recogido en el anejo nº8, que tiene como objeto el servir de base para desarrollar un plan de auscultación y control de la zona afectada por las obras, y cuya primera finalidad será la de controlar los movimientos de los edificios y estructuras, así como el comportamiento de los terrenos durante las fases de construcción y poder de esta manera asegurar los trabajos de ejecución del túnel y de las obras complementarias.

El control del túnel mediante tuneladora se realizara mediante las distintas secciones de instrumentación colocadas transversalmente al eje del túnel, que estarán colocadas a lo largo de la traza. Además se instalara una serie de instrumentos que estarán en todo momento midiendo los movimientos de los edificios próximos a la traza.

Debido a que se trata de un túnel ejecutado en medio de las calles de la ciudad, se ha determinado todas las secciones colocadas de manera que se distingan tres tipos de nivel con las distintas actuaciones correspondientes en cada caso.

En general las secciones instrumentadas se distribuirán cada 200 m aproximadamente. Haciendo las coincidir próximas a los pozos de mantenimiento e intermedias entre estos de manera que se obtenga la mayor información posible.

Toda la información obtenida será transmitida en tiempo real a la tuneladora por medio de una página web, de manera que en caso de detectarse movimientos anómalos en el terreno pueda actuarse de manera inmediata.

En cada sección de túnel se prevé colocar los instrumentos de auscultación que se enumeran a continuación.

- Movimientos del terreno en superficie:
 - Hitos de nivelación o clavos metálicos.
 - Arquetas de subsidencia combinada.

- *Movimientos verticales en profundidad:*
 - Extensómetros de varilla doble (EV).
 - Extensómetros incrementales (EI).
 - Micrómetros deslizantes (MD).
- *Desplazamiento horizontal en profundidad:*
 - Inclínómetros.
- *Movimientos verticales en edificaciones y estructuras próximas:*
 - Hitos de nivelación o clavos metálicos.
 - Instrumentación robotizada.
 - Fisurómetros.
- *Presión del agua freática:*
 - Piezómetros.
- *Deformaciones en el revestimiento de hormigón:*
 - Extensímetros de cuerda vibrante.
- *Presión actuante en sostenimiento/revestimiento:*
 - Células de presión Total.
- *Deformaciones en el contorno de excavación:*
 - Convergencias.

Además del control de las posibles interacciones en el terreno, se tendrá un control ambiental de las vibraciones, de polvo suspendido en el aire y del ruido producido por la distinta maquinaria empleada en la ejecución de la obra.

3.6. TOPOGRAFIA

La topografía a emplear para la ejecución de este proyecto, como se verá en el anejo nº9, consta por la implantación de una Red Topográfica, que se distingue por un lado la Planimetría, mediante las Redes Primaria y Secundaria, de la Altimetría, definida por la Red Altimétrica.

La Red Primaria está enlazada a la Red GNSS del Principado de Asturias y a la Red Nacional de Nivelación de Alta Precisión (perteneciente al municipio de Oviedo). Por lo tanto, adoptamos para la red el sistema oficial español ED50, que lleva asociado el Elipsoide Internacional de Hayford y Datum Postdam (European Datum 1950 ED50), proyección UTM, huso de la zona 31. Con esta red conseguiremos trasladar a la red secundaria una serie de coordenadas que nos servirán para adoptar una serie de puntos para el replanteo en el interior del túnel.

La Red Altimétrica está enlazada a la Red Nacional de Nivelación de Alta Precisión y la conforman las cotas geométricas de las bases de replanteo de la obra.

Con este sistema conseguiremos obtener suficientes datos para posicionar la maquina tuneladora con respecto a un eje teórico de trazado en tiempo real. De esta manera se podrá controlar la TBM y corregir movimientos no deseados de forma constante y continua, evitando de esta manera maniobras abruptas en el trazado del túnel.

4. PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL

PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

Resumen	IMPORTE EN €	%
TUNEL CON TUNELADORA.....	93.720.578,88	66,08%
POZO INSTALACIONES E INTRODUCCION TUNELADORA.....	9.100.704,45	6,42%
POZO DE EXTRACCION TUNELADORA.....	2.510.360,41	1,77%
POZOS DE MANTENIMIENTO TUNELADORA.....	30.728.941,56	21,67%
AUSCULTACION Y CONTROL.....	5.768.842,16	4,07%

TOTAL EJECUCION MATERIAL 141.829.427,46

13% GASTOS GENERALES..... 18.437.825,57

6% BENEFICIO INDUSTRIAL..... 8.509.765,65

SUMA G.G. Y B.I. 26.947.591,22

SUMA 168.777.018,68

18% IVA..... 30.379.863,36

SUMA TOTAL 199.156.882,04

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCION POR CONTRATA 199.156.882,04

Asciende el Presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de CIENTO NOVENTA Y NUEVE MILLONES CIENTO CIENCIENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS CON CUATRO CENTIMOS.

5. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

MEMORIA

ANEJOS

- ANEJO 1 - ANTECEDENTES
- ANEJO 2 - OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO
- ANEJO 3 - CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO
- ANEJO 4 - CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO
- ANEJO 5 - GEOLOGIA Y GEOTECNIA
- ANEJO 6 - TUNEL
- ANEJO 7 - INSTALACIONES AUXILIARES
- ANEJO 8 - PROCEDIMIENTO DE AUSCULTACION
- ANEJO 9 - PROCEDIMIENTO TOPOGRAFICO
- ANEJO 10 - PLAN DE OBRA
- ANEJO 11 - JUSTIFICACION DE PRECIOS Y PRESUPUESTO
- ANEJO 12 - PLANOS

BIBLIOGRAFIA

6. CONCLUSIONES

Con todo lo expuesto en la memoria, así como en el resto de los anejos del Proyecto constructivo, queda definida la construcción del Futuro Túnel de la Línea 1 de metro de la Ciudad de Oviedo, así como todas las instalaciones necesarias para la ejecución de este.

ANEJO Nº1
ANTECEDENTES

INDICE

1. ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

Oviedo como ciudad Cosmopolitan y modelo de ciudad peatonalizada, que cada vez se hace más complicado circular por sus calles, carece de transporte de metro. Para ello se ha propuesto el desarrollo de un proyecto singular, la construcción de la primera línea de metro de Asturias, que no solamente de servicio a los 200.000 habitantes que tiene la ciudad, sino a toda persona que se acerque a ella. Se trata de un proyecto ambicioso que poco a poco se irá ampliando por el resto de la ciudad y sus alrededores.

Hoy en día se trata de un proyecto que se podría considerar como inviable, debido a la crisis económica y que se trata de una ciudad muy pequeña para implantar una infraestructura de estas características, aunque en un futuro, cuando la contaminación del medio ambiente obligue a las ciudades a restringir el tráfico, podría considerarse este proyecto. Como dato orientativo tenemos que por la ciudad se mueven al día 15.000 personas en autobuses urbanos y unas 12.000 en vehículos propios y de servicio público, tendríamos unos 10 millones de desplazamientos al año, con lo que podría llegar a ser rentable en un futuro dicha infraestructura para moverse por la ciudad.

El presente proyecto consiste en la construcción de un túnel que atraviese la ciudad. Dicha línea de metro aprovechara en su parte exterior las líneas de F.E.V.E. de cercanías y conectara en varios puntos con las líneas de cercanías de R.E.N.F.E., para dar servicio tanto a la ciudad como a los exteriores. De esta manera fomentara el desarrollo y mejor aprovechamiento de las líneas de F.E.V.E.

El ámbito de las actuaciones de este servicio acercara todos los puntos universitarios de la ciudad uniendo los diferentes campus universitarios, como son los del Milán, El Cristo, Oviedo Centro, Los Catalanes y Llamaquique. Además unirá los hospitales de Oviedo (Hospital Central de Oviedo y el H.U.C.A.) así como el casco antiguo de la ciudad y fomentara el desarrollo comercial de las grandes superficies ubicadas en Oviedo y sus alrededores. Dara también servicio para las cercanías uniendo el servicio con la estación central del NORTE de R.E.N.F.E y F.E.V.E. así como la estación central de autobuses. De esta manera permitirá no solo moverse a los habitantes de la ciudad sino también los que se acerquen a ella.

ANEJO Nº2

OBJETO Y ALCANCE DEL PORYECTO

INDICE

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es la definición de las obras necesarias para la construcción de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo.

Dentro de las obras a ejecutar se encuentra la ejecución del túnel de línea (dentro del presente documento), la superestructura de la línea, la construcción de diversas estaciones, pozos de bombeo, salidas de emergencia, pozos de ventilación así como el abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad, alumbrado, tanto de la estaciones como de las diferentes instalaciones (todo ello se realizara en un proyecto diferente).

El presente proyecto se encargara del estudio para la ejecución del túnel así como de las recomendaciones a seguir para la correcta ejecución, también abarcara la elección del mejor método para su construcción así como el sostenimiento empleado.

Se completara el proyecto con las instalaciones auxiliares para la construcción del túnel, así como el plan de auscultación a seguir y los procedimientos topográficos para la correcta ejecución del trazado.

ANEJO Nº3

CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

INDICE

1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

El proyecto constructivo de la línea de metro de la ciudad de Oviedo, comienza en el pozo de ataque de la tuneladora situado entre el barrio de Nora y el de las Folgueras, perteneciente a Colloto (termino Municipal de Oviedo), próximos al Polígono Industrial del Espíritu Santo.

El Túnel comienza en el pozo denominado de arranque en el pk 0+032, y acabara en el pk 7+063,31 donde se procederá a la extracción de la tuneladora, que debido a las confluencias de las calles y a la proximidad de las vías del tren es imposible sacar la tuneladora por ese punto procediendo a su desmontaje y extracción por el pozo de arranque.

El relieve de terreno, en el tramo objeto de este proyecto, es bastante pronunciado pasando de una cota mínima de 157 m en el pozo de arranque de la tuneladora pk 0+032 hasta una cota máxima de 277 m en el pk 6+200 que se encuentra entre el Hospital Central de Asturias y la Plaza de Toros.

CONDICIONANTES DE TRAZADO

Se ha encajado el trazado de manera que geoméricamente las estaciones queden ubicadas para dar servicio al centro de la ciudad y a parte de la periferia no quedando estas más lejos de un radio de 500 m de la zona de influencia. Además se ha buscado la manera de no atravesar por debajo ningún edificio ni ninguna estructura que se pueda ver afectada por desarrollo de las obras.

Los principales condicionantes del trazado son:

Paso bajo el rio Nora

Una vez que inicia el túnel en el pk 0+300 se encuentra en rio Nora, que aunque lleva poco caudal se atraviesa perpendicularmente, de manera que afecte lo menos posible al trazado.

Paso bajo el viaducto A-8; A-66; E-70 (Ruta de la Plata)

Se ha encajado el trazado para que no afecten a ninguna de las pilas del viaducto ni de las cimentaciones del viaducto próximo a la autovía de entrada a Oviedo, para ello se pasa bajo el antiguo trazado de la línea de ferrocarril de F.E.V.E. desde el pk 0+500 al 1+020.

Paso bajo la entrada a Oviedo Autovía Y (Oviedo-Gijón-Avilés)

Atravesara la autovía desde el pk 1+020 al 3+760, siendo una de las zonas a seguir durante la ejecución debido a la gran afluencia de vehículos diarios a la ciudad.

Paso próximo al parking de Gascona

Por trazado el túnel pasara justo por la esquina del parking situado entre la calle de Gascona y la avenida Alcalde García Conde, pk 4+056,56, debido a la profundidad dicho parking no se verá afectado de ninguna manera.

Paso próximo al teatro Campoamor

Debido a las calles estrechas de la ciudad y a la de encajar el trazado de manera más efectiva, se pasa por las proximidades del teatro Campoamor, justamente por la esquina de la Avenida Alcalde García Conde con Calle Pelayo, pk 4+356, dado la profundidad del túnel en ese punto no se verá afectado por su paso.

Paso por el Parque Campo San Francisco

El trazado pasara por debajo del Parque San Francisco que cuenta con árboles de gran envergadura y centenarios, se ha buscado la manera de atravesar el parque por uno de sus laterales para afectar menos en la medida de los posible el parque, aunque por la profundidad de paso no se verá afectado ninguno.

Paso por el Hospital Central de Asturias

El túnel pasara próximo al hospital central de Asturias no viéndose afectado ninguno de los edificios del hospital ni ninguno de los edificios adyacentes a este, ya que la traza del túnel se encuentra bastante desplazada en su eje respecto de estos.

Paso por debajo de la Plaza de Toros

El trazado del túnel pasara por debajo de la Plaza de Toros de Oviedo, desde el pk 6+238,81 al pk 6+320, no considerando una estructura problemática ya que esta en desuso y se encuentra clausurado por sus graves deficiencias técnico estructurales encontradas por los técnicos y presentado en un informe al ayuntamiento en el año 2008.

POZOS Y ESTACIONES

Dentro de la ejecución de este túnel se realizaran una serie de pozos a lo largo del trazado desde los que se realizaran los distintos mantenimientos de la tuneladora y que además servirán para posteriormente ejecutar las estaciones que van a dar servicio a la línea de metro (estos pozos y estaciones serán objeto de otro proyecto).

Dichos pozos y estaciones se realizaran por distintos métodos y tamaños, dependiendo de la ubicación, se realizaran por pantallas, pilotes y mediante tuneladoras verticales.

Pozos

- *PK 0+000: Pozo de arranque de la Tuneladora.*
- *Pk 0+851,54: Pozo Polígono del Espíritu Santo.*
- *Pk 2+416,96: Pozo de Los Pardos.*
- *Pk 3+107,62: Pozo del Palacio de los Deportes.*
- *Pk 3+592,42: Pozo Campus el Milán.*
- *Pk 4+005: Pozo Gascona.*
- *Pk 4+470: Pozo Paseo de los Álamos.*
- *Pk 5+025,52: Pozo Plaza de la Gesta.*
- *Pk 5+237,67: Pozo Plaza Castilla (conexión con la line de R.E.N.F.E. cercanías).*

- *Pk 5+572,43: Pozo el Cristo.*
- *Pk 6+200: Pozo Plaza de Toros.*
- *Pk 6+850: Pozo Marcos Peña Royo.*
- *Pk 7+073,2: Pozo de Extracción de la Tuneladora*

ESTACIONES LINEA F.E.V.E.

Además, para completar la línea de metro y dar más servicio a la ciudad se conectara con la línea de F.E.V.E. de cercanías en la estación de Parque Principado y se ampliaran en 5 estaciones la presente línea, que irán ubicadas en:

- Estación de La Losa, ubicada en la esquina de las calles Real Oviedo y Coronel Tejero.
- Estación de Antigua Cárcel Provincial, ubicada donde la Antigua Cárcel y la nueva Estación Central de Autobuses.
- Estación de Pando, ubicado próxima al Orfanato Minero.
- Estación de Pontón de los Vaqueros, ubicado en el barrio del mismo nombre.
- Estación Corredoria, ubicada en la estación de R.E.N.F.E. de cercanías (La Corredoria).

La unión con la línea de cercanías de F.E.V.E. se completara una línea que constara del tramo nuevo de 8.354,21 m que conectara con la estación de Parque Principado del la Línea de cercanías de F.E.V.E hasta Oviedo y que tiene una longitud de 5.450 m (pk 319+250 al 313+800) y la estación de Oviedo hasta la de La Argañosa de 1.383 m (pk 0+000 al 1+383). Haciendo un total de línea de doble sentido de 15.187,21 m.

SISTEMA CONSTRUCTIVO

La ejecución del túnel de línea se realizara mediante una tuneladora (T.B.M.).

Dentro del trazado del túnel ira una serie de estaciones para las cuales se aprovechara el ancho del túnel para la ejecución de los andenes, también irán una serie de pozos de bombeo y de ventilación para dar servicio al túnel. Aunque no se estudiara en este proyecto.

Dentro de la ejecución del túnel se ejecutara un pozo de ataque de la tuneladora que irá a base de pantallas y pilotes, y donde estará ubicada la playa de vías y las instalaciones auxiliares para dar servicio a la tuneladora. También se ejecutara una zona de desmontaje de la tuneladora que estará cubierta y hecho como un cajón a base de pantallas, por donde se desmontara la Tuneladora y se irá extrayendo por el túnel hasta el pozo de arranque donde se procederá a su desmontaje y extracción total.

ANEJO Nº4

CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

INDICE

1. CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

1. CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

Los criterios de diseño establecidos para la redacción del Proyecto Constructivo de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo, se describen a continuación, agrupándolos de acuerdo a la normativa vigente en materia transito ferroviario de F.E.V.E.

TRAZADO

El trazado de la línea de Metro de la Ciudad de Oviedo, es trazado que se adapta a la situación de las calles de la ciudad y de los parámetros de trabajo de la Tuneladora, que es con curvas con radio mayor o igual de 350 m y pendientes del 4%. Por lo que se adapta sin ningún inconveniente a los trazados de las líneas de cercanías de F.E.V.E.

SECCION TIPO

Los criterios adoptados están reflejados en los planos de la superestructura (anexo nº12 planos 12.2.), para la sección tipo de túnel de Línea en los planos de sección final.

La sección tipo tiene un galibo horizontal de 9,74 m y un galibo vertical 7,46 m, donde irán los andenes, aceras, instalaciones y catenaria.

Las estaciones tendrán una longitud de unos 90 m (según diseño posterior), con un andén lateral que ocupara parte del túnel, con una anchura de 5,2 m y una sola vía. Antes de la llegada y salida de las estaciones se dispondrá de un desvío para bifurcarse a dos vías hasta la siguiente estación.

La altura de los andenes sobre cabeza de carril es de 1,05 m y la distancia de cota de carril al punto más bajo de la contra bóveda será de 2,67 m.

POZOS Y ESTACIONES

Los pozos se realizaran de distintas maneras según su ubicación, van desde la ejecución con pantallas hasta la ejecución mediante tuneladora vertical, un sistema que está en auge hoy en día para la realización de este tipo obras.

Pozos de bombeo y ventilación

Debido a la cercanía de los pozos que se realizarán para el mantenimiento de la tuneladora y que posteriormente servirán para las estaciones, dichos pozos darán cabida al sistema de ventilación y bombeo del túnel.

Estaciones

Una vez ejecutado el túnel al completo se diseñarán las distintas estaciones que irán ubicadas en los pozos de mantenimiento y se diseñarán ajustándose al entorno de la zona.

SUPERESTRUCTURA

Los criterios establecidos son los indicados para el transporte de pasajeros para ferrocarriles de vía estrecha de F.E.V.E.

El carril es del tipo U.I.C. – 54 sobre tacos elásticos de hormigón. Y esta estructura estará asentada sobre una base de hormigón de relleno y un hormigón denominado de vía sobre el que irán asentados los tacos de hormigón.

El túnel albergará dos vías de doble sentido, a la entrada y salida de las estaciones se situará un desvío que servirá para entrada a la estación en una sola vía de esta manera que se permita ubicar un andén y mantener los límites de seguridad pertinentes. Cada estación tendrá una longitud de 90 m aproximadamente, variando en algún metro según el diseño de cada una. Esto se estudiará en un proyecto aparte basado en el diseño y construcción de las estaciones.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL
E.T.S.I.M.O.



ANEJO Nº5

GEOLOGIA Y GEOTECNIA

INDICE

- 1. INTRODUCCION**
- 2. METODOLOGIA**
- 3. AMBITO GEOLOGICO**
 - 3.1. GEOLOGIA GENERAL
 - 3.2. OROGRAFIA
 - 3.3. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIAS
 - 3.4. TECTONICA
- 4. HIDROGEOLOGIA**
 - 4.1. INTRODUCCION
 - 4.2. CLIMATOLOGIA
 - 4.3. HIDROGEOLOGIA
- 5. CARACTERISTICAS GEOLOGICO-GEOTECNICAS DEL TRAZADO**

1. INTRODUCCION

El presente apartado corresponde al estudio geológico-geotécnico para el proyecto de la línea de Metro de la Ciudad de Oviedo, que va desde el pozo de arranque e instalaciones situado en los barrios de Nora y Las Folgueras pertenecientes a Colloto (termino Municipal de Oviedo) hasta el barrio de la Argañosa, confluencia entre las calles Argañosa y Alejandro Casona, donde se procederá al desmontaje de la Tuneladora.

Se desarrollaran a continuación aquellos aspectos de índole geológica que tendrán por objeto servir de apoyo a los estudios del trazado, facilitando el diseño de este y detectando posibles problemáticas, de manera que se permita el ajuste de soluciones y su correcta valoración.

Todos los datos obtenidos para el estudio del subsuelo de la Ciudad de Oviedo tienen como origen el libro del Manuel Gutiérrez Clavero/Miguel Torres Alonso “Geología de Oviedo, descripción, recursos y aplicaciones”, editado por Ediciones Paraíso (1995), además de diversas publicaciones y manuscritos elaborados por los Departamentos de Explotación y Prospección de Minas y de Geología de la Universidad de Oviedo.

Con los datos geológicos obtenidos se pretende cubrir los siguientes objetivos:

- Características litológicas del terreno.
- Características estructurales y tectónicas de las formaciones geológicas. Localización de accidentes tectónicos, determinación de la estratificación, identificación de pliegues y fallas, caracterización de las juntas, etc.
- Caracterización hidrogeológica de los materiales atravesados.

Para la elaboración del siguiente estudio se ha contado también con la siguiente documentación:

- Cartografía geológica MAGNA E 1:50.000 (hoja 29 Oviedo).
- Datos climatológicos de Asturias. Agencia Estatal Meteorología (AEMET).
- IGME (1995) Mapa hidrogeológico de España a escala 1:200.000 (Hoja 3 Oviedo).

2. METODOLOGIA

La secuencia de trabajos realizados se ha iniciado por la recopilación y el estudio de la información disponible. La documentación consultada ha servido de base para la descripción e interpretación geológica e hidrogeológica del trazado.

Para la realización del presente estudio se han realizado los trabajos que a continuación se describen:

- Reconocimientos de campo, con un detenido estudio de la zona, con el fin de estudiar los materiales aflorantes que se dan en diferentes ubicaciones de la ciudad, ya sea en afloramientos o incluso en taludes que se han realizado para la ejecución de alguna obra.
- Sondeos, realizados durante diferentes época en la Ciudad de Oviedo y que han servido para el estudio de la geología del subsuelo, para la realización del estudio de alguna obra peculiar o incluso de antiguas explotaciones existentes.
- Ensayos geotécnicos de laboratorio. Con las muestras obtenidas se han realizado una serie de ensayos de identificación, humedad natural, densidad seca, densidad aparente, corte directo, triaxial en suelos, edométrico, compresión simple, proctor, C.B.R., determinación de la materia orgánica y análisis químicos.
- Elaboración de perfiles geotécnicos, (sobre los cortes longitudinales por el eje de la obra de proyecto) en los que se han presentado las distintas unidades estratificas del sustrato y su geometría, así como otros datos de interés como la posición del nivel freático y el espesor y de los rellenos y depósitos cuaternarios.

Los diferentes estudios de la zona vamos a dividirlos en tres grupos, los obtenidos en los trabajos de campo, los estudios de prospección del terreno y los obtenidos en el laboratorio a través de diferentes ensayos y estudios.

ESTUDIOS DE CAMPO

Además de la información proporcionada por los cortes existentes en las áreas periféricas se han obtenido datos de un fichero que parte de observaciones en pozos, zanjas, calicatas, excavaciones, etc., realizadas dentro del casco urbano. A los datos precedentes

adicionaremos una importante recopilación de la mayoría de los estudios geotécnicos efectuados en la capital y sus inmediaciones.

ESTUDIOS DE PROSPECCION DEL TERRENO

Se puede agrupar en los siguientes tipos:

- *Labores superficiales*: Exclusivamente representadas por calicatas y zanjas que tienen la finalidad de hacer observaciones a pequeña profundidad, así como la obtención de muestras para los estudios de laboratorio.
- *Prospección geofísica*: Esta metodología se usa en cimentaciones especiales de estructuras viales, particularmente en las zonas con recubrimiento aluvial, zonas problemáticas y, por lo general grandes excavaciones.
- *Pruebas penetrométricas*: Esencialmente bajo la modalidad de penetraciones dinámicas, aportan una información indirecta de las características de compacidad y resistencia del terreno en profundidad, con vistas a la selección de la cota y modalidad de cimentación.
- *Sondeos mecánicos*: Constituyen el método prospectivo más completo y aportan un volumen y calidad de información importante. Hacen posible la testificación continua y detallada del terreno, la obtención de muestras inalteradas de los materiales, la determinación del nivel freático y la realización de pruebas y datos *in situ*.

ESTUDIOS DE LABORATORIO

Se realizan sobre muestras representativas de suelos y rocas obtenidas en las labores de campo. Suponen la cualificación y cuantificación de determinados parámetros indispensables para el cálculo y diseño de cimentaciones y taludes.

En el caso de suelos, generalmente los más problemáticos a efectos constructivos, se realizan una serie de análisis y ensayos llamados de identificación necesarios para clasificar geotécnicamente los materiales; estos ensayos permiten hacer una primera evaluación de la calidad y del presumible comportamiento de cada nivel u horizonte del terreno. En una segunda fase se aborda la realización de ensayos mecánicos (resistencia a compresión, al esfuerzo cortante y a la penetración, deformabilidad, compactación, etc.) sobre muestras

especiales a fin de obtener determinados parámetros imprescindibles para el cálculo y diseño de obras civiles.

El conjunto de los estudios de laboratorio manejados superan con creces el medio millar de muestras, han sido recopilados y sistematizados por unidades y formaciones geológicas y se describen los siguientes apartados.

SONDEOS Y AFLORAMIENTOS ESTUDIADOS

A continuación enumeramos una serie de sondeos y afloramientos que han servido para la realización del estudio geológico:

- Afloramiento Zona *El Caleyo*, serie estratigráfica de 25,3 m.
- Afloramiento en las obras de la *Circunvalación de Oviedo* (Tramo Cueto-Matalablima).
- Sondeo en el *Hospital Central de Oviedo*, (profundidad = 50 m).
- *Antiguo Arenero de La Argañosa*, serie estratigráfica de 25,6 m.
- Sondeo próximo a Colloto, (43°22'29" N, 5°50'22" O) (profundidad = 36 m).
- Excavación del aparcamiento de *Llamaquique*, corte geológico de la serie Terciaria.
- Sondeo en la *Plaza San Miguel* (profundidad = 20 m).
- Sondeo en el *Hospital Central de Oviedo* (profundidad = 12,5 m).
- Sondeo en *Pontón de los Vaqueros*, inmediaciones de la tejera de Menéndez, (profundidad = 195 m).
- Sondeo del *Centro Asturiano del Naranco* (profundidad = 465 m).
- Afloración en el *Pontón de los Vaqueros*, inmediaciones de Invasa.
- Sondeos en la Residencia de la Hermanitas de los Ancianos Desamparados (profundidad = 165 m).
- Sondeo de la *Belonga-1* (profundidad = 167 m).
- Sondeo de la *Belonga-2* (profundidad = 300 m).
- Sondeo *Limanés-2* (profundidad = 271 m).

3. AMBITO GEOLOGICO

3.1. GEOLOGIA GENERAL

El concejo de Oviedo se enmarca dentro de la Zona Cantábrica, la más externa de la cordillera orogénica varisca. En esta zona los materiales paleozoicos dibujan un arco muy característico con la convexidad hacia poniente denominado *arco astúrico*, mas llamativamente *rodilla astúrica*; el núcleo interno del mismo, y por tanto, la parte más apretada, se encuentra hacia el oriente de Asturias, mientras que el meridiano de Oviedo las estructuras geológicas presentan una orientación NE-SO.

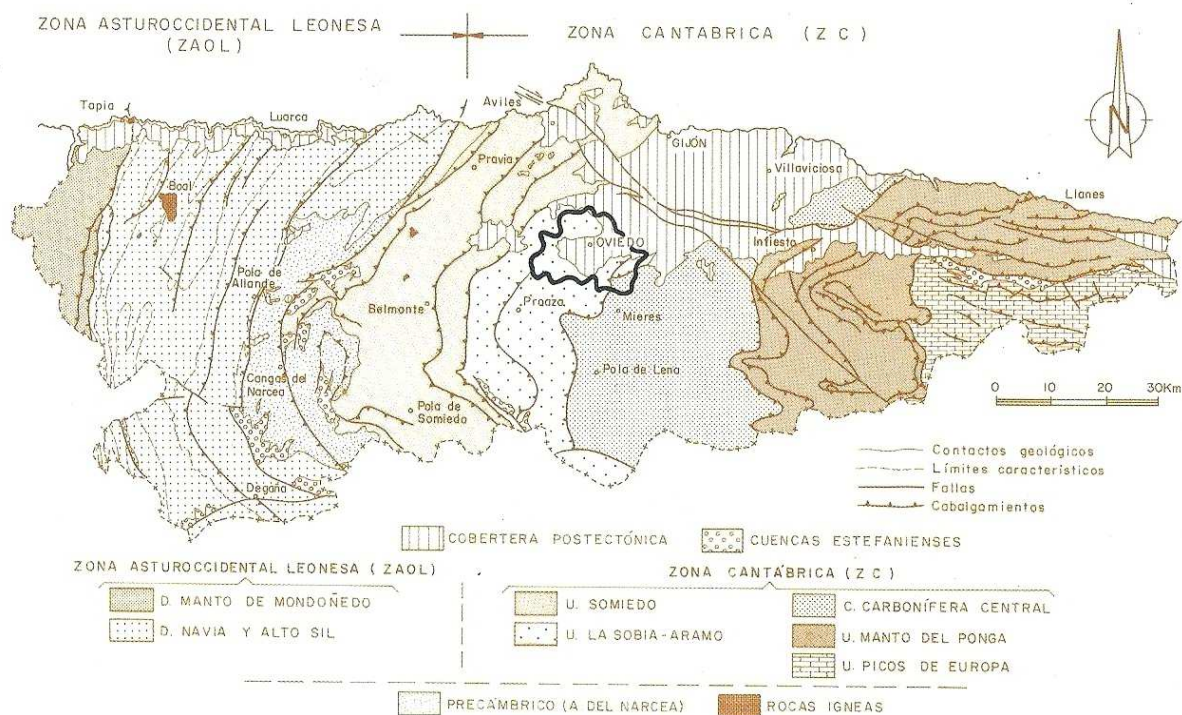


Figura nº1: Unidades geológicas de Asturias.

Teniendo en cuenta consideraciones de índole geográfica, estratigráfica y estructural, la Zona Cantábrica ha sido subdividida en unidades menores denominadas, de la mas externa a la mas interna: Picos de Europa, Pisuerga-Carrión (fuera de Asturias), Ponga, Cuenca Carbonífera Central, Aramo, La Sobia-Bodon y Somedio-Correcilla.

La zona de Oviedo pertenece a la unidad compuesta por La Sobia-Aramo. El área cartografiada resulta muy difícil separar la unidad La Sobia- Bodón de la del Aramo, sin

embargo, más al sur están bien delimitadas por un importante cabalgamiento (Cabalgamiento de La Sobia) que superpone materiales cámbricos a otros carboníferos. El límite oriental de la unidad se encuentra bien definido por el cabalgamiento del Aramo, que bordea el occidente de la Cuenca Carbonífera central.

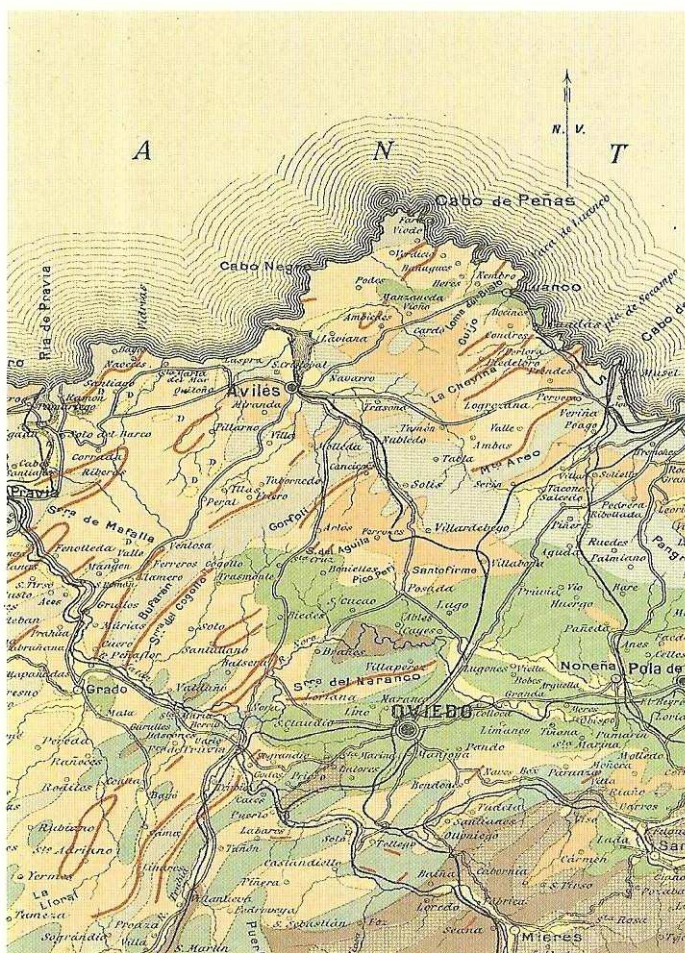


Figura nº2: Mapa geológico de Adaro y Junquera (1916)- Parte central de Asturias.

La zona de estudio se encuentra situada en la zona central de la Ciudad de Oviedo, comprende una extensa estratigrafía de la que destaca el cretácico superior como zona a atravesar, sobre la que se asientan una cobertera mesozoica-terciaria. Aunque los materiales más antiguos que afloran en Oviedo pertenecen al Ordovícico, encontrándose ausentes todas las formaciones del Cantábrico (Herrería, Lancara y Oville).

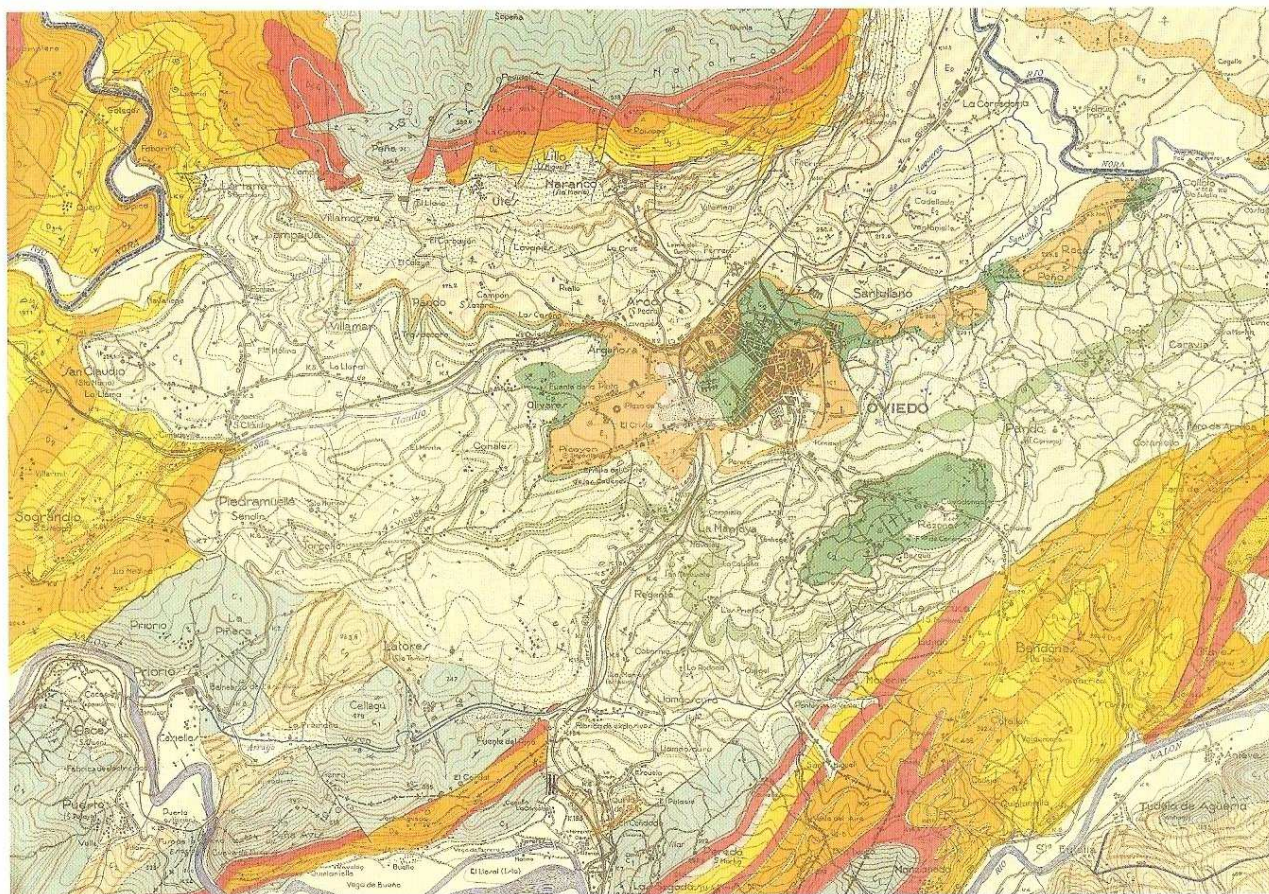
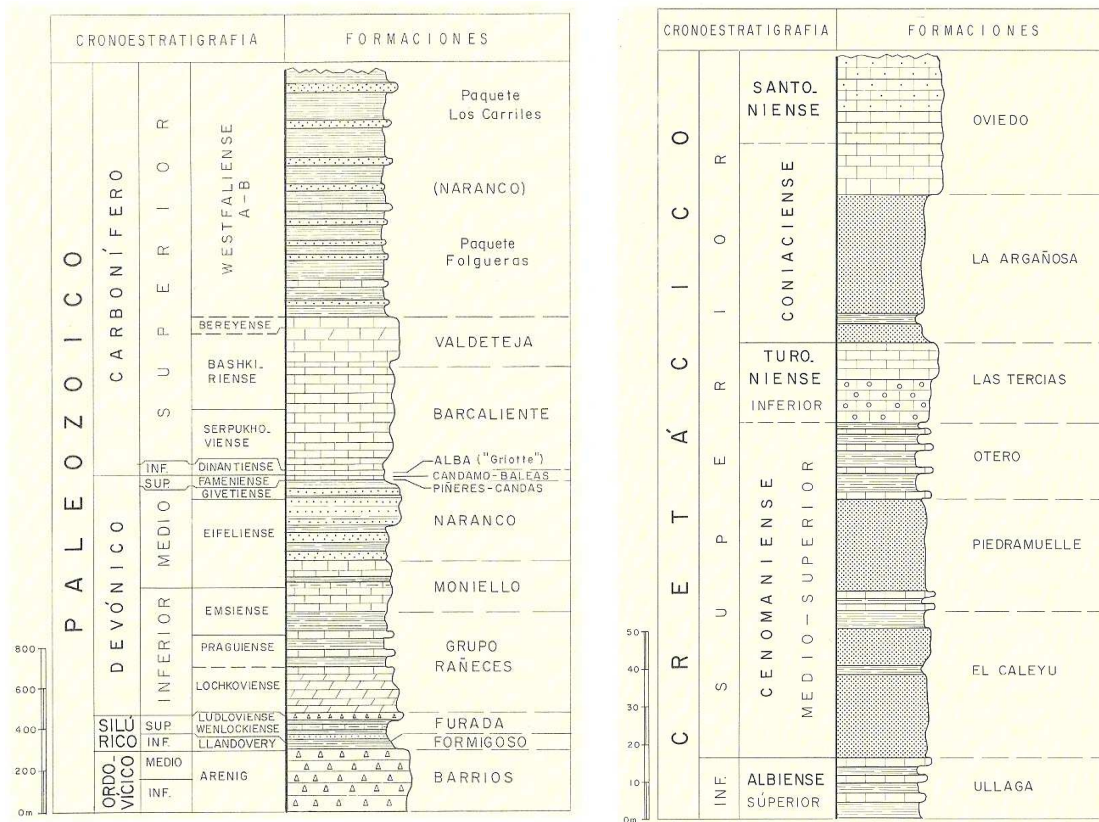


Figura nº3: Mapa geológico de Oviedo y sus alrededores realizado por Llopis (1950).

En Oviedo sobre el sustrato paleozoico, formado por la mayoría de las rocas de esta edad presentan carácter siliclastico, están constituidas por la Cuarcita de Barrios, las Pizarras del Formigoso y la mayor parte de las Areniscas de Furada, se asienta sedimentos cretácicos representada por materiales de esta edad, como son las arcillas, margas, arenas y areniscas alternas en las diferentes formaciones sobre las que se encuentran calizas y calizas arenosas de la formación Oviedo. Cabe destacar los materiales terciarios formado por sedimentos fluviolacustres dispuestos discordantemente sobre el fuerte paleorelieve del cretácico, sobre los que se asientan depósitos cuaternarios formado por aluviones, eluviones, coluviones y rellenos de depresiones carticas.



Paleozoico que aflora en Oviedo

Cretácico general de Oviedo

Figura nº4: COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

3.2. OROGRAFIA

Desde el punto de vista orográfico se pueden distinguir tres dominios: la Sierra del Naranco en el norte, la depresión de Oviedo en el centro y el Valle del Nalón en la zona meridional.

La Sierra del Naranco, limita al Norte por el río Nora y al Sur por el río San Claudio, aunque no alcance la mayor cota del concejo en el Picu El Paisano (636 m) constituye su elevación más importante.

Sobre la relativa depresión de Oviedo se levanta la actual ciudad. Esta depresión se encuentra acotada en la zona meridional por las elevaciones del Latores y las lomas de Truebano, La Manjoya y la Grandota (505 m). Las fuertes diferencias de cota topográfica existentes entre una zona y otra son debidas a dos hechos de nexos geológicos: la existencia de frecuentes fallas que escalonan el terreno y la actuación, relativamente reciente, de la red hidrográfica que se ha encargado de esculpir un cierto relieve al erosionar los materiales, dispuestos subhorizontalmente, de edad cretácica y terciaria.

El Valle del Nalón atraviesa el municipio ovetense por el SO – entre San Pedro de Nora y Fuso de la Reina – y por el SE – entre Tudela de Veguín y proximidades de Olloniego, perteneciendo el trecho ausente a Ribera de Arriba. En la vertiente Sur del Valle se encuentra la mayor elevación concejil, El Monte Picajo (714 m). Asimismo, en la vertiente meridional del Nalón y ocupando posiciones limítrofes se encuentran las localidades de Mieres, Santo Adriano y Langreo.

3.3. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIAS

En la Ciudad de Oviedo se han presentado un buen número de materiales de distintas edades geológicas cabe destacar la paleozoica, preorogenica y sinorogenica, sobre la que se depositan materiales del Cretácico, Terciario y Cuaternario, que serán los que atravessara el túnel y sobre los que basaremos el estudio geológico-geotécnico.

CRETACICO

Discordante sobre el sustrato paleozoico se dispone una interesante serie estratigráfica, de cerca de 200 m de espesor, representada por materiales de la edad cretácica. Se le prestara una especial atención dado su papel preponderante en la configuración geológica del subsuelo de Oviedo; no en vano sus materiales sirven de asiento al principal núcleo urbano y albergan importantes acuíferos subterráneos.

En el sector de Oviedo el cretácico se extiende por la inmensa llanura topográfica donde se asientan los núcleos urbanos de San Claudio, Santa Marina de Piedramuelle, la Manjoya, Oviedo y Colloto.

El tramo basal descansa, en neta discordancia, sobre el paleozoico, a excepción de algunas zonas cuyo contacto es tectónico. El límite superior está formado por el Terciario, que recubre gran parte del sector. Una de las características sobresaliente de los materiales cretácicos es la coloración externa, dominando las tonalidades anaranjadas, grisáceas y amarillentas.

A continuación veremos las distintas formaciones que pertenecen al cretácico del subsuelo de Oviedo.

- *Formación ULLAGA*

La base del cretácico aparece en la zona de *El Caleyú*, descansando discordantemente sobre pizarras carboníferas. Podemos destacar la siguiente sucesión de materiales de esta formación:

- 7,50 m. Arcillas limosas y arenas limo-arcillosas abigarradas, con una intercalación de arenisca calcárea y abundantes nódulos y costras ferruginosas, piritas y lignitos.
- 10,0 m. Arenas y arenas limo-arcillosas amarillentas y rojizas, con dos niveles de areniscas calcáreas grises. Lignitos, nódulos de pirita, costras ferruginosas y laminaciones.
- 3,30 m. Alternancia de areniscas calcáreas y arenas muy amarillentas, mas o menos arcillosas. Todo el conjunto contiene abundantes horizontes de lignitos, restos vegetales, ámbar, algún nódulo de pirita y yeso.
- 4,5 m. Arenas arcillosas y arcillas caoliniticas negruzcas, e hiladas de areniscas calcáreas y grises. Muy frecuentemente la presencia de pirita, ámbar y, sobre todo, grandes acumulaciones de lignitos.

- *Formación EL CALEYU*

En el mismo corte anterior, sobre la formación precedente se dispone, en contacto erosivo, un tramo eminentemente clástico caracterizado por potentes acumulaciones de arenas (en menor grado, arcillosas y limo-arcillosas) blanquecinas, amarillentas y rojizas, generalmente de grano fino. Poseen intercalaciones tipo lenticular de arcillas limosas grisáceas y violáceas. Los primeros metros son muy arcillosos al igual que los últimos con intercalaciones de areniscas negruzcas. Toda la formación contiene abundantes costras ferruginosas, piritas, lignitos y ámbar. Frecuentes estratificaciones cruzadas.

- *Formación PIEDRAMUELLE*

Esta formación está constituida por unos 30 m de arenas de grano grueso a medio, bastante caoliniticas, con tonos gris blanquecino o amarillento, y algunas intercalaciones lentejonas de limos y arcillas. La base de la formación es erosiva. La representan limos grises y con intercalaciones de calizas limosas y arenosas grises y un nivel muy característico de caliza arenosa microconglomeratica.

- *Formación OTERO*

Destaca en la formación la alternancia de arcillas, limos arenas y niveles carbonatados, de tonos gris oscuro. Los términos lutíticos se caracterizan por una estructura lenticular y ondulante. Aparece abundante fauna marina: dientes y escamas de peces, ostreidos,

gasterópodos, corales, equinidos, ostrácodos y foraníferos; también se encuentran trazas fósiles pertenecientes a crustáceos decápodos.

En esta formación podemos destacar la siguiente sucesión de materiales, (de muro a techo):

- 6 m. Nivel clástico formado por arenas gris-blanquecinas, bastante homométricas y micáceas.
- 18 m. Limo-arcillitas de color gris oscuro con intercalaciones de carbonatos grisáceos y horizontes de arenas, más abundantes hacia la zona alta. En la zona de transición con el tramo siguiente aparecen nódulos calcáreos dentro de la fracción limo-arcillosa.

- *Formación LAS TERCIAS*

Indudablemente constituyen la mejor referencia para orientarse en la compleja columna estratigráfica cretácica, tan escasa en niveles guías. Pueden diferenciarse dos miembros, el inferior constituido por calizas nodulosas grises y el superior por calizas amarillo-verdosas, ambos muy glauconíticos.

Podemos diferenciar la siguiente serie en la formación:

- 2,20 m. Arenas arcillosas amarillo-verdosas con algunos nódulos ferruginosos.
- 26,80 m. Margas, calizas margosas y arenosas grises, con intercalaciones de limos arcillosos grises. Con pequeñas y escasas intercalaciones de limos arenosos y arcillas con nódulos calcáreos.
- 21,00 m. Calizas y calizas margosas y arenosas, areniscas calcáreas, anaranjadas y amarillentas con intercalaciones de limos arenosos y arenas limo-arcillosas.

- *Formación LA ARGAÑOSA*

En la zona de la Eria cercana a la Argañosa (zona que afecta al trazado del túnel) se encuentra un antiguo arenero (también funcionó hasta la época reciente como arcillera) que permite levantar una serie estratigráfica muy precisa del nivel detrítico más alto del cretácico. Este afloramiento constituye el estratotipo de la formación La Argañosa. Dada la riqueza de detalles sedimentológicos y que es una de las formaciones a atravesar en el

túnel creemos de interés reproducir literalmente su descripción. Se diferencia de muro a techo:

- 1,20 m. Arenas de grano fino pardo-amarillentas, subredondeadas, bien seleccionadas. Estratificación cruzada en surco de mediana escala, sets de 10 a 30 cm, base erosiva, laminas tangenciales a la base marcadas por la granulometría con gradación inversa normal.
- 2,25 m. Arenas de grano medio moderadamente clasificadas, subredondeadas. Cosets de estratificación cruzada de surco de 10 a 40 cm, en sección longitudinal las laminas son tangenciales a la base.
- 0,80 m. Limos amarillos, laminados, en parte presentan estratificaciones ondulantes.
- 1,40 m. Arenas muy gruesas o microconglomeraticas de tonos amarillos blanquecino, subangulosas-subredondeadas, pobremente clasificadas. Base irregular erosiva marcada por fragmentos arcillosos. Estratificación cruzada de media escala, las láminas que poseen una inclinada de 20° a 30° son sigmoidales. Se observa una graduación grano decreciente.
- 3 m. Arenas de grano medio, amarillo-blanquecinas, subangulosas, moderadamente clasificadas, friables. Sets ligeramente en surco con base erosiva, laminas de ángulo de 20° a 30°, laminas variables a lo largo de la estructura con ángulos menores en zonas próximas y distables. Normalmente gradación positiva a arenas finas, sets de 40 a 60 cm.
- 2,50 m. Arenas muy gruesas a microconglomeraticas de colores grises subangulosas, mal clasificadas. Como componentes principales: cuarzo, feldspatos y líticos metamórficos. Estratificación cruzada en surco, base erosiva. La base de los sets esta tapizada por clastos de mayor tamaño. Se observa una gradación a arenas de grano medio hacia el techo.
- 1,50 m. Arenas cuarzosas de grano medio fino, blanquecinas, moderadamente bien clasificadas. Sets de estratificación cruzada en surco de mediana escala, de 10 a 30 cm de espesor, separados por delgadas laminas de fango que se ubican a techo o envolviendo los sets. Se observa pequeños ripples sobre los planos fangosos.
- 2,20 m. Arenas de grano grueso con cantos microconglomeraticos, gris amarillentas, subangulosas, pobre a mal clasificadas. Cosets de 15 a 40 cm de espesor, estratificación cruzada en surco. Las láminas son tangenciales a la base. Presentan gradaciones de tipo normal.

- 1,70 m. Limos amarillentos que gradan a arenas finas (gradación negativa). En parte presentan estratificación ondulante y ocasionalmente se conservan ripples.
 - 2,50 m. Arenas de grano medio a grueso, de tonos rosados, subangulosas, pobremente clasificadas. Cosets de estratificación cruzada en surco de 20 a 30 cm. Surcos muy elongados ($l/h=40$). Gradaciones de tipo inverso y normal.
 - 1,30 m. Arenas de grano fino a medio, moderadamente clasificadas, fundamentalmente cuarzosas. Presentan estratificación cruzada en surco a media escala.
 - 0,60 m. Arenas finas cuarzosas, blanquecinas, con laminación de ripples e intercalaciones limosas. Presentan, en parte, estratificación ondulante.
 - 0,70 m. Alternancia de capas de arena fina y limos amarillos. Las arenas presentan laminación cruzada de pequeña escala. Estratificación ondulante.
 - 0,35 m. Arenas de grano medio, amarillo-blanquecinas, subangulosas, moderada a pobremente clasificadas. Estratificación cruzada en surco. Laminación marcada por gradación normal.
 - 0,60 m. Limos arcillosos, laminados, con alto contenido en micas.
 - 1,20 m. Arenas de grano medio, subangulosas a subredondeadas, moderadamente clasificadas. Los componentes principales son cuarzo, feldespato y micas. Estratificación cruzada en surco de media escala. Sets de 30 a 40 cm con base erosiva.
 - 0,70 m. Arenas de grano muy grueso, subredondeadas, moderadamente clasificadas. Estratificación cruzada en surco de media escala.
 - 0,40 m. Arenas de grano medio a fino, subredondeadas, bien clasificadas. Estratificación cruzada en surco, en parte estratificación ondulante. A techo de arenas finas con laminación de ripples.
 - 0,70 m. Limos amarillo laminados. Esta parte presenta estratificación ondulante con arenas finas.
- *Formación OVIEDO*

Esta formación está compuesta por una sucesión carbonatada que, en parte, constituye el subsuelo de la ciudad. Próximos a Colloto existen varios sondeos, realizados con fines hidrogeológicos, que explotan el tramo superior del Cretácico. Uno de ellos emplazado en ($43^{\circ}22'29''$ N- $5^{\circ}50'22''$ O) proporciona una columna estratigráfica de gran interés, pues corto

los niveles carbonatados más modernos hallados en Oviedo, sobre la formación arenosa de La Argañosa, se encuentran:

- 11,00 m. Calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillenta. Niveles brechoides y, hacia el techo, abundante dolomitación. Microfacies de biomicritas (calizas *wackestone*) con *Pithonella sphaerica*, *cuneolina pavonia* D'ORB., *quinqueloculina* sp., ostrácodos, espículas de equinodermos, lamelibranqueos, corales y algas.
- 25,00 m. Calizas arenosas y areniscas calcáreas amarillentas. La fracción detrítica está formada por granos de cuarzo y feldespatos. El centil decrece hacia el techo (1-2,7 mm). Frecuentes briozoos, pequeños gasterópodos, algunas algas y escasos foraminíferos (lagenidos y rotalidos).

En el propio casco urbano afloran aproximadamente unos 14 m de calizas brechoides pardo amarillentas que hacia el techo se hacen arenosas.

TERCIARIO

También llamado Cenozoico, está formado por sedimentos continentales fluviolacustres dispuestos discordantemente sobre un fuerte paleorelieve carstificado cretácico. El límite septentrional de la cuenca terciaria, fuera del concejo de Oviedo, está fallado y en sus proximidades se encuentra un conglomerado calcáreo muy característico. En la cuenca de Oviedo los depósitos occidentales de Terciario finalizan en el meridiano de San Claudio; sin embargo, es evidente que la sedimentación de este periodo se extendió bastante más al oeste como lo atestigua la existencia de pequeños trazos aislados, que formarían una única cuenca de no ser por la fuerte acción erosiva del río Nalón y los condicionantes tectónicos más recientes.

La excavación para construir el aparcamiento de Llamaquique proporciona un buen corte de la serie terciaria, de muro a techo, se reconocen los siguientes litotipos:

- Potencia indeterminada. Margas yesíferas verdosas.
- 4-5 m. Alabastro compacto con grandes geodas. Contiene una rica fauna de vertebrados.
- 0,25 m. Margas yesíferas verdosas.

- 1,50 m. Arcillas blanquecina muy plástica.
- 0,50 m. Arcilla rojiza.
- 0,50 m. Marga blanquecina.
- 2,00 m. Margas amarillentas y blanquecinas de potencia decimetrica.
- 0,50 m. Arcillas amarillentas.
- Arcilla parduzca.

Diversas observaciones realizadas en algunos puntos del subsuelo de Oviedo permiten distinguir los siguientes tramos. De muro a techo:

- 1-4 m. Conglomerado calcáreo constituido por cantos y bloques de calizas del Cretácico superior. Frecuentemente los clastos se encuentran dispersos en una matriz arcillo-arenosa parda rojiza, otras veces están cementados por carbonatos. Este tramo conglomeratico constituye la base del terciario en gran parte de la ciudad.
- 1-3 m. Caliza algo margosa de color blanquecino que forma horizonte bastante constante. Contiene arcilla de tipo attapulgita, hecho característico de facies lacustres.
- 3 m. Margas y calizas arcillosas claras con yesos. El yeso forma grandes cristales aislados dentro de las calizas y algo menores, pero mucho más abundantes, en las margas.
- Sucesión de arcillas abigarradas.

Alrededor del seminario, por encima del conglomerado calcáreo se deposita una serie de margas rojizas y verdosas algo peculiar. En un sondeo en la Plaza San Miguel de 20 m, se corto de muro a techo:

- 7,60 m. Calizas brechoides amarillentas del cretácico.
- 0,60 m. Conglomerado calcáreo de cantos de calizas amarillentas cretácicas y matriz margosa rojiza.
- 3,60 m. Margas grises y rojizas compactas, con alguna intercalación de margas blanquecino-verdosas.
- 2,10 m. Margas blanquecino-verdosas, duras.
- 0,95 m. Margas arcillosas rojizas.
- 5,15 m. Margas arcillosas verdosas.

Los metros basales de la sucesión terciaria han sido atravesados por un sondeo ubicado en el Hospital Central de Oviedo, que corto de muro a techo, los siguientes materiales:

- 3,67 m. Conglomerado calcáreo, con cantos de caliza fosilífera de hasta 3 cm.
- 7,78 m. Calizas blanquecinas, puntualmente con carácter margosa.
- 1,05 m. Alternancia de calizas blanquecinas o blanquecino-verdosas con calizas margosa.

Podemos destacar varios sondeos hechos a mayores profundidades en las inmediaciones de Oviedo y que describen los diferentes materiales.

En uno de los sondeos realizados en Pontón de Vaqueros, con 195 m de profundidad, proporciono la columna estratigráfica siguiente, de muro a techo:

- 9,3 m, Margas amarillentas y rojizas.
- 1,2 m. Caliza margosa.
- 23,5 m. Margas amarillentas y rojizas.
- 2 m. Caliza margosa.
- 28 m. Margas similares a las precedentes.
- 4 m. Caliza margosa.
- 8 m. Margas amarillentas.
- 4,5 m. Caliza margosa.
- 7,5 m. Margas rojizas y amarillentas.
- 6 m. Caliza margosa blanquecina.
- 11 m. Margas rojizas.
- 23 m. Margas grises.
- 26 m. Margas abigarradas.
- 2 m. Arcillas arenosas.
- 39 m. Arcillas abigarradas.

El sondeo realizado en el Centro Asturiano del Naranco, tiene mucha importancia para poder conocer la estratigrafía detallada del Terciario, ya que corto totalmente la sucesión de Oviedo. Alcanzo 465 m de profundidad, de los cuales unos 230 m correspondían a materiales Terciarios y el resto al Cretácico. De muro a techo, la columna del Terciario, discordante sobre el Cretácico, está compuesta por:

- 19 m. Arcillas rojas.
- 3 m. Calizas margosas de tonos rosados y verdosos.
- 11 m. Arcillas rojas con zonas verdosas.
- 8 m. Calizas margosas.
- 44 m. Alternancia de arcillas de tonos marrones claros y margas anaranjadas.
- 8 m. Areniscas con cemento calcáreo y horizontes margosos.
- 30 m. Margas rosadas con niveles grises.
- 8 m. Arenas con algún nivel margoso.
- 24 m. Arcillas y margas rojizas.
- 9 m. Margas, más o menos, arenosas.
- 5 m. Caliza de grano fino y color rosado.
- 7 m. Arenas con alguna intercalación margosa.
- 17 m. Alternancia de margas y margas arenosas de tonos rosados y rojizos.
- 5 m. Caliza con algún nivel más arcilloso.
- 6 m. Margas arcillosas ocre y grises.
- 2,5 m. Caliza arenosa de color gris claro.
- 22 m. Margas rosadas y rojizas y, hacia el techo, arcillas rojas.

Podemos destacar que la columna estratigráfica del Terciario ovetense está definida por tres conjuntos litológicos con un espesor algo superior a los 200 m. Tendremos entonces:

- El *conjunto inferior*, está constituido por una alternancia de calizas blanquecinas y margas versicolores. El régimen lacustre, bien caracterizado por estas calizas, calizas margosas y margas blanquecinas y verdosas con algunos oogonios de carofitas, se hace localmente evaporítico en los alrededores de Llamaquique y de Ventanielles con la aparición de una sedimentación yesífera.
- En el *conjunto intermedio*, dominan las margas abigarradas con pequeñas y escasas intercalaciones de caliza blanquecina y alternancia de margas y arcillas pardas amarillentas, verdosas y rojizas con algunos horizontes arenosos.
- El *Conjunto superior*, está compuesto por calizas blanquecinas, areniscas calcáreas, conglomerados silíceos y arenas arcillosas. Aflora en la vertiente meridional del Naranco.

CUATERNARIO

Los depósitos estudiados durante este periodo están representados por eluviones, aluviones (especialmente los del río Nalón y Nora), coluviones y rellenos de depresiones cársticas con materiales arcillosos producto de la descarbonatación de la caliza.

- *Depósitos ALUVIALES.*

Se distinguen en el caso de Oviedo, la siguiente tipología: terra fusca, terra parda caliza, tierra parda eutrófica, lehm pardo-tierra parda, ranker gris limoso.

- *Depósitos Aluvionares.*

Los sedimentos fluviales forman las llanuras aluviales de los principales ríos que inciden en Oviedo.

- *Procesos carsticos.*

Durante el cuaternario tienen lugar importantes procesos carsticos que afectan fundamentalmente a las grandes formaciones carbonatadas, especialmente la caliza de montaña.

MATERIALES DE ATRIBUCION DUDOSA

Determinadas zonas del municipio poseen depósitos detríticos de cronología incierta, aunque por su posición es probable que pertenezcan a un Terciario moderno o Cuaternario antiguo (Pliocuatnario).

En la zona del Pontón de los Vaqueros afloran una arcillas arenosas pardo rojizas con delgados niveles de cantos (entre ellos de Arenisca del Naranco) bastante angulosos. Muy cerca de este se aprecian depósitos similares dispuestos discordantemente sobre la serie arcillo-margosa rojiza del Terciario.

En los terrenos del Antiguo Hospital Militar, muestra, en contacto discordante sobre arcillas yesíferas verdosas terciarias, un conjunto conglomerático constituido por cantos

heterométricos poco redondeados de areniscas blanquecinas y otros rojizos de la formación Naranco (carbonífero), dentro de una matriz bastante arcillosa.

Otro ejemplo claro del mismo tipo de materiales se puede observar al final de La Argañosa, ya en la carretera de San Claudio, donde afloran conglomerados silíceos superpuestos a arenas del Cretácico Superior.

3.4. TECTONICA

De manera general, la Zona Cantábrica, donde se enmarca el municipio de Oviedo, se caracteriza por una tectónica epidérmica de mantos de cabalgamiento, con una superficie de despegue localizada en la calizas y dolomías de la Formación Láncara, de edad cámbrica; los datos geofísicos y estructurales apuntan a que los diversos cabalgamientos convergen hacia los 4.000 y 5.000 m de profundidad. Además existen dos sistemas de plegamiento, uno longitudinal y otro radial con respecto al arco astúrico, relacionados con la propia geometría de las laminas cabalgantes, siendo respectivamente perpendiculares y paralelos a la dirección del desplazamiento. Con posterioridad se desarrolla una densa red de fallas.

El municipio de Oviedo está situado en una zona estructuralmente importante, ya que hacia el Sur domina una tectónica de mantos, siendo sustituida por otra con predominio de pliegues hacia el Norte. Es aproximadamente en la latitud ovetense donde se verifica esta transición de estilos tectónicos.

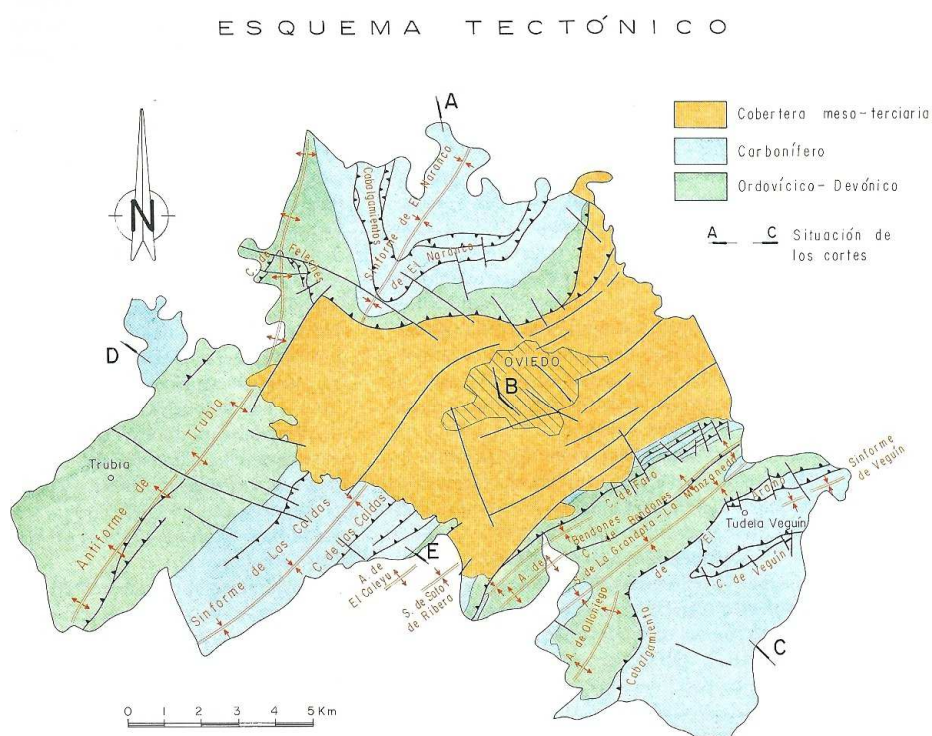


Figura nº5: Esquema tectónico del Municipio de Oviedo

A efectos descriptivos de la tectónica a atravesar, tectónica tardi y postvarisca, consideraremos una serie de fallas que nos encontraremos a lo largo del trazado que serán descritas en el apartado nº5 de este anejo. Podremos observar dichas fallas en el plano 12.3. “Corte Geológico”.

Tanto el zócalo paleozoico como la cobertera mesoterziaria se encuentran afectados por una deformación frágil que da lugar a numerosas fallas. Localmente, tal como acontece en la ciudad de Oviedo, origina un mosaico de bloques pétreos separados por los diversos sistemas de fallas.

La cobertera constituye un vasto sinclinal con el flanco meridional bien desarrollado y con grandes áreas aflorantes de materiales cretácicos. Mientras el flanco septentrional se encuentra abortado por un accidente en la falda Sur del Naranco. Los materiales del Cretácico, y más aun los del Terciario, se disponen subhorizontalmente con buzamientos que no suelen sobrepasar los 20°. No obstante, en la proximidad a las fallas pueden sufrir basculamientos, adquiriendo una mayor verticalización.

La zona objeto de estudio se sitúa próximo de un contexto tectónico especial, inmediatamente al Sur de la denominada Falla de Llanera (rumbo E-O) y algo más al Oeste de la importante Falla de Ventaniella.

Se pueden diferenciar tres tipos de fallas:

- *Fallas NE – SO o longitudinales*

Se trata de fallas subverticales, de salto pequeño y con bastante extensión longitudinal, que afecta tanto a los materiales paleozoicos como a los sedimentos cretácicos y terciarios. Coinciden con el trazado de los principales cabalgamientos de los que parecen proceder mediante la reactivación alpina de estas antiguas estructuras variscas. El movimiento, aunque aparentemente vertical, puede tener una importante componente de desgarre.

- *Fallas NO – SE o transversales*

Poseen un rumbo similar a la Falla de Ventaniella, pero con saltos muy inferiores. Afectan indistintamente materiales paleozoicos y meso-terciarios. Desplazan con bastante nitidez las

fallas longitudinales mediante un juego dominante bastante verticalizado, hundiendo tanto los bloques NE como los SO, aunque a veces se presencia, como ocurre con la Falla de Ventaniella, un movimiento dextral.

Esta familia de fallas se concentra en el casco urbano de Oviedo.

- *Fallas E – O*

Parecen relacionadas con la zona de falla que limita la cuenca meso-terciaria de Oviedo-Onís (Falla de Llanera). Se trata de fallas inversas que elevan el labio Norte.

La más importante, la Falla del Naranco, limita por el septentrión la cobertera de Oviedo, cobijándola bajo los materiales paleozoicos del Monte Naranco. Esta falla se ha formado como consecuencia de la reactivación de un cabalgamiento varisco que, aunque de dirección general NE-SO, sufre una inflexión local en la vertiente meridional del monte Ovetense para adoptar rumbo E-O. A su vez se encuentra afectado por buen número de pequeñas fallas N-S o NO-SE.

- *Diaclasas*

Afectan sobre todo a los materiales de comportamiento frágil, siendo especialmente abundantes en los macizos de Caliza de Montaña.

4. HIDROGEOLOGIA

4.1. INTRODUCCION

Oviedo se caracteriza por ser una ciudad en la que los recursos hídricos no son muy abundantes, viniendo principalmente de las encañadas de los montes y collados vecinos. Debemos destacar una gran cantidad de fuentes y manantiales ubicados en diversos puntos de la ciudad abastecidos por las traídas principales y que eran los que abastecían antiguamente a la ciudad.

Hoy en día el agua de abastecimiento a la ciudad es foránea, el aumento de la población ha hecho que los recursos hídricos de la ciudad sean escasos, eso motivo abastecerla primero de los manantiales de la Sierra del Aramo (embalse de los Afilorios) y posteriormente se comienza a recibir agua proveniente del Alto Nalón (embalse de Tames). Aunque en algunos puntos del municipio (en sus alrededores) se abastecen no de la red principal sino de los sondeos artificiales realizados en la zona. El municipio cuenta con los ríos Nora y Nalón, estos se encuentran en las afueras de la ciudad y no afectan al núcleo urbano.

Destacar la abundancia de acuíferos subterráneos que atraviesan la cuenca meso-terciaria de Oviedo-Cangas de Onís, que se pueden diferenciar en tres horizontes hídricos que han denominado *ak1*, *ak2* y *ak3*, además de surgencias naturales y artificiales, debemos también ver los acuíferos de las calizas paleozoicas y los acuíferos subálveos.

Durante los últimos 50 años se ha desarrollado una campaña extractiva mediante sondeos directos que han venido aportando un caudal de datos de interés para el conocimiento general hidrogeológico de la zona. Todos ellos nos darán los suficientes datos para los estudios de la zona de Oviedo.

Las singularidades del Principado de Asturias desde el punto de vista climatológico, con una pluviometría muy elevada, y desde una perspectiva geológica, propician el almacenamiento de aguas subterráneas. La distribución pluviométrica espacial es irregular y, así mismo, la cantidad de agua sufre importantes cambios a lo largo de los años.

4.2. CLIMATOLOGIA

El clima de Oviedo es el resultado de la interacción de dos factores que actúan a distinta escala: una dinámica atmosférica característica de las latitudes medias, y a la influencia del contacto del frente atlántico con una masa terrestre orográficamente elevada y relativamente próxima a la línea costera. De manera escueta, el clima ovetense se encuadra dentro del dominio templado-frío oceánico, caracterizado por la presencia e precipitaciones, humedades y neblinas, es pues receptora de abundante lluvia, con elevada y persistente nubosidad, baja insolación e inexistencia de aridez durante todo el año.

La ubicación hacia el paralelo 43° condiciona el que se produzca la interacción de dos masas de aire de diferente naturaleza, una de origen polar y otra subtropical, muy diferentes desde el punto de vista termodinámico y en cuya zona de contacto no suelen mezclarse sino que tienden a interpretarse formando grandes remolinos. Esta faja activa se denomina frente polar y sus ondulaciones son reflejo de complicados fenómenos dinámicos, suelen terminar formándose borrascas que se desplazan de Oeste a Este. Durante el estío los vientos dominantes son de componente Oeste y Noroeste y aportan precipitaciones, también domina la influencia subtropical marítima, caracterizada por la presencia anticiclónica, con vientos secos procedentes del NE.

Desde el punto de vista geográfico, el municipio se sitúa en el extremo suroccidental de la vasta depresión meso-terciaria que constituye la región central de Asturias, bordeada por relieves montañosos del tipo medio (hacia el norte el Naranco, hacia el SE el Aramo). El contacto del frente atlántico con estos obstáculos orográficos limítrofes de la depresión produce particularidades climáticas puntuales, actuando de barrera al avance de las capas atmosféricas (efecto de ladera) y producir un cierto estancamiento de las masas nubosas.

El último factor involucrado en la configuración del clima ovetense lo constituye, dado la corta distancia a la costa (dista 20 km), la influencia marítima. Los vientos de poniente y septentrionales llegan cargados de humedad y con una elevada capacidad de inestabilización hídrica al atravesar amplios recorridos atlánticos o cantábricos. Asimismo, la elevación térmica de las aguas marinas durante el verano ayuda a ampliar las precipitaciones de la zona en la estación y, consecuencia, a disminuir el grado de aridez ambiental.

El régimen pluvial mantiene un caudal hídrico relativamente uniforme a lo largo del año. La red fluvial existente condiciona especificidades micro climáticas, dando lugar a persistentes nieblas en los Valles del Nora, San Claudio, Trúbia y Nalón.

La información meteorológica existente en Oviedo procede de las estaciones oficiales:

- Observatorio Meteorológico de la Universidad ($x=43^{\circ}21'47''N$, $y=5^{\circ}50'40''O$ y $z=226/248$ m).
- Estación pluviométrica de la Cadellada ($x=43^{\circ}22'37''N$, $y=5^{\circ}49'36''O$ y $z=220$ m).
- Observatorio Meteorológico del Cristo de la Cadenas ($x=43^{\circ}21'16''N$, $y=5^{\circ}52'22''O$ y $z=336$ m).

En Oviedo se dan todo tipo de meteoros, siendo el fenómeno climatológico mas frecuente, el rocío, seguido de la lluvia y niebla.

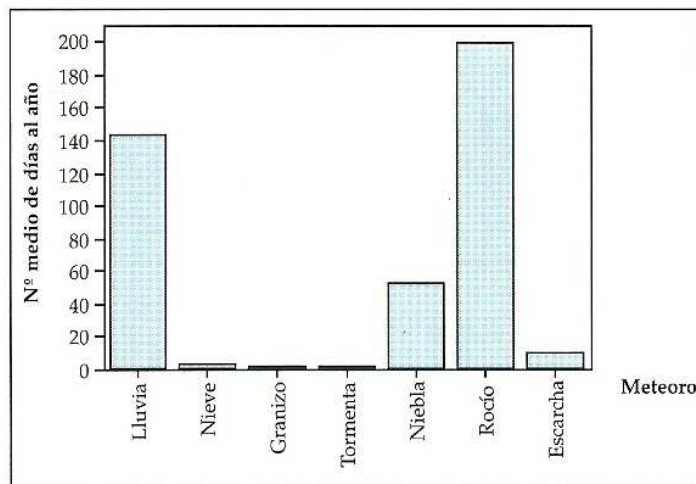


Figura n°6: Frecuencia de los diferentes meteoros que actúan

A continuación vamos a ver los datos más significativos de cada uno de ellos. Aunque como se puede observar ninguno va afectar de manera significativa a la ejecución del túnel, ya que por ejemplo las precipitaciones que pueden afectar de una manera más importante de aporte de agua a los ecosistemas terrestres, una fracción importante de esta es enviado a la atmosfera por evapotranspiración, otra es absorbida por el suelo y superficies libres (evaporación) y por la cubierta vegetal (transpiración).

PRECIPITACIONES

Aunque bajo esta denominación se incluye toda el agua que procede de las nubes, independientemente de la forma de manifestarse (lluvia, granizo, nieve, etc.), la casi totalidad de las precipitaciones que recibe la región ovetense son de tipo pluviométrico.

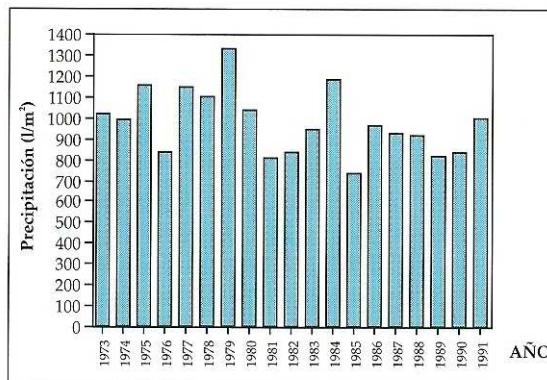


Figura nº7: Histograma de evoluciones de las precipitaciones totales a lo largo de diversas anualidades.

De estos datos deducimos que sobre Oviedo cae unos 973 l/m² de agua al año que se distribuyen con notable homogeneidad a lo largo de las estaciones, destacando la temporada invernal.

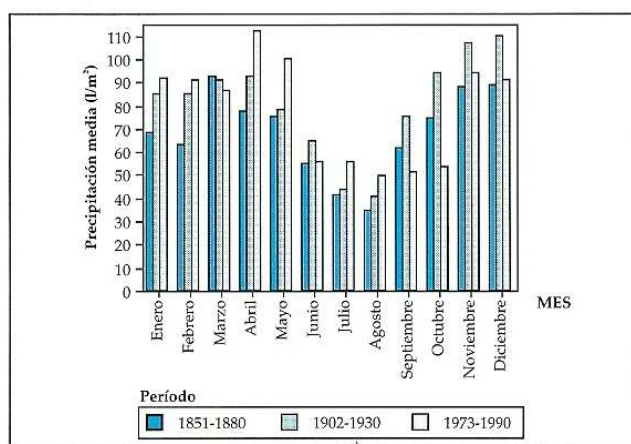


Figura nº8: Precipitación media mensual durante diversos periodos de tiempo.

NIEBLA, ROCIO Y ESCARCHA

Estos meteoros tienen bastante incidencia en el municipio, en especial el rocío hace su aparición en más de la mitad del año. De manera general, proporciona cantidades moderadas de agua y, en el caso de la niebla, ejercen influencia directa en la evapotranspiración.

La escarcha presenta una periodicidad de 9,6 días al año y unos valores máximos en los meses iniciales y finales, desapareciendo entre mayo y octubre.

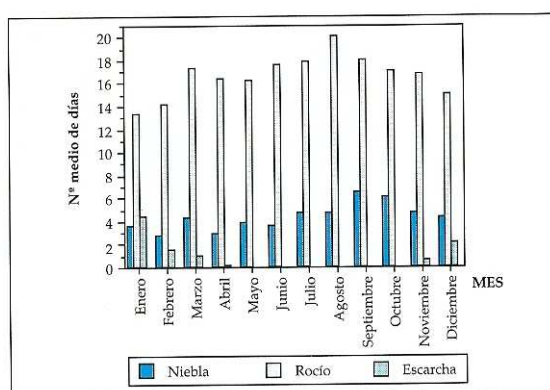


Figura nº9: Frecuencia mensual de los meteoros niebla, rocío y escarcha

TERMOMETRIA

El municipio de Oviedo se caracteriza por su templanza y la moderada oscilación de temperatura, ya que la media anual se sitúa entre los 17º y 8,8ºC, con un valor medio de 12,9ºC. En términos generales el clima puede considerarse algo frío, casi templado en invierno y casi fresco en verano.

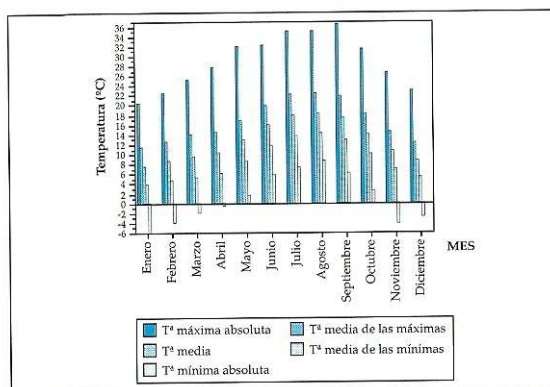


Figura nº10: Temperatura mensuales de los últimos 25 años

TENSION DE VAPOR, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPORACION

La evolución de la tensión media de vapor y de la evaporación media por día queda resumida en la figura siguiente.

La primera variable, con un valor medio anual de 9,0 mm, es moderadamente alta, alcanzando la máxima en el mes de agosto (12,6 mm). La evaporación mantiene una tendencia prácticamente paralela a la de presión de vapor, aunque de forma más moderada (entre 2 y 4 l/m²).

Quizás el dato más singular sea la humedad relativa, bastante elevada y constante, con valores máximos del 78% (otoño) y mínimos de 75-76% (primavera).

HELADAS

El fenómeno de las heladas tiene una indudable importancia e influye notablemente, por ejemplo, en el fraguado de los hormigones.

El número medio de heladas por año es de 20,7, correspondiendo el valor máximo mensual medio a enero con 8,2 días.

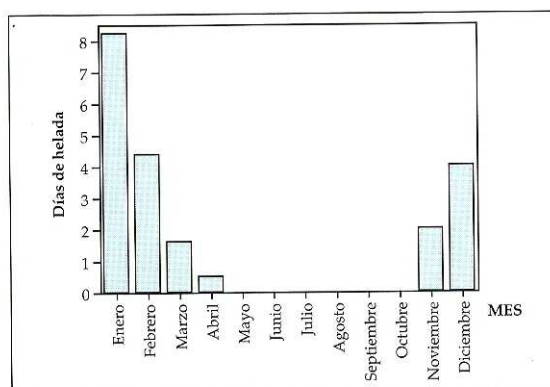


Figura nº11: Frecuencia media mensual de las heladas en Oviedo.

A continuación se muestra una grafica resumen de los año 1972 al 2000 de la agencia estatal de meteorología (AEMET) tomados en el Observatorio Meteorológico del Cristo de las Cadenas.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	8.0	11.7	4.2	85	76	10	1	1	5	3	4	117
Febrero	8.8	12.8	4.8	85	75	11	1	1	5	2	3	117
Marzo	10.0	14.4	5.6	82	75	11	1	1	6	1	3	147
Abril	10.6	14.9	6.3	109	77	13	0	2	8	0	2	152
Mayo	13.3	17.6	9.1	94	79	12	0	3	10	0	2	158
Junio	16.1	20.3	11.9	53	80	8	0	2	11	0	2	168
Julio	18.3	22.4	14.1	52	80	8	0	3	12	0	3	174
Agosto	18.7	22.8	14.5	55	81	8	0	3	12	0	3	171
Septiembre	17.3	21.7	12.9	64	79	8	0	2	11	0	3	154
Octubre	14.0	18.1	10.0	98	79	11	0	1	9	0	2	134
Noviembre	10.8	14.6	7.1	101	78	11	0	1	7	0	3	114
Diciembre	9.0	12.5	5.5	96	76	11	0	1	5	2	3	105
Año	12.9	17.0	8.8	973	78	122	5	20	100	8	33	1711

Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Tabla n°1: Datos climatológicos normales del 1972- 2000 AEMET

4.3. HIDROGEOLOGIA

En este apartado describiremos las características hidrogeológicas de la ciudad de Oviedo, daremos datos de sondeos realizados en diferentes zonas de los que obtenemos no solo las formaciones que atraviesan, sino el nivel piezométrico y los caudales. Además haremos un estudio de los principales acuíferos subterráneos del municipio y las surgencias naturales.

En el municipio de Oviedo nos encontramos dos ríos principales, el Nora y Nalón, estos se encuentran en las afueras de la ciudad, cabe destacar el río Nora a su paso por los barrios de Nora y Folgueras, que a pesar de su escaso caudal en ese punto, atraviesa el trazado del Túnel perpendicularmente al comienzo de este.

Bajo la ciudad existen diversos acuíferos, constituidos por la unidad Meso-Terciaria de Oviedo-Cangas de Onís y los ligados a los subálveos fluviales.

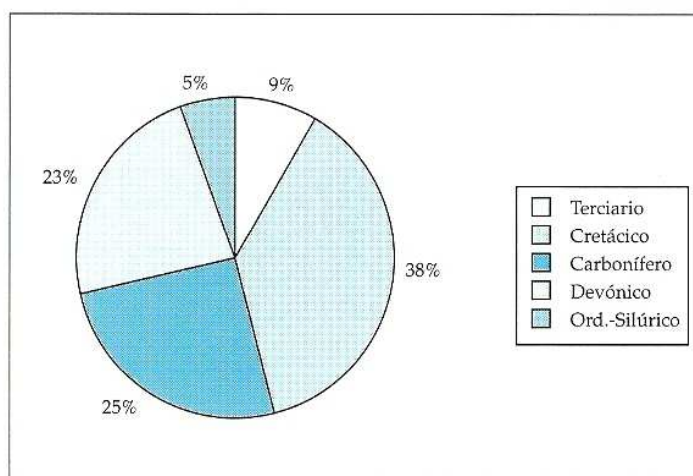


Figura Nº12: Distribución porcentual de los manantiales detectados en el municipio de Oviedo según la edad de los materiales

ACUÍFEROS CRETÁCICOS (UNIDAD MESO-TERCIARIA DE OVIEDO-CANGAS DE ONÍS)

La unidad meso-terciaria de Oviedo-Cangas de Onís, a la que pertenece el subsistema de Oviedo-Pola de Siero, presenta una forma alargada en sentido O-E (80 km), con una anchura media de 5-10 km, estrechándose hacia la zona oriental. El zócalo de la cuenca, de sedimentación cretácica, lo forman materiales paleozoicos afectados por la orogénesis

varisca que muestran una superficie de erosión peneplanizada sobre la que se deposita, el Cretácico. Los materiales cretácicos quedan ocultos, en gran parte de la unidad, por los cenozoicos, mostrando una discordancia cartográfica con paleorelieves. No ocurre lo mismo en el límite septentrional: el contacto tiene lugar mediante la mencionada falla que lo separa de la franja móvil intermedia.

La importancia de los materiales cretácicos como fuente de aprovechamiento hidrogeológico es bien notoria. Lo demuestran las diferentes captaciones llevadas a cabo en su subsuelo. Esta trascendente utilidad hídrica es el resultado de un compendio de condiciones favorables. Desde el punto litológico destaca la presencia de materiales clásticos con características texturales muy propicias para la acumulación de agua, tramos detríticos intercalados entre otros más impermeables favoreciendo la génesis de mantos cautivos. De forma similar, la disposición estructural de la cuenca, con un buzamiento general suave hacia el Norte y flojas ondulaciones, ayuda a la retención hídrica, particularmente en la zona de charnelas sinclinales. Dentro de este contexto estructural, la fuente de alimentación queda restringida a la zona meridional de la cuenca. Por el contrario, los materiales supradycientes del Terciario, debido a su acusada impermeabilidad, no forman acuíferos significativos de interés hidrogeológico.

La recarga del subsistema se realiza por el aporte directo del agua de lluvia y, en menor medida, por unidad hidrogeológica de la franja móvil intermedia. La descarga tiene lugar a través de los ríos y/o arroyos Nora, Gafo, Vega, San Claudio y del Llano, y hacia la Caliza de Montaña. Las aportaciones que recibe el subsistema totalizan un volumen de 200 hm³/año, de los que 137 corresponde a las propias lluvias y el resto a contribuciones exteriores.

Las salidas del sistema se han estimado en 200 hm³/año distribuidas de la siguiente manera:

- 146 hm³/año corresponden a drenaje a través del río Nora, de los cuales 126,5 hm³/año proceden de escorrentía superficial y 19,5 hm³/año de la subterránea, con un coeficiente de escorrentía del 0,43.
- 51 hm³/año son drenados por otros cursos fluviales del subsistema y hacia la Caliza de montaña; de ellos 20,5 hm³/año corresponden a escorrentía superficial y 30,5 hm³/año a la subterránea.

- 3 hm³/año se bombean desde los sondeos para el abastecimiento urbano e industrial.

Desde el punto de vista de la conexión entre el agua y las distintas litologías se diferencian en esta unidad:

- Rocas impermeables; constituidas por margas, arcillas y calizas del Terciario, y algunas margas y arcillas cretácicas.
- Rocas permeables por figuración y carstificación; las forman diferentes niveles de calizas y calizas arenosas cretácicas.
- Rocas permeables por porosidad; los tramos arenosos correspondientes a las Formaciones de El Caleyú, Piedramuelle y La Argañosa presenta una acusada permeabilidad intergranular, constituyendo zonas óptimas de infiltración y retención. Destacar la posibilidad de que las delgadas intercalaciones arcillosas existentes, ejerzan control hidrogeológico local.

El análisis y evaluación de medio centenar de sondeos mecánicos, emplazados en a lo largo de la cuenca, y de los manantiales ha permitido deducir la existencia de varios acuíferos de carácter detrítico representado por las litologías clásticas del Cretácico mencionadas. Se definen tres horizontes hídricos:

- Acuífero superior ak1.
- Acuífero intermedio ak2.
- Acuífero inferior ak3.

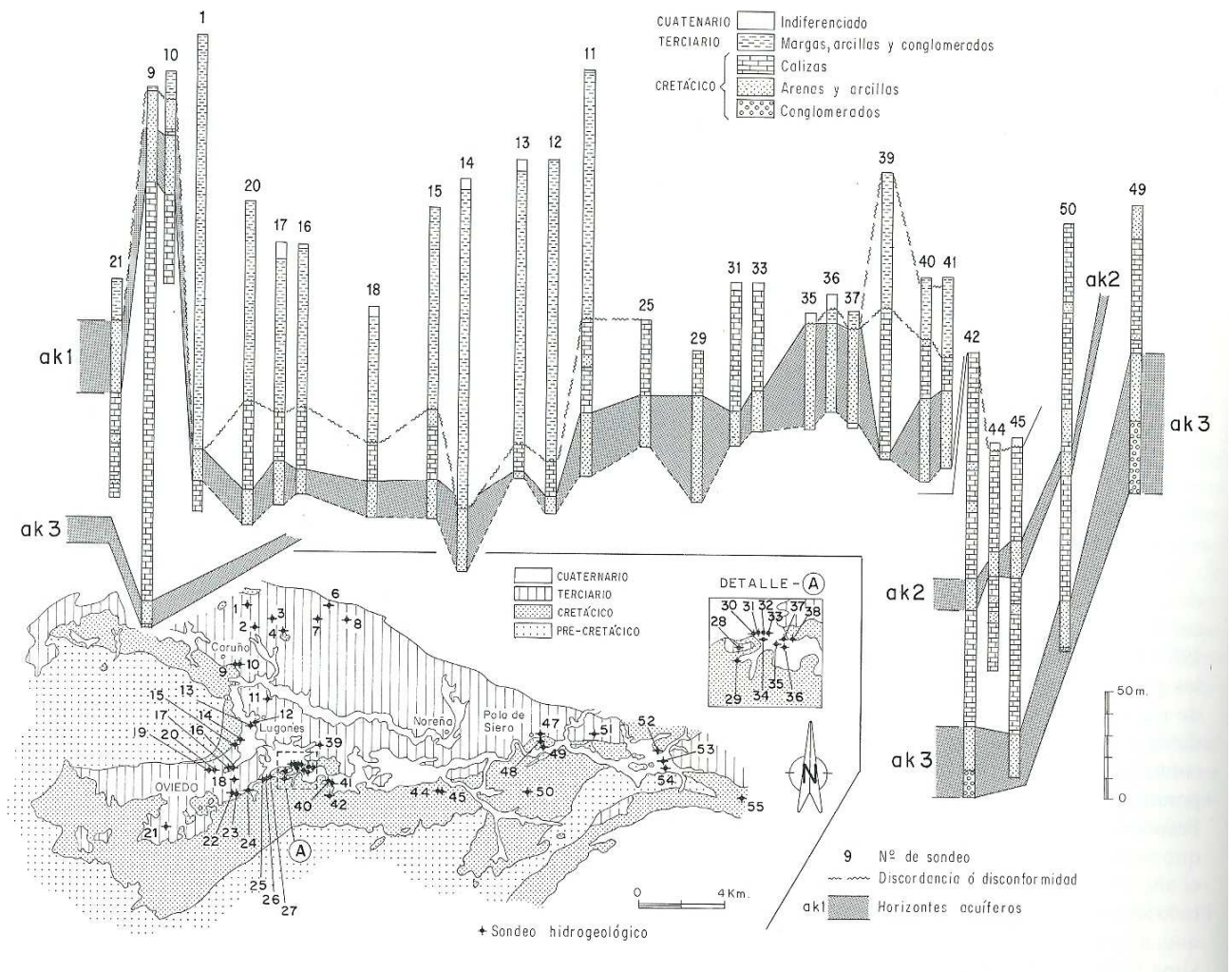


Figura nº13: Correlación de principales sondeos hidrogeológicos realizados en el borde occidental de la unidad meso-terciaria.

- **Acuífero superior (ak1)**

Constituye el más alto, equivalente a la Formación La Argañosa. Por lo general las arenas son de grano fino blancuecinas, aunque con frecuentes horizontes microconglomeráticos y conglomeráticos cuarcíticos, bastante limo-arcillosas y micáceas. En el Oeste de Oviedo las arenas presentan importantes intercalaciones de arcillas muy plásticas, hacia el muro, que incluso son objeto de explotación industrial; el carácter arcilloso va aumentando para la zona oriental alcanzando un elevado porcentaje cerca de Pola de Siero. La abundancia de moscovita representa un problema considerable: la morfología laminar de ésta puede llegar a tupidar los filtros y, ocasionalmente, atravesarlos con una pérdida de rendimiento en los

pozos. No obstante, a pesar de sus deficientes características petrofísicas, es el nivel más beneficiado en los alrededores de Oviedo.

Tiene su máxima representatividad hacia el NE y Este de Oviedo (Valle del Nora) donde es activamente explotado. En la práctica es el nivel hidrogeológico más rentable debido a su fácil accesibilidad, incluso a nivel piezómetro llega a rebosar en puntos propicios, indicando que se trata de un acuífero confinado. Los caudales extraíbles en los sondeos varían entre 4 y 10 l/s. El valor de la permeabilidad (k) calculado supera 1 m/día, lo que corrobora la aceptable calidad del acuífero.

Las zonas de los alrededores de Oviedo más idóneas para su captación son Coruño-Llanera (20-30 m de profundidad), la Corredoria-Lugones (100-150 m), Cerdeño-Colloto (10-15 m) y Castañera (50 m). De manera general, la profundidad de éste y de los otros acuíferos adquiere valores gradualmente superiores hacia el Norte, donde la cuenca cenozoica tiene mayor espesor.

- *Acuífero intermedio (ak2)*

Se sitúa unos metros por debajo (Formación Piedramuelle) y presenta unas características petrofísicas más adecuadas que las del acuífero anterior (en general las arenas son de más homométricas y con menor contenido en arcillas y micas). Este nivel arenoso aflora profusamente en los alrededores de la ciudad de Oviedo (ronda de circunvalación, zona del viaducto del Espíritu Santo, antiguo vertedero de Piedramuelle...).

Cortando en el Valle del Nora con carácter artesiano proporciona caudales de 1 l/s, aunque existen dudas de que se haya conseguido buenos desarrollos de los pozos. Este nivel ofrece convenientes características hidrogeológicas, encontrándose potencialmente repartido por toda la cuenca donde la serie cretácica se hace más carbonatada y desaparece el nivel clástico.

Dadas sus características petrofísicas y las accesibles profundidades a las que se encuentra, este acuífero exhibe potencialmente muy buenas cualidades para su aprovechamiento integral.

- *Acuífero inferior (ak3)*

Ubicado en los tramos arenosos y conglomeraticos de la sucesión basal del Cretácico (Formaciones El Caleyú, Ullaga y Pola de Siero), se extiende prácticamente a lo largo de toda la cuenca meso-terciario y proporciona caudales que superan los 10 l/s. La Formación El Caleyú presenta una gran superficie de afloramiento hacia el sur y Oeste de Oviedo. Su cuenca de recarga ocupa bastante más extensión que la de los dos acuíferos anteriores. Los niveles piezómetros son muy altos, en algún caso inclusive artesianos. La dificultad de puesta en producción reside en las acusadas profundidades a las que con frecuencia hay que perforar para su intersección.

Prácticamente en toda la cuenca la acumulación de agua está confinada y presenta carácter artesiano. Caudales superiores a 10 l/s serán cómodamente alcanzables en pozos que exploten los niveles ak1 y ak3 (zona del Nora) e inferiores en la zona de Oviedo y de Llanera.

Aparte de los acuíferos detríticos, esta unidad presenta diferentes tramos carbonatados también de edad cretácica poseedores de buenas características hidrogeológicas primarias, encontrándose en la columna estratigráfica niveles con aceptable porosidad. También existen circulaciones cársticas, ocasionalmente importantes, y zonas fracturadas. Al SE de Oviedo resulta muy espectacular el tramo de calizas glauconíticas (parte superior de la Formación las Tercias) suprayacentes a los limos arcillosos y calizas nodulosas del Turoniense. Presenta un grado importante de carstificación y proporciona un abundante caudal de agua que mana en diversos puntos. Por otro lado se carece de experiencia práctica sobre el comportamiento de estos niveles carbonatados, ya que no ha sido explotado mediante sondeos o lo que ha sido conjuntamente con los niveles arenosos.

- *Surgencias naturales*

Existen varios manantiales, en su mayor parte correspondientes a los acuíferos detríticos, que representan drenajes espontáneos del sistema hídrico. Mayoritariamente afloran en el contacto de niveles arenosos permeables con otros menos permeables, sobre todo arcillosos, cuando las condiciones topográficas son favorables. Otros aprovechan zonas fracturadas. Proporcionan pequeños caudales (inferiores a 2 l/s) con tendencia

bicarbonatado-cálcica. En el caso concreto de Oviedo se han controlado varios puntos de agua con caudales comprendidos entre 0,3 y 1 l/s.

Actualmente se detectan surgencias de agua en algunos sótanos urbanos. Estas manifestaciones acuosas guardan relación con alguna falla que afectan al subsuelo de Oviedo evidenciando, en muchos casos su existencia.

- *Surgencias artificiales*

Se han emplazado algunos sondeos hidrogeológicos y pozos en la parte occidental de esta unidad alumbrando agua procedente, mayoritariamente, del acuífero superior ak1. Los caudales aflorados, muy variables, oscilan normalmente entre 1 y 10 l/s.

Los dos últimos sondeos hidrogeológicos de la cuenca meso-terciaria ovetense para captar los acuíferos cretácicos se realizaron en El Naranco.

El Sondeo efectuado en la Residencia de las Hermanitas de los Ancianos Desamparados (Oviedo) cortó la siguiente columna del cretácico después de atravesar 83 m de materiales del terciario:

- 83–107 m. Calizas arenosas de color beige a areniscas calcáreas de grano fino.
- 107-109 m. Gravillas arenosas silíceas limpias, redondeadas.
- 109-110 m. Arcillas pardo amarillenta.
- 110-127 m. Arenas muy gruesas, gravas y gravillas poco redondeadas. Las gravas y gravillas se presentan como cantos aislados, predominando la fracción arenosa (1-5 mm).
- 127-132 m. Arcillas rojas y arcillas arenosas blanquecinas.
- 132-140 m. Arenas gruesas.
- 140-165 m. Arcillas amarillentas, grises, pardas y rojizas, a veces arenosas.

Los 24 m de calizas pertenecen a la Formación Oviedo, mientras que los 58 m basales corresponden a la Formación La Argañosa (acuífero regional denominado ak1) y son los que han liberado el caudal explotado.

El otro sondeo se realizado para la captación de aguas subterráneas en el Centro Asturiano del Naranco, este capto agua de los niveles detríticos del cretácico; atravesó 244 m de materiales terciarios y una potente serie cretácica (Formaciones Oviedo, La Argañosa, Las Tercias, Otero y Piedramuelle) parcialmente retenida por accidentes tectónicos.

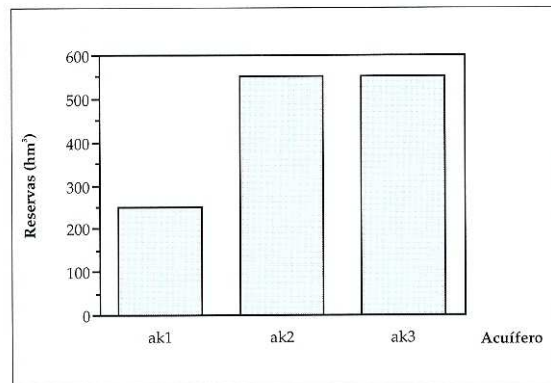


Figura nº14: Reservas de los acuíferos detríticos del cretácico

Como dato adicional tenemos las oscilaciones del piezómetro colocado en el Parque San Francisco de Oviedo, zona del *El Escorialín*, vistas en el grafico siguiente. Los valores del nivel piezométrico son negativos de manera que, a finales de enero, se situaba a la altura máxima (1,58 m por debajo de la superficie), mientras que, comenzando octubre, se encontraba en la cota mínima (22,33 m de profundidad).

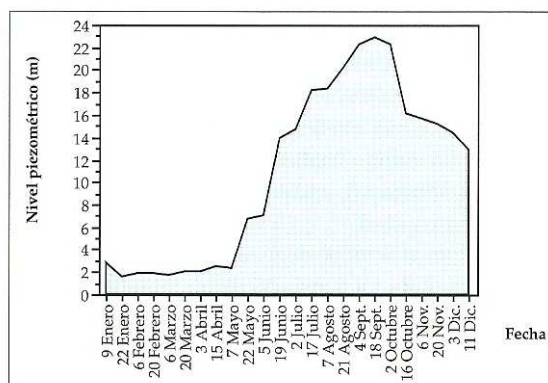


Figura nº15: Evolución del sondeo del Escorialín durante el año 1981

ACUIFEROS SUBALVEOS

Los aluviones de los ríos Nora y Nalón constituyen los mejores ejemplos de estos acuíferos que se caracterizan por ser susceptiblemente explotadas, aunque presentan coeficientes de almacenamiento bastante reducidos.

- *Subálveo del río Nalón*

En la llanura aluvial de las proximidades de Palomar se han realizado una serie de sondeos con el fin de captar las aguas subterráneas e incorporarlas a las conducciones procedentes del Aramo, que alimenta el núcleo urbano. Estos alcanzaron profundidades diferentes llegando a cortar el sustrato de Caliza de Montaña, obteniendo el nivel freático en esta zona en torno a los 5,5 y 7,8 m.

- *Subálveo del río Nora*

La zona acuosa más propicia se ubica aledaña de la importante llanura aluvial de la Corredoria, donde se ha explotado el agua mediante pozos muy superficiales (3 a 5 m). Normalmente los pozos se ejecutaban en dominios topográficamente deprimidos, captándose las aguas de los depósitos aluviales o de un acuífero hipodérmico entre el suelo vegetal y un sustrato de limo-margoso impermeable atribuido al Pliocuaternario. En este caso la alimentación se produce por simple percolación de las aguas pluviales. El caudal extraíble varía de 0,1 a 1 l/s y el nivel freático se sitúa entre 1 y 3 m, correspondiente a los valores más altos de los pozos que se explotan el propio subálveo.

5. CARACTERISTICAS GEOLOGICO-GEOTECNICAS DEL TRAZADO DE ESTUDIO

Los diferentes tipos de suelo detectados en los estudios realizados y que afectan al trazado del túnel las hemos dividido en cuatro tipologías, características de dos edades la Terciaria y Cretácica, aunque en diversos puntos tenemos en superficie coluviones y aluviones del Cuaternario.

A lo largo de la traza se han proyectado diversos pozos que servirán para el mantenimiento de la tuneladora durante la ejecución del túnel, además nos aportaran datos geológicos de la zona, de manera que sean un complemento informativo a la hora de realizar la excavación.

El túnel comienza con un tramo de pantallas en el pk 0+000, en los barrios de Nora y Folgueras (Colloto) que servirá para el arranque de la tuneladora, además será el punto donde se monte la maquina y donde se colocaran las instalaciones que servirán para el desarrollo del túnel. Al final del túnel, cruce de las calle La Argañosa y Alejandro Casona en el pk 7+063,31, se realizara un cajón también entre pantallas que servirá para el desmontaje de la tuneladora.

El trazado comienza en los barrios de Nora y Folgueras, (Colloto) en el pk 0+032 y con una rasante con una inclinación de 1%, para posteriormente atravesar el Rio Nora y la línea de cercanías de F.E.V.E., atravesara después el Polígono industrial del Espíritu Santo, por debajo de la antigua línea de F.E.V.E. que entraba a Oviedo. Una vez salido del Polígono, pasara por debajo de la autopista Oviedo – Gijón – Avilés de entrada a Oviedo, donde su rasante se pondrá en el 0%, hasta alcanzar la glorieta donde convergen las Calles General Elorza, Víctor Chavarri y Adelantado de La Florida, donde un poco antes cogerá una fuerte pendiente del 4%, una vez atravesada la glorieta se posicionara para seguir por la calle Víctor Chavarri hasta alcanzar la Calle Uría donde atravesara el Parque de San Francisco hasta conexionar en el cruce de las Calles Santa Susana y Marques de Santa Cruz, donde se dirigirá por Calvo Sotelo, en la parte más alta de la calle disminuirá la pendiente hasta el 0%, hasta la Plaza Castilla, en ese punto se dirigirá al barrio del Cristo de las Cadenas por la Avenida del Padre Vinjoy hasta alcanzar la Avenida del Cristo de las Cadenas, donde comenzará nuevamente una pendiente del 3%, y posteriormente enlazar con Álvaro Flórez Estrada para posteriormente conectar con la Calle Celestino Villamil que nos llevara hasta la Plaza de Toros de Oviedo, comenzara a descender con un 3% para posteriormente coger la

Calle de Alejandro Casona, donde en su parte final disminuirá su pendiente hasta el 0%, hasta el cruce con la calle La Argañosa donde estará el cajón de desmontaje de la tuneladora en el pk 7+093,31.

Todos los datos geológicos que se verán a continuación vienen en el plano 12.3. Perfil Geológico de la Traza.

Los materiales que atravesara el trazado del túnel, viendo sus características más singulares y las posibles alteraciones a lo largo del trazado, los dividiremos en varios tramos para que sea más fácil la estructuración geológica, una vez visto esto añadiremos una serie de datos geotécnicos de los materiales a atravesar:

CARACTERITICAS GEOLOGICAS

- *Tramo Pozo de Arranque del túnel pk 0+032 al Pozo Campus Milán pk 3+592,42.*

Desde el Pozo de ataque de la tuneladora pk 0+032, hasta el Pozo Campus Milán pk 3+592,42. Los materiales a atravesar son los correspondientes al Terciario, calizas margosas blanquecinas con intercalaciones de arcillas y margas, y Cretácico, en el que encontraremos dos formaciones, Formación Oviedo formada principalmente por calizas y calizas arenosas y La Argañosa al que le corresponde arenas, arcillas y gravas.

Unidades atravesadas en el tramo

Desde el arranque del túnel en el pk 0+032 al pk 1+400 atravesaremos materiales Terciarios en toda la sección del Túnel, aunque en ocasiones debido a la proximidad de la Formación Oviedo del Cretácico, se tocaran por la parte inferior de la sección de túnel con estos materiales.

Desde el pk 1+400 al 2+000 tendremos más presencia de materiales del Cretácico de la Formación Oviedo junto con los Terciarios, cabe destacar que en ese tramo habrá puntos de mucha inestabilidad en el frente de excavación y más en concreto en la clave del túnel, en el contacto de ambas formaciones.

Desde el pk 2+000 al 3+200 tendremos cada vez más presencia de los materiales del Cretácico, llegándolos a tener incluso a sección completa en un tramo bastante amplio para luego ir disminuyen a medida que avanza el túnel volviendo a darse los materiales del Terciario, hacia el pk 3+000 comenzaremos a tener en la parte inferior de la sección la presencia de la Formación La Argañosa, perteneciente al cretácico.

Desde el pk 3+200 al 3+592,42 en este punto se comenzara a tener más presencia de la Formación La Argañosa junto con la Formación Oviedo ambas del Cretácico, que irá aumentando hasta tener media sección de túnel con cada una de las formaciones.

Descripción de las unidades atravesadas en el tramo

- *Unidades del terciario.*

Esta unidad a travesar está formada por un conglomerado calcáreo en su parte inferior seguido de calizas margosas blanquecinas con alternancia en ocasiones de arcillas de tonos marrones claros y margas anaranjadas, que van de espesores de 0 a 11,55 m es decir que llegaran a travesar toda la sección del túnel.

- *Unidades del Cretácico.*

Esta Unidad se van atravesar dos formaciones, Oviedo y La Argañosa, las cuales tienen unas características muy dispares.

La Formación Oviedo en el punto donde se va a travesar está constituida por calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillento, niveles brechoides con abundante dolomitización y areniscas calcáreas amarillentas. Los espesores irán desde 0 a 11,55 m.

La Formación La Argañosa constara en este tramo de arenas de grano fino pardo-amarillentas, con arenas de grano medio subredondeadas e intercalaciones arcillosas de varios colores. Los espesores van desde 0 hasta los 5,75 m.

- *Parte superior y relleno*

Se disponen por encima de las formaciones anteriores unas series, de manera discontinua a lo largo del tramo, de coluviones y aluviones pertenecientes al cuaternario, además de arcillas y gravas que se cree pertenecientes al Pliocuatnario y arcillas y margas pertenecientes al Terciario.

- *Tramo desde el Pozo Campus Milán pk 3+592,42 al Pozo Paseo Los Álamos pk 4+470.*

Desde el Pozo de Campus Milán pk 3+592,42 hasta el Pozo Paseo de Los Álamos pk 4+470 atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo, formada por calizas y calizas arenosas, y La Argañosa, por arenas, arcillas y gravas, cabe destacar en este tramo la presencia de tres fallas a lo largo del trazado.

Unidades atravesadas en el tramo

Desde el pk 3+592,42 al 3+820 atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo y La Argañosa, en media sección, hasta en pk 3+820 donde nos encontraremos con una falla inversa que nos hará cambiar los materiales a tener solamente la presencia de la Formación La Argañosa.

Desde el pk 3+820 al 4+409,84, atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, hasta en pk 4+409, 84 donde nos encontraremos con una falla directa, donde volveremos a tener nuevamente las Formaciones Oviedo y la Argañosa, cabe destacar la presencia de otra falla directa en el pk 4+260 que apenas tiene variación en la estratificación de los materiales.

Desde el pk 4+409,84 al 4+470, se discurrirá entre materiales cretácicos de las Formaciones Oviedo y La Argañosa.

Descripción de las unidades atravesadas en el tramo

- *Unidades del Cretácico.*

Esta Unidad se van a atravesar dos formaciones, Oviedo y La Argañosa, las cuales tienen unas características muy dispares.

La Formación Oviedo en el punto donde se va a atravesar está constituida por calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillento, niveles brechoides con abundante dolomitización y areniscas calcáreas amarillentas. Los espesores que irán de 2 a 6 m.

La Formación La Argañosa constará en este tramo de arenas de grano fino pardo-amarillentas, con arenas de grano medio subredondeadas e intercalaciones de arcillosas de varios colores, además de arenas muy gruesas y limos amarillentos. Los espesores van desde 2 a 11,5 m.

- *Parte superior y relleno.*

La parte superior del túnel, por encima de la clave, está compuesto por materiales pertenecientes al cretácico de la formación Oviedo, compuesto por calizas y calizas arenosas y en la parte más exterior, se encuentran materiales del Terciario, con alternancia de calizas margosas blanquecinas y calizas con algún conglomerado calcáreo.

- *Tramo desde el Pozo Paseo Los Álamos pk 4+470 al Pozo Plaza Castilla pk 5+237,67.*

Desde el Pozo del Paseo de Los Álamos pk 4+470, hasta el Pozo Plaza Castilla pk 5+237,67 atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo, formada por calizas y calizas arenosas, y La Argañosa, por arenas, arcillas y gravas, cabe destacar en este tramo la presencia de tres fallas en el trazado.

Unidades atravesadas en el tramo

Desde el pk 4+470 al 4+654,45 atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo y una pequeña capa por la parte inferior de la formación de La Argañosa, hasta en

pk 4+654,45 donde nos encontraremos con una falla inversa que nos hará cambiar los materiales a tener solamente la presencia de la Formación La Argañosa.

Desde el pk 4+654,45 al 5+220, atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, donde nos encontraremos con una falla directa que no cambiara en material a travesar por el túnel y teniendo en el techo contacto con las calizas de la formación Oviedo, cabe destacar la presencia de otra falla directa en el pk 4+900 que apenas tiene variación en la estratificación de los materiales.

Desde el pk 5+220 al 5+237,67, se discurrirá entre materiales cretácicos de la Formación La Argañosa.

Descripción de las unidades atravesadas en el tramo

- *Unidades del Cretácico.*

Esta Unidad se van atravesar dos formaciones, Oviedo y La Argañosa, las cuales tienen unas características muy dispares.

La Formación Oviedo en el punto donde se va a travesar está constituida por calizas y calizas arenosas de coloración blanquecino-amarillento, niveles brechoides con abundante dolomitización y areniscas calcáreas amarillentas. Los espesores que irán de 0 a 8 m.

La Formación La Argañosa constara en este tramo de arenas de grano fino pardo-amarillentas, con arenas de grano medio subredondeadas e intercalaciones de arcillosas de varios colores, además de arenas muy gruesas y limos amarillentos. Los espesores van desde 2 a 11,55 m.

- *Parte superior y relleno.*

La parte superior del túnel, por encima de la clave, está compuesto por materiales pertenecientes al cretácico de las formaciones La Argañosa, continuación de la capa que atraviesa el túnel y tramos de pequeño espesor de la formación Oviedo, compuesto por calizas y calizas arenosas y en la parte más exterior, se encuentran materiales del Terciario,

con alternancia de calizas margosas blanquecinas y calizas con algún conglomerado calcáreo.

- *Tramo desde el Pozo Plaza Castilla pk 5+237,67 al Pozo Plaza de Toros 6+200.*

Desde el Pozo del Paseo Plaza Castilla pk 5+237,67, hasta el Pozo Plaza de Toros pk 6+200 atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, formada por arenas, arcillas y gravas, cabe destacar en este tramo la presencia de una falla en el trazado.

Unidades atravesadas en el tramo

Desde el comienzo del tramo en el pk 5+237,67 hasta el pk 6+206, los materiales atravesados corresponden a los materiales del cretácico y más concretamente a la formación La Argañosa en todo el trayecto. Cabe destacar la presencia de una falla directa en el pk 5+840, que no reviste mayor importancia debido a la poca alteración que esta produce.

Descripción de las unidades atravesadas en el tramo

- *Unidades del Cretácico.*

La Formación La Argañosa constara en este tramo con arenas muy gruesas a microconglomeráticas, subangulosas mal clasificadas, arenas de grano medio amarillo-blanquecinas, arcillas amarillentas y arenas de grano fino pardo amarillentas, subredondeadas y limos. Los espesores de la capa que atraviesa el Túnel son de 11,55 m, es decir a sección completa.

- *Parte superior y relleno.*

La parte superior del túnel, por encima de la clave, está compuesto por materiales pertenecientes al cretácico de las formaciones La Argañosa, continuación de la capa que atraviesa el túnel y tramos de pequeño espesor de la formación Oviedo, compuesto por calizas y calizas arenosas y en la parte más exterior, se encuentran materiales del Terciario,

con alternancia de calizas margosas blanquecinas y calizas con algún conglomerado calcáreo.

- *Tramo desde el Pozo Plaza de Toros pk 6+200 al Pozo de desmontaje de la TBM pk 7+063,31.*

Desde el Pozo del Paseo Plaza de Toros pk 6+200, hasta el Pozo de desmontaje de la Tuneladora pk 7+063,31 atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, formada por arenas, arcillas y gravas.

Unidades atravesadas en el tramo

Desde el comienzo del tramo en el pk 6+200 hasta la finalización del túnel en el pk 7+063,31, los materiales atravesados corresponden a los materiales del cretácico y más concretamente a la formación La Argañosa en todo el trayecto.

Descripción de las unidades atravesadas en el tramo

- Unidades del Cretácico.

La Formación La Argañosa constara en este tramo con arenas muy gruesas a microconglomeraticas, subangulosas mal clasificadas, arenas de grano medio amarillo-blanquecinas, arcillas amarillentas y arenas de grano fino pardo amarillentas, subredondeadas y limos. Los espesores de la capa que atraviesa el Túnel son de 11,55 m, es decir a sección completa.

- Parte superior y relleno

La parte superior del túnel, por encima de la clave, está compuesto por materiales pertenecientes al cretácico de las formaciones La Argañosa, continuación de la capa que atraviesa el túnel y tramos de pequeño espesor de la formación Oviedo, compuesto por calizas y calizas arenosas y en la parte más exterior, se encuentran materiales del Terciario, con alternancia de calizas margosas blanquecinas y calizas con algún conglomerado calcáreo.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Las características geotécnicas las veremos en general para cada formación.

- *Sedimentos Terciarios*

Los materiales del Terciario ocupan una gran extensión superficial. El hecho de sedimentar sobre un fuerte paleorelieve labrado en rocas cretácicas.

A efectos de la caracterización geotécnica se diferenciarán tres tramos: superior arcilloso-margo arenoso, medio margo-arcilloso e inferior calcáreo. De estos tres tramos el trazado del túnel solo se verá afectado por el inferior, aunque en ocasiones se tengan intercalaciones del tramo medio.

Tramo superior arcilloso-arenoso

Está constituido por arcillas de baja plasticidad y arenas limosas, entre las que se intercalan esporádicamente niveles conglomeráticos y de calizas margosas hacia el techo. A efectos de cimentaciones la capacidad portante es muy baja, 1 a 2 kg/cm², en el caso de los niveles arcillosos, incrementándose en los arcillo-arenosos y, sobre todo en los calcáreos. La aparición de asentamientos es reducida pero puede ocurrir en horizontes superficiales embebidos de agua.

Tramo medio margo-arcilloso

Formado por niveles de margas, arcillas margosas y arcillas de tonos blanquecinos y verdosos. La composición mineralógica de las fracciones arcillosas es de tipo expansivo causando una alta plasticidad y la consiguiente aparición de asentamientos en las cimentaciones, tal y como se deduce de la observación de las curvas edométricas. Tiene una capacidad portante baja (< 2 kg/cm²).

Las excavaciones en estos materiales plantean ciertos problemas de estabilidad.

Tramo inferior calcáreo

En la mayor parte del núcleo urbano el Terciario comienza con un conglomerado calcáreo (1-4 m de espesor) constituido por cantos y bloque de calizas del Cretácico Superior, la serie está integrada por calizas y calizas margosas de tipo blanquecino o rosados, con intercalaciones margosas de tonos verdosos clarosos, finaliza con un conjunto de tramos de margas y calizas arcillosas blanquecinas y verdosas. Son materiales de capacidad portante elevada (6 a 10 kg/cm²).

- *Sedimentos Cretácicos*

Por su presencia en el subsuelo ovetense cabe destacar dos importantes formaciones que son las que afectan al trazado del túnel, que son las formaciones Oviedo y La Argañosa.

Formación Oviedo

Calizas y calizas arenosas amarillentas. Son materiales de gran calidad y alta capacidad portante (>10 kg/cm², puede llegar hasta los 30 kg/cm² en algunos puntos de la ciudad).

La problemática, a efectos de estabilizaciones del terreno es de carácter puntual y vinculada a zonas carstificadas. Cuando progresa la carstificación se pueden llegar a desarrollar, en excavaciones importantes, conducciones subterráneas de cierta entidad, inductoras de fracasos zonales por hundimientos y de acumulaciones de agua. La circulación acuosa en estas rocas es dual, combinando mecanismos de carstificaciones con fisurales.

Constituye un hecho geotécnico muy importante que estos niveles carbonatados, especialmente las areniscas calcáreas, presenten de modo puntual, producto de procesos de meteorización superficial, zona arenizada a modo de bolsadas irregulares; alteraciones que han de tenerse muy en cuenta dados los procesos de compresibilidad que originan en puntos de carga con respecto a los apoyos circundantes.

Formación La Argañosa

Compuesta por unos 40 m de arenas con intercalaciones de micro conglomerados silíceos, arcillas y limos, destaca por la acumulación de importantes caudales de aguas subterráneas de local carácter artesiano.

La capacidad portante es muy reducida ($0,5$ a 2 kg/cm^2) en el caso de horizontes arcillosos y limosos, susceptibles, los primeros, de originar asentamientos. Las arenas, arcillo-limosas poseen una baja capacidad portante evaluable entre 1 y 3 kg/cm^2 . Las pruebas de permeabilidad ponen de manifiesto un coeficiente de los niveles arenosos valores medios (aprox. 5 cm/s) condicionados por la fracción arcillo-limosa acompañante. Los limos muestran una baja permeabilidad y una casi plena impermeabilidad las arcillas.

Es un material con muchas inestabilidades, con posible afluencia de agua en el interior y fenómenos de subpresión.

ANEJO Nº6

TUNEL

INDICE

- 1. INTRODUCCION**
- 2. TRAZADO Y TRAMIFICACION**
 - 2.1. TRAZADO
 - 2.2. TRAMIFICACION
- 3. TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LA TUNELADORA**
 - 3.1. TIPOS DE TUNELADORA Y SELECCIÓN MAS ADECUADA
 - 3.2. CARACTERISTICAS TECNICAS
 - 3.3. RANGOS DE FUNCIONAMIENTO
- 4. ESTUDIO DE PRESIONES DE TRABAJO**
 - 4.1. INTRODUCCION Y OBJETO
 - 4.2. CONCEPTOS BASICOS
 - 4.3. VALORES USUALES
 - 4.4. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DE TRABAJO
 - 4.5. TRAMIFICACIÓN Y PRESIONES DE TRABAJO
- 5. EVALUACION DE LOS AVANCES DE LA TUNELADORA**
 - 5.1. EXPERIENCIAS RECIENTES SIGNIFICATIVAS
 - 5.2. ESTIMACION DE LOS AVANCES
- 6. HOJAS DE EXCAVACION**
- 7. OPERACIONES DE LA TUNELADORA**
 - 7.1. RECOMEDACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN
 - 7.1.1. CONTROL DE PRESIONES EN LA CAMARA DE TIERRAS
 - 7.1.2. PESOS DE EXCAVACION
 - 7.1.3. PENETRACION Y VELOCIDAD DE AVANCE
 - 7.1.4. EMPUJE Y PAR
 - 7.1.5. INYECCION DE MORTERO
 - 7.1.6. INYECCION DE MORTERO INERTE
 - 7.1.7. INYECCIONES SECUNDARIAS
 - 7.1.8. TRATAMIENTO DEL TERRENO: FIR Y FER
 - 7.1.9. CONDICIONES DEL FRENTE DE EXCAVACION Y DE LOS PARAMETROS DE OPERACIÓN DE LA TUNELADORA
 - 7.1.10. ADECUACION DE PARAMETROS SEGÚN REGISTRO DE ASIENTOS
 - 7.2. CONSUMIBLES
 - 7.2.1. ADITIVOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

- 7.2.2. MORTERO DE RELLENO DEL TRASDOS Y SUS ADITIVOS
- 7.2.3. BENTONITA Y SUS ADITIVOS
- 7.2.4. GRASAS Y ACEITES
- 7.3. REVISION DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE
 - 7.3.1. SEGUIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS
 - 7.3.2. REVISION Y CAMBIO DE HERRAMIENTAS EN POZO
 - 7.3.3. REVISION Y CAMBIO DE HERRAMIENTAS EN AMBIENTE HIPERBARICO
- 8. PUNTOS DE REVISION DE HERRAMIENTAS**
 - 8.1. POZOS
 - 8.2. PUNTOS REFERENCIALES PARA INTERVENCIONES HIPERBARICAS
- 9. TRATAMIENTOS DEL TERRENO**
- 10. SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO DEL TUNEL**
 - 10.1. CRITERIOS DE DISEÑO DEL REVESTIMIENTO PREFABRICADO
 - 10.1.1. TIPOS DE ANILLOS
 - 10.1.2. PARAMETROS GEOMETRICOS DEL ANILLO
 - 10.1.3. UNIONES ENTRE ANILLOS Y DOVELAS DE UN MISMO ANILLO
 - 10.1.4. IMPERMEABILIZACION
 - 10.2. ANILLO PROPUESTO
 - 10.2.1. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL ANILLO
 - 10.2.2. UNION DE DOVELAS
 - 10.2.3. IMPERMEABILIZACION
 - 10.2.4. DATOS GEOMETRICOS DE LOS ANILLOS UTILIZADOS EN OTROS TUNELES
 - 10.2.5. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES
 - 10.2.6. DIMENSIONAMIENTO DE LA DOVELA

1. INTRODUCCION

El objeto de este anexo es incluir un documento básico con las pautas a seguir para la construcción del túnel de metro con tuneladora del tramo que va desde los barrios de Nora y Folgueras (perteneciente a Colloto próximos al Polígono Industrial del Espíritu Santo, termino Municipal de Oviedo) a la Argañosa (confluencia de las Calles Argañosa y Alejandro Casona) de la futura Línea de metro de la Ciudad de Oviedo.

Se trata de exponer lo siguiente:

- a) Señalar las zonas singulares del trazado, así como sus características.
- b) Definir el tipo de tuneladora a emplear y sus características técnicas.
- c) Evaluar los rendimientos de la tuneladora.
- d) Analizar los elementos a utilizar en dichas zonas.
- e) Actuaciones a seguir si surgen posibles problemas.
- f) El sostenimiento empleado en la ejecución del Túnel.

Destacaremos también en este apartado un plan de trabajo de tuneladora, basado en el estudio presiones de confinamiento, el perfil geológico-geotécnico y los principales parámetros de trabajo de la tuneladora, se definirán además:

- Los consumibles a utilizar destacando los susceptibles de verse afectados por las características del terreno y de presiones importantes de agua,
- Los puntos previstos de parada, para la revisión de la cabeza de corte, ya sea en abierto en los pozos construidos a tal efecto, o en condiciones hiperbáricas a lo largo de la traza del túnel.
- Los tratamientos del terreno, resumiendo los tratamientos realizados a fin de mejorar la ejecución del túnel y si es necesario, a medida que se avance en la ejecución se propondrán otros complementarios.
- El plan de Auscultación donde se definirán planificación, frecuencia y metodología de las lecturas, resolución de alarmas, planos de instrumentación, rangos de control, etc.
- El procedimiento topográfico para la ejecución del túnel.

2. TRAZADO Y TRAMIFICACION

2.1. TRAZADO

Como ya hemos visto en el anexo de criterios de diseño y dimensionamiento, el trazado del túnel discurre de manera que afecte lo menos posible a los edificios y quede un trazado que abarque puntos importantes de la ciudad donde se realizaran las estaciones, de esta manera se busca cubrir la mayor área posible de la ciudad, como se observa en los planos del trazado del túnel del apartado 12.4. del anejo nº12.

También debemos mencionar que la línea no es solo el túnel que se menciona en este proyecto sino que se completara con la conexión con la líneas de cercanías de F.E.V.E. que va desde las estaciones de Parque Principado hasta Oviedo y de Oviedo hasta la Argañosa (ya en funcionamiento), juntándose todo en una línea dando servicio a la otra parte de la ciudad.

El trazado del túnel comienza en el pozo de arranque de la Tuneladora pk 0+000, donde se prepara el pozo de ataque de la maquina y se montaran las instalaciones que darán servicio a esta durante de construcción del túnel y que veremos en el anexo nº7.

El pk de comienzo del túnel será el 0+032, donde la tuneladora comenzara a horadar el subsuelo de la Ciudad de Oviedo. Comenzara en un tramo curvo ($R=405$ m) de 415,49 m de longitud y atravesara perpendicularmente el Rio Nora y la línea de cercanías de F.E.V.E que viene de Colloto, para comenzar a adentrarse en el Polígono Industrial del Espíritu Santo.

En el Pk 0+415,49 ya dentro del Polígono industrial del Espíritu Santo cogerá un tramo recto de 707,6 m de longitud que transcurrirá bajo las antiguas vías de F.E.V.E. de entrada a Oviedo, donde en el pk 0+851,54 se ubicara el primer pozo de mantenimiento de la TBM y futura estación (Pozo Polígono del Espíritu Santo), para posteriormente situarse en la entrada de la Autopista de Oviedo-Gijón-Avilés, donde la recorrerá esta hasta su entrada al casco urbano.

A continuación, y bajo la entrada de la autopista, la tuneladora recorrerá un tramo curvo ($R=1704$ m) y de longitud 1015,17 m (pk 1+430,66). Posteriormente se unirá a otro tramo curvo ($R= 388$ m) de longitud 376,26 m para en el pk 2+416,66 entrar en otro de los pozo de

mantenimiento de la Tuneladora (Pozo de Los Prados) y que servirá para albergar una estación próxima al nuevo Hospital Universitario Central de Asturias (H.U.C.A.).

Una vez salido del pozo comenzara otro tramo curvo, en el pk 2+514,52, (R=1149 m), y de longitud de 817,48 m, donde se ubicara otro pozo en el pk 3+107,62 (pozo del Palacio de los deportes), que continuara su recorrido por debajo de la Autopista, para enlazar con otra curva (R=807 m) y de longitud 338,61 m donde en el pk 3+592,41 se ubicara otro pozo de mantenimiento (Pozo Campus Milán) y futura estación próxima al campus Universitario del Milán, al acabar la curva el túnel se encontrara ya la entrada del casco urbano, en la glorieta de la Calle General Elorza, donde continuara con un tramo recto que tiene una longitud de 312,62 m y comenzara a entrar en la Calle Víctor Chavarri, camino del centro de la ciudad.

A continuación y por debajo de la misma calle avanzara en tramos curvos de varios radios, donde se ubicara un nuevo pozo pk 4+005 (Pozo Gascona), (R=516 m, R=387 m, R=392 m y R=429 m) hasta el Paseo de los Álamos, donde se encontrara otro de los pozos de mantenimiento pk 4+470 (Pozo Paseo de los Álamos) y que albergara una estación en el centro de la Ciudad. Estos tramos tendrán una longitud respectivamente de 97,71 m, 155,92 m, 146,88 m y 261,84 m y llegaran hasta el pk 4+521,26, donde comenzara otro tramo curvo (R=371 m) que conectara el parque San Francisco, con la Calle Marqués de Santa Cruz y el cruce con la Calle de Santa Susana pk 4+770,79.

A la altura del cruce de la Calle Santa Susana con Marques de Santa Cruz y Calvo Sotelo, comenzara un tramo recto de longitud 332,89 m que discurrirá por la Calle Calvo Sotelo, donde tendremos el pozo de La Plaza la Gesta (pk 5+025,52), y proseguirá en dirección a la Plaza Castilla, hasta el pk 5+103,31.

En el pk 5+103,31 comenzara un tramo curvo (R=375 m) de longitud 215,54 m donde ira ubicado otro de los pozos de mantenimiento (Pozo Plaza Castilla) pk 5+237,67 y que servirá para que haya una estación para el Campus Universitario de Llamaquique y de conexión con la línea de cercanías de Oviedo de R.E.N.F.E. que viene de Puente de la Fierros.

A partir de ahí comenzara una serie de tramos rectos y curvos hacia el Hospital Central de Asturias y que atravesara el barrio del Cristo de las Cadenas, donde se ubicara el pozo de mantenimiento del Cristo (pk 5+572,43). Los tramos serán uno curvo (R=625 m) de longitud 129,26 m, para posteriormente pasar a un tramo recto de 131,63 m de longitud, luego otro

curvo ($R=350$ m) de longitud 154,01 m y otra recta, de longitud 312,54 m, hasta llevar al Hospital Central, en el pk 6+045,78.

A partir del tramo anterior comenzara un tramo curvo ($R=368,11$ m) de longitud 175,49 m, que acogerá otro de los pozos de manteniendo pk 6+200 (Pozo Plaza de Toros) y que será una futura estación para dar servicio al Campus Universitario del Cristo, que está próximo a dicha estación.

A partir del pk 6+221,19 que sale del tramo anterior, saldrá de la zona de la Plaza de Toros para comenzar a discurrir por la calle Alejandro Casona en un tramo curvo ($R=393$ m) de longitud 443,95 m, para comenzar con otro tramo recto de longitud 449,37 m y que albergara el pozo de mantenimiento (Pozo Marcos Peña Arroyo), para continuar ese tramo, hasta el pozo de extracción de la Tuneladora en el pk 7+063,31. Donde conectara con la estación de La Argañosa de la Línea de F.E.V.E. de cercanías.

2.2. TRAMIFICACION

En base al estudio geológico-geotécnico analizado y del trazado por el que discurre el túnel se ha realizado un estudio para definir las diferentes presiones de trabajo y se elabora una tramificación del túnel en función del terreno a excavar y las presiones obtenidas.

En esta tramificación se intenta separar los diferentes tramos en función de la geología o de las singularidades que se desprendan de ella. Para cada lote, se definen en primer lugar los parámetros conocidos, como son el recubrimiento del túnel, la altura de columna de agua o la geología mayoritaria en ese tramo.

A continuación, en base a la presión recomendada en el eje del túnel definida por el estudio de presiones y en base al peso específico del material, se estiman los parámetros de control que se definirán en la hoja de excavación y se fijan los niveles de alerta y alarma de estos parámetros para cada lote.

Hay que tener en cuenta también que existe una tendencia a trabajar con una presión lo más baja posible con objeto de minimizar la fricción y el desgaste de las herramientas, así como de aumentar la velocidad de excavación. Por este motivo, se tiende a dar valores próximos a los mínimos y se revisaran los casos singulares de manera individualizada. Cabe pues, la posibilidad de considerar presiones de confinamiento mayores en puntos conflictivos del trazado.

3. TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LA TUNELADORA

3.1. TIPOS DE TUNELADORA Y SELECCIÓN MAS ADECUADA

En los apartados siguientes se resume el estado actual de la tecnología de las tuneladoras, los criterios admitidos para su utilización y se justifica el tipo de tuneladora más adecuada para la construcción del túnel que atravesara la Ciudad de Oviedo.

TECNOLOGÍA DE LAS TUNELADORAS

- *Tipos básicos de tuneladoras*

Las máquinas integrales de excavación de túneles se conocen habitualmente por las siglas T.B.M., formadas por las iniciales de Tunnel Boring Machine y se refieren a una serie de máquinas capaces de excavar a sección completa, a la vez que colaboran en la colocación de un sostenimiento provisional o en la puesta en obra del revestimiento definitivo.

Las tuneladoras se pueden dividir en dos grandes grupos, las MAQUINAS DE ROCA DURA y los ESCUDOS, o máquinas para rocas blandas y suelos.

En los últimos años ha aparecido en el mercado un tercer grupo, el de las MAQUINAS MIXTAS.

Tuneladoras de roca dura

Las tuneladoras de roca dura son máquinas relativamente simples, pero muy robustas, son, en general, máquinas desnudas (o no protegidas totalmente), que están formadas por una cabeza giratoria, en la que se montan los elementos de corte, y que se acciona, generalmente, mediante motores eléctricos. El trabajo de estas máquinas se hace combinando el par de giro de la cabeza de corte y el esfuerzo longitudinal, creado por un grupo de gatos hidráulicos que completan el dispositivo básico. El avance de la tuneladora se hace por carreras de 1,5 m a 2,0 m.

Para poder aplicar a la roca del frente el empuje longitudinal, la parte estática de la máquina se fija por medio de unos codales (denominados grippers) contra las paredes rocosas del

túnel, que absorben el empuje que transmite la cabeza de corte. Las zapatas se apoyan lateralmente sobre el terreno y tienen las dimensiones adecuadas para no romper la roca.

La cabeza o rueda de corte es la parte delantera de la máquina. Lleva las herramientas de corte de la roca, los cortadores y los cangilones o cazos que elevan el escombros para alimentar la cinta primaria de la máquina. Posteriormente el escombros pasa a una cinta transportadora que lo vierte sobre vagones, o bien la propia cinta lo transporta al exterior.

La excavación del terreno se realiza empujando contra él unos discos de metal duro que producen la rotura del terreno por compresión, de tal forma que los fragmentos resultantes tienen la forma de lajas de algunos centímetros de longitud. Los discos de corte habitualmente utilizados son los de 17" o 18" que son capaces de transmitir fuerzas de hasta 35 t, si bien se han construido ya modelos de 21" para rocas extraduras.

En los túneles construidos con este tipo de tuneladora se dispone un sostenimiento provisional formado por hormigón proyectado, cerchas y bulones. Y un revestimiento posterior de hormigón encofrado. Si el terreno lo permite estos túneles se pueden dejar sin revestir.

Los diámetros de excavación de estas máquinas están comprendidos entre 6 y 12 m.

La dureza muy elevada de la roca, sobre todo con una alta abrasividad añadida sigue siendo un límite para los topes. En la actualidad estos límites pueden situarse en cifras de resistencias a compresión de 200 – 250 MPa y en contenidos en cuarzo entorno al 60%.

Por otra parte, el hecho de que estas máquinas se apoyen contra el terreno impone un límite de resistencia del terreno para que la máquina pueda avanzar. Este límite depende del empuje que se debe transmitir y de la superficie de los codales, pudiéndose indicar que para RMR superiores a 45 no debe ofrecer problemas.

Escudos de presión de tierras

Los escudos de Presión de Tierras, también denominados tuneladora E.P.B. (Earth Pressure Balanced), se han inventado para resolver el problema que plantea la inestabilidad del frente de excavación cuando el terreno es inestable.

Esto se suele dar en terrenos tipo suelo, sobre todo si están situados por debajo del nivel freático o cuando el terreno está constituido por una roca blanda y, la profundidad a la que se debe excavar el túnel es apreciable.

Los Escudos de Presión de Tierras estabilizan el frente con un material a presión, que es el propio escombros, una vez convertido, con productos de adición, en una mezcla de consistencia visco-plástica.

En función de la granulometría y de su grado de humedad, el terreno excavado será más o menos fácil de amasar, por ello, cuando existen dificultades para el amasado hay que acondicionar el escombros añadiéndoles agentes espumantes, polímeros o suspensiones de arcillas.

En terrenos arcillosos el consumo de aditivos es reducido, ya que la arcilla favorece la obtención de la mezcla plástica con la adición de agua.

Por el contrario, en terrenos no cohesivos de baja plasticidad (sobre todo los formados predominantemente por arenas y gravas) es imprescindible el uso de aditivos en cantidades de cierta entidad.

Para que la mezcla se pueda extraer sin perder la presión interior se utilizan los tornillos sinfín, que en los escudos de mayor diámetro llega a tener 1,5 m de diámetro.

Todos los elementos mecánicos de la máquina se emplazan dentro de una estructura protectora laminar de acero, esto es, dentro de un escudo.

Por otra parte, al avanzar la máquina hay que sustituir la coraza protectora por otro elemento que sostenga el terreno. Surgen de este modo los revestimientos de dovelas metálicas o prefabricadas de hormigón, que se colocan en el escudo previamente a su desplazamiento para el avance.

El empuje necesario, para el avance del escudo, no puede crearse como en los topes, con reacciones contra las paredes del túnel, al ser el terreno inestable, sino que debe hacerse empujando, a los anillos de dovelas ya montados, mediante una serie de gatos perimetrales.

Dado que el anillo de dovelas se monta dentro del escudo, es necesario que el diámetro exterior del anillo sea menor que el diámetro interior de la coraza. Así cuando avanza el escudo queda una holgura entre el diámetro de excavación y el diámetro exterior del anillo. Este hueco se rellena con un mortero de cemento que se inyecta con presiones de hasta 10 kg/cm².

Para que el mortero no invada la parte interior del escudo se han ideado unas juntas de grasa que consisten en unos anillos perimetrales de impermeabilización, formados de, al menos, dos líneas de grasa consistente, que se mantiene a presión gracias a unas contenciones anulares de cepillos metálicos que se aprietan contra el anillo, según va saliendo éste de la cola.

Además de la presión de tierras en el frente y de la inyección de mortero a presión, en el trasdós de las dovelas, es posible inyectar un lodo arcilloso en la holgura de excavación que existe entre la chapa del escudo y el terreno. Esta inyección de arcilla puede servir tanto para minimizar las fuerzas de rozamiento que se oponen al avance del escudo, como para mantener el terreno confinado y disminuir al mismo tiempo la subsidencia de la superficie exterior.

Cuando un Escudo de Presión de Tierras deba pararse no debe anularse la presión de tierras en el frente, ya que de lo contrario el frente sería inestable y colapsaría.

Cuando es necesario revisar los escudos se utiliza aire comprimido para mantener la presión en el frente. El escudo dispone de unas esclusas para permitir el paso de personas, así como de un mecanismo para poder cerrar la entrada de tierra al tornillo sinfín.

Los escudos de presión de tierras disponen de un “erector de dovelas”, que es un mecanismo auxiliar para poder colocar las dovelas en su posición en el anillo.

En los sistemas de agarre mecánico es preciso un útil de acero en forma de bulón de rosca ancha con cabeza esférica que se enrosca en un inserto embebido en las dovelas y posteriormente una grúa móvil engancha el bulón y coloca la dovela en su posición en el anillo. Actualmente la mayor parte de los erectores manipulan las dovelas sujetándolas mediante un sistema de succión, al igual que los sistemas de elevación necesarios para descargar las dovelas que llegan al escudo para ser colocadas.

Los Escudos de Presión de Tierras son máquinas mucho más complejas que las Tuneladoras de Roca Dura, ya que realizan funciones más complicadas y variadas que las necesarias para construir un túnel en roca dura.

Los Escudos de Presión de Tierra disponen de unas instalaciones auxiliares situadas detrás del escudo denominadas “back up”, que son arrastrados por el propio escudo, la longitud de estas instalaciones ocupan una longitud comprendida entre 120 m y 180 m.

Todos los escudos de Presión de Tierras disponen de un puesto de mando desde el que se controla la trayectoria de la tuneladora al ir construyendo el túnel y, los parámetros que definen su modo de funcionamiento. Un parámetro importante es la evolución de la presión de las tierras en la cámara de excavación, que ejerce un efecto muy directo e importante sobre la subsidencia que se produce en la superficie tras el paso de la tuneladora.

Conseguir una presión de tierras en el frente no es nada fácil en tuneladoras de grandes diámetros que construyen túneles a poca profundidad. Así en un escudo de 11 m de diámetro en ausencia de agua, existe un gradiente litoestático de presiones entre la clave y la solera del túnel de $2,3 \text{ Kg/cm}^2$ y, esta cifra es del mismo orden de magnitud que las presiones de tierras con las que habitualmente se trabaja.

Respecto del proceso constructivo de un Escudo de Presión de Tierras este se compone sucesivamente de las fases siguientes:

- Excavación: Dado que el material a excavar es de baja resistencia esta se realiza mediante cinceles o rippers y picas dispuestos en la cabeza de corte, aunque en terrenos de mayor dureza se podría acoplar discos de corte para favorecer la excavación.
- Carga y transporte del escombro: La extracción y carga del material desde al cabeza de corte se realiza mediante el tornillo sinfín estanco que vierte sobre las cintas del back up que alimentan el sistema de transporte. El transporte del escombro al exterior se puede realizar bien por cinta o por vagones arrastrados por locomotoras.
- Sostenimiento y Revestimiento: las funciones de sostenimiento están aseguradas por la presión de tierras en el frente y por la propia estructura del escudo que impide al terreno invadir el volumen excavado. El revestimiento se realiza siempre con anillos

de dovelas de hormigón armados, colocados bajo la protección del escudo e inyectados con mortero en su trasdós.

Los escudos de presión de tierras se han ideado para excavar suelos arcilloso - limosos y limo – arenosos o rocas blandas en condiciones que hacen inestables el frente de excavación, aunque hoy estas tuneladoras vienen preparadas para horadar terrenos de más dureza.

Hidro-escudos

Cuando un túnel tiene que excavar un terreno constituido por arenas sueltas o gravas arenosas resulta muy difícil conseguir, por amasado, que el terreno adquiera el aspecto de una masa de consistencia plástica que reparta uniformemente la presión que puede proporcionar un Escudo de Presión de Tierras.

En estas condiciones, resulta especialmente indicado el uso de los Hidro-Escudos, que son tuneladoras similares a los Escudos de Presión de Tierras.

La idea básica de los hidro-escudos consiste en operar con bombeo de lodos arcillosos en un circuito cerrado que incluye el espacio entre el frente y cabeza. Por una parte el terreno arrancado por la rueda de corte se mezcla con los lodos, formado un fluido espeso pero bombeable. La bomba principal lo aspira y envía al exterior por la tubería de salida. Al tiempo, y por la tubería de entrada, se aporta al frente un caudal equivalente de lodos recuperables por separación del escombros de la mezcla, con lo que se mantiene la presión de la mezcla.

El transporte del material se hace hidráulicamente, de ahí le viene el nombre a este tipo de máquinas.

La mayor ventaja que tienen los Hidro - Escudos se encuentra en el excelente control de la presión de tierras en la cámara de excavación. Por otra parte, los Hidro – Escudos son máquinas más simples y menos costosas que los Escudos de Presión de Tierras. Esto es debido a que la energía que necesitan los Hidro – Escudos para remover los terrenos, mezclados con lodo en la cámara de excavación es mucho menor que la que hace falta en los Escudos de Presión de Tierras para amasar el terreno.

Los hidro - escudos presentan algunas desventajas muy importantes, derivadas del transporte hidráulico del terreno excavado.

En primer lugar, el escombros debe separarse de los lodos por dos razones: en primer lugar, el coste de la bentonita, material que hay que recuperar y, además, sobre todo el impacto ambiental que produce el vertido de los lodos residuales en las escombreras. De aquí viene la primera limitación de los hidros, que es la dificultad de su empleo en terrenos arcillosos.

Para poder separar las partículas de terreno del lodo que las transporta es necesario montar una planta de clasificación, equipada como mínimo con cribas, ciclones y tanques para el reacondicionamiento de los lodos.

Si el terreno natural contiene partículas con diámetros próximos al de las arcillas, la planta de clasificación debe estar equipada con centrifugadora para separar las partículas más finas. En estos casos, el coste de una planta de separación puede llegar a 6 millones de euros, y exige una superficie del orden de 10.000 m² para su instalación y limita notablemente la movilidad de la tuneladora para transportarla de un tramo a otro; aunque sea la misma obra.

El almacenamiento en vertedero de las fracciones más finas es problemático muchas veces y la mejor solución, cuando el mar está próximo, es arrojar lejos de la costa estas fracciones.

Por lo que se refiere a la tecnología de control de la presión del lodo en el frente existen dos tecnologías diferentes; una que mayoritariamente usan las maquinas japonesas y la otra que se ha desarrollado en Europa.

En las maquinas japonesas se controla la presión en el frente de excavación variando el caudal del lodo que retorna a la cámara de excavación. Esto permite que la cabeza del Hidro Escudo sea realmente simple, aunque exige que el sistema de bombeo de lodos tenga una inercia pequeña que permita una rápida respuesta para amortiguar las variaciones de presión. Esta exigencia limita tanto la longitud de la tubería como la concentración de partículas finas en el lodo que recircula.

En Europa, usando casi siempre lodos bentoníticos, se ha desarrollado una tecnología diferente para controlar la presión de lodos en el frente que se basa en la utilización de una

burbuja de aire comprimido que se crea entre dos mamparas situadas en la cámara de excavación. La existencia de dos mamparas complica la construcción de la maquina; pero facilita, notablemente, las operaciones de mantenimiento en el frente, y permite un control prácticamente perfecto de la presión de los lodos en la cámara de excavación.

En los hidro-escudos, cuando hay que acceder a la cámara de excavación es preciso recurrir al servicio de buzos para poder trabajar en la cámara ya que ésta no se vacía completamente.

Otra diferencia tecnológica importante entre los Escudos de Presión de Tierras y los Hidroescudos es el diámetro de los fragmentos gruesos del terreno que se pueden hacer pasar a través de la tuneladora.

En los escudos de presión de tierras el tamaño máximo del bloque está condicionado por la hélice del tornillo de extracción. En los escudos de gran diámetro pueden pasar, a través del tornillo, bloques de unos 30 cm de diámetro. Los bloques de mayor tamaño deben ser fragmentados por la cabeza de corte de la máquina o rotos manualmente, accediendo a la cámara con la ayuda de aire comprimido.

En los hidro-escudos, el tamaño de los bloques que se pueden transportar está limitado por el sistema de transporte hidráulico y, normalmente, como máximo es de unos 120 mm. Por ello, este tipo de máquinas suele incorporar en la mampara intermedia de la cabeza de la tuneladora una machacadora hidráulica.

Como la abertura de entrada a las machacadoras, colocadas en los Hidro – escudos de gran diámetro, es del orden de 1 m; estas máquinas tienen una mayor facilidad de trabajo ante la presencia de bolos en el terreno, que los escudos de Presión de Tierras.

Como ejemplo de este tipo de maquinas se puede citar el 4º túnel carretero excavado bajo el estuario del Elba, en Hamburgo donde se utilizó un hidro-escudo de 14,20 m de diámetro de HERRENKNECHT.

Doble escudo

Este tipo de máquina es una máquina mixta entre los topes de roca dura y los escudos.

Básicamente consiste en añadir un escudo de protección integral que permite colocar anillos de sostenimiento análogos a los de los escudos.

La máquina se diseña alojando todos sus elementos dentro de la coraza o escudo telescópico de dos cuerpos. Por una parte dispone de “grippers” y cortadores de disco, para su empleo en los tramos de roca competente, y por otra, permite el sostenimiento del terreno por colocación de anillos cuando es necesario. Pero a su vez el sistema telescópico les permite simultanear las fases de excavación y sostenimiento, siempre que el terreno permita avanzar con los “grippers”, por lo cual con frecuencia se ha tomado la decisión de hacer todo el revestimiento del túnel con anillos prefabricados, lo que permite rendimientos globales excepcionales.

Tuneladoras mixtas para suelos y rocas blandas

- Escudos abiertos

Los escudos abiertos son semejantes a los Escudos de Presión de Tierras, pero adaptados a trabajar en condiciones de frente de excavación estable; lo cual implica que no es necesario mantener la cámara de excavación con presión de tierras.

En estas condiciones la extracción del terreno excavado mediante el tornillo, que tienen los Escudos de Presión de Tierras, no es necesario, y se puede sustituir por una cinta transportadora primaria que hace la extracción, con menores costes de explotación.

Cuando se prevé que todo el túnel pueda construirse trabajando con el frente abierto, se puede modificar la cabeza de corte respecto de la habitual en un Escudo de Presión de Tierras.

Por último señalar, que en los terrenos de Madrid que pueden trabajar en condiciones normales sin presión, se ha utilizado un Escudo fabricado por Lovat, que puede trabajar indistintamente en abierto y en cerrado, que ha dado excelentes resultados trabajando en abierto (túneles gemelos del Pasillo Verde Ferroviario y posteriormente en la Ampliación del Metro).

- Escudos mixtos

En los escudos se produce también la tendencia general de lograr máquinas mixtas. La orientación general está dividida en dos grandes grupos: los escudos de Presión de Tierras y los Hidroescudos y es a partir de éstos como se van perfilando las diversas soluciones.

Es justo señalar los esfuerzos muy importantes desarrollados, tanto en laboratorio como en pruebas de prototipos, primero en Alemania y después en las factorías de los fabricantes japoneses, tendentes a lograr el Escudo Polivalente que ya ha dado sus frutos.

Son maquinas concebidas estructural y mecánicamente para su adaptación a los casos extremos, pudiendo trabajar como Hidro-escudo en un Proyecto y siendo rápida su preparación como escudo EPB en otro y viceversa. Así es el proyecto del escudo HERRENKNECHT de 14,40 m de diámetro que acaba de trabajar en la obra del nuevo túnel bajo el Elba en Hamburgo.

SELECCIÓN DE LA TUNELADORA

En este apartado se presentan los criterios utilizados para seleccionar el tipo de tuneladora que excavará el túnel de la Ciudad de Oviedo, acotándose los principales parámetros que definen la maquina seleccionada.

- *Condicionantes de la sección a excavar*

El diámetro interno útil es de 10,40 m y el revestimiento está formado por dovelas prefabricadas de 38 cm de espesor, que se justificarán más adelante.

Por otra parte, se han considerado las siguientes dimensiones para la tuneladora:

- Holgura de la conicidad del escudo de la tuneladora	2,5 cm
- Espesor de la chapa del escudo de la tuneladora	2 x 8,0 cm
- Espesor de la junta de grasa	2 x 9,0 cm
<hr/> Total	<hr/> 36 ,50 cm

A partir de los datos anteriores se puede deducir el diámetro de excavación de la tuneladora, que en tramos rectos será el siguiente:

Diámetro útil del Túnel	10,4 m
Espesor del anillo de Dovelas	$2 \times 0,38 = 0,76$ m
Holguras de la tuneladora y la junta de grasa	0,37 m

Tabla nº1: Datos del túnel

Se considera una sobre excavación de 1,5 cm, resultando un diámetro de excavación de 11,54 m.

En el caso de elegir un hidro-escudo, el diámetro de 11,54 m no plantea ningún problema, ya que se han construido túneles de diámetros mayores como el 4º túnel bajo el Elba donde se empleó un hidro-escudo de 14,20 m.

Tampoco presenta ningún problema la solución con Escudo de Presión de Tierras, ya que actualmente está trabajando en Barcelona un escudo de 12,06 m de diámetro de excavación (línea 9 del FMB) y ha trabajado en Madrid una EPB de más de 15 m de diámetro de excavación (M-30).

- *Condicionantes del terreno*

Uno de los requisitos fundamentales que debe reunir una tuneladora, para afrontar con éxito la construcción de un túnel, estriba en que las condiciones de trabajo de la misma se puedan adaptar en lo posible a las características del terreno.

En este caso la tuneladora atravesará materiales de carácter arenoso – arcilloso, con un alto porcentaje medio de finos (superior al 40 %), sumado a unas calizas, calizas margosas y arenosas con alternancia en ocasiones de arcillas, con un porcentaje en cuarzo del 10 – 15%.

El nivel freático ira variando en los distintos puntos del túnel apareciendo en alguno tramos casi en superficie y otros tramos más abajo, pero siempre encontrándose por encima del túnel.

De acuerdo con estos condicionantes las máquinas que podrían utilizarse son Los Escudos de Presión de Tierras o las mixtas para suelos y rocas blandas.

Para poder elegir el tipo de máquina más adecuada resulta conveniente apoyarse en los datos aportados por STEINER (1996) sobre las tuneladoras más adecuadas bajo el nivel freático en función de la granulometría.

En este túnel se atravesaran distintos materiales del Terciario y del Cretácico, que va desde calizas, calizas arenosas, areniscas calcáreas del Terciario y de la Formación Oviedo del Cretácico, además de las margas del Terciario y arcillas, limos y arenas de la Formación La Argañosa, que es la parte del túnel que mas hay que atravesar. El túnel atraviesa en un 50% aproximadamente la formación La Argañosa con un alto contenido en finos, con valores comprendidos entre el 30 %, en el caso de las arenas y 75 % en el caso de las arcillas y limos de la Formación Argañosa, que serán los que más influencia tengan para el amasado. Aunque las calizas tendrán que ser tratadas para obtener una densidad de material adecuada tanto para mantener la presión de la cámara como para la extracción del material.

Cabe destacar que a pesar que las calizas tienen una capacidad portante elevada, en la parte de clave podemos encontrar inestabilidades, que pueden producir hundimiento del terreno, además de tener esos tramos de las Formaciones Oviedo y el Terciario inferior, un nivel freático elevado, de ahí que se haya planteado atravesar esa zona con presión y no en abierto como se podría realizar con una tuneladora mixta.

Otro aspecto importante, a la hora de decidir el tipo de escudo es el tratamiento que debe aplicarse al terreno excavado para que la máquina trabaje bien con él.

Desde este punto de vista se pueden dar dos situaciones extremas:

- por un lado que el terreno tenga escaso contenido de finos, produciéndose un problema de amasado.
- por otro que el contenido de finos sea elevado, creándose problemas de pegajosidad, en el terreno excavado, que dificultan su extracción de la cámara de excavación.

Los problemas de la falta de finos se resuelven análogamente a la ejecución de los sondeos en gravas y arenas, creando una costra artificial, “cake”, que impermeabiliza el terreno excavado y dificulta la emigración de los lodos. Para resolver este problema se adiciona al terreno, en la cámara de excavación, arcillas y polímeros de cadena larga, que crean un tapiz cuyos huecos rellenan las partículas de bentonita.

El problema del exceso de finos, es decir, de la pegajosidad, se resuelve añadiendo al terreno polímeros de cadena corta; que tienen un efecto espumante, al disminuir la tensión superficial en las partículas finas del terreno.

Se considera que el terreno puede presentar problemas de pegajosidad si su Índice de Plasticidad es superior a 20.

En el cuadro adjunto se resume el intervalo de los valores extremos del Índice de Plasticidad obtenido para los distintos terrenos atravesados por el túnel.

MATERIALES	INDICE DE PLASTICIDAD (%)
TERCIARIOS	
<i>Arcillas</i>	20
<i>Arcillas Limosas</i>	45
<i>Arcillas margosas</i>	40
<i>Margas</i>	34
<i>Calizas margosas</i>	-
CRETACICOS	
<i>Calizas</i>	-
<i>Calizas arenosas</i>	-
<i>Areniscas calcáreas</i>	-
<i>Arcillas</i>	19
<i>Limos</i>	8
<i>Arenas arcillosas</i>	11
<i>Arenas limosas</i>	7

Tabla nº2: Características de plasticidad de los materiales atravesados

A continuación veremos una grafica de la utilización de los escudos de presión de Tierras.

CAMPO DE UTILIZACION DE LOS ESCUDOS DE PRESION DE TIERRAS

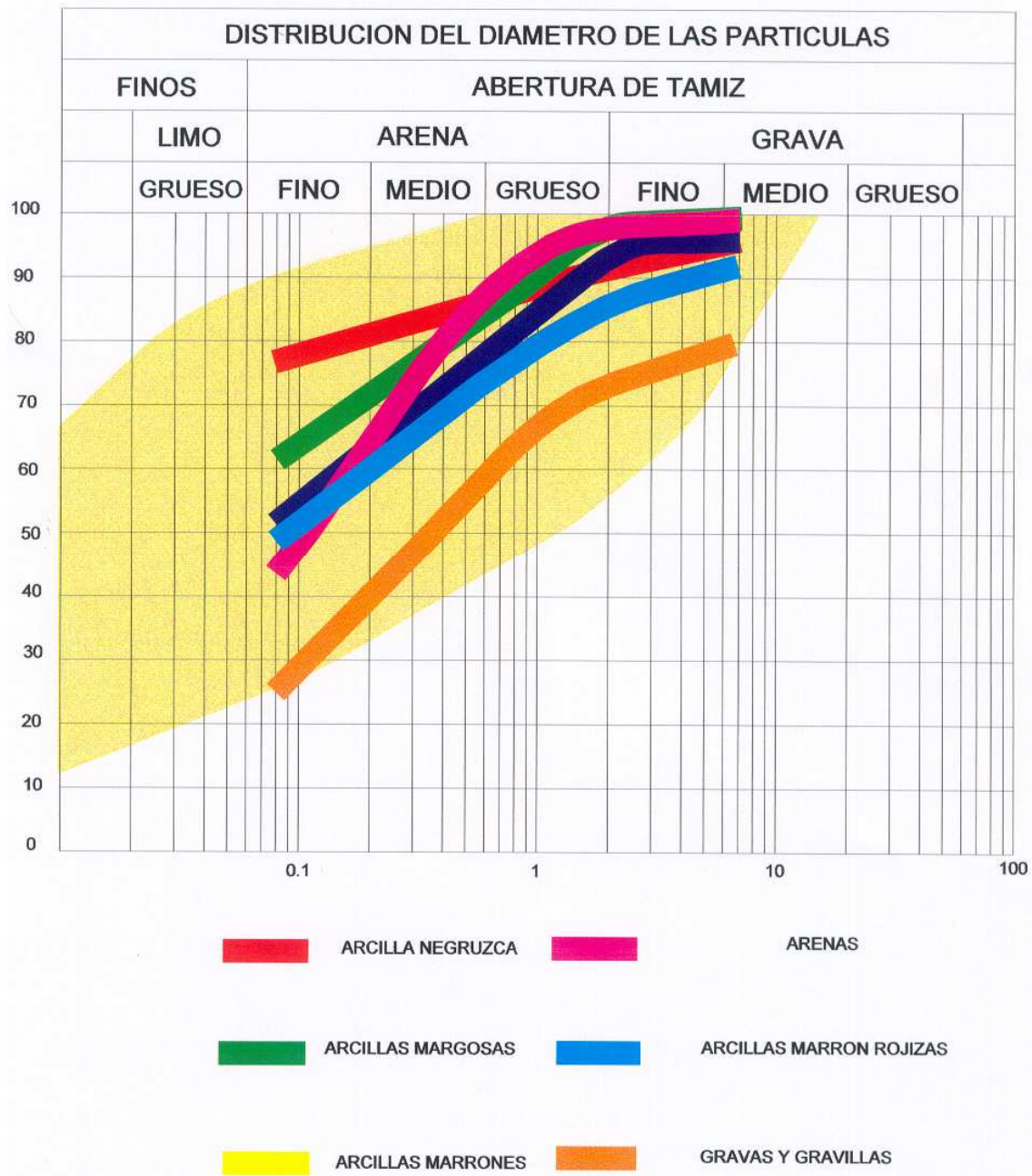


Figura n°1: Campo de aplicación de las EPB'S

De acuerdo con todo lo anterior, desde el punto de vista de las características del terreno, resulta más recomendable la utilización de un Escudo de Presión de Tierras que una tuneladora mixta.

- *Características de la tuneladora seleccionada*

La tuneladora seleccionada es un Escudo de Presión de tierras de 11,54 m de diámetro de excavación que, de acuerdo con el trazado previsto, deberá estar totalmente operativo para trazar curvas en planta de 350 m de radio mínimo.

Par motor de desbloqueo de la cabeza de corte

El par motor de la cabeza de corte es una de las características fundamentales de las tuneladoras junto con el empuje horizontal.

Para determinar el par motor suponemos que en toda la superficie actúa una tensión tangencial que se opone al movimiento, fuerza que engloba tanto el rozamiento suelo-frente del escudo como a las fuerzas de rotura del suelo por los dientes o picas.

El par necesario de la cabeza de corte, se puede determinar a partir de la expresión debida a KRAUSE (1987).

$$Mt = \alpha \times Ds^3$$

donde,

- Mt = par de la cabeza de corte, expresado en KNm
- α = factor que varía entre 12 y 24 según la cohesión del terreno.
- Ds = diámetro de excavación expresado en m.

En este caso, tomando un valor medio de $\alpha = 18$ que correspondería a un terreno intermedio, para un diámetro de excavación de 11,54 m resulta un par necesario de:

$$Mt = 18 \times 11,54^3 = 27.662,40 \text{ KNm}$$

Por otro lado, como hay un tramo donde se atraviesan las arcillas margosas y limosas y habría que considerar un valor más alto ($\alpha = 24$), resultando un par necesario de:

$$Mt = 24 \times 11,54^3 \text{ KNm}$$

Como dato comparativo, se pueden comparar los resultados obtenidos con la bibliografía publicada del Metro de Madrid con un diámetro de excavación de 9,38 m.

El par nominal de 17.000 KNm se mostró insuficiente, por lo que en el actual Plan 1999 – 2003 de Ampliación del Metro de Madrid se adoptó la cifra de 20.240 KNm para una quinta máquina de nueva construcción.

Conservando la relación entre diámetros al cubo se puede extrapolar el par necesario a partir de los datos del Metro de Madrid, resultando:

$$Mt = 20.240 \times (11,54^3 / 9,38^3) = 37.690 \text{ KNm}$$

Aunque en terrenos cohesivos el uso de agentes espumantes puede reducir la pegajosidad, parece recomendable adoptar un par máximo de 37.690 KNm, para mantener la relación de par con la experiencia del Metro de Madrid.

Empuje longitudinal

Las máquinas del Metro de Madrid pueden ejercer un empuje nominal de 8.000 t, y un empuje máximo instantáneo de 9.500 t para el caso de desbloqueo (valor que representa un incremento del empuje nominal del 20%).

Si conservamos la relación del cuadrado de los radios para extrapolar el empuje necesario, resulta:

$$\text{Empuje nominal: } F_n = 8.000 \times (11,54/9,38)^2 = 12.108,65 \text{ t.}$$

Incrementando un 20% el empuje nominal para tener en cuenta la situación de desbloqueo resulta:

$$\text{Empuje máximo: } F = 1,2 \times 12.108,65 = 14.530,38 \text{ t.}$$

El empuje nominal representa, para la sección de excavación, una presión media contra el terreno excavado de 138,93 t/m².

La velocidad de rotación de la cabeza de corte suele estar comprendida entre 0 y 3,0 rpm.

Para acondicionar el terreno es conveniente que la tuneladora tenga al menos cuatro líneas en la cámara para la inyección de bentonita y polímeros de cadena larga; así como dos líneas de inyección en la cámara y otras dos en el frente para poder adicionar los agentes espumantes, aunque en las tuneladoras nuevas se suele colocar de 8 a 10 líneas para los

agentes espumantes de manera que se cubra la mayor sección posible, sobre todo en tuneladoras de diámetros altos.

Inyección del trasdós de dovelas

Dado que la holgura diametral, entre el diámetro de excavación y el trasdós de las dovelas, es de 31 cm, resulta un volumen por metro lineal de:

$$V = \pi/4 \times [(11,54)^2 - (11,16)^2] = 6,77 \text{ m}^3/\text{m}$$

Suponiendo que, como media, un anillo de 1,8 m de longitud se coloque en 1 hora, el caudal de inyección necesario es de:

$$Q = 6,77 \text{ m}^3/\text{m} \times 1,8 \text{ m} = 12,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para poder mantener el confinamiento del terreno, que produce la presión de tierras en la cámara de excavación, se considera imprescindible que la tuneladora esté equipada con un sistema de inyección de bentonita a través del cuerpo del escudo. Este sistema de inyección deberá ser capaz de suministrar el fluido a inyectar con una presión mínima de 1 MPa y un caudal de 1 l/s.

Cepillos de cola

Para lograr la estanqueidad de la junta anillo / cola del escudo, se propone la solución empleada en el Metro de Madrid, consistente en cuatro filas o anillos de cepillos metálicos en el final del escudo, que permite la inyección de grasa entre cada anillo de cepillos, es decir, en las tres hileras o juntas de grasa.

Hay que indicar que el consumo de grasa es elevado, siendo una parte sensible del coste, por lo que se recomienda cuidar al máximo el acabado del extradós de los anillos, ya que las irregularidades que presente por falta de cuidado, pueden ser causa de incrementos de entre el 25% y el 40%.

3.2. CARACTERISTICAS TECNICAS

La tuneladora elegida en la construcción del túnel de la línea 1 de metro de la Ciudad de Oviedo es del tipo “Escudo de Presión de Tierras”, o EPB en sus siglas en inglés.

Los escudos de presión de tierras, o más propiamente dichos de equilibrio de presión de tierras (Earth Pressure Balanced), se emplean especialmente en terrenos cohesivos con una apreciable proporción de arcillas y limos, los cuales acusan una baja permeabilidad al agua. Con los escudos EPB el propio terreno excavado por la rueda de corte debidamente amasado sirve de sostenimiento al frente de excavación para evitar asentamientos o elevaciones en superficie.

Para que el terreno excavado del frente de ataque pueda servir de medio estabilizador, éste deberá tener las siguientes características:

- Buena deformación plástica.
- Consistencia pastosa o suave.
- Baja fricción interna.
- Baja permeabilidad al agua.

El terreno se extrae del frente de excavación valiéndose de las herramientas de la rueda de corte en rotación, en algunos casos si el terreno tiene baja capacidad portante se podrán sustituir estas herramientas por rippers. Este material arrancado del frente penetra a través de las aberturas (ventanas de entrada) de la rueda de corte hacia la cámara de tierras. Aquí el terreno nuevo se mezcla con el terreno tratado anteriormente durante el proceso de excavación. Con el empuje de los cilindros de avance y controlando la salida de material con el tornillo sinfín se evita una penetración incontrolada del frente a la cámara de tierras.

El estado de compensación se habrá alcanzado cuando el terreno plastificado en la cámara de tierras no se pueda seguir compactando por la presión de tierras y agua prevalecientes.

La presión de tierras ahora existente en el frente de ataque deberá corresponder aproximadamente a la presión de tierras en reposo.

Si la presión de apoyo de la tierra plastificada se incrementa por encima del estado de equilibrio, se provocaría una compresión adicional de la tierra plastificada en la cámara de excavación así como del terreno presente y bajo determinadas circunstancias podría tener lugar una elevación del terreno delante del escudo, fenómeno conocido como “blow-up”. Si se reduce la presión de tierras el suelo podría penetrar a la cámara de excavación y con ello se podrían provocar asentamientos de la superficie del terreno.

La presión de tierra se ve afectada por los siguientes factores principales:

- Velocidad de avance.
- Volumen de material excavado.
- Adición de espumantes y polímeros para acondicionamiento del terreno.

La forma más usual para regular la presión de tierras durante el avance con una velocidad determinada de avance es cambiando la velocidad del tornillo sinfín. La presión de tierra baja cuando la tierra se extrae más rápido debido a una alta velocidad del tornillo sinfín. Al contrario se incrementa la presión de tierras en la cámara cuando el tornillo sinfín extrae la tierra a una velocidad menor.

En general también es posible regular la presión de tierras en la cámara con la velocidad de avance. Al reducir la velocidad de avance se tiene como efecto la disminución de la presión de tierras en la cámara y por lo contrario al aumentar la velocidad de avance la presión de tierras en la cámara aumenta.

En cualquier caso el objetivo es mantener constante la presión de tierra durante el avance. La presión originada en la cámara de tierras deberá igualar la presión de tierra frente a la rueda de corte con el fin de evitar en el frente asentamientos y desprendimientos del terreno.

La velocidad de rotación de la rueda de corte puede modificarse durante el avance con el fin de lograr un material de excavación lo mejor mezclado y acondicionado posible y evitar en lo posible la rodadura del escudo.

Todos los sistemas de registro y control requeridos para el correcto funcionamiento de la TBM se visualizan y comandan desde la cabina del piloto (cabina de control). Asimismo se controla la dirección de avance, regulando los niveles de presión sobre los grupos de

cilindros de avance y dirigiendo así el escudo en la dirección deseada. Esta dirección la conseguimos a través de la visualización de la pantalla del sistema de guiado.

Los principales componentes de la tuneladora son:

- Escudo principal que excava, mezcla y evacua el material de excavación. Los principales componentes del escudo son:
 - *Cabeza de corte*. Con los diferentes elementos de corte fijados a ésta (picas, rastreles y discos de corte o rippers).
 - *Escudo*. Donde van instalados, como parte fundamentales, el accionamiento de motores, paso giratorio, tornillo sinfín y erector de dovelas.

El espacio entre la cabeza de corte y el mamparo del escudo recibe el nombre de cámara de tierras. Es donde el material de la excavación se mezcla con los aditivos necesarios que permiten mantener una presión de confinamiento del frente a la vez que permite sacar el mismo a través de un tornillo sinfín.

- Carros auxiliares (Back-up), arrastrados continuamente por el escudo. Su objetivo es:
 - Dar servicio al escudo principal de energía eléctrica (transformada según las necesidades de cada uno de los equipos), aire industrial, refrigeración, energía hidráulica, etc.
 - Disponer siempre de materiales para el continuo trabajo de excavación y montaje de los anillos. A modo general disponer siempre de:
 - Un anillo de dovelas dentro de la tuneladora.
 - Acopio de mortero suficiente para avanzar.
 - Acopios de material variado que permita hacer continuo los avances y no tener paradas (carriles para vía, depósitos de espumas, bidones de grasa, tubería para el conducto de ventilación, cables de electricidad y comunicación).

- Mantener siempre conexión con el exterior. A medida que la tuneladora avanza debe estar permanentemente conectada a las instalaciones auxiliares montadas en el exterior. En general siempre conectada a:
 - A las instalaciones de agua industrial (Refrigeración).
 - A las instalaciones de aguas residuales (Achiques).
 - A los centros de transformación para la alimentación eléctrica.
 - Al ventilador exterior a través del conducto de ventilación.
 - A la cinta del pozo de instalaciones para la evacuación de escombros.

A medida que la tuneladora avanza, es alimentada periódicamente por un tren de servicio, arrastrado por una locomotora diesel, con los distintos recursos necesarios (dovelas, mortero de relleno y consumibles varios). Para ello también deben prolongarse las vías que desde las instalaciones exteriores acceden a la tuneladora.

La definición del proyecto y datos técnicos de la tuneladora a modo general son los siguientes:

1. Definición del Proyecto

<i>Longitud del Túnel (m)</i>	7.031,31
<i>Pendiente máxima (%)</i>	4
<i>Radio de Giro (m)</i>	350
<i>Dimensiones del Anillo (mm)</i>	11.160 x 10.400 x 1.800
<i>Espesor del Anillo (mm)</i>	380
<i>Número de Dovelas por Anillo</i>	6 + 1

Tabla nº3: Definición de proyecto a construir

2. Datos Técnicos de la Tuneladora

GENERAL	DATOS
Tipo de Maquina	EPB
Longitud Total del Túnel	7031,31 m
Potencia Total Instalada	7.500 Kw
Longitud TBM con Remolques	95 m
Peso TBM	1.400 t
Peso Remolques	900 t
Radio de Curvatura Mínimo	350 m
Presión de Operación	4,5 bar
RUEDA DE CORTE	DATOS
Diámetro de perforación	11,54 mm
Peso incluido herramientas de corte	160 t
Cortadores (simples)	13 simples de 17"
Cortadores (dobles)	23 dobles de 17"
Distancia entre pistas	100 mm
Cuchillas Rozadoras (picas)	248
Rastreles	16 de acero endurecido
Movimiento axial de la cabeza	400 mm, limite de carrera 200 mm
Copycutter	1 de disco triple y 1 de ripper (opuestos)
ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	DATOS
Tipo	Eléctrico
Nº de Motores accionamiento	18
Potencia	5250 Kw
Revoluciones de giro de la Rueda (ambos sentidos)	0 - 3,08 rpm
Torque S1	36.735 KNm
Torque S2	39.674 KNm
Momento de Rotura	45.184 KNm
Diámetro del Rodamiento Principal	6,6 m
Sistema de sellado interior/externo	4 labios interior/4 labios exterior

AVANCE	DATOS
<i>Cilindros principales de Empuje</i>	19 pares
<i>Carrera</i>	2.800 mm
<i>Asta</i>	360 mm
<i>Pistón</i>	280 mm
<i>Empuje Nominal</i>	135.378 KN a 350 bar
<i>Empuje Máximo</i>	154.717 KN a 400 bar
<i>Velocidad Máxima de Avance</i>	80 mm/min
ESCUDO	DATOS
<i>Escudo delantero (diámetro)</i>	11.520 mm
<i>Escudo delantero (Longitud)</i>	3 m
<i>Escudo Central (diámetro)</i>	11.505 mm
<i>Escudo Central (Longitud)</i>	3,5 m
<i>Cola del Escudo (diámetro)</i>	11.490 mm
<i>Cola del Escudo (Longitud)</i>	4,1 m
ERECTOR	DATOS
<i>Accionamiento</i>	Hidráulico
<i>Peso</i>	170 t
<i>Sistema de Agarre</i>	Por Vacío
<i>Recorrido</i>	2.300 mm
<i>Velocidad de Rotación</i>	0 - 1 rpm
<i>Angulo de giro</i>	+/- 200°
<i>Sistema de Control</i>	Radio mando
ESCLUSA PARA PERSONAL	DATOS
<i>Numero de esclusas</i>	2
<i>Tipo</i>	De doble cámara
<i>Longitud</i>	2.500 mm
<i>Presión de Operación Máxima</i>	4,5 bar
<i>Presión de Prueba</i>	6,75 bar

ESCLUSA PARA MATERIAL	DATOS
Numero de esclusas	1
Tipo	Cámara simple
Longitud	2.500 mm
Anchura nominal	600 mm
Presión de Operación Máxima	4,5 bar
Presión de Prueba	6,75 bar
TORNILLO SIN FÍN	DATOS
Numero	1
Longitud	16 m
Diámetro	1.150 mm
Potencia	400 Kw
Revoluciones	0 - 25 rpm
Momento par (nominal)	230 KNm
Capacidad de extracción	945 m ³ /h (teórico)
Accionamiento	2 motores hidráulicos
CINTA DE LA MAQUINA	DATOS
Longitud	55 m
Ancho	1.200 m
Potencia	22/55 Kw
Velocidad de la Cinta	0-2,5 m/s
Capacidad de extracción	1600 t/h
Cantidad Bascula de pesaje material excavado	2
GRUA DE DOVELAS	DATOS
Accionamiento	Eléctrico
Sistema de agarre	Por Vacío
Carga limite	15 t
Velocidad de marcha	0 - 55 m /min

ALIMENTADOR DE DOVELAS	DATOS
Capacidad	1 anillo completo
Sistema de Control	Radio mando
CARROS BACK-UP	DATOS
Numero	5
Longitud Total	88 m
INYECCION DE MORTERO	DATOS
Bombas	5
Potencia	110 Kw
Caudal	10 m ³ /hora (cada ud)
Tanque de Almacenamiento	2 ud
Volumen de cada tanque	9 m ³
SISTEMA HIDRAULICO	DATOS
Volumen de deposito	9 m ³
Potencia total	1260 Kw
EQUIPOS ELECTRICOS	DATOS
Tensión de alimentación primaria	20.000 V
Tensión de alimentación secundaria	400/690 V
Tensión de Mando	230 V
Tensión de válvulas	24 V
Frecuencia de red	50 Hz
Transformadores	2 x 3.200 Kva
VENTILACION SECUNDARIA	DATOS
Potencia	75 Kw
Diámetro Conducto	1.200 mm
Caudal de aire	40 m ³ /s

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	DATOS
Numero de compresores de aire respirable	2
Potencia	160 Kw cada uno
Presión de Trabajo	7,5 bar
Cantidad de aire	28,6 m ³ /min cada uno
Equipado de filtrado de aire respirable	Filtro de carbón (1 por compresor)
ACHIQUE DE AGUA	DATOS
Bombas	1 ud
Diámetro Conducto	DN 125 mm
Caudal	120 m ³ /h
DETECTORES DE GAS	DATOS
Sensores de detección de gases	O ₂ , CH ₄ , CO ₂ , CO (ver posiciones)
PREVENCION DE INCENDIOS	DATOS
Extintores	12 ud
Sensores de humos	10 ud
Cortinas de agua	1ud
CAMARA RESCATE	DATOS
Nº de cámaras de rescate	1
Nº de personas máximo	20
Tiempo máximo	12 h

Tabla n^o4: Características de la TBM

Posición de los sensores de gas

- **CH4** (6 Uds.)
 - 1 Ud. en zona del escudo (parte exterior esclusas)
 - 1 Ud. en zona del escudo (zona erector)
 - 1 Ud. en zona del escudo (zona tornillo sinfín)
 - 1 Ud. carro n^o1 (zona cabina control)
 - 2 Ud. carro n^o4 (zona descarga tolva a cinta transversal)

- **O2** (2 Uds.)
 - 1 Ud. carro nº1 (zona cabina control)
 - 1 Ud. carro nº5 (cámara rescate)

- **CO2** (2 Uds.)
 - 1 Ud. carro nº4 (zona descarga tolva a cinta transversal)
 - 1 Ud. carro nº5 (cámara rescate)

- **CO** (2 Uds.)
 - 1 Ud. carro nº2 (zona descarga anillo)
 - 1 Ud. carro nº5 (cámara rescate)

3.3. RANGOS DE FUNCIONAMIENTO

- Presión de trabajo

Las presiones de trabajo durante el trayecto a ejecutar varían en función del recubrimiento sobre la clave, del tipo de terreno a excavar y de la altura del nivel freático en cada momento.

Las presiones de trabajo son referidas a la presión resultante en el captador de presión más cercano a la clave y fluctuarán entre 0 y 3 bar. Estas presiones son muy inferiores a la presión máxima alcanzable por el escudo (6,5 bar.)

- Presión de empuje

La presión de empuje (medida dada en bares) o fuerza de empuje (KN) es la presión transmitida desde los cilindros de empuje sobre el último anillo montado (sección trasversal del anillo). Esta presión es en su mayoría, la resultante de la fuerza necesaria para contrarrestar la presión de tierras y la necesaria para el avance de la tuneladora. La presión máxima de la tuneladora es de 350 bar que corresponde a una fuerza de empuje máximo de 135.000 kN, sin embargo se puede alcanzar un empuje extraordinario de 154.000 kN a 400 bar de presión en los cilindros de empuje.

Esta presión variará en función de la velocidad de avance, el tipo de material excavado y de la presión de tierras en cada momento.

- Presión de mortero

Habitualmente se contempla una presión de inyección del mortero de 0,5 bar sobre la presión de la cámara de excavación para evitar el reflujó del escombros hacia los cepillos y el trasdós de los anillos, por lo que este parámetro básico de funcionamiento estará directamente relacionado con la presión de confinamiento. El caudal máximo de cada bomba de mortero es de 10 m³/h y se trabaja normalmente utilizando 4 bombas de mortero inyectando en 8 líneas a través del escudo con lo que la capacidad máxima de inyección de mortero es de 40 m³/h. A la máxima velocidad de avance de la tuneladora (80 mm/min) la duración de una excavación es de 22,5 minutos. Se necesitan unos 12,5 m³ de mortero por

cada anillo excavado con lo que las bombas de mortero en los 23 minutos de excavación dan un caudal bombeado de 15 m³ suficiente para rellenar el “gap” dejado por el escudo.

- Velocidad de evacuación del terreno

Suponiendo una densidad máxima del material excavado de 1,95 t/m³, y dado que el volumen de escombros por anillo excavado (105 m² de sección y 1,8 m de avance) es de 189 m³, nos resulta un peso a evacuar de 368,6 t. A la velocidad máxima de avance de la tuneladora, de 80 mm/min, nos resulta que el menor tiempo de excavación es de 22,5 minutos, con lo cual obtenemos un caudal de desescombros máximo de 983 t/h.

La cinta de desescombros tiene una capacidad máxima de desescombros de 1.600 t/h a una velocidad máxima de la banda de 2,5 m/s, con lo cual siempre seremos capaces de evacuar todo el material excavado.

- Velocidad de avance

La velocidad máxima de avance de la tuneladora es de 80 mm/min. Esta velocidad permite la extracción de material necesaria por la cinta y la inyección suficiente de mortero de cola y mortero inerte. La velocidad máxima de avance es un parámetro que quedará fijado por el Contratista pudiendo modificarse a lo largo del trazado.

- Velocidad de Rotación

La velocidad de rotación de la rueda de corte varía entre 0 y 3,08 rpm. Quedará en cada momento fijada por el Contratista según el tipo de terreno a excavar, aunque lo habitual en casos similares es trabajar con una velocidad de rotación entre 1,0 y 1,5 rpm.

4. ESTUDIO DE PRESIONES DE TRABAJO

4.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

La excavación del tramo se realiza con un Escudo de Presión de Tierras (EPB`S), como ya se ha visto en el apartado anterior donde se explican las características de estas.

Es bien conocido que el manejo de este tipo de máquinas es complejo ya que, al contrarrestar la presión exterior mediante la que se ejerce en la cámara, es importante estudiar con precisión el valor de dicha presión (ya que tanto un exceso como un defecto de ésta pueden tener un efecto desestabilizador) en función de las características de los materiales existentes.

Actualmente, es cada vez más frecuente referirse a los asientos en términos de pérdida de volumen (VL) expresado en porcentaje del área de excavación. Así $VL = VS/A$ siendo VS el área de terreno encerrada entre la curva de asientos y la superficie y A el área de la cabeza de excavación. En general valores superiores al 1% pueden ya causar daños ligeros mientras que valores por debajo del 1% suelen originar valores muy ligeros a inapreciables.

Con un buen control de la presión se logra limitar las afecciones en superficie mientras que una presión demasiado alta incrementa sobremanera el desgaste de la máquina, frena el avance y puede, a su vez, provocar inestabilidades. En general, presiones de trabajo superiores a 40 t/m² (de trabajo en clave, o incluso 30 t/m²) no deben mantenerse más que durante tiempo muy limitado. Debe de tenerse en cuenta también, que debido al diámetro de la máquina, existirá siempre una importante diferencia entre clave y solera.

El objeto de este apartado es el análisis de los aspectos que intervienen en el control de la presión en este caso particular, indicando, posteriormente, las presiones máxima y mínima que se deben aplicar, para una correcta aplicación en el campo de trabajo.

4.2. CONCEPTOS BÁSICOS

La presurización del frente es necesaria en terrenos inestables y/o situados bajo el nivel freático. Se hace hincapié en esta definición ya que, en ocasiones, se recomienda presurizar en terrenos donde no sería necesario hacerlo.

Los objetivos principales son el de sostener el frente y minimizar las deformaciones que se puedan producir en superficie.

Para ello es necesario, en ocasiones, sostener suelos blandos y no (o muy poco) cohesivos desde el momento en que se excavan hasta que se instala el revestimiento final: las dovelas. Si existe, como es el caso, nivel freático, es, además, necesario impedir un flujo hacia el túnel ya que, no solamente tendría un efecto erosivo en el frente, sino que también produciría asentamientos en el entorno, al rebajar el nivel freático. Por ello, y salvo casos particulares (a los que nos referiremos más adelante), la presión de trabajo debe de ser, como mínimo, igual a la carga de agua.

La presión en la cámara de trabajo debe mantenerse a un nivel que permita condiciones estables de trabajo, no pudiendo ser tan baja que produzca un colapso incontrolado hacia la cámara, ni tan alta que deforme el suelo con el resultado de una pérdida de la capacidad del sostenimiento, fenómeno que se denomina “blow up” y que ha sido recientemente descrito en escudos presurizados con aire comprimido en materiales granulares (A-86 en París). De aquí que suelen darse 2 presiones posibles de trabajo (máxima y mínima) utilizándose una comprendida en este rango, dependiendo del nivel de asentamientos que se quiera asumir. Hay que decir también que, desde el punto de vista de un colapso hacia la cámara, la EPB tiene la ventaja de que, al estar ésta llena del material excavado, es difícil que se produzca este fenómeno.

Por otra parte, el nivel de presión de sostenimiento depende de:

- Características geotécnicas del suelo.
- Posición del nivel freático.
- Método de excavación.
- Recubrimiento.
- Dimensiones del túnel.

Para obtener las presiones máximas y mínima de sostenimiento, se han propuesto un cierto número de modelos para representar posibles mecanismos de rotura en el frente así como para determinar las propiedades del medio de sostenimiento capaz de impedir el colapso.

Aunque, en teoría, es posible trabajar dentro del rango definido por estos valores máximos y mínimos, es evidente que el valor máximo producirá menores asientos pero mayor desgaste de la máquina, por lo que deben de tenerse en cuenta ambos factores a la hora de tomar una elección. Así, si no existen en superficie edificaciones, es evidente que se tendrá interés en trabajar con la mínima presión posible.

4.3. VALORES USUALES

GENERALIDADES

Los resultados procedentes de la aplicación de modelos deben ser contrastados con las medidas de casos reales, dado el número de variables que presentan. A falta de éstas, se deben utilizar también los resultados de ensayos de laboratorio. En este sentido varios autores han realizado ensayos en centrífuga de túneles sostenidos entera o parcialmente, así como en suelos arenosos o arcillosos.

Debe señalarse, además, que los valores deducidos de los modelos suelen corresponder a mínimos por lo que, a nuestro juicio, si se aplicasen sin más, se estaría del lado de la inseguridad, salvo en casos de ausencia total de edificios en superficie.

De forma general, es interesante referirse a los ensayos de CHAMBON y CORTÉ en un modelo de túnel con el frente sellado por una membrana y totalmente situado dentro de una capa de arenas homogéneas. Los resultados evidenciaron que el silo que carga sobre el frente podría desarrollarse con recubrimientos del orden del diámetro. Los mismos resultados fueron obtenidos por HISATAKE y ATKINSON y POTTS.

Del resultado de los ensayos se deduce también la notable diferencia existente en la geometría de las roturas en terrenos arenosos y arcillosos. En suelos arenosos y rocosos muestran formas de chimenea mientras que en arcillas las formas son mayores. Estos resultados parecen confirmarse por las observaciones de casos reales.

ORDENES DE MAGNITUD

Como se ha dicho, una estimación de los límites de las presiones del sostenimiento puede deducirse a partir de experiencias reales. Los valores así obtenidos no dan exactamente los valores máximos y mínimos de las presiones de sostenimiento pero sí pueden proporcionar una presión de trabajo razonable.

Hay que tener en cuenta también que existe una tendencia a trabajar con una presión lo más baja posible con objeto de minimizar la fricción y el desgaste de las herramientas, así como de aumentar la velocidad de excavación. Por este motivo, se tiende a dar valores

próximos de los mínimos, aún siendo conscientes de que esta práctica lleva aparejada una mayor producción de asientos y un incremento del riesgo de colapso. Un valor muy utilizado es:

$$P_{\min} = K_a \cdot p'_v + p_w + 20 \text{ KPa}$$

Donde:

K_a = Coeficiente de empuje activo.

p'_v = presión efectiva vertical

p_w = Presión intersticial, debida a la carga de agua.

KANAYASU recogió una serie de valores de la presión de sostenimiento para varios túneles en Japón (Tabla adjunta nº5).

D (m)	Suelo	Presión de sostenimiento
7,45	Limo blando	Presión al reposo
8,21	Arenoso, cohesivo	Presión al reposo + presión del agua + 20 KPa
5,54	Arena fina	Presión al reposo + presión del agua + presión fluctuante
4,93	Arenoso, cohesivo	Presión al reposo + 30-50 KPa
2,48	Gravas, roca, cohesivo	Presión activa + presión del agua
7,78	Gravas, cohesivo	Presión activa + presión del agua
7,35	Limos blandos	Presión al reposo + 10 KPa
5,86	Suelos cohesivos blandos	Presión al reposo + 20 KPa

Tabla nº5: Presiones de sostenimiento en túneles Japoneses excavados con EPB

Además, KANAYASU indica que las variaciones en la presión de sostenimiento dependen del nivel de control del proceso de excavación.

En un proceso mal controlado se producen fluctuaciones de hasta 100 KPa o más. Algún autor sugiere que estas fluctuaciones indican que se están produciendo inestabilidades localizadas en el frente que pueden indicar que se está cerca de un colapso generalizado.

DIFERENTES ESTIMACIONES PARA LA PRESIÓN DE TRABAJO DE LA TUNELADORA

- *Estimación Nº 1 (S. Kanayasu, Tokio Metropolitan Subway y Yamamoto)*

Este método de estimación fue presentado en el Symposium “Underground Construction in Soft Ground” celebrado en New Delhi en enero de 1994. El autor indica que, en general, la presión ideal en el frente del túnel es la que no afecta el estado tensional del terreno. Por ello, en pura teoría, esta presión ideal debe ser muy próxima a la del estado tensional del terreno en reposo (incluyendo, naturalmente, la presión debida al agua).

Los métodos prácticos o empíricos más utilizados en Japón, según el autor, estiman la presión de trabajo de la tuneladora de acuerdo con las recomendaciones siguientes:

Suelos no cohesivos:

La presión de trabajo en el frente (P_T) debe ser mayor que la correspondiente al empuje activo (P_a) más la presión intersticial (P_w) y menor que la correspondiente al empuje al reposo (P_0) más la presión intersticial.

$$P_a + P_w \leq P_T \leq P_0 + P_w$$

Suelos cohesivos:

La presión de trabajo en el frente (P_T) debe ser mayor que la correspondiente al empuje activo (P_a) más la presión intersticial (P_w).

$$P_T \geq P_a + P_w$$

De aquí parece deducirse que el valor de la presión de trabajo debe de estar comprendida entre la presión horizontal al nivel del eje utilizando el empuje al reposo (límite máximo) y la misma magnitud utilizando el empuje activo (límite mínimo).

- *Estimación Nº 2 (S. Kanayasu, Tokio Metropolitan Subway y Kubota, Maeda Construction Co).*

Este método de estimación fue presentado también en el Symposium “Underground Construction in Soft Ground” celebrado en New Delhi en enero de 1994. El autor presenta un resumen de las estimaciones empíricas de la presión en el frente que se han aplicado en Japón y que se resumen a continuación.

Tipo	Diámetro	Terreno	Presión aplicada
EPB	7,45	Limos blandos	σ'_H
EPB	8,21	Arenoso, cohesivo	$\sigma'_H + p + 0,2 \text{ kgf/cm}^2$
EPB	5,54	Arena fina	$\sigma'_H + p + \text{variable}$
EPB	4,93	Arenoso, cohesivo	$\sigma'_H + (0,3-0,5) \text{ kgf/cm}^2$
EPB	2,48	Grava y cohesivo	$\sigma'_H + p$
EPB	7,78	Grava y cohesivo	$\sigma'_H + p$
EPB	7,35	Limo blando	$\sigma'_H + 0,1 \text{ kgf/cm}^2$
EPB	5,86	Cohesivo, blando	$\sigma'_H + 0,2 \text{ kgf/cm}^2$
SLURRY	6,63	Gravas	$\sigma'_H + (0,1-0,2) \text{ kgf/cm}^2$
SLURRY	7,04	Cohesivo	σ'_H
SLURRY	6,84	Cohesivo, blando, arenoso	Máxima = $\sigma'_H + \text{variable} + \text{adicional}$ Mínima = $\sigma_a + \text{variable} + \text{adicional}$ (variable+adicional = $0,2 \text{ kgf/cm}^2$)
SLURRY	7,45	Cohesivo, arenoso, gravas	$p + 0,3 \text{ kgf/cm}^2$
SLURRY	10,00	Cohesivo, arenoso, gravas	$p + (0,4-0,8) \text{ kgf/cm}^2$
SLURRY	7,45	Arenoso	$\sigma_a + p + \text{variable}$
SLURRY	10,58	Cohesivo, arenoso	Máxima = $\sigma'_H + p + \text{variable} (0,2 \text{ kgf/cm}^2)$ Máxima = $\sigma_a + p + \text{variable} (0,2 \text{ kgf/cm}^2)$
SLURRY	7,25	Cohesivo, blando, arenoso, gravas	$p + 0,3 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla nº6: Algunos ejemplos de presiones de trabajo

En esta tabla se utilizan los siguientes símbolos:

σ'_v = Tensión efectiva vertical.

σ'_H = Tensión efectiva horizontal al reposo = $K_0 \cdot \sigma'_v$.

p = Presión intersticial.

σ_a = Empuje activo $K_a \cdot \sigma_v$.

σ_p = Empuje pasivo $K_p \cdot \sigma_v$.

El modelo básico aplicado es el de estabilidad de cuñas que es un análisis de equilibrio límite de una cuña de suelo en el frente del túnel, con una columna de suelo cargando por encima. (Modelo de JANSECZ y STEINER). Se permite introducir el efecto de una eventual parábola de descarga (tipo PROTODYAKONOV) si la hubiera. Evidentemente, esta bóveda de descarga es tanto más probable que se forme cuanto más cohesivo sea el suelo.

El problema más notable con estos modelos es que están hechos sólo para suelos homogéneos. En suelos heterogéneos no es válido este modelo, ya que los suelos tienen diferentes ángulos de rozamiento interno, si bien puede aplicarse por capas o utilizar una media de los existentes.

4.4. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DE TRABAJO

De lo expuesto en puntos anteriores, se propone la siguiente metodología:

1. Cálculo de la presión vertical total (p_v) al nivel del eje del túnel. Siendo:

H profundidad del eje del túnel (m)

h_w altura del nivel freático sobre el eje (m)

γ_N densidad natural del material (t/m^3)

En este caso, $p_v = (H - h_w) \gamma_N + h_w \cdot (\gamma_N - 1) + h_w$ en t/m^2

2. Cálculo de la presión horizontal al mismo nivel. Distinguiremos 2 casos:

- Cuando el material en el que está situado el túnel sea de naturaleza cohesiva hasta, por lo menos, un diámetro sobre el eje, se tomará:

$$p_H = [(H - h_w) \gamma_N + h_w (\gamma_N - 1)] K_A + h_w$$

Siendo $K_A = \tan^2 (45 - \phi/2)$ (Empuje activo).

- Cuando el material sea poco o nada cohesivo, se tomará:

$$p_H = [(H - h_w) \gamma_N + h_w (\gamma_N - 1)] K_o + h_w$$

Siendo $K_o = 1 - \sin \theta$ (Empuje al reposo)

$K_A = \tan^2 (45 - \phi/2)$ (Empuje activo).

3. A partir del valor de p_H , se hace:

- Presión máxima: $P_M = 1,2 \cdot p_H$

- Presión mínima: $P_m = 0,9 \cdot p_H$.

En los casos en que la altura de materiales cohesivos supere 1 diámetro por encima de la clave del túnel, se reducirá la altura de carga a la resultante de la parábola de descarga de PROTODYAKONOV (si llega a formarse).

En estos mismos casos, si la permeabilidad es menor que 10^{-7} m/s, se aplicará solamente la carga de agua existente sobre el nivel impermeable. Las permeabilidades medidas para todos los materiales del trazado oscilan entre 10^{-8} y 10^{-4} m/s, por lo que se considerará para el cálculo una carga de agua constante en profundidad en algunos tramos y la carga de agua existente sobre el nivel impermeable, además del nivel piezométrico muy próximo a la superficie en algún tramo.

4.5. TRAMIFICACIÓN Y PRESIONES DE TRABAJO

La tramificación para el estudio de las presiones se realiza a partir del perfil longitudinal geotécnico realizado.

Las formaciones geotécnicas atravesadas por el túnel y deducidas del perfil geotécnico, elaborado para este trazado, son las expuestas en el anexo nº5, y se indican a continuación en el sentido de avance de la excavación del túnel.

- Desde el arranque del túnel en el pk 0+032 al pk 1+400; atravesaremos materiales Terciarios en toda la sección del Túnel, aunque en ocasiones debido a la proximidad de la Formación Oviedo del Cretácico, se tocaran por la parte inferior de la sección de túnel con estos materiales.
- pk 1+400 al 2+000; tendremos más presencia de materiales del Cretácico de la Formación Oviedo junto con los Terciarios, cabe destacar que en ese tramo habrá puntos de mucha inestabilidad en el frente de excavación y más en concreto en la clave del túnel.
- pk 2+000 al 3+200; tendremos cada vez más presencia de los materiales del Cretácico, llegándolos a tener incluso a sección completa en un buen tramo para luego ir disminuyendo a medida que avanza el túnel volviendo a darse los materiales del Terciario, hacia el pk 3+000 comenzaremos a tener en la parte inferior de la sección al presencia de la Formación La Argañosa, perteneciente al cretácico.
- pk 3+200 al 3+592,42; en este punto se comenzara a tener mas presencia de la Formación La Argañosa junto con la Formación Oviedo ambas del Cretácico, que ira aumentando hasta tener media sección de túnel con cada una de la formación.
- pk 3+592,42 al 3+820; atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo y La Argañosa, en media sección, hasta en pk 3+820 donde nos encontraremos con una falla inversa que nos hará cambiar los materiales a tener solamente la presencia de la Formación La Argañosa.
- pk 3+820 al 4+409,84; atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, hasta en pk 4+409, 84 donde nos encontraremos con una falla directa, donde volveremos a tener nuevamente las Formaciones Oviedo y la Argañosa, cabe destacar la presencia de otra falla directa en el pk 4+260 que apenas tiene variación en la estratificación de los materiales.

- pk 4+409,84 al 4+470; se discurrirá entre materiales Cretácicos de las Formaciones Oviedo y La Argañosa.
- pk 4+470 al 4+654,45; atravesaremos materiales del Cretácico de las Formaciones Oviedo y una pequeña capa por la parte inferior de la formación de La Argañosa, hasta en pk 4+654,45 donde nos encontraremos con una falla inversa que nos hará cambiar los materiales a tener solamente la presencia de la Formación La Argañosa.
- pk 4+654,45 al 5+220; atravesaremos materiales del Cretácico de la Formación La Argañosa, hasta en pk 4+409,84 donde nos encontraremos con una falla directa, donde volveremos a tener nuevamente las Formaciones Oviedo y la Argañosa, cabe destacar la presencia de otra falla directa en el pk 4+900 que apenas tiene variación en la estratificación de los materiales.
- pk 5+220 al 5+237,67; se discurrirá entre materiales Cretácicos de la Formación La Argañosa.
- pk 5+237,67 hasta el pk 6+206; los materiales atravesados corresponden a los materiales del cretácico y más concretamente a la formación La Argañosa en todo el trayecto. Cabe destacar la presencia de una falla directa en el pk 5+840, que no reviste mayor importancia debido a la poca alteración que esta produce.
- pk 6+206 hasta la finalización del túnel en el pk 7+063,31; los materiales atravesados corresponden a los materiales del cretácico y más concretamente a la formación La Argañosa en todo el trayecto.

A continuación expondremos unos valores medios de las características geotécnicas para las distintas formaciones atravesadas, estos han sido obtenidos de los expuestos en el anexo nº5.

- *Sedimentos Terciarios del Tramo medio*

Formado por niveles de margas, arcillas margosas y arcillas de tonos blanquecinos y verdosos. La composición mineralógica de las fracciones arcillosas es de tipo expansivo causando una alta plasticidad y la consiguiente aparición de asentamientos en las cimentaciones, tal y como se deduce de la observación de las curvas edométricas. Tiene una capacidad portante baja ($< 2 \text{ kg/cm}^2$).

Las excavaciones en estos materiales plantean ciertos problemas de estabilidad.

Materiales	H.N.(%)	Y (gr/cm ³)	M.O. (%)	Límites		Granulometría					Resistencia a compresión kg/cm ²	Angulo de rozamiento interno φ	Clasificación Casagrande
				LL	IP	Grava (%)	Gravilla (%)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limos y Arcillas (%)			S.U.C.S.
Arcillas	28,50	1,95	0	62 - 73	23 - 31	0,00	0,00	3,94	10,58	85,48	0,02 - 0,42	8 - 34°	CH
Arcillas Limosas	39,84	1,90	0	34 - 108	45-62	0,00	0,00	0,04	2,50	97,10	0,02 - 0,42	8 - 34°	CH - ML
Arcillas margosas	31,16	1,40	0	25 - 169	34-213	0,00	2,95	2,00	23,30	71,75	0,14 - 0,90	12 - 36°	CH - CL - MH
Margas	36,62	1,28	0 - 0,8	22 - 47	22 - 47	0,00	2,32	2,64	10,24	84,80	0,31 - 1	20 - 55°	MH

Leyenda: H.N.= Humedad Natural; Y = Densidad aparente; M.O.= Materia Orgánica; LL = Límite líquido; IP = Índice de Plasticidad; S.U.C.S. = sistema unificado de clasificación de suelos.

Tabla nº7: Características geotécnicas del Tramo medio terciario

- *Sedimentos Terciarios del Tramo inferior*

En la mayor parte del núcleo urbano el Terciario comienza con un conglomerado calcáreo (1-4 m de espesor) constituido por cantos y bloque de calizas del Cretácico Superior, la serie está integrada por calizas y calizas margosas de tipo blanquecino o rosados, con intercalaciones margosas de tonos verdosos claros, finaliza con un conjunto de tramos de margas y calizas arcillosas blanquecinas y verdosas. Son materiales de capacidad portante elevada (6 a 10 kg/cm²) y una densidad aparente de aprox. 1,7 g/cm³.

- *Sedimentos Cretácicos de la Formación Oviedo*

Calizas y calizas arenosas amarillentas, con contenidos en cuarzo 15–20 %. Son materiales de gran calidad y alta capacidad portante (>10 kg/cm², puede llegar hasta los 30 kg/cm² en algunos puntos de la ciudad) y una densidad aparente de aprox. 1,9 g/cm³.

La problemática, a efectos de estabilizaciones del terreno es de carácter puntual y vinculada a zonas carstificadas. Cuando progresa la carstificación se pueden llegar a desarrollar, en excavaciones importantes, conducciones subterráneas de cierta entidad, inductoras de fracasos zonales por hundimientos y de acumulaciones de agua. La circulación acuosa en estas rocas es dual, combinando mecanismos de carstificaciones con fisurales.

Constituye un hecho geotécnico muy importante que estos niveles carbonatados, especialmente las areniscas calcáreas, presenten de modo puntual, producto de procesos de meteorización superficial, zona arenizada a modo de bolsadas irregulares; alteraciones

que han de tenerse muy en cuenta dados los procesos de compresibilidad que originan en puntos de carga con respecto a los apoyos circundantes.

- *Sedimentos Cretácicos de la formación La Argañosa*

Compuesta por unos 40 m de arenas con intercalaciones de micro conglomerados silíceos, arcillas y limos, destaca por la acumulación de importantes caudales de aguas subterráneas de local carácter artesiano.

La capacidad portante es muy reducida ($0,5$ a 2 kg/cm^2) en el caso de horizontes arcillosos y limosos, susceptibles, los primeros, de originar asentamientos. Las arenas, arcillo-limosas poseen una baja capacidad portante evaluable entre 1 y 3 kg/cm^2 . Las pruebas de permeabilidad ponen de manifiesto un coeficiente de los niveles arenosos valores medios (aprox. 5 cm/s) condicionados por la fracción arcillo-limosa acompañante. Los limos muestran una baja permeabilidad y una casi plena impermeabilidad las arcillas.

Materiales	H.N.(%)	Y (gr/cm^3)	M.O. (%)	Límites		Granulometría					Resistencia a compresión kg/cm^2	Angulo de rozamiento interno ψ	Clasificación Casagrande
				LL	IP	Grava (%)	Gravilla (%)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limos y Arcillas (%)			S.U.C.S.
Arcillas	21,90	1,40	0 a 0,5	30 - 50	20 - 25	0,26	1,05	10,94	14,10	73,65	0,1 - 0,8	22 - 27°	CL - CH
Limos	22,00	1,82	0,0	20 - 30	7 - 10	0,00	0,00	9,10	17,30	73,60	0,2 - 1,3	26 - 34°	CL - ML
Arenas arcillosas	22,55	1,40	0 a 3,2	21 - 30	10 - 15	4,27	3,22	20,33	22,47	33,05	0,1	36°	SC
Arenas limosas	19,02	1,40	0 a 2,5	20 - 35	5 - 10	9,65	2,15	38,60	14,70	34,90	0,05 - 0,43	44° - 54°	SM

Leyenda: H.N.= Humedad Natural; Y = Densidad aparente; M.O.= Materia Orgánica; LL = Límite líquido; IP = Índice de Plasticidad; S.U.C.S. = sistema unificado de clasificación de suelos.

Tabla nº8: Características geotécnicas del Tramo Cretácico de la Formación La Argañosa

En las zonas en las que la rasante desciende aumentándose tanto la altura de material suprayacente como la altura del nivel freático sobre el eje del túnel, al aplicar la formulación al uso sin modificaciones, se obtienen presiones de trabajo excesivas.

Por este motivo y a partir de lo dicho anteriormente sobre la posibilidad de reducir el espesor de terreno que carga sobre el túnel aplicando la teoría de PROTODYAKONOV, se estima cual sería dicha reducción para los materiales terciarios y cuaternarios.

Como es sabido, en dicha teoría se hace:

$$P_v = \gamma \cdot h, \text{ siendo: } h = B/2f; B = b + m \cdot \text{tg}(45 - \phi/2)$$

Con $b = D = 11,54 \text{ m}$

$m = D = 11,54 \text{ m}$

$f = 1,0$ (para arcillas y arcillas arenosas)

$f = 0,5$ (para materiales granulares)

Pese a estar clasificados como arenas, el contenido en finos de las mismas, tanto en el caso de las arenas terciarias como cretácicas no es despreciable, siendo el contenido medio de finos de entre 33-35%, con valores en general superiores a 10-20%. Sin embargo, para el cálculo de presiones de trabajo se considerará un comportamiento granular para los tramos de predominio de estas litologías (a cota de túnel y un diámetro por encima de clave), tomándose $f=0,5$, también tomaremos este valor en el caso de las calizas a atravesar tanto del Terciario como las de la Formación Oviedo del Cretácico.

Para el cálculo de las presiones pondremos un valor de densidad en la cámara de $1,45 \text{ t/m}^3$.

A continuación, se muestran en las graficas siguientes, las presiones obtenidas medidas desde el eje del túnel, para cada 200 m de túnel. Sin embargo, a la vista de los resultados, parece conveniente, en aras de una mayor simplicidad, agrupar los valores según tramos homogéneos de manera que sea más fácil de elaborar diversos tramos que incluyan las mismas características de trabajo con presión. No obstante todos estos valores podrán ser modificados a lo largo del trazado si se encuentran anomalías que puedan producir fenómenos de subsidencia.

Asimismo, en lugar de dar los valores recomendados a nivel del eje de la máquina, se dan los correspondientes a la parte superior de la máquina, donde está situado el sensor P1, que es utilizado como referencia. Para deducir los valores a este nivel, se supone una densidad del material de la cámara de $1,2 \text{ t/m}^3$ por lo cual la presión a este nivel será

$$P_{\text{clave}} = P_{\text{eje}} - 6,9 \text{ t/m}^2$$

A continuación vemos las presiones por pk en clave y en el eje de la tuneladora.

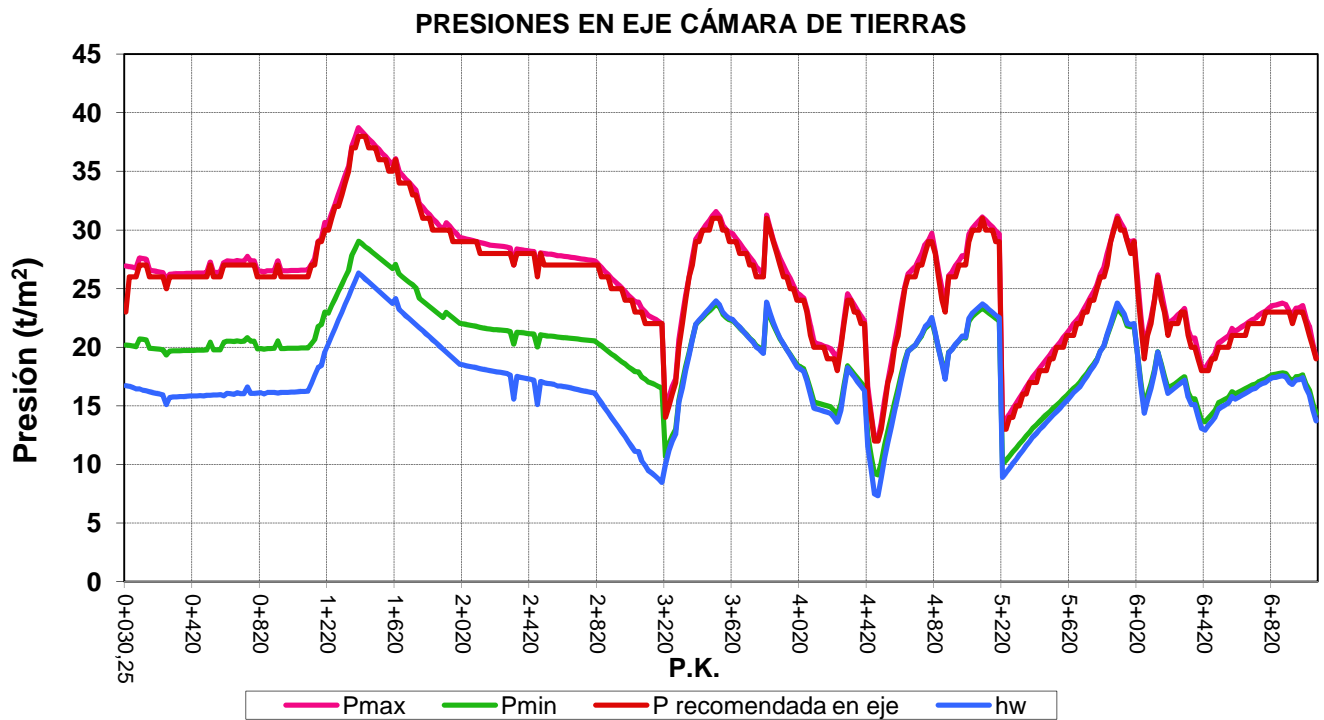


Figura nº2: Presiones en la clave de la cámara de tierras de la TBM

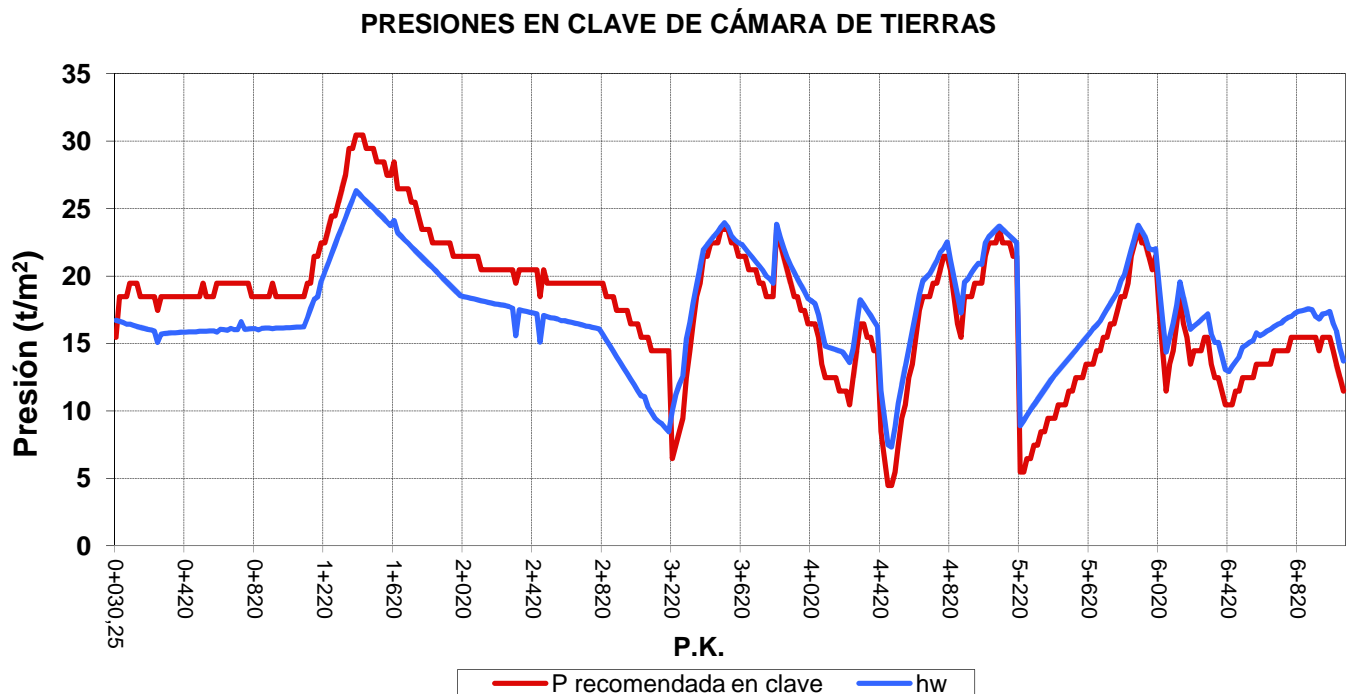


Figura nº3: Presiones en el eje de la cámara de tierras de la TBM

5. EVALUACIÓN DE LOS AVANCES DE LA TUNELADORA

A diferencia de lo que sucede con las Tuneladoras de Roca Dura actualmente no existe una metodología para poder evaluar, a partir de un modelo específico, los avances que se pueden conseguir con un Escudo de Presión de Tierras.

Por ello, en los siguientes apartados se hace una valoración de los avances que se pueden conseguir en la construcción de este túnel con una E.P.B apoyándose en experiencias recientes en obras similares.

5.1. EXPERIENCIAS RECIENTES SIGNIFICATIVAS

Como experiencias recientes más significativas, que pueden servir de orientación para este proyecto, se pueden considerar la Ampliación del Metro de Madrid y la construcción del 4º Túnel bajo el río Elba.

Por otra parte, la experiencia de la ejecución del túnel de la línea 9 del Metro de Barcelona con un escudo de presión de tierras de 12,06 m de diámetro de excavación sirve como marco de referencia para la construcción del túnel.

En los apartados siguientes se presentan las características más relevantes de estas obras, por lo que se refiere a los avances obtenidos.

- *Construcción del 4º Túnel bajo el río Elba*

Entre 1907 y 1911 se construyó el primer túnel carretero bajo el río Elba en Alemania y en 1975 se inauguró un nuevo túnel, constituido por dos tubos que albergan tres carriles cada uno, por el que a finales de los años 90 circulaban una media de 110.000 vehículos por día.

Por ello se inició la construcción del denominado cuarto túnel que dispone de dos carriles de circulación de 3,75 m de ancho y los correspondientes arcones. Para construir este túnel, que tiene 2.560 m de longitud, se ha utilizado el Hidro-escudo HERRENKNECHT, de 14,16 m de diámetro que es el más grande construido hasta ahora.

Este escudo está equipado con una quebrantadora de mandíbulas que permite fragmentar bloques de 1.200 mm de diámetro y está presurizado para soportar una presión de hasta 5 kp/cm².

Su cabeza de corte está equipada con 30 cortadores de 17 pulgadas y 120 herramientas de corte para suelos. La potencia disponible es de 3.200 Kw, con un par máximo de 26 MN, girando entre 0 y 2,5 rpm. El coste aproximado de esta máquina ha sido de 25 millones de euros.

Los hitos más importantes en esta obra han sido los siguientes:

- Fabricación del escudo: 10 meses; entre agosto de 1.996 y mayo de 1997.
- Transporte y montaje en obra: 4 meses; entre junio y septiembre de 1997.
- Inicio de la excavación del túnel: 15 de octubre de 1997.
- Fin de la excavación del túnel: 2 de marzo de 2000.

De acuerdo con esto la excavación del cuarto túnel bajo el Elba ha necesitado 28,5 meses; lo cual ha supuesto un avance medio de 90 m/mes.

Hay que señalar que el grado de dificultad de esta obra ha sido elevado; pues se produjeron importantes desgastes en la cabeza de corte que hicieron necesarias dos reparaciones “in situ” que supusieron la inmovilización del escudo durante 7 y 6 semanas.

Así mismo se produjeron varios colapsos en el frente de la tuneladora que supusieron un apreciable retraso de la obra, respecto a las previsiones iniciales.

Descontando los periodos de incidentes, el avance medio ha sido de 40,2 m/semana; es decir unos 180 m/mes. Esta cifra supone, prácticamente, el doble del avance medio total.

La referencia de los resultados obtenidos en la construcción del 4º Túnel bajo el río Elba no es directamente extrapolable a la construcción del túnel que atravesara la Ciudad de Oviedo, ya que, por un lado, las condiciones geotécnicas en el 4º Túnel bajo el río Elba son sensiblemente peores que las que se dan en este caso y, por otro lado, el diámetro de excavación del túnel de 11,54 m, representa el 81 % del diámetro de excavación del 4º Túnel bajo el Elba.

Por todo lo anterior, se estima que los avances que se conseguirán en la construcción con tuneladora del túnel serán bastante superiores a los 180 m/mes que se alcanzaron, como media, sin incidentes graves, en el 4º Túnel bajo el Elba.

- *Ampliación del Metro de Madrid*

De acuerdo con datos, obtenidos de una publicación de M. Melis (2000), en la tabla adjunta se presentan algunos datos característicos del tiempo de duración de las obras de Ampliación del Metro de Madrid; llevadas a cabo entre 1995 y 1999.

De acuerdo con los datos contenidos en dicho cuadro se puede afirmar que, en la Ampliación del Metro de Madrid realizada entre 1995 y 1999 el avance promedio total de la EPB de 9,4 m de diámetro ha sido de 173 m/mes. Esta cifra, manteniendo una proporción similar a la obtenida en el 4º Túnel bajo el Elba, supone avances medios de 346 m/mes.

No obstante hay que señalar que, una vez superada la fase de ajuste inicial, las EPB que trabajan en Madrid han mejorado sustancialmente los resultados anteriores. De hecho la construcción del tramo de la línea 8 Campo de las Naciones-Barajas, se realizó a un ritmo medio total de 373 m/mes; que es un 215% mayor que el ritmo medio total del 173 m/mes.

Actualmente se puede afirmar que las EPB de 9,4 m de diámetro que trabajan en el terreno de Madrid pueden hacer, normalmente, medias de 450 m/mes; trabajando 30 días al mes.

Los datos del Metro de Madrid no son extrapolables a la construcción de este túnel; ya que el terreno excavado en Madrid tiene unas características geotécnicas bastante mejores que en este caso y, por otra parte el diámetro de excavación del Metro de Madrid supone, aproximadamente, el 81 % del túnel.

5.2. ESTIMACIÓN DE LOS AVANCES

Para estimar los avances que se pueden conseguir en la construcción, con tuneladora, se considera que, en un tramo recto, la excavación de un pase de 1,8 m supone 62 minutos y que la coronación del correspondiente anillo de dovelas exige otros 40 minutos.

Esto supone avanzar 1,8 m en 2 horas de tiempo efectivo, que se estima en el 50% del tiempo total. En estas condiciones por día de trabajo se avanzarán:

$$24 \text{ horas} \times \frac{1,8 \text{ m}}{1,66 \text{ horas}} \times 0,45 = 11,7 \frac{\text{m}}{\text{día}}$$

Lo cual supone para 30 días de trabajo, un avance mensual de 351 m/mes.

Este valor debe ser corregido en función de las condiciones de trabajo de la tuneladora, teniendo en cuenta el trazado en planta y las presiones de inyección, adoptándose los siguientes factores de corrección:

- Excavación en curva de 350 m _____ 0,75
- Excavación con presión entre 0,2 y 0,3 MPa _____ 0,90
- Excavación con presión entre 0,3 y 0,4 MPa _____ 0,80

De acuerdo con estos coeficientes, se presentan los avances medios mensuales que se esperan.

MODO DE TRABAJO	COEFICIENTE CORRECTOR	AVANCE MENSUAL MEDIO (m)
En curva de 350 m con presión inferior a 0,2 MPa	0,75	263
En recta y curvas mayores de 500 m con presión inferior a 0,2 MPa	1	351
En recta con presión entre 0,2 y 0,3 MPa	0,9	316
En curva de 350 m con presión entre 0,2 y 0,3 MPa	0,675	237
En recta con presiones entre 0,3 y 0,4 MPa	0,8	281
En curvas de 350 m y presiones entre 0,3 y 0,4 MPa	0,6	211

Tabla nº9: Coeficientes correctores para los rendimientos de una TBM

Dado que la longitud del túnel es de 7.042,95 m y que la mayor parte del túnel discurre en tramo curvo y que la presión de trabajo media será de 2 bar, salvo en algunas ocasiones que disminuye por debajo de este valor, aunque tomaremos para el cálculo de rendimientos los valores para 2 a 3 bar:

- Encargo y fabricación del escudo:	13 meses.
- Transporte:	2 meses.
- Montaje:	2 meses.
- Excavación:	21 meses.
- Desmontaje:	2 meses.
Total plazo:	40 meses

Todos estos valores son orientativos ya que los rendimientos pueden variar en unos terrenos u otros, además de encontrarnos con problemas técnicos que puedan obligar a reducir los rendimientos, también cabe decir que los meses de encargo y fabricación pueden descontarse al periodo de ejecución de la obra en sí.

Todos estos plazos se verán reflejados en el plan de obra que se encontrara en el anexo nº10.

Nº	PROYECTO	LONGITUD TUNEL (KM)	COMIENZO DE LAS OBRAS	FINALIZACION DE LAS OBRAS	MESES	AVANCE MEDIO DE LA OBRA (m/mes)	MÉTODO CONSTRUCTIVO
1	LÍNEA 10 LAGO-P. PÍO	2,6	10-jul-95	26-dic-96	18	144	EPB Æ 7,38 (USADA)
2	LÍNEA 10 P. PÍO-PL. ESPAÑA	-	10-jul-95	26-dic-96	18	--	CLÁSICO DE MADRID
3	LÍNEA 4 PROLONG. HORTALEZA	2,04	16-mar-96	27-abr-98	23	89	EPB Æ 9,4
4	UNIÓN LÍNEAS 8-10	1,62	30-abr-96	22-ene-98	21	77	CLÁSICO DE MADRID
5	UNIÓN LÍNEAS 7-8	1,25	10-jun-96	16-oct-98	26	48	CLÁSICO DE MADRID
6	LÍNEA 9 PROLONGACIÓN A VICÁLVARO	4,6	22-jul-96	01-dic-98	28	164	EPB Æ 9,4
7	LÍNEA 8 MAR CRISTAL-CAMPO NACIONES	2,63	15-mar-97	24-jun-98	15	175	EPB Æ 7,38+6,52 (USADAS)
8	LÍNEA 7 DR. MARAÑÓN-GUZMÁN EL BUENO	2,48	11-nov-96	31-ene-99	26	95	EPB Æ 9,4
9	LÍNEA 7 GUZMÁN EL BUENOVALDEZARZA	2,74	11-nov-96	31-ene-99	26	105	EPB Æ 9,4
10	LÍNEA 7 VALDEZARZA-PITIS	4,51	11-nov-96	31-ene-99	26	173	EPB Æ 9,4
11	LÍNEA 1 PROLONG. A VALLECAS VILLA	2,67	17-feb-97	31-ene-99	24	111	CLÁSICO DE MADRID
12	LÍNEA 11 PROLONG. A CARABANCHEL	2,6	17-feb-97	16-nov-98	20	130	CLÁSICO DE MADRID
13	LÍNEA 4 MAR CRISTAL-PQUE. STA. MARÍA	2,31	20-may-97	15-dic-98	18	128	EPB Æ 9,4
14	LÍNEA 8 CAMPO NACIONES-BARAJAS	5,6	15-mar-97	24-jun-98	15	373	EPB Æ 9,4

Tabla nº10: Referencias de rendimientos de líneas de metro ejecutadas en Madrid

6. HOJAS DE EXCAVACION

Este apartado se redacta con el objeto de controlar una serie de aspectos que se consideran fundamentales en la excavación de túneles con tuneladora EPB, y que sirven para ejecutar el túnel con seguridad y sin riesgos, y para llevar un control adecuado de la ejecución del túnel.

Los parámetros de trabajo del Plan de avance, se facilitan al equipo de la tuneladora a través de una Hoja de Excavación que corresponde a tramos de túnel con prestaciones similares. Estas hojas hay que entenderlas como un documento vivo (análisis en tiempo real) que se actualizará continuamente en base a las condiciones existentes en cada momento, lo que va a permitir:

- Vigilar el funcionamiento incorrecto de la tuneladora y observar si las condiciones existentes son acordes con las previstas.
- Evaluar el comportamiento de la tuneladora, comprobando los parámetros principales que pueden influir en el terreno circundante y en superficie (pesos extraídos, presiones de sostenimiento del frente, volúmenes y presiones en el relleno del gap).
- Abordar inmediatamente cualquier factor de riesgo y aconsejar sobre las medidas correctoras necesarias.
- Además como información complementaria se pueden resumir los datos recogidos en la excavación de cada tramo para mediante análisis global aconsejar sobre cualquier mejora en la excavación de los tramos siguientes.

En primer lugar, se describe la hoja de excavación, así como los criterios adoptados para los niveles de alerta y alarma de los parámetros de excavación.

En segundo lugar, se analizan con detalle los parámetros de trabajo más importantes de las tuneladoras, ya conocidos por todos pero que conviene recordar para definir la hoja de excavación.

Finalmente, se plantean una serie de conclusiones y recomendaciones en cuanto a la revisión y cambio de herramientas, con la finalidad de intentar evitar desgastes excesivos de las herramientas de la rueda y sus soportes.

En la hoja de excavación se pretende recoger los datos más importantes de la excavación, en cuanto a la operación y control de la tuneladora. Por un lado, han de servir a los operadores de la máquina para tener una referencia de los parámetros adecuados en cada tramo, junto con los niveles de alerta y alarma, y por otro, servir de guía para controlar que se siguen los valores definidos previamente.

Estos parámetros fundamentales son los que se han descrito en los apartados anteriores:

- **Peso del material extraído.** Se realizarán los cálculos por tramos, teniendo en cuenta las características geotécnicas del terreno, el agua y los aditivos que se añaden a la excavación.
- **Presión en la cámara de tierras:** Se fijará, también por tramos de acuerdo a la geología, la presión teórica que será la suma de la presión hidrostática más la presión de tierras.
- **Volumen teórico de inyección de mortero.** Se calculará el volumen teórico del gap, teniendo en cuenta el diámetro de excavación de la máquina y el diámetro exterior del anillo.
- **Presión de inyección de mortero.** Como valor de referencia, se puede establecer que la presión de inyección se sitúe 0,5 bar por encima de la presión de tierras en la parte superior de la cámara.

Una vez definidos los valores teóricos, se fijarán los umbrales verde, ámbar y rojo con los criterios que se marcan a continuación en la tabla:

PARAMETRO	REFERENCIA	UMBRAL VERDE Valor de atención	UMBRAL AMBAR Valor de alerta	UMBRAL ROJO Valor de alarma
PRESIÓN DE CONFINAMIENTO EN CLAVE	P_1 (bar)	$1,05 P_1$ $>V>0,95P_1$	$1,10 P_1 >V>0,9P_1$	$V \geq 1,20 P_1$ $V \leq 0,80 P_1$
PESO MATERIAL EXTRAIDO	Q(t)	$1,10 Q >V>0,90Q$	$1,15Q >V>0,85Q$	$V \geq 1,20 Q$ $V \leq 0,80 Q$
VOLUMEN DE INYECCIÓN DE MORTERO	G (m^3)	$1,20 G >V>0,80 G$	$1,3 G >V>0,70 G$	$V \leq 0,50 G$
DENSIDAD MATERIAL EN CÁMARA	γ (t/m^3)	$\gamma \leq 1,40 t/m^3$ $\gamma \geq 1,80 t/m^3$		
ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	FIR	Mín:		
	FER	Mín:		
TEMPERATURA	t ($^{\circ}C$)	$t \geq 40^{\circ}C$	$t \geq 80^{\circ}C$	
PENETRACIÓN	i (mm/rpm)	$i \leq 5$ mm/rpm	$i \leq 3$ mm/rpm	

Tabla nº11: Valores a tener en cuenta para la excavación

Finalmente, todos estos valores se reflejarán en la hoja de excavación. Se deberá entregar una hoja por tramo, según el terreno y se actualizarán en base a las condiciones existentes en cada momento.

7. OPERACIONES DE LA TUNELADORA

7.1. RECOMENDACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN

7.1.1. CONTROL DE PRESIONES EN LA CAMARA DE TIERRAS

El material en el interior de la cámara debe cumplir algunas condiciones que naturalmente no posee, como son: baja permeabilidad, alta deformabilidad, alta capacidad de amortiguar variaciones de volumen y presión y baja abrasividad y viscosidad.

No tratar correctamente el terreno implica rendimientos bajos de avance, atascos en la cabeza, incrementos de los costes en maquinaria y reparaciones debidas a un mayor desgaste de las herramientas, dificultades para mantener la presión, etc.

Mantener la cámara llena de terreno bien acondicionado determina el correcto trabajo con escudo EPB. Es necesario garantizar que la presión que marcan los sensores se corresponde a una presión de tierras y no a la presión de los acondicionadores en la zona superior de la cámara (burbuja del aire inyectado con las espumas), es decir; verificar que no tenemos la parte superior de la cámara vacía de tierras. Si trabajamos bajo nivel freático no sólo se deben tener tierras en la zona superior, sino un material con alguna impermeabilidad para evitar que el gradiente hidráulico entre el exterior del escudo y la cámara de presión arrastre material de forma incontrolada.

Una densidad mínima del material en la cámara se puede controlar, en tiempo real, por la diferencia de presión entre los sensores situados en la zona superior y en la inmediata inferior. Este control cualitativo sirve para ver si la cámara está parcialmente llena.

Si la densidad aparente baja de 1,4 (posible referencia mínima) está indicando que en la parte superior de la cámara la fluidez del material es excesiva, siendo valores entre 1,5 y 1,6 la referencia habitual.

- Control de presión de tierras en el frente

Establecido el tipo de terreno a excavar mediante los estudios geológicos y geotécnicos realizados, se fijará una presión de trabajo teórica que será resultado del cálculo geomecánico de las presiones horizontales en cada sección del túnel.

En la excavación y aprovechando paradas cortas en el avance o durante el montaje de anillo se puede verificar la presión en reposo que carga sobre los sensores, y si la presión sube en estas condiciones se corrige en el siguiente avance elevando el valor de referencia.



Figura nº4.: Control de presiones de una EPB

Asimismo una bajada brusca de presión (en la cámara), estará indicando un condicionamiento defectuoso del terreno o una excesiva retirada de material.

Cuando se trabaja con niveles freáticos altos es muy útil disponer de un sistema automático independiente del piloto que garantice que no se producen pérdidas bruscas de presión, inyectando bentonita hasta restituir la presión de equilibrio.

Durante las paradas momentáneas o prolongadas, y con la finalidad de mantener las presiones dentro del rango de seguridad definido para cada tramo, se inyectará bentonita mediante este dispositivo automático directamente a la cámara de excavación, inyectando el volumen necesario para compensar el déficit de presión.

El criterio inicial es que se active la inyección de bentonita en el frente de forma automática e independiente siempre que la presión de referencia baje el 20% por más de 1 minuto.

El control de la presión de tierras, con sus correspondientes umbrales de vigilancia verde, ámbar y rojo junto con el control del peso del material, es fundamental para evitar posibles sobre-excavaciones y minimizar las subsidencias en superficie.

- Control de la inyección del gap

Una vez calculado el volumen teórico para rellenar el espacio anular entre el extradós de la dovela y el diámetro de corte teórico de la rueda se debe establecer un volumen de referencia. Sobre este volumen, se fijan los umbrales verde, ámbar y rojo. Las presiones de inyección se deben escoger teniendo en cuenta:

- Evitar que las aguas subterráneas o el material excavado entren en el espacio anular.
- Las posibilidades del sistema de inyección con que cuenta la máquina.
- De la capacidad del sistema de cierre en el escudo (juntas del cierre de cola).

Lo aconsejable es utilizar la máxima presión compatible con la capacidad del cierre en las juntas del cierre de cola y por la limitación en la circulación de mortero hacia el frente. Como valor de referencia, se puede establecer que la presión de inyección se sitúe 0,5 bar por encima de la presión de tierras en la parte superior de la cámara.

La inyección de mortero se realiza de forma continua por cola a medida que avanza la máquina. Hay que señalar que el procedimiento de inyección ha de limitarse por presión y no por volumen.

7.1.2. PESOS DE EXCAVACION

El control del material excavado se basa en comparar el peso teórico del terreno, con el que realmente se extrae en los avances. El proceso comienza por la determinación previa del peso del terreno (por ciclo de excavación), de acuerdo a los datos geotécnicos del terreno y teniendo en cuenta los aditivos que se añaden al terreno en la cámara de excavación. El margen de fluctuación puede ser del 10 %.

En nuestro caso concreto para una densidad media del terreno de 1,95 t/m³ y un volumen teórico extraído por avance de 189 m³, se obtiene un peso neto por avance de 368 t, este valor fluctuara dependiendo de la zona del trazado a atravesar.

Es prioritario realizar el seguimiento de la evolución del peso del material excavado durante el avance de la excavación y si se comprueba que la progresión de pesos supera el rango establecido se deberán tomar las medidas necesarias para, en cada caso, solventar la situación. A modo de ejemplo:

- Si se observa sobrepeso, se disminuye la velocidad de extracción por el tornillo sinfín.
- Si el peso del material excavado (en el avance del anillo) está fuera de los rangos establecidos se efectuará un calibrado de básculas durante el montaje del anillo. Si el calibrado no da errores de las básculas en el pesaje, se reinyectará mediante inyección secundaria desde el back-up y en los casos que el peso del material excavado alcance el umbral rojo se parará la tuneladora, se avisará al responsable para solventar la situación y adoptar las medidas de seguridad que se requieran.

El control en la evolución de los pesos con relación al avance se podrá verificar controlando parámetros en la tuneladora, así, si la evolución avance/peso mantiene una pendiente constante indicará (junto con el peso total final) la normalidad de la excavación.

Siempre habrá dificultad para el control del peso excavado y por tanto para la determinación de posibles sobre-excavaciones en tiempo real. Esta dificultad está determinada por la fiabilidad en la determinación de los pesos mediante las básculas colocadas en las cintas de evacuación del escombros, por las variaciones de la densidad del material excavado en la cámara y por los aditivos inyectados para el acondicionamiento del terreno.

La fiabilidad de las balanzas se mejora con una calibración sistemática en base a frecuentes contrastes con pesas. Periodo de calibración mínimo, cada 15 anillos, tara circulación cinta en vacío, una vez al día durante el montaje del anillo.

Como experiencia de la ejecución de los túneles de la ampliación anterior, el empleo de la báscula ha servido para que los propios operarios tengan el valor de pesaje como referencia y estén pendientes de ello durante la excavación.

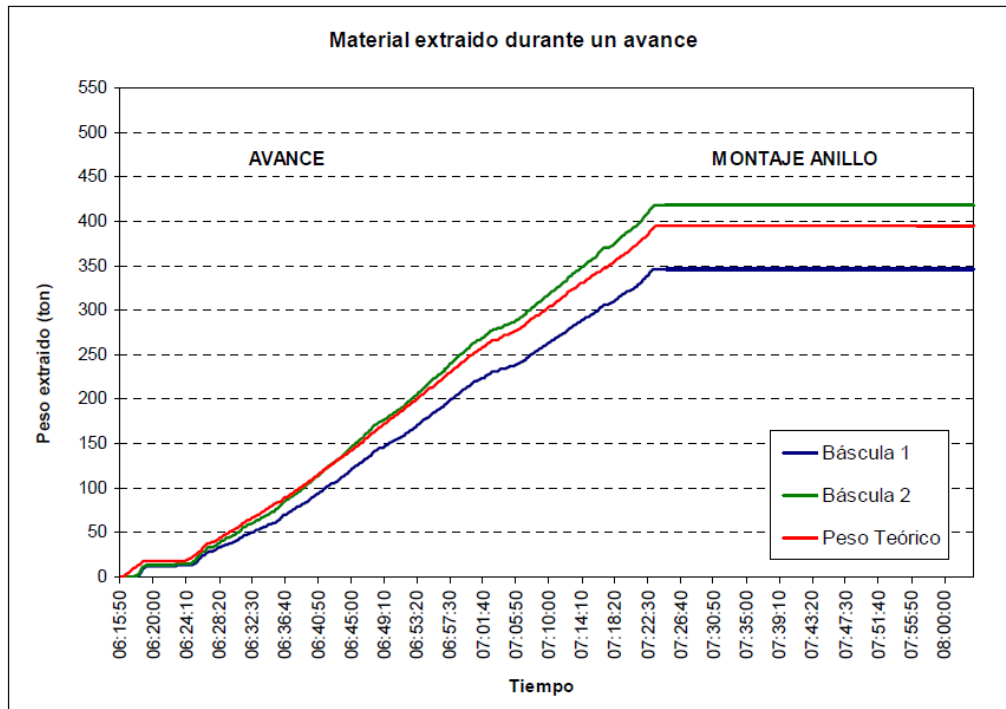


Figura nº5. Evolución peso material extraído vs avance tuneladora.

7.1.3. PENETRACION Y VELOCIDAD DE AVANCE

La velocidad del avance es uno de los parámetros de mando de la tuneladora. La velocidad está medida por la elongación de los gatos de empuje por tiempo en [mm/min]. El empuje es, en parte, la respuesta a la velocidad que se pretende alcanzar.

La velocidad del avance resulta de la penetración y de la velocidad de rotación de la rueda de corte, que es otro parámetro de mando de la tuneladora. La penetración es la traslación de las herramientas de corte en la dirección longitudinal recorrida durante un giro completo de la cabeza de corte en [mm/giro]:

$$pen \left[\frac{mm}{giro} \right] = \frac{v_{avance} \left[\frac{mm}{min} \right]}{v_{rot} \left[\frac{giro}{min} \right]}$$

Cuando cambia la velocidad del avance y/o la velocidad de rotación de la cabeza, automáticamente cambia también la penetración.

Los valores habituales para la velocidad de avance estarán alrededor de los 30 a 50 mm/min pudiendo alcanzar hasta 80 mm/min. En condiciones de excavación normal la velocidad de rotación será de aproximadamente 1 a 1,3 rpm, obteniendo así un rango de penetración habitual entre 20 y 50 mm/rev.

En el caso del paso a través de las pantallas de pozos y corralitos y de terrenos de alta capacidad portante, la velocidad de rotación se puede incrementar hasta a 3 rpm y la velocidad de avance disminuir a 5-10 mm/min resultando penetraciones del orden de 2-4 mm/rev.

7.1.4. EMPUJE Y PAR

El empuje está medido por la presión hidráulica en los gatos de empuje multiplicado por la sección de los gatos en [KN].

El empuje está compuesto por las componentes siguientes:

- Las fuerzas F_{art} y F_{back} para tirar adelante el escudo de cola y el back-up; estas componentes están medidas por la presión hidráulica en los gatos de articulación y del back-up,
- la resistencia de la fricción entre escudo y suelo F_{fr} ; esta fuerza está estimada por la superficie del escudo multiplicado por un coeficiente de fricción supuesto,
- la fuerza resultante F_{pr} de las presiones de tierra y agua; esta fuerza está calculada sobre la base de las presiones medidas en la cámara de tierras,
- la fuerza entre la cabeza de corte y el terreno F_{cdc} que es un parámetro importante para la interpretación del estado de las herramientas de corte. Las tuneladoras que no tienen instalado un sistema para poder mover la cabeza de corte en dirección longitudinal con ayuda de gatos hidráulicos que permitiría una medición directa, este componente se calcula por el equilibrio de todas las fuerzas.

La última componente F_{CDC} es la respuesta directa de la tuneladora a la penetración. En condiciones geológicas constantes, la fuerza de la cabeza de corte cambia con la variación de la penetración.

En condiciones normales, la fuerza F_{pr} que resulta de la presión de trabajo es la componente más grande del empuje. Por ejemplo, de una presión media de 2 bar resulta una fuerza de $2 \times 100 \times 11,5^2 \times 0,25 \times \pi = 20,773$ kN.

La fuerza de la articulación está influenciada por la fricción entre el escudo y la superficie del perfil excavado y entre los cepillos y el anillo de dovelas. Cuando los anillos están montados concéntricamente la fuerza de la articulación es mínima. La fuerza para mover los cepillos a lo largo de los anillos aumenta cuando el tubo formado de los anillos no sigue bien el trazado excavado del túnel o cuando la cabeza de corte cambia la dirección demasiado rápidamente. Estas situaciones pueden dañar seriamente los cepillos.

El PAR en [KNm] está estimado por la admisión de energía eléctrica de los motores del accionamiento principal. El par es la fuerza necesitada para girar la rueda de corte. Sus componentes principales son la resistencia del material comprimido que está en la cámara de tierras contra la rotación de la rueda de corte, la resistencia del terreno contra la rotación de las herramientas y la fricción entre la estructura de acero de la cabeza de corte y el frente.

El par dependerá en su mayoría del condicionamiento del terreno excavado. La inyección de espuma, en general, causa una disminución de la fricción interna del material excavado y resulta en un descenso del par. Cuanto más líquido es el material, más bajo resulta el par. Pero también, cuanto más líquido es el material, más difícil resulta el control de la presión de trabajo y de la cantidad del material extraído.

7.1.5. INYECCION DE MORTERO

En un escudo de estas dimensiones ($\varnothing_{exc.} \approx 11,55$ m), los anillos de dovelas del revestimiento ($\varnothing_{ext} \approx 11,16$ m), que se colocan dentro de la cola de la máquina, dejan, al avanzar ésta, un espacio ("gap") entre anillo y terreno de unos 19 cm que ha de rellenarse de inmediato con mortero de cemento.

Si tenemos presente que cada avance es de 1,8 m, se forma un gap entre anillo y terreno teórico de $12,5 \text{ m}^3$ que se irá rellenando con el mortero de cola a medida que avanza la excavación.

La tuneladora dispone de 8 puntos de inyección, repartidos por perímetro de la cola del escudo.

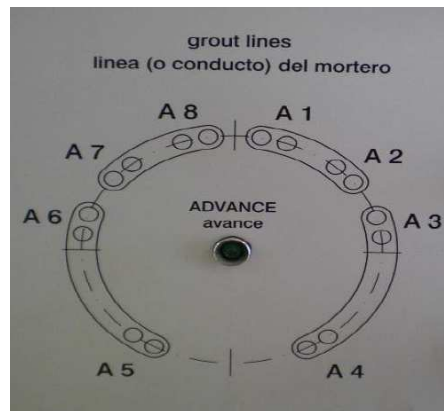


Figura nº6: Esquema posición líneas inyección de mortero

La misión principal de este relleno es bloquear a los anillos en la excavación, evitando asentamientos y, por otra parte, ayudar a que el agua del terreno no se filtre a través de las juntas entre dovelas de un anillo, o entre anillos.

En general, el mortero se diseñará para que el inicio del fraguado no se produzca hasta pasado el tiempo mínimo de la puesta en obra (entre 5 y 7 horas). Para ello el material “conglomerante” estará formado de cemento y “filler” calizo.

Además de realizar una inyección continua por la cola, el mortero se debe bombear a una presión superior a la de confinamiento. Además, en las zonas con gran cantidad de agua y carga freática será aditivado en prevención del efecto lavado.

Para evitar esto en las zonas con agua, se deben tomar las medidas siguientes:

- Reducir al mínimo posible el tiempo del inicio de fraguado
- Añadir aditivos para lograr un mortero “anti-lavado”
- Exigir una resistencia a compresión mínima del orden de los $5 \text{ a } 6 \text{ N/mm}^2$.

Con estos objetivos, nos proponemos trabajar con dos dosificaciones:

- **Mortero “anti-lavado”:** Tramos con agua (en general, bajo freático).
- **Mortero de arranque:** Con más cemento para mejorar resistencias (dotación mínima de 150 Kg/m³ en el conglomerante).

A continuación se definen algunas recomendaciones básicas relativas a la fabricación de morteros para el relleno del trasdós de los anillos, tomando como base las últimas experiencias en la construcción de obras de Metro con tuneladoras EPB.

- Recomendaciones

De los estudios y experiencias realizadas se derivan una serie de observaciones que se exponen a continuación:

1. Debe lograrse la estabilidad del producto de relleno (mortero) en presencia de agua y debe permanecer homogéneo durante el almacenamiento y el transporte.
2. Tiene que ser o volverse bombeable tras un corto remezclado, para evitar riesgos de obstrucción en las tuberías de inyección.
3. El uso de arena silíceo debe evitarse porque se ha comprobado repetidamente su reiterada coincidencia con los atascos del circuito de inyección.
4. La granulometría de la arena caliza debe aproximarse en lo posible a usos de tipo continuo, que aseguran la facilidad de bombeo.
5. El tamaño máximo de la arena no debe superar los 4,8 mm. y es recomendable que el porcentaje de tamaños menores de 2 mm. represente, al menos, un 50%.
6. Deben emplearse morteros de fraguado lento, ya que se trata de sustituir el volumen excavado en exceso (“gap”) de un terreno cuya calidad siempre será inferior a la del mortero de relleno.
7. Cada constructor debe establecer las dosificaciones más adecuadas a su equipo y a los áridos que emplee.
8. Es recomendable que el contratista disponga de planta de fabricación de mortero en obra, lo que ofrece la posibilidad de variar con rapidez la dosificación. No obstante, si se compran morteros preparados lo recomendable es disponer en obra de una instalación básica de mezclado con posibilidad de variar la dosificación de los aditivos.

- Control del fraguado y resistencias del mortero

En cuanto al control del inicio y final del fraguado lo conveniente es moverse en los siguientes límites:

- Inicio de Fraguado.....Entre las 5 y 8 horas
- Fin de Fraguado.....Entre + 1,5 y + 3 horas después del inicio

En cuanto a resistencias a compresión se recomienda respetar los valores:

$$RCS\ 1\ día \geq 1,25\ N / mm^2$$

$$RCS\ 28\ días \geq 7,5\ N / mm^2$$

- Dosificaciones del mortero

Solo a título orientativo se recomienda ensayar dosificaciones en torno a lo siguiente:

- **Mortero activo normal (terreno seco)**

Cemento.....	80 a 100 Kg / m ³
Cenizas.....	250 Kg / m ³
Arena.....	1500 a 1480 Kg / m ³
Aditivos.....	8 a 14 l / m ³
% Agua de amasado.....	17%

En las zonas que se pueden entender como particulares, el mortero para el relleno del “gap” convendría cumpla las siguientes condiciones:

- **Inicio y salida de la tuneladora:** Morteros más ricos en cemento, en base a mejorar resistencias (cemento entre 150–200 Kg/m³, cenizas en el entorno a los 350 Kg/m³).
- **Excavación en zonas con gran cantidad de agua y carga freática:** Mortero activo normal aditivado en prevención del efecto lavado, y de la reducción de la exudación y segregación.

- Control de calidad de las Inyecciones

El control de la eficacia en las inyecciones del mortero de relleno de los anillos se hace mediante sondeos con recuperación de testigo. El diámetro del sondeo conviene sea > 42 mm. y con una longitud mínima de 300 mm. Los sondeos deben indicar que el espacio entre el trasdós de la dovela y el terreno se encuentra relleno de mortero. Al inicio de los trabajos deben extraerse tomas al menos cada 50 anillos y, si los controles anteriores han sido satisfactorios, pueden aumentar hasta los 150/200 anillos. Las zonas donde al extraer muestras se detecten huecos, deberán ser reinyectadas.

En el apartado 7.2.2. de este anexo se describen los morteros de relleno del trasdós usados habitualmente y sus aditivos.

7.1.6. INYECCION DE MORTERO INERTE

Dada la conicidad del escudo y con la intención de llevar a cabo un mejor control de los asientos se inyectará bentonita en el espacio anular, escudo-terreno, a una presión superior en 0,2 bar a la presión de confinamiento en clave. El volumen teórico a inyectar por anillo, considerando el espacio anular entre el escudo y el terreno excavado es de 2.000 l aproximadamente, si bien podrá limitarse si con ello se viese afectada la presión en clave de la cámara de tierras.

Las experiencias obtenidas hasta el momento indican que la inyección de un volumen teórico de bentonita puede llegar a provocar entradas de bentonita por la cola del escudo y derivar en un incremento de las presiones de inyección de mortero. Por esta razón y en función de la geología a atravesar, o si se generan roles importantes se limitará el volumen a inyectar.

Así pues, inicialmente y si no se produce ninguna de las acciones descritas anteriormente se inyectarán entre 1.600 y 2.000 l de bentonita por avance.

7.1.7. INYECCIONES SECUNDARIAS

Estas inyecciones tienen por objeto completar el llenado de los espacios vacíos, que no hayan sido rellenados con la inyección de cola.

Las inyecciones secundarias se realizan en el back-up y a suficiente distancia del último anillo colocado para evitar circulación de lechada hacia el escudo, pero no demasiado lejos para evitar que si hay espacios vacíos en terrenos inestables, estos espacios emigren hacia arriba antes de realizar la inyección.

7.1.8. TRATAMIENTO DEL TERRENO: FIR Y FER

El tratamiento del material excavado es necesario realizarlo a fin de obtener una consistencia, homogeneidad y plasticidad adecuada que permita una distribución correcta de las presiones ejercidas sobre el frente de excavación. Asimismo, en terrenos permeables y bajo el nivel freático el escombro debe de tener la impermeabilidad necesaria para que se produzca una pérdida adecuada de la carga hidráulica total a lo largo de la cámara y del tornillo sinfín.

En terrenos de carácter arcilloso el acondicionamiento persigue evitar el apelmazamiento del material y reducir el par de la cabeza de corte y la fricción en el tornillo sinfín.

Existen dos parámetros que definen la cantidad y calidad de estas espumas y que son controladas por el piloto de la tuneladora en función del tipo de material:

- Tasa de expansión de la espuma

$$FER = \frac{V_{\text{aire}}}{V_{\text{agua}} + V_{\text{tensoactivo}}} \quad (\text{foam expansion ratio})$$

- Tasa de inyección de espuma

$$FIR = \frac{V_{\text{espuma}}}{V_{\text{mat. excavado}}} * 100 \quad (\text{foam injection ratio})$$

Los elementos empleados para el tratamiento del material excavado suelen ser: espumantes, tensoactivos (generadores de espuma); polímeros (retienen y confinan el agua además de lubricar); aire; agua; finos (eventualmente, cuando el porcentaje de finos del terreno < 10%); bentonita (eventualmente).

La elección de los elementos más apropiados en cada caso depende básicamente de las características químicas del terreno, la granulometría del material excavado y de la cantidad y presión de agua existente en el terreno.

El agua añadida a la cámara de escombros depende de las características químicas del terreno y de la cantidad de agua que éste tenga. Valores entre los que puede variar esta dotación son: 20 – 120 l/m³ por anillo. La concentración de agente espumante lo puede hacer entre 2% y 5%. La solución de agua y agente espumante junto con el aire producen la espuma. Se pretende formar en el interior de la cámara una mezcla de suelo, agua y aire en las proporciones adecuadas para obtener las propiedades de consistencia, trabajabilidad e impermeabilidad requeridas. Cada tipo de suelo requiere proporciones diferentes de esos tres componentes, que se regularan desde la cabina de mando, por el piloto y que tienen elecciones muy dispares según como vayan resultando los parámetros de excavación.

En suelos aluviales situados bajo el nivel freático y con un cierto carácter granular, las proporciones volumétricas de los distintos elementos dentro de la cámara pueden fluctuar entre: partículas sólidas (40% - 60%); agua (20% - 35%) y aire (15% - 35%).

El terreno, la forma de mezclado en el interior de la cámara, la velocidad de avance y la velocidad de giro, todo ello junto con el acondicionamiento que se le da al escombros y la velocidad de giro del tornillo sinfín, determinan y gobiernan la presión total y efectiva del escombros dentro de la cámara.

7.1.9. CONDICIONES DEL FRENTE DE EXCAVACION Y DE LOS PARAMETROS DE OPERACIÓN DE LA TUNELADORA

La operación de la máquina EPB depende de manera crítica del acondicionamiento del terreno para modificar las propiedades en base a que se pueda emplear como medio de sostenimiento del frente. El terreno rara vez posee propiedades que le permitan ser fácilmente moldeado y confinado al nivel de la presión que se requiere en el frente de excavación, siendo decisivo el análisis de los parámetros de excavación (fundamentalmente empuje total y de contacto, par de giro y penetración de la máquina) para:

- Mejorar el conocimiento de cómo las propiedades del escombros afecta a la operación de la tuneladora, y sucesivamente al rendimiento y la seguridad.

- Investigar como distintos tipos de tratamiento afectan a la operación de la tuneladora.
- Analizar el efecto de los parámetros de operación en los asentamientos en superficie causados por la excavación
- Analizar la influencia de las propiedades del escombro en el funcionamiento del tornillo sinfín.

Y en particular:

- La combinación del empuje de contacto de la rueda de corte, de la velocidad de avance y del consumo de herramientas de corte podrán dar una idea clara de las condiciones del terreno en el frente de excavación.
- Cambios bruscos en los parámetros de operación presuponen problemas en el tratamiento del terreno y si además desciende de forma drástica la penetración y aumentan el empuje de contacto y el par de giro serán claro síntoma de compactación del escombro en la cámara y/o en la rueda de corte.

7.1.10. ADECUACION DE PARAMETROS SEGÚN REGISTRO DE ASIENTOS

La instrumentación nos sirve para analizar si las presiones de trabajo utilizadas en la tuneladora son correctas. Si se producen asentamientos, la presión debe ser corregida al alza y de la misma manera si se produce una elevación del terreno el resultado es una presión alta que debe ser corregida a la baja.

Por ello, es interesante realizar un seguimiento continuo de los asentamientos en superficie, junto con los parámetros de funcionamiento de la tuneladora y las características del terreno.

7.2. CONSUMIBLES

7.2.1. ADITIVOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

Como se ha detallado en apartados anteriores, el principio de funcionamiento de una tuneladora del tipo EPB (Escudo de Presión de Tierras) es el de sostenimiento del frente de excavación mediante el propio material de excavación debidamente acondicionado. Para poder emplearse como medio de sostenimiento del frente el material excavado debería tener las siguientes propiedades:

- Buena deformación plástica.
- Consistencia blanda a viscosa.
- Baja fricción interna.
- Baja permeabilidad.

Normalmente ningún terreno tiene todas estas propiedades, ni antes ni después de la excavación, de modo que el material debe ser acondicionado.

Por todo ello el papel que juegan los aditivos acondicionadores en las EPB es el de mejorar las propiedades del suelo aumentando la compresibilidad o esponjosidad y reduciendo la resistencia al corte y permeabilidad. El objetivo es hacer el suelo más plástico, reduciendo su fricción interna y disminuyendo la permeabilidad. Si no se llegan a cubrir estos objetivos es posible que se produzcan bloqueos o taponamientos de la cabeza de corte, pegajosidad o problemas en el desescombro. Sin la ayuda de los acondicionadores de terrenos el empleo de máquinas EPB estaría limitado únicamente a suelos muy finos.

Con los aditivos de acondicionamiento del terreno inyectado en el frente y la cámara de excavación básicamente lo que se consigue es:

- Bajar el ángulo de rozamiento interno y la abrasividad de la mezcla del suelo para reducir la energía de excavación y desescombro, así como los desgastes.
- Generar un comportamiento plástico en las deformaciones, una presión de sostenimiento uniforme y controlada aumenta la estabilidad del frente y reduce la segregación y por lo tanto el riesgo de asentamientos.

- Ajustar la consistencia del suelo para permitir la excavación del túnel mediante tuneladoras (TBM).
- Reducir la viscosidad de las arcillas plásticas que puede conducir a la obstrucción del desescombro.
- Reducir la permeabilidad del suelo para reducir al mínimo las filtraciones de agua.

Las espumas de inyección al frente incluyen aire al escombro de excavación en forma de “burbujas” haciendo que éste sea más esponjoso, se consigue así reducir el ángulo de rozamiento entre las partículas, rebajando la fricción y la abrasión. También se consigue así generar una masa plástica que sirva de sostenimiento del frente durante los avances.

Especialmente significativo es el caso de excavaciones en suelos altamente cohesivos, con elevado contenido en arcillas. Aquí los aditivos anti-atascos o desestructurantes más propiamente dichos suelen emplearse para prevenir los atascos derivados de la pegajosidad de las arcillas sobre la cabeza de corte. Estos aditivos son de tipo polimérico y basan su funcionamiento en un efecto de floculante y dispersante de las arcillas, favoreciendo la disgregación de los bloques. También impiden la adherencia de las arcillas a las superficies metálicas de la rueda de corte y de la cámara de excavación. Gracias a ello es posible evitarla formación de densos bloques o “tapones” y con ello reducir el par de giro de la cabeza de corte y facilitar un flujo continuo de entrada del material excavado del frente al interior de la cámara de trabajo.

Como punto de partida para el acondicionamiento del terreno en el presente túnel se han tomado como datos de partida varios productos de varios proveedores de aditivos químicos que se han empleado en diversos túneles con características similares, aunque tanto las dosificaciones como los aditivos empleados para cada terreno se irán viendo a medida que avance la TBM.

- Para un terreno a base de una mezcla de gravillas, arenas y arcillas. Es relativamente fácil de tratar. Añadiendo un 10% en volumen de agua, podemos trabajar con una espuma seca que garantiza un terreno homogéneo que permitirá un buen control de la presión. El tratamiento con agente espumante es de 0,3 l/m³.

$$CF=1\%, FER=16, FIR=60\%.$$

- Para un terreno que consta de una mezcla de arcillas con una proporción de limo. Es relativamente fácil de tratar. La proporción de agua en el terreno es muy baja y tenemos que añadir un 15% de agua en volumen. Eso nos permitirá trabajar con una espuma seca que mezclada con el terreno proporciona un buen control de la presión. El tratamiento con el agente espumante es de 0,6 l/m³.

$$CF=2\%, FER=16, FIR=60\%.$$

- Si se trata de una arcilla seca. Este terreno requiere una gran cantidad de agua que le vuelve a ser maleable. Se añade un 30% de agua. Añadir un desestructurante de arcillas, sea puro o sea diluido en agua facilita la incorporación de la espuma en el terreno. De esta manera se proporciona lubricación y reduce el riesgo de pegajosidad. El consumo sería de 1,33 l/m³ (agente espumante) + 2,3 l/m³ (agente desestructurante).

$$CF=5\%, FER=12, FIR=60\%.$$

- Terrenos con predominancia de finos y humedades naturales en torno al 10 %.
 - Valor inicial de saturación con agua de las muestras entre el 25 % y el 40 % de su límite de saturación.
 - Se recomienda un tratamiento de choque con el defloculante de arcillas al 1,5 % para reducir la pegajosidad del terreno y un posterior acondicionamiento con el agente espumante biodegradable estándar en una solución al 2 %. Ajustes en obra podrán determinar la idoneidad de la adición del defloculante como aditivo sobre el caudal de solución espumante.
 - La tasa de expansión (FER) de la espuma debe alcanzar valores de aproximadamente 13.
 - La tasa de tratamiento (FIR) de la espuma no debe superar un valor aproximado del 60 % - 80 %.

7.2.2.MORTERO DE RELLENO DEL TRASDOS Y SUS ADITIVOS

Como hemos visto en el apartado 7.1.5. del presente documento, se detalla las características del mortero emplear para el relleno del trasdós, así como los aditivos. Antes del comienzo del Túnel se realizara una campaña de pruebas experimentando con varias

dosificaciones hasta encontrar una dosificación tipo que nos sirva como punto de partida para los diferentes tipos de mortero a emplear en la ejecución del túnel.

Se tomaran dosificaciones probadas y empleadas en otras tuneladoras, por ejemplo el mortero empleado en la construcción del Túnel de conexión Sants-Sagrera (Línea de Alta Velocidad en Barcelona). Los datos obtenidos durante la campaña de ensayos de este túnel son: resistencias de 1,2 N/mm² a las 24 horas, 7,5 N/mm² a los 28 días, estabilización durante 6 a 8 horas, periodo de fraguado de 2 a 3 horas pasada la estabilización, bombeable y no disgregable. Las arenas y el filler fueron todas de procedencia de PRONSA (empresa de Hormigones y Áridos), el cemento fue del tipo CEM II/B-L 32,5 N. El agua utilizada para la elaboración del mortero de la red y los aditivos de la marca BASF.

- Plastificante: Polyheed 350
- Cohesionante: Meyco GA 40
- Estabilizante: Delvocrete Stabilyzer E

La formula obtenida para el mortero de relleno de trasdós de túnel de conexión Sants-Sagrera fue:

COMPONENTE	kg/m ³
FILLER CALIZO	150
ARENA 0/2	877
ARENA 0/4	439
AGUA	205
CEM II/B-L 32,5 N	200
PLANTIFICANTE	6,18 (3,09% s.p.c)
COHESIONANTE	0,25 (0,13% s.p.c)
ESTABILIZANTE	0,40 (0,20% s.p.c)

CONSISTENCIA (CM)	26
AGUA/CEMENTO	1,02
AIRE OCLUIDO (%)	3,5
DENSIDAD FRESCO (kg/m ³)	2.108
INICIO FRAGUADO	6h. 25min.
FINAL FRAGUADO	8h.57min.
COMPRESIÓN 1 días (N/mm ²)	4,31
COMPRESIÓN 7 días (N/mm ²)	8,12
COMPRESIÓN 28 días (N/mm ²)	12,02

Hay que indicar que, aunque esta dosificación cumplió para esa obra los requerimientos deseados, no la consideraremos definitiva, sino como punto de partida para validar otras dosificaciones aptas, ya que el tipo de áridos de una zona a otra es distinta, así como el cemento y el agua.

Antes del comienzo de la obra se buscara la fórmula más adecuada para este mortero, teniendo como base la anterior.

7.2.3. BENTONITA Y SUS ADITIVOS

Los lodos bentoníticos empleados en las tuneladoras se hacen mediante mezcla de agua y bentonita. Estos lodos adquieren propiedades tixotrópicas, formando geles a concentraciones que varían entre el 3 % y el 6 % en volumen.

El nombre bentonita se emplea para agrupar un rango de minerales de la familia de las arcillas, generalmente, montmorillonitas potásicas, cálcicas y sódicas. Las montmorillonitas están formadas por una agrupación de hojas o placas de mineral arcilloso y tienen la propiedad de absorber agua e hincharse. El agua es absorbida entre las caras interna y externa de dichas placas de arcilla debido a la debilidad eléctrica de los enlaces existentes entre ellas.

En la industria de los túneles se prefiere el empleo de bentonitas sódicas porque son las que mejores propiedades de dispersión tienen, dando una mayor viscosidad que otros tipos para una misma densidad de lodo. En los casos en que esto no es posible se recurre a bentonitas cálcicas químicamente activadas, en las que se produce una sustitución de los iones calcio que poseen de forma natural por iones de sodio provenientes del medio de activación, siendo el rendimiento del producto análogo al correspondiente sódico natural.

Los lodos bentoníticos en las tuneladoras EPB se emplean comúnmente para la reducción de la permeabilidad en formaciones abiertas a la hora de ejecutar intervenciones en la cabeza o cámara de excavación bajo condiciones hiperbáricas. La formación de la membrana impermeable o *cake* posibilita ejercer las presiones necesarias para el sostenimiento del frente en terrenos no cohesivos, pudiendo de este modo acceder a los elementos de interés bajo condiciones de sobrepresión, normalmente en presencia de nivel freático.

Para la mejora de las propiedades del lodo bentonítico en lo que a la formación del “cake” se refiere, suelen emplearse aditivos químicos que espesan la bentonita dándole una consistencia mayor para favorecer la creación de la membrana impermeable.

Nuestras experiencias en intervenciones hiperbáricas en terrenos predominantemente granulares, con tamaños medios a gruesos, nos aconsejan el empleo de lodos bentoníticos con la siguiente dosificación:

Por cada metro cúbico de lodo bentonítico:

- 1.000 litros de agua.
- 125 kg. de Bentonita.
- 10 litros de aditivo químico espesador.

En terrenos arenosos con reducida proporción de finos se ha demostrado que basta con la siguiente dosificación:

Por cada metro cúbico de lodo bentonítico:

- 1.000 litros de agua.
- 125 kg de Bentonita.
- 1 litro de aditivo químico espesador.

En terrenos con apreciable proporción de finos basta con un lodo bentonítico enriquecido sin necesidad de aditivos, en el entorno de 150 kg de bentonita por cada metro cúbico de agua. Finalmente indicar que en terrenos estables, como las margas o margas arcillosas, basta un lodo más ligero, en el entorno de 100 kg de bentonita por cada metro cúbico de agua.

7.2.4. GRASAS Y ACEITES

La tuneladora, como cualquier otra máquina, necesita una serie de aceites y grasas de lubricación general de sus sistemas mecánicos. Por otro lado también existe una necesidad de grasas especiales, como son las grasas de sellado del rodamiento principal y de sellado de la junta de los cepillos de cola. A continuación se detallan todos estos productos:

- *Aceite de Lubricación del Rodamiento Principal:* Se emplea para lubricar los piñones del rodamiento principal de la rueda de corte.
- *Aceite de Lubricación de las Reductoras de la Motorización:* Se emplea para lubricar las reductoras de los motores de la rueda de corte.
- *Aceite para sistemas Hidráulicos:* Se emplea para todos los sistemas de impulsión hidráulica, tales como los gatos principales de empuje, los motores hidráulico del tornillo sinfín, el desplazamiento axial de la rueda de corte, los gatos de arrastre de la tuneladora, la mesa de dovelas, los motores de rotación del erector de dovelas, etc.

- *Grasa de Engrase General:* Empleada en el engrase de gran parte de los elementos móviles, especialmente; tornillo sinfín, erector de dovelas, accionamiento principal, junta giratoria, rodamientos de los agitadores de mortero, etc., así como para los engrases manuales.
- *Grasa de Sellado del Rodamiento Principal:* Para sellar la cavidad del cuerpo del rodamiento principal que da a la cámara de excavación e impedir la contaminación por finos procedentes del escombros de excavación.
- *Grasa de Sellado de los Cepillos de Cola:* Estas grasas se emplean como sellado de los cepillos de la junta de cola, su misión consiste en crear un sello impermeable frente al mortero de relleno del trasdós de los anillos, de forma que no pueda acceder al interior del escudo. Se emplearán dos grasas, una de viscosidad más elevada para el primer engrase de los cepillos y otra para la continuación, una vez que ha comenzado la tuneladora a excavar.

7.3. REVISION DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

7.3.1. SEGUIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS

En base a la experiencia desarrollada en otros Proyectos en los que se han utilizado tuneladoras EPB, por una parte y, por la otra las características de los terrenos a excavar, se recomienda:

1. En puntos considerados como seguros se realizará un mantenimiento general del conjunto maquina/back-up.
2. Revisiones periódicas de las herramientas de corte en el intervalo de 100 a 150 anillos que se reducirá a 40-50 anillos en el tramo inicial de la excavación para comprobar la respuesta de las herramientas al avance y en los terrenos del Terciario y del Cretácico de la Formación Oviedo, que son terrenos más duros y pueden causar mayor desgaste a las herramienta.

Las revisiones y sustitución de herramientas se realizaran “en abierto” en los pozos ejecutados para este fin.

El resto de intervenciones, se realizarán en condiciones hiperbáricas que permitan estabilizar el frente sin riesgo de que el terreno pueda fluir violentamente hacia la cámara y afectar gravemente a los trabajadores y al entorno urbano.

Veremos en el apartado 7.3.3. los preparativos de antes del inicio de la primera de este tipo de intervenciones y presentaremos un protocolo que describa el procedimiento de presurización del frente (con aire) y los sistemas de emergencia previstos en caso de descompresión o pérdidas de aire que impidan la continuidad de los trabajos.

Como sistema complementario de ayuda a los trabajos de revisión y reposición de herramientas, la TBM dispone de un sistema de detección de desgastes de herramientas, con varios sensores instalados en la estructura de la rueda de corte que ocupan pistas de las herramientas y permiten controlar el desgaste real de las mismas detectando cuando se alcanza el límite recomendado para el cambio. Este sistema, no se utilizará inicialmente como medio exclusivo para la detección de desgastes, solamente una vez este comprobada

su fiabilidad, según el resultado real de las dos o tres primeras inspecciones se podrá tomar como guía.

7.3.2. REVISION Y CAMBIO DE HERRAMIENTAS EN POZO

En los distintos pozos repartidos a lo largo del trazado del túnel se efectuará la revisión de la tuneladora en condiciones atmosféricas, pudiendo acceder a la rueda y las herramientas de corte directamente desde el exterior, mediante el empleo de sistemas de elevación (plataformas o cestas) o bien mediante andamios que permitan una superficie de trabajo estable mucho mayor.

Durante la revisión de las herramientas se generará una ficha de inspección en la que se detallará el estado en que se encuentran las herramientas, tanto picas como cortadores y se comprobará in situ el historial de cada una de las herramientas, analizando la longitud excavada por cada herramienta, la fecha en que se cambió por última vez y la naturaleza del terreno excavado en ese intervalo, especialmente en lo concerniente al porcentaje del contenido en finos (tamaños menores de 0,08 mm) y del contenido en cuarzo. Información que se puede obtener a partir de los estudios geológicos y que conviene contrastar con análisis periódicos del material de excavación.

A la vista del estado en que se encuentre se decidirá la conveniencia o no de la sustitución. Se reemplazarán las herramientas que presenten la pérdida de alguno de los elementos de corte (pastillas de widia o carburo de tungsteno) o del elemento soporte de las mismas, en el que van encastradas. Como norma general se sustituirán las herramientas que presenten un estado de desgaste tal que no permita llegar hasta el siguiente punto de revisión en condiciones óptimas.

Los cortadores se comprobarán con las “galgas” suministradas por el fabricante, sustituyéndose los que no cumplan los mínimos. Asimismo se sustituirán los que se hayan gripado y los que presenten un “plano”.

7.3.3. REVISION Y CAMBIO DE HERRAMIENTAS EN AMBIENTE HIPERBARICO

A continuación procederemos a describir todos los preparativos, operaciones de puesta en marcha y finalización de los trabajos en ambiente hiperbárico. Se marcarán las pautas a

seguir y las responsabilidades del personal técnico y operativo implicadas en los trabajos a realizar.

Los trabajos en ambiente hiperbárico que se vayan a realizar, se pueden clasificar en:

- Trabajo de inspección.
- Trabajo de mantenimiento/repelación.

PUNTOS DE INTERVENCIÓN HIPERBÁRICA

La intervención hiperbárica de inspección es una operación de control del estado general de la cabeza de corte, en particular de las herramientas de corte. Como norma general las inspecciones se deberían realizar aproximadamente cada 300 m, sin embargo las paradas deberán referenciarse a la geología del material de excavación y al estado de las herramientas observado hasta la fecha.

En caso que se estén observando parámetros de excavación normales, que indiquen con seguridad que no se está presentando desgaste de herramientas, podría plantearse no realizar una inspección programada y continuarse hasta el próximo punto programado de inspección. En caso de observar anomalías durante la excavación, debe plantearse una intervención de inspección no programada.

En función de lo observado en una inspección se planteará la posibilidad realizar el cambio de herramientas de corte a continuación de la inspección, o de programarlo para otro momento.

En cualquier caso para plantear una intervención hiperbárica debe abordarse con las suficientes garantías para evitar afecciones en superficie. Deben considerarse como mínimo los siguientes datos, antes de plantear una parada de intervención:

1. Características de la superficie (vía pública, propiedad privada, zona con acceso restringido...).
2. Distancia a edificios próximos.
3. Existencia de servicios (electricidad, gas...) en superficie, en la zona de influencia de la tuneladora.

4. Tipo de terreno en el que se plantea parar la tuneladora.
5. Tipo de terreno que haya sobre la clave de tuneladora hasta la superficie.
6. Cobertura sobre clave de la Tuneladora.

Se recomienda hacer la intervención en zonas sin acceso al público, y sin presencia de servicios afectados.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Manual TBM-EPB
- Real decreto 863/1985 de 2 de abril. Reglamento general de normas básicas de seguridad minera. BOE de 12 de junio
- Real decreto 485/1997 de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE de 23 de abril.
- Real decreto 773/1997, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización para los trabajadores de equipos de protección individual. BOE de 12 de junio.
- Real decreto 1215/1997, de 18 de julio. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización para los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE de 7 de agosto. Modificado por el Real decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, BOE de 13 de noviembre.
- Orden de 14 de octubre de 1997. Normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas. BOE de 22 de noviembre.
- Real decreto 1627/1997, de 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- BOE de 25 de octubre. (Modificado por el RD 604/2006).
- Resolución, de 20 de enero de 1999. Actualiza determinadas tablas de la Orden de 14 de octubre de 1997. BOE de 18 de febrero.
- Orden de 20 de julio de 2000 por la cual se modifican las normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas, aprobadas por la orden de 14 de octubre de 1997. BOE de 7 de agosto.
- Real decreto 171/2004, de 30 de enero, por el cual se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de Prevención de riesgos laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.

- BOE nº. 27 de 31 de enero. Corrección de errores en el BOE nº 60, de 10 de marzo de 2004.
- Orden de 20 de enero de 1956 por la cual se aprueba el reglamento de higiene y de seguridad social en trabajos realizados en cajones con aire comprimido.
- Normas UNE-EN 14931 de abril de 2.007, sobre cámaras hiperbáricas para ocupación humana y requisitos.

TRABAJOS PREVIOS

Antes de proceder a la preparación para la ejecución de los trabajos hiperbáricos se debe avisar por escrito a los siguientes interesados, con una antelación mínima de 24 horas:

- Responsables de la Dirección de Obra (Jefe de Unidad y Responsable de Tuneladora).
- Técnico de prevención (avisará al Coordinador de Seguridad y Salud de la obra).
- Servicios médicos.
- Empresa especializada de trabajos hiperbáricos.
- Hospital con cámara medicalizada a disposición.

En caso de intervenciones no programadas, puede no cumplirse el tiempo de preaviso de 24 horas. En todo caso debe informarse a los interesados antes de iniciar la operación de parada.

En el anterior escrito debe indicarse como mínimo los siguientes datos:

- La fecha prevista de parada.
- PK y anillo previsto de parada.
- El tipo de trabajo que se va a realizar (inspección o cambio de herramientas).
- Presión de trabajo en hiperbárico.
- Duración prevista.

Se debe de conocer de antemano el tipo de material del frente así como el recubrimiento superficial, tipología de edificación próxima y los posibles servicios afectados en la zona de operación.

El valor de la presión de intervención en el frente será comunicado por el Jefe de Producción del Túnel y será generalmente igual al valor de la presión de sostenimiento en el frente.

Antes del inicio de la operación hiperbárica, deberá ser verificada el correcto funcionamiento de los siguientes equipos:

- *Band recorder*. Registra los gradientes de presión durante la presurización y despresurización de las cámaras hiperbáricas. Verificación del funcionamiento y dotación de papel y tinta.
- *Teléfonos, manómetros*. Verificación del funcionamiento.
- *Sellado de las puertas de la cámara*. Verificación de limpieza, sustitución si es necesario.
- *Generador de aire comprimido* (aire respirable) y de sus respectivos filtros.
- *Generador de emergencia* (un electricista deberá estar cerca del generador durante las intervenciones hiperbáricas).

EJECUCIÓN DEL “CAKE” DE BENTONITA

Antes de comenzar se debe comprobar que el tanque del “*Samson*” (bomba de aire a la cámara de escombros) esté lleno, que las bombas de inyección de bentonita al frente y a la cámara de escombros funcionen correctamente y tener la previsión del suministro de bentonita a la tuneladora.

El anillo anterior a la ejecución del “cake” se excavará normalmente y no se alargará su excavación más de 1.900 mm (Lectura de los cilindros de empuje).

Durante este avance se extenderá la rueda de corte hasta un valor de 200 mm.

Una vez montado el último anillo se hará un avance de entre 200 y 300 mm a una velocidad de la rueda de corte de 1,0 rpm con muy pocas o sin usar ningún tipo de inyección al frente (ni tensoactivo ni agua a alta presión). Se podrán usar las lanzas de espuma a la cámara de escombros.

Una vez terminado este avance de 200-300 mm con cámara llena y a la presión de trabajo correspondiente (P1) en las células de presión superiores, se pondrá en marcha el

“*Samson*” de aire y se habilita la entrada de aire de los compresores del exterior. La presión de referencia en el “*Samson*” de aire será $P1+0,1$ bar.

A partir de este punto un operario debe de estar al lado del “*Samson*” para poder comunicar cualquier anomalía en los caudales de entrada del aire en la cámara de escombros.

Sin girar la rueda de corte se pone en marcha el tornillo sinfín y se extraen aproximadamente 25-30 t de material (para las características de esta tuneladora), a la vez que se va inyectando bentonita en el frente con la bomba. Una vez evacuado ese peso de material se sigue inyectando bentonita hasta que $P1$ alcance el valor de la presión de trabajo correspondiente más una sobrepresión de 0,3 bar ($P = P1 + 0,3$), girando la rueda de corte a una velocidad de 0,5 rpm.

Una vez alcanzada la presión deseada, se retrae la rueda de corte hasta que marque una extensión de 50 mm mantenemos esta presión con la bomba de bentonita durante un periodo aproximado de 20 minutos y se sigue girando la rueda de corte a una velocidad de 0,3 a 0,5 rpm.

A continuación se baja el “*Samson*” de aire a la presión de trabajo dada por la orden de trabajo y se observa si hay pérdidas importantes de aire por el frente durante al menos 15 minutos.

A continuación el responsable dará la orden correspondiente de vaciado de la cámara de bentonita hasta por debajo del nivel de la compuerta del mamparo. Este vaciado se hará lentamente y siempre observando el caudal de entrada de aire que da el “*Samson*”. Se comprueba que el nivel de material haya bajado por debajo de la compuerta del mamparo ($P1=P2=P3$) abriendo la válvula que se encuentra por debajo de ésta, observando el material que sale (bentonita o material).

Debe controlarse la cantidad de material extraído (peso de báscula), comparándolo con la presión observada en el frente, para detectar posibles sobre-excavaciones.

Debe observarse posibles fluctuaciones de presión en todos los captadores de presión durante toda la operación, con el objetivo de observar posibles anomalías en el frente (inestabilidad, vías de agua...).

Una vez que se ha bajado el nivel de material y que no existen problemas con pérdidas de aire en el frente, el responsable dará la orden de bajar la presión en la cámara a la establecida para la entrada de los técnicos en trabajos hiperbáricos.

Se considera que no hay pérdidas de aire significativas si se cumple lo especificado en el apartado “Funcionamiento del sistema de compresores”, para la inyección de aire en la cámara.

En el caso de que se observen de pérdidas de presión por el frente o cualquier anomalía en el frente el responsable del túnel para tomar la decisión adecuada.

En caso de abortar la operación después de haber hecho el “cake” de bentonita por falta de seguridad, se debe de llenar la cámara de escombros con bentonita hasta volver a tener la presión de trabajo en el captador P1.

En caso de fallo de la burbuja de aire, se puede optar por rehacer el “cake” siguiendo las mismas instrucciones anteriores o se puede optar por desconectar el “Samson” y se hace un mínimo de 2 avances antes de volver a intentar hacer el “cake”.

En el caso de optar por avanzar se debe controlar de manera muy intensa el volumen de material extraído (pesaje de báscula) en los dos anillos siguientes para detectar posibles sobre-excavaciones.

En el caso de que el frente esté estable y se haya alcanzado la presión de entrada a la cámara hiperbárica se realizará una inspección rutinaria de la cámara por parte del camarista y su ayudante antes de permitir la entrada de los trabajadores.

- *Funcionamiento del sistema de compresores*

Los compresores son los responsables de alimentar la tuneladora con aire a presión.

La tuneladora se alimenta de aire comprimido por medio de los siguientes elementos:

- Dos compresores internos (en tuneladora) con una presión de diseño de 15 bar y una presión de funcionamiento de 7,5 bar. Tienen una potencia nominal de 160 KW cada uno. Estos compresores dan un caudal de 28,6 m³/min cada uno, proporcionando en total un caudal de 3.432 m³/h.
- Cada uno de los compresores va provisto de un equipo de filtrado por carbón para convertir el aire comprimido en “respirable”.

El “*Samson*” de aire de la tuneladora puede alimentarse de cada uno de los grupos de compresores de forma individual o de ambos a la vez.

Las posibles fugas de aire en el frente durante las intervenciones se monitorizan mediante un manómetro que mide la presión de alimentación del “*Samson*” y que avisa mediante una señal acústica y luminosa en el momento en que la presión de alimentación baja de la presión nominal de 6 a 4,2 bar. En este momento se considera una situación de riesgo y se decide si es o no necesario abortar la intervención.

ENTRADA A LA CÁMARA HIPERBÁRICA

Antes de entrar en la cámara hiperbárica hay que comprobar lo siguiente:

- Comprobación de la cámara por parte del camarista y su ayudante.
- La instalación de un equipo de mascarillas en la cámara hiperbárica conectadas a un grupo de botellas de oxígeno medicinal.
- Presencia del equipo de personal sanitario en la tuneladora y el correspondiente equipo de rescate.
- Temperatura en la cámara que permita realizar los trabajos con seguridad.
- Sistema de comunicación de la cámara hiperbárica.
- Sistema de comunicación telefónica con el exterior de la tuneladora.
- Material necesario para la ejecución de los trabajos (herramientas, equipo de comunicación...)
- Material de seguridad (líneas de vida, arneses, retráctiles,...)
- Que el control de giro de la rueda de corte esté trasferido a la cámara hiperbárica.

Una vez entrado en la cámara de escombros lo primero que hay que comprobar es el estado del frente (ver si está estable o tiene alguna coquera o entradas de agua,...) y el nivel de material de excavación de la cámara.

En caso de observar que el “cake” de bentonita no tiene suficiente grosor, o que hay vías de agua, o escapes de aire, se procede a comunicarlo al responsable que valorará la opción de abortar la intervención.

Los técnicos en trabajos hiperbáricos avisarán al responsable si hay necesidad de bajar el nivel de material de la cámara de escombros.

Para cualquier vaciado de la cámara de escombros, los operarios deben situarse dentro de la cámara hiperbárica y cerrar la compuerta por si el vaciado de material produce una bajada de presión.

INTERVENCIÓN (INSPECCIÓN O CAMBIO DE HERRAMIENTAS)

La rueda de corte es el elemento principal que permite la excavación en una TBM. Es por ello, que los diferentes elementos que la componen (rastreles, discos cortadores o rippers y picas) deben estar en buenas condiciones para facilitar la excavación y optimizar el rendimiento. El desgaste que sufren los elementos que forman la rueda de corte depende fundamentalmente de las unidades geológicas que atraviese la máquina durante la perforación, lo que condicionará la naturaleza del desgaste y la periodicidad necesaria de revisión y cambio.

Para un cambio completo de herramientas, la rueda de corte deberá girarse varias veces; operación para la cual deberán retirarse todos los elementos auxiliares que se utilicen y que interfieran con los elementos de la rueda de corte al girar, garantizando que no haya nadie en la cámara de escombros.

Antes de su mantenimiento o reparación deberán limpiarse las piezas de la máquina, en especial las conexiones y la tornillería. No utilizar limpiadores abrasivos y usar únicamente trapos sin hilachas.

Las conexiones de tornillería que se hayan aflojado durante los trabajos de mantenimiento deberán apretarse con los pares de apriete indicados.

Tras los trabajos es necesario limpiar de mantenimiento todas las asideras, peldaños, barandillas, descansillos, plataformas y escaleras de mano.

Durante el cambio de herramientas, debido al desgaste físico, los operarios deberán hidratarse continuamente con bebidas isotónicas; se organizarán turnos y rotaciones para minimizar la exposición a los riesgos existentes.

Para realizar labores de cambio de herramientas en la rueda de corte, se emplearán plataformas de trabajo de un mínimo de 60 cm de anchura.

En caso de tener que mover la rueda de corte, no deberá permanecer ningún trabajador dentro de la cámara de amasado.

Este movimiento de la rueda de corte deberá estar controlado; señalar que este accionamiento sólo puede realizarse desde la pre-cámara, y cuenta con un dispositivo de seguridad (llave de seguridad) para que el piloto desde la cabina no pueda accidentalmente accionarla y atrapar a un trabajador que permanezca en dicha zona.

Los equipos de trabajo en el frente estarán compuestos por:

- 1 Camarista (exterior).
- 1 Jefe de equipo hiperbárico (exterior).
- 1 Mecánico hiperbárico (interior).
- 2 técnicos hiperbáricos (interior).
- 1 DUE (Diplomado Universitario en Enfermería) (exterior).
- 1 TTS (Técnico de Transporte Sanitario) (exterior).

El equipo estará compuesto siempre por al menos por cinco trabajadores hiperbáricos y 2 técnicos en asistencia sanitaria hiperbárica. Habrá siempre un médico hiperbárico localizable. Durante las operaciones de mantenimiento en el frente, todas las medidas de seguridad válidas en el túnel serán adoptadas.

Una vez vaciada la cámara hasta el nivel necesario se colocarán pasarelas en el interior así como líneas de vida a fin de que los técnicos en trabajos hiperbáricos puedan desempeñar su trabajo en condiciones de seguridad.

El responsable del túnel será el encargado de decidir que herramientas serán necesarias cambiar, así como los demás trabajos que se necesitarían realizar en la cabeza.

Está prohibida la entrada a la cámara de amasado cuando el sinfín empiece a trabajar. El personal en la cámara hiperbárica solo puede comunicar al piloto el accionamiento del sinfín cuando nadie permanezca en la cámara de amasado.

Está prohibida la entrada a la cámara de amasado cuando esté rotando la cabeza. El personal en la cámara hiperbárica solo puede comunicar al exterior el accionamiento de la rotación de la cabeza de corte, después de garantizar que todo el personal ha salido de la cámara de amasado.

DESCOMPRESIÓN Y SALIDA DE LA CÁMARA HIPERBÁRICA

Una vez dados por finalizados los trabajos en la rueda de corte se procede al desmontaje de todas las pasarelas de seguridad y líneas de vida y se comprueba de que ningún material haya quedado en la cámara. En ese momento se procederá a realizar la descompresión.

Se seguirán en todo momento las normas de permanencia y salida así como los tiempos de descompresión marcados en las tablas apropiadas. Estas tablas serán elegidas por la empresa especializada en trabajos hiperbáricos (conforme a normativa vigente), que deberá informar servicio médico de cuáles serán las utilizadas.

La descompresión con oxígeno se ajustará a lo dispuesto en la O.M. de 14 de octubre de 1.997, sobre normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas.

Las tablas de descompresión serán las especificadas en la O.M. de 14 de octubre de 1.997 u otras que se hayan consensuado entre las partes. Si por las condiciones de trabajo y proceso productivo, y a criterio del Jefe de Equipo Hiperbárico, fuese más apropiada la utilización de otras tablas, estas deberán ser aprobadas previamente.

REINICIO DE LA EXCAVACIÓN

Durante la descompresión de los últimos técnicos en trabajos hiperbáricos, se da los trabajos por concluidos y se procede al llenado de la cámara. Esto se hará iniciando el excavo de manera normal y regulando la presión en el frente mediante la salida de material por el sinfín. Asimismo se irá extrayendo el aire de la cámara de escombros mediante la apertura de las válvulas situadas en el interior de la cámara hiperbárica.

En caso de considerarse necesario se puede inyectar bentonita en la cámara, antes del inicio del avance, hasta llenarlo.

Una vez llena la cámara, se procederá a reanudar la producción en condiciones normales.

Debe controlarse de manera intensa el material extraído (peso de báscula) durante los primeros 3 anillos, para verificar que no se haya provocado una sobre-excavación del frente.

8. PUNTOS DE REVISION Y CAMBIO DE HERRAMIENTA

8.1. POZOS

Durante la excavación del túnel se produce un desgaste de las herramientas de corte por la abrasión del material excavado, esta abrasión se incrementa con la presión de confinamiento, por lo que regularmente es necesaria una revisión y eventual cambio de las herramientas. Aunque se ha avanzado mucho y se han conseguido valiosas experiencias, el cambio de herramientas en condiciones hiperbáricas aún implica una serie de riesgos tanto para el personal que se debe introducir en la cámara de excavación de la tuneladora como para la estabilidad del terreno, por ese motivo así como para ofrecer una garantía adicional de reparación de la rueda de corte y del escudo se incluyen varios pozos repartidos a lo largo de la traza del túnel. Los pozos ejecutados por pantallas cuentan con un diámetro suficiente para alojar el escudo por completo, los que se ejecutaran por medio de tuneladora vertical se accederá a esta mediante una galería transversal ejecutada en el pozo y con sección suficiente para poder trabajar en el mantenimiento de la tuneladora.

Aparte del Pozo de Ataque (pk 0+032) y del Pozo de Extracción de la Tuneladora (pk 7+063,31), hay repartidos 11 pozos a lo largo del trazado:

- *Pk 0+851,54 : Pozo Polígono del Espíritu Santo.*
- *Pk 2+416,96 : Pozo de Los Pardos.*
- *Pk 3+107,62 : Pozo del Palacio de los Deportes.*
- *Pk 3+592,42 : Pozo Campus el Milán.*
- *Pk 4+005 : Pozo Gascona.*
- *Pk 4+470 : Pozo Paseo de los Álamos.*
- *Pk 5+025,52 : Pozo Plaza de la Gesta.*
- *Pk 5+237,67 : Pozo Plaza Castilla (conexión con la line de R.E.N.F.E. cercanías).*
- *Pk 5+572,43 : Pozo el Cristo.*
- *Pk 6+200 : Pozo Plaza de Toros.*
- *Pk 6+850 : Pozo Marcos Peña Royo*

De estos 11 pozos se considera necesario la ejecución de 8 de ellos para el mantenimiento pudiendo dejarse los otros 3 para una vez que pase la tuneladora.

Se consideran dos maneras de ejecutar los pozos por pantallas y por tuneladora vertical. Estos métodos se consideran buenos a la hora de ejecutar los pozos y se consideraran unos métodos u otros según interesen mas.

Las características de los pozos son las siguientes:

POZO CON PANTALLAS

La tuneladora accede a estos recintos excavando las pantallas perimetrales del pozo, para ello hay que incorporar varias medidas de seguridad, tanto para la propia máquina como para el terreno circundante:

- Tratamientos del terreno en el trasdós de las pantallas (perpendiculares a la traza del túnel). Son los denominados “corralitos” de entrada y de salida.
 - Sustitución de parte de la armadura de acero de las pantallas perpendiculares a la traza (que serán excavadas por la rueda de corte de la tuneladora) por hormigón con fibras de vidrio.
 - Muro-forro de refuerzo perimetral del pozo.
 - Juntas estáticas de paso de pantallas.
-
- *Corralito de entrada*

Con el fin de evitar la formación de subsidencias importantes en la superficie del terreno durante la excavación de la pantalla de entrada al pozo, se debe habilitar un recinto cerrado denominado “corralito” para que la tuneladora pueda acceder al mismo de forma segura.

Este recinto debe ser lo más estanco posible para poder bombear el caudal entrante del exterior, rebajando y manteniendo a una cota inferior a la del pozo el nivel freático durante las operaciones de rotura de la pantalla de entrada al pozo. Para conseguirlo se prevén 2 sondeos revestidos con un tubo de PVC ranurado, de diámetro tal que puedan introducirse las bombas adecuadas para un achique continuado.

Al haber rebajado el nivel freático, conseguimos:

- Evitar el flujo de agua y lodos hacia el interior del pozo a través de la superficie de sobre-excavación de la rueda de corte, evitando la inundación y las posteriores tareas de limpieza del mismo trabajando en un entorno fangoso. Aproximadamente tenemos 0,54 m² de entrada libre de las aguas freáticas si éstas no se han rebajado previamente:

$$\pi(R_{\text{SOBREEXCAVADO}}^2 - R_{\text{TUNELADORA}}^2) = \pi(5,775^2 - 5,76^2) = 0,54m^2$$

- Evitar el arrastre de finos asociados al flujo de agua, que puede llegar a generar asentamientos en superficie, con las consiguientes subsidencias asociadas. Estos asentamientos, en caso de producirse, se producirían dentro de nuestro corralito.
- Poder realizar el tratamiento de cambio de cepillos de cola de la tuneladora en el interior del corralito. Al haber rebajado el nivel freático tenemos un entorno seco eliminamos el riesgo de que el agua entre por la cola durante el proceso de cambio, con lo cual podemos realizar esta tarea dentro del corralito y no en el pozo. Si nos viéramos obligados a realizar esta operación dentro del pozo éste debería ser lo suficientemente grande como para poder alojar el escudo entero, dejando además espacio suficiente por delante de la rueda de corte para su revisión. Todo ello llevaría a tener que construir un pozo de mucho mayor diámetro, aumentando las afecciones en la superficie.

El “corralito” tiene forma rectangular, está delimitado por pantallas de mortero de 1,20 m de espesor, y de una longitud interior mínima, igual o mayor a 12,7 m (suma de la rueda de corte y la longitud del escudo). La anchura interior útil del mismo es de 13,50 m, mayor que el diámetro de la cabeza de corte de la tuneladora (11,55 m) y suficiente para dejar un margen de seguridad durante el paso del escudo.

Además la profundidad de las pantallas de mortero será la que nos garantice un empotramiento que reduzca el gradiente de presiones y nos proporcione un caudal de infiltración lo suficientemente pequeño como para poder bombearlo y controlarlo en todo momento. En los casos en que las pantallas lleguen a un estrato impermeable (arcillas o margas) la infiltración será nula desde el fondo.

Con las dimensiones impuestas en el corralito:

- Se garantiza que cuando la rueda de corte de la tuneladora “cale” el pozo, la cola del escudo ya haya pasado por completo por la pantalla de entrada al corralito y se haya montado al menos un anillo de dovelas al inicio del corralito, habiendo sellado el “gap” con la inyección de relleno del trasdós y evitando la infiltración de agua a través de este espacio. Este flujo desde el exterior podría inundar el corralito y llegar a entrar en el propio pozo.
- Además, puesto que el espesor de la pantalla de mortero de entrada al corralito es de 1 m, avanzando a menor velocidad e inyectando a presión en el trasdós del anillo de dovelas podemos garantizar un sellado óptimo que minimice las filtraciones por la sobre-excavación, y afrontar la rotura de la pantalla del pozo con éxito, en cuanto a filtraciones hacia el pozo se refiere.

La rotura de la pantalla de hormigón de entrada al pozo no se produce de forma instantánea sino que es una excavación lenta que puede durar horas. En este tiempo y debido al giro continuo de la rueda de corte puede producirse la desestabilización del terreno colindante y además existe un riesgo de sobre-excavación que puede llevar a asentamientos en superficie. Como este proceso tiene lugar dentro del corralito el problema queda confinado por este recinto, sin embargo para añadir una seguridad adicional se incluye una pantalla de pilotes tangentes de mortero de 1,20 m de diámetro, justo en el trasdós de la pantalla de entrada al pozo, colocando una hilera mínima desde el punto más exterior y completando las cuñas laterales con la cantidad necesaria (hasta 3 hileras).

Con ello se consigue:

- Mejorar el terreno en la zona crítica y evitar los posibles problemas mencionados en el párrafo anterior.
- Impermeabilizar el trasdós de la pantalla de cierre del pozo, siendo el único camino de circulación del flujo de agua la capilaridad entre pilotes, que se sellará con la inyección del mortero de relleno del trasdós de los anillos.
- Reducir el empuje activo del terreno sobre dicha pantalla.
- Mejorar la llegada de la cabeza de corte de la tuneladora al pozo, ya que con dichos pilotes se consigue una superficie de contacto plana, evitando la excavación en una superficie curva, con diferentes puntos de contacto.

- Corralito de salida

Con el fin de evitar la formación de subsidencias importantes en superficie al romper la pantalla de salida del pozo se realizará también un “corralito” de salida de forma rectangular y pantallas de mortero de 1,20 m como en el de entrada. Por el contrario, no se ejecutarán pilotes de mortero como en el anterior, sino un muro o “tapón” de mortero en el interior del pozo, con la misma finalidad de los pilotes: conseguir una pared recta a la toma de contacto de la cabeza de corte de la tuneladora. Dicho muro tendrá una anchura en su punto medio (el más crítico) de 4,2 m en el circular. En este caso, la longitud interior mínima para el escudo de la tuneladora será de 12,8 m medida desde el inicio del muro de mortero.

En este caso también se deberá bombear el caudal, bajando y manteniendo el nivel freático, para evitar el posible flujo hacia el interior del pozo en la operación de rotura de la pantalla de salida.

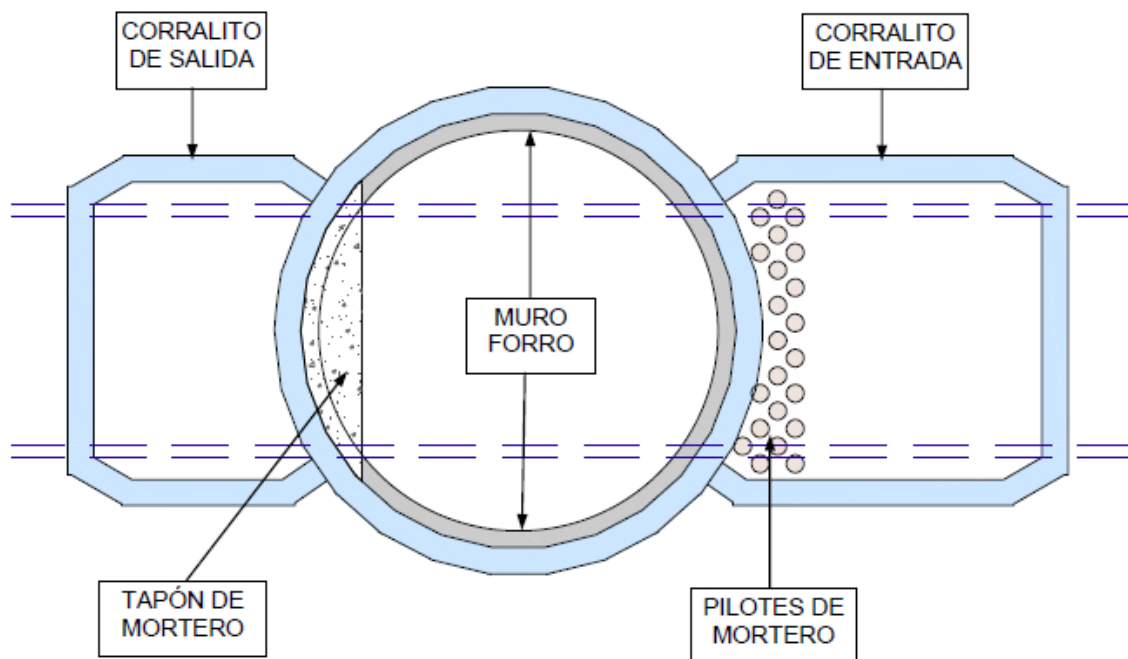


Figura nº7: Esquema de entrada y salida de los pozos de revisión de herramientas

- *Pantallas de entrada y salida del pozo*

A la hora de proceder a la rotura de las pantallas, tanto de entrada como de salida al pozo conviene que las pantallas sean lo más livianas posibles en cuanto a la armadura se refiere, para poder acelerar el proceso de corte evitando así una demora excesiva que pueda acarrear pérdidas excesivas de volumen de terreno, y evitar a su vez un desgaste extremo de las herramientas de corte, más aún cuando se procede a dichas actuaciones para el mantenimiento de las mismas. Para ello se ha modificado la armadura de dichas pantallas sustituyendo las barras de acero por barras de fibra de vidrio para aligerarlas y facilitar su demolición, ya que siguen teniendo una alta resistencia a tracción pero una baja resistencia al corte.

Por tanto, la sección de las pantallas de entrada y salida correspondiente a la sección del escudo estará reforzada con las barras y estribos en fibra de vidrio, dejando las secciones superiores e inferiores de la jaula con estribos y barras de acero. Las dos secciones adyacentes de acero están unidas a la jaula en fibra de vidrio solapando las barras de acero y de fibra de vidrio para dar continuidad al armado del conjunto.

La excavación de las pantallas es un proceso lento que puede durar varias horas, para favorecer el proceso y dado que la rueda de corte está dentro del corralito y en la zona reforzada por los pilotes de mortero es habitual reducir la presión de confinamiento, bastando simplemente con llevar la cámara de excavación llena de escombros.

- *Muro Forro*

Durante el proceso de entrada y salida del pozo por parte de la tuneladora se atraviesan las pantallas definidas en el epígrafe anterior. Este proceso debilita la sección circular resistente del pozo, por lo que es necesario reforzar los laterales de forma que resistan el empuje del terreno. Para ello es necesario construir el denominado "Muro Forro", en los laterales interiores del pozo, fuera de la sección atravesada por el escudo. Este muro de hormigón armado se adapta a la forma curva del pozo, tiene un espesor de 0,75 m y una altura de 15,5 m, suficiente para abarcar toda la sección excavada por la tuneladora.

- Juntas estáticas de paso de pozos

Las juntas estáticas de paso de pozos se presentan como una alternativa a los “corralitos”, aunque no llegan a cubrir plenamente las garantías que dan estos recintos estancos.

El sistema de juntas estáticas se basa en una junta de estanqueidad que cierra el espacio anular o “gap” entre la tuneladora y el perímetro de sobre-excavación generado por la rueda de corte. Este sistema consta de una pareja de labios de goma (retenes *Phoenix*) que cierran en una primera fase el espacio anular entre el perímetro excavado por la rueda de corte y el escudo. Una vez que la tuneladora ha avanzado entra en funcionamiento un anillo hinchable (*Bullflex*) que presiona sobre los anillos del revestimiento del túnel (ver croquis adjunto), sellando el espacio anular existente entre la superficie del escudo y la superficie del trasdós de los anillos. Para el diámetro de excavación de nuestro túnel es capaz de aguantar presiones del terreno de hasta 6 bar.

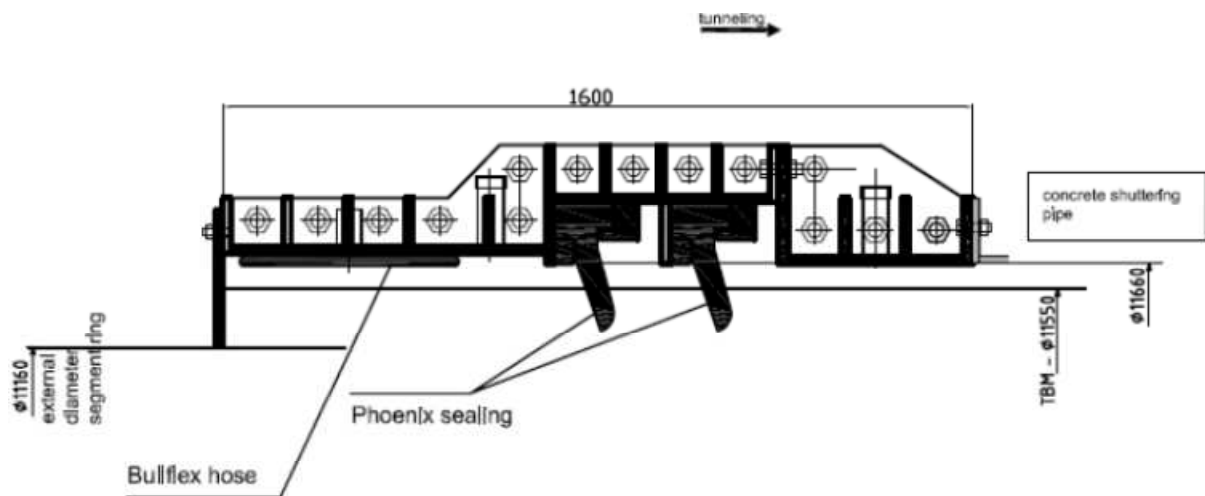


Figura nº8: Detalle del sistema de cierre compuesto por un juego de juntas y un anillo hinchable o “Bullflex”.

Las juntas pueden ser tanto de entrada como de salida del pozo hacia el terreno.

La Junta de Entrada al pozo se compone de dos elementos acoplados entre sí; uno fijo y permanente a incorporar en el tapón de hormigón que hay que construir en la pantalla de entrada y otro desmontable.

El elemento fijo es un anillo metálico de diámetro mayor al diámetro de la rueda de corte. Este anillo queda anclado a la pantalla de entrada al pozo o, en nuestro caso, en el recocado de hormigón interior al pozo.

El segundo elemento está conectado a éste e incorpora los elementos de sellado, que son un conjunto de 4 labios de goma que presionan sobre la coraza del escudo y cierran el espacio que queda abierto al terreno. En el caso de la junta de entrada al pozo además hay que incorporar una coraza metálica o cúpula, de diámetro algo superior a la rueda de corte. Esta coraza debe ir fuertemente anclada y apuntalada al pozo y su misión es crear un recinto cerrado con presión igual a la del terreno al que acceda la tuneladora durante el “cale” de la pantalla de entrada al pozo, de tal forma que la tuneladora no empuje contra el vacío y haya siempre una presión efectiva en los gatos de empuje. Una vez efectuado el “cale” de la pantalla hay que vaciar este recinto para posteriormente desmontar la cúpula y arrastrar la tuneladora al interior del pozo.

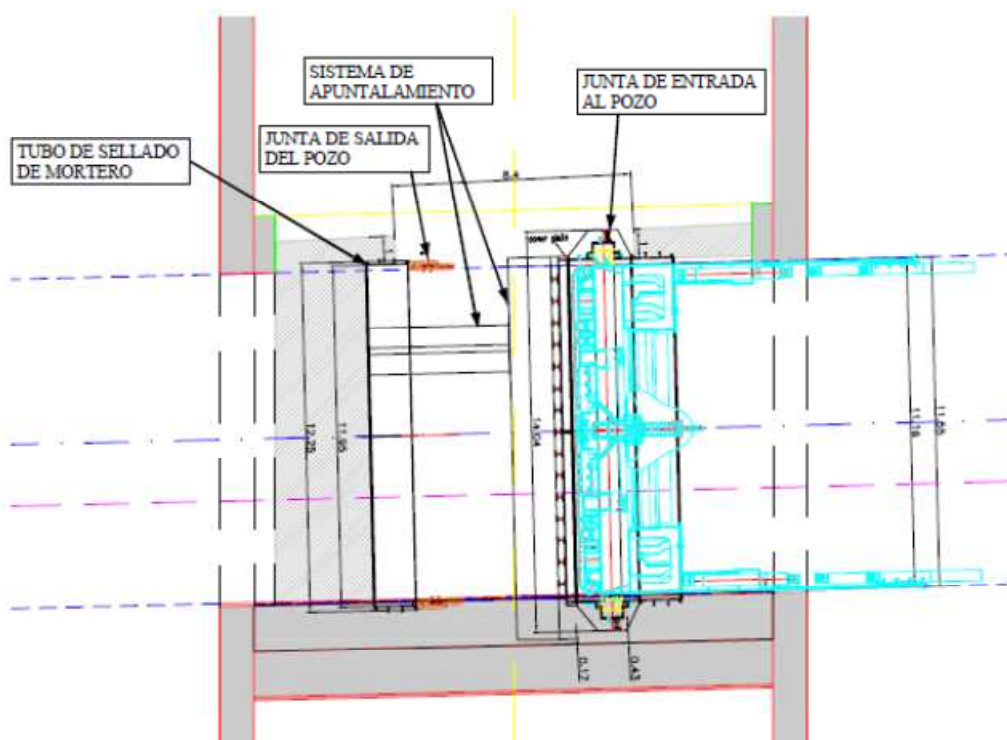


Figura nº9: Detalle básico de la junta de entrada al pozo y su colocación.

La junta de salida del pozo también se compone de dos elementos acoplados entre sí. Uno de ellos es similar al de la junta de entrada y sirve para afianzar el conjunto al hormigón de

la pantalla de salida, el otro elemento es desmontable. Este segundo elemento es la junta propiamente dicha y consta de un conjunto de dos retenes o labios de goma que presionan contra la coraza del escudo, cerrando el “gap” de sobre-excavación. También consta de un retén hinchable o “Bullflex” que entra en funcionamiento una vez que ha pasado la totalidad del escudo, de forma que cierra sobre los anillos de revestimiento sellando el sobre ancho que hay entre el escudo y los anillos del túnel.

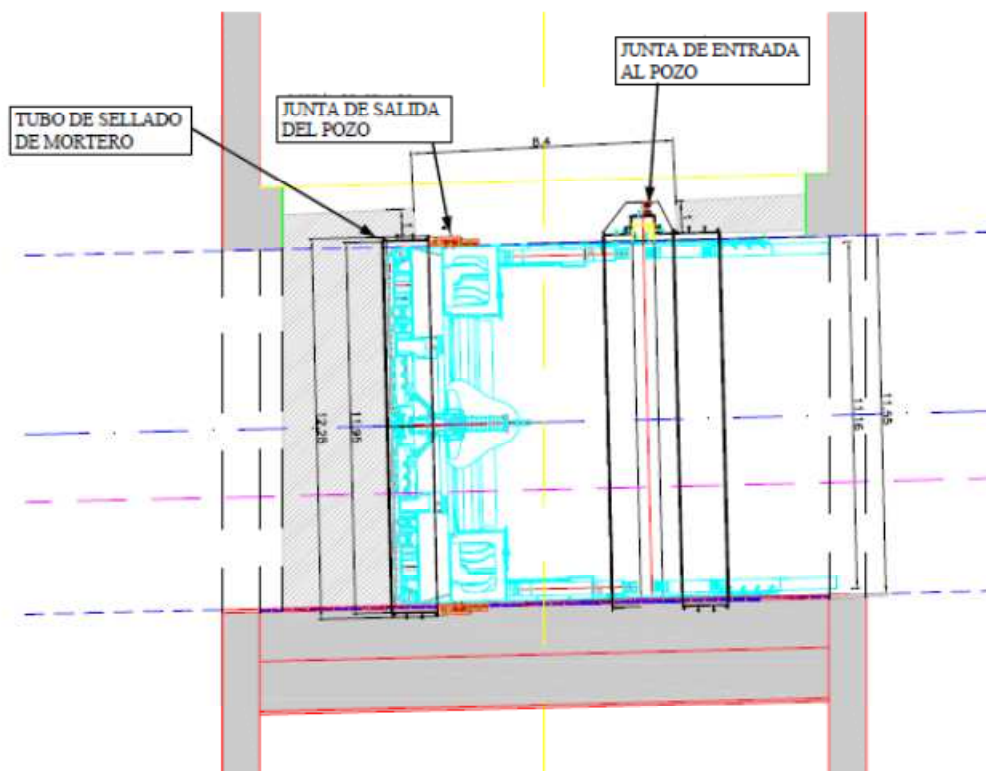


Figura nº10: Detalle básico de la junta de salida del pozo y su colocación.

- Corralito Interior

Como se ha podido ver en los apartados anteriores, la necesidad de contar con dos recintos estancos junto al pozo para eliminar el riesgo de subsidencias y la formación de socavones durante las operaciones de entrada y salida de los pozos nos obliga a una considerable ocupación de terreno en la superficie en un entorno urbano con abundantes servicios afectados.

Para reducir en la medida de lo posible esta problemática se ha planteado rediseñar la geometría de los pozos para trasladar los “corralitos” al interior de los pozos. El fundamento del cambio estructural es sustituir el corralito exterior por un macizo interno, fácil de horadar por la tuneladora pero lo suficientemente competente como evitar la sobre-excavación y derrumbe durante el paso del escudo. Este macizo tendrá la longitud suficiente como para abarcar la totalidad del escudo, de tal forma que cuando la rueda de corte salga al exterior ya se haya sellado la junta de entrada al pozo mediante la propia inyección de mortero de la tuneladora. Dicho macizo será de mortero pobre en la sección atravesada por el escudo y en el resto de hormigón en masa, que es lo suficientemente compacto como para arriostrarlas pantallas entre la contra-bóveda y la losa de cubierta, una vez que la tuneladora atraviese el tubo que conforma el pozo. Como complemento a este macizo y para resistir las sub-presiones del agua freática y el empuje de la propia tuneladora se incorporará un muro de contención con “tape” y apuntalamiento horizontal y una losa de cubierta convenientemente anclada a las pantallas del pozo.

Al igual que sucedía en los pozos con “corralito” en el trasdós de la pantalla de entrada al pozo hay que incorporar varias hileras de pilotes de mortero al tresbolillo. Estos pilotes de 0,80 m de diámetro tienen el mismo cometido:

- Consolidar el terreno circundante a la pantalla para evitar su posible desestabilización durante el proceso de excavación de la pantalla.
- Generar una superficie de contacto lo más plana posible para un mejor reparto de los empujes de excavación transmitidos por la tuneladora a la pantalla curva del pozo.
- Reducir el empuje activo del terreno sobre dicha pantalla.
- Mejorar la impermeabilización del trasdós de la pantalla de cierre del pozo, siendo el único camino de circulación del flujo de agua la capilaridad entre pilotes. Este espacio es fácilmente sellado mediante la inyección de mortero de los anillos.

En el interior del pozo, se ejecutará un macizo de hormigón en masa y mortero pobre por tongadas. En primer lugar, se ejecutará una tongada, hasta cota de rasante, de hormigón en masa en la cuna de apoyo del escudo y de mortero pobre en la sección de perforación del escudo, la cual nos servirá a su vez para evitar un posible “cabeceo” hacia la contra-bóveda del escudo al acceder al interior del pozo. Tras la ejecución de la “cuna”, se ejecutarán los muros de la caja de escaleras, para luego proseguir con sendas tongadas de

aproximadamente 2 m de hormigón en masa en los laterales y mortero pobre en la zona central, y así sucesivamente hasta la cubrición total de la sección del escudo.

Este macizo en cualquier caso tendrá una longitud tal que cuando la rueda de corte aflore al exterior la cola del escudo ya haya pasado por las filas de pilotes de mortero y por la pantalla de entrada, sellando el espacio anular o “*gap*” de sobre-corte de la rueda.

En este mismo sentido, es necesario incorporar una losa superior sobre el macizo para resistir las sub-presiones del agua freática de infiltración en tanto no se haya sellado la pantalla de entrada, así como para aguantar la presión que pueda ejercer la tuneladora en su avance por el recinto estanco. Otro cometido de esta losa es la de confinar el macizo.

El macizo debe ser estable y resistente frente a los empujes de la propia tuneladora, para ello también se ejecutará un muro de contención de hormigón armado de 1,20 m de espesor, salvo en la zona por la que pasará el escudo, donde se dispondrá un tape metálico apuntalado horizontalmente.

Una vez atravesada la pantalla de entrada al pozo, la tuneladora sigue avanzando y excava el macizo en la zona de mortero pobre. Este mortero, de una consistencia parecida a la del terreno, tendrá sin embargo la suficiente cohesión como para poder resistir su propio peso y evitar así un posible sobre-excavación durante el paso de la tuneladora, de modo que no se genere ninguna cavidad ni derrumbamiento sobre el escudo a su paso. En cualquier caso, para evitar que el mortero que queda entre el borde de la tuneladora y el resguardo de seguridad, que será de un espesor medio de 50 cm, se descuelgue durante el paso de la tuneladora, se propone un armado con fibras anclado al hormigón adyacente. A su vez, el relleno de hormigón en masa es suficientemente consistente como para arriostrar las pantallas entre la contra-bóveda y la losa de cubierta. En las zonas superiores donde el relleno de HM-20 es ya de poco espesor, éste se anclará a la losa superior para evitar posibles descuelgues durante la excavación.

Tras atravesar la tuneladora dicho macizo, se desmontará el tape metálico para proceder a la revisión de la rueda y las herramientas de corte desde el pozo con total seguridad. El espacio disponible para las tareas de mantenimiento entre la rueda de corte y la pantalla de salida del pozo es de 3,29 m, suficiente para llevar a cabo cualquier trabajo de mantenimiento e incluso para un eventual desmontaje de la propia rueda de corte. También

será posible la revisión de los cepillos de cola ya que la cola de la tuneladora se encontrará en una zona seca al haberse cortado el flujo del agua freática.

Una vez concluidas las tareas de revisión de la rueda y las herramientas de corte, revisión de los cepillos de cola y resto de trabajos de mantenimiento de la tuneladora hay que reiniciar la excavación del túnel, para lo que hay que atravesar la pantalla de salida del pozo. Durante esa fase se nos presenta el mismo problema que durante la fase de entrada: la excavación de la pantalla genera un hueco perimetral al escudo por el cual el agua freática puede fluir libremente hacia el interior del pozo arrastrando los finos del terreno generando subsidencias en superficie o incluso alguna chimenea.

Para evitarlo en primer lugar hay que evitar o minimizar el flujo de dicha filtración. En segundo lugar hay que garantizar que cuando la rueda de corte llegue al terreno la cámara de excavación ya se encuentre llena de escombros y presurizada, de modo que sea imposible ninguna avenida repentina de material hacia la cámara vacía que degenera en una pérdida de terreno que llegue a la superficie. La forma de satisfacer estas necesidades es crear un nuevo recinto estanco mediante un relleno que impida un flujo de agua o de terreno.

El relleno del espacio restante del pozo situado entre la rueda de corte y la pantalla de salida del pozo se efectúa después de avanzar el escudo hacia la pantalla de salida del pozo, de forma que el volumen a rellenar es bastante inferior al haberse ocupado por el propio escudo.

El avance del escudo se hace por tanto sin necesidad de excavación, pero para ello es necesario construir previamente una “cuna” que sirva de apoyo al escudo para que no cabecee durante su avance. Esta cuna sirve además de apuntalamiento de las pantallas del pozo frente al empuje del terreno. También minimiza el volumen a rellenar posteriormente.

Un aspecto importante ya mencionado anteriormente es la necesidad de contar con una superficie plana de contacto para la rueda de corte durante la excavación de la pantalla curva de salida del pozo. En esta alternativa solamente es posible construyendo un muro de hormigón en masa y mortero pobre por tongadas, como el macizo anterior, adosado a dicha pantalla. Este muro deberá construirse antes de la llegada de la tuneladora al pozo, por lo que el espacio útil disponible frente a la rueda de corte durante las operaciones de

mantenimiento son los 3,29 m indicados anteriormente. Aunque pueda parecer escaso este espacio sigue siendo suficiente para abordar con garantías las tareas de revisión de las herramientas de corte e incluso el desmontaje de la propia rueda de corte.

Con esta distribución una vez finalizadas las operaciones de mantenimiento de la tuneladora en el pozo, se avanza el escudo hasta que la rueda de corte llega a este muro, momento en que comienza su excavación hasta que la rueda de corte llega a la pantalla curva de salida del pozo, habiendo excavado aproximadamente un metro. Previamente a mover la tuneladora, se rellenará la franja libre con terreno, de manera que cuando la tuneladora llegue al muro frontal, la cámara de excavación ya se encuentre llena de material, de modo que cuando la rueda de corte salga al terreno exterior no exista ningún espacio vacío susceptible de ser inundado por una avenida de material que provoque un socavón o chimenea en la superficie.

Posteriormente se encastrará la rueda por completo en el interior del muro de mortero. Una vez allí y antes de materializar con el cierre completo de la losa superior un nuevo recinto estanco, se procederá a realizar un nuevo relleno de los posibles huecos que hayan quedado tras el paso de la tuneladora.

Este es un aspecto sumamente importante ya que el material de relleno no se verá desestabilizado por el giro de la rueda de corte ni sometido a sobre-excavación, por lo que su cometido tan sólo es el de ocupar el espacio circundante al escudo.

En ese momento la tuneladora puede reiniciar la excavación de la pantalla curva de salida del pozo y continuar con la excavación normal del túnel.

En la página siguiente se muestran dos croquis, en planta y en alzado, de la posible alternativa que se pueda adoptar para el entrada salida de los pozos.

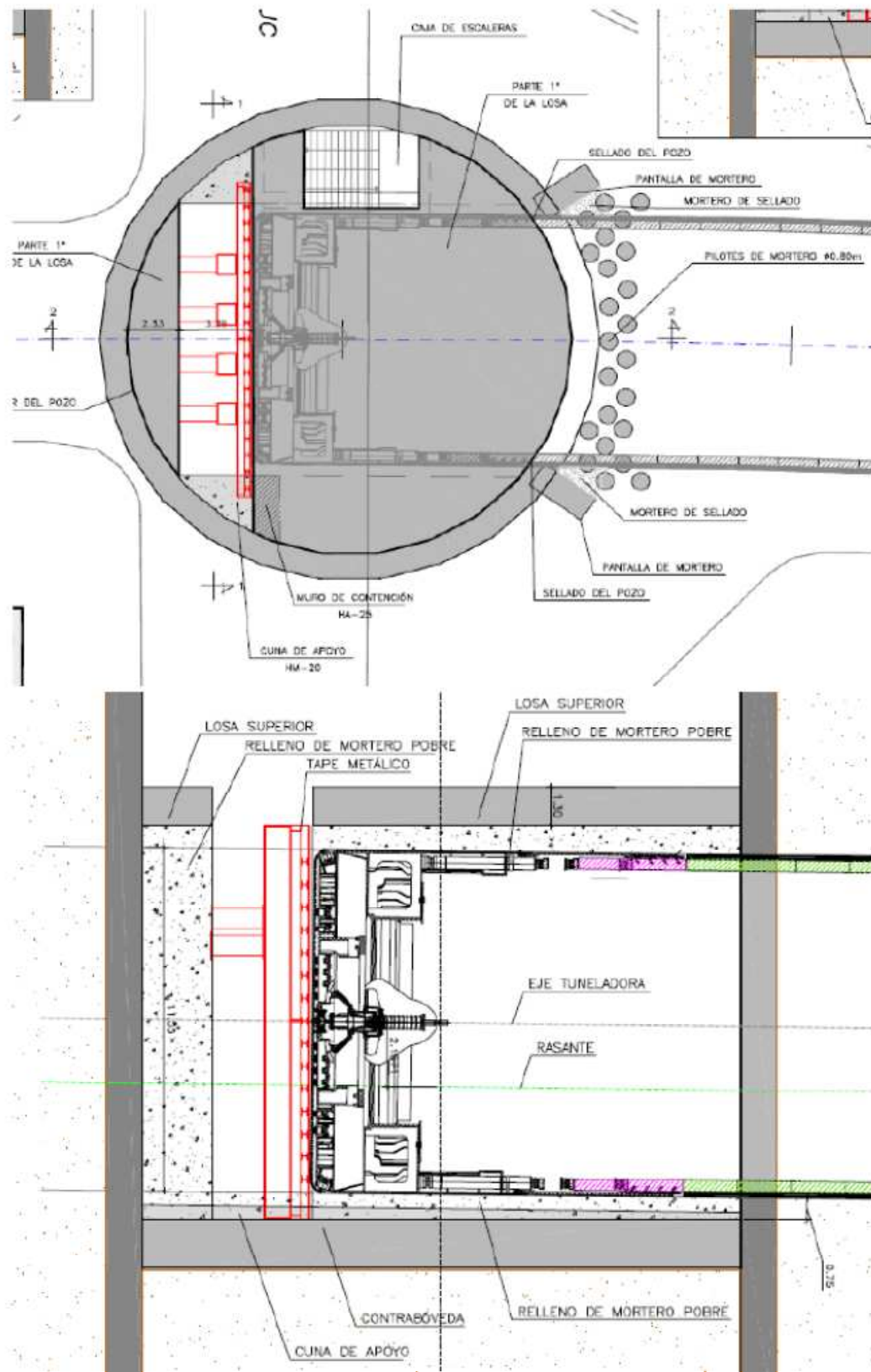


Figura nº11: Croquis de planta y alzado alternativa coralitos interiores.

POZO CON TUNELADORA VERTICAL

La ejecución de pozos en terrenos de condiciones difíciles y con alta presión de agua freática e incluso capas de terreno duro. La maquina empleada es una máquina perforadora de pozos, más comúnmente llamadas tuneladora vertical, ya que se asemeja a la tuneladoras que comúnmente conocemos, es un sistema novedoso hoy en día que se está empleando cada vez más en la ejecución de pozos sobre todo en las grandes ciudades, ya que es un sistema que ocupa espacios reducidos y disminuye en la mitad la ejecución de pozos por medios mecánicos como son por pilotadoras o hidrofresas.

Esta tuneladoras pueden ir de diámetros desde los 4,5 hasta los 11 m y llegar a una profundidad de los 80 m (profundidad máxima que se ha llegado en la Ciudad de San Petersburgo).

La ejecución del pozo con la tuneladora vertical para el mantenimiento de la Tuneladora se ejecutara hasta la profundidad requerida, donde posteriormente se realizara una galería para dar acceso a la reparación de la tuneladora en caso de ser necesario.

Con el fin de evitar la formación de subsidencias importantes en la superficie del terreno durante la excavación de la pantalla de entrada a la galería del pozo, se debe habilitar un recinto cerrado denominado “corralito” para que la tuneladora pueda acceder al mismo de forma segura.

Este recinto debe ser lo más estanco posible para poder bombear el caudal entrante del exterior, rebajando y manteniendo a una cota inferior a la del pozo el nivel freático durante las operaciones de mantenimiento. Para conseguirlo se prevén varios sondeos revestidos con un tubo de PVC ranurado, de diámetro tal que puedan introducirse las bombas adecuadas para un achique continuado.

El “corralito” tiene forma rectangular, está delimitado por pilotes de hormigón de 1 m de diámetro), similar al mostrado en el dibujo adjunto.

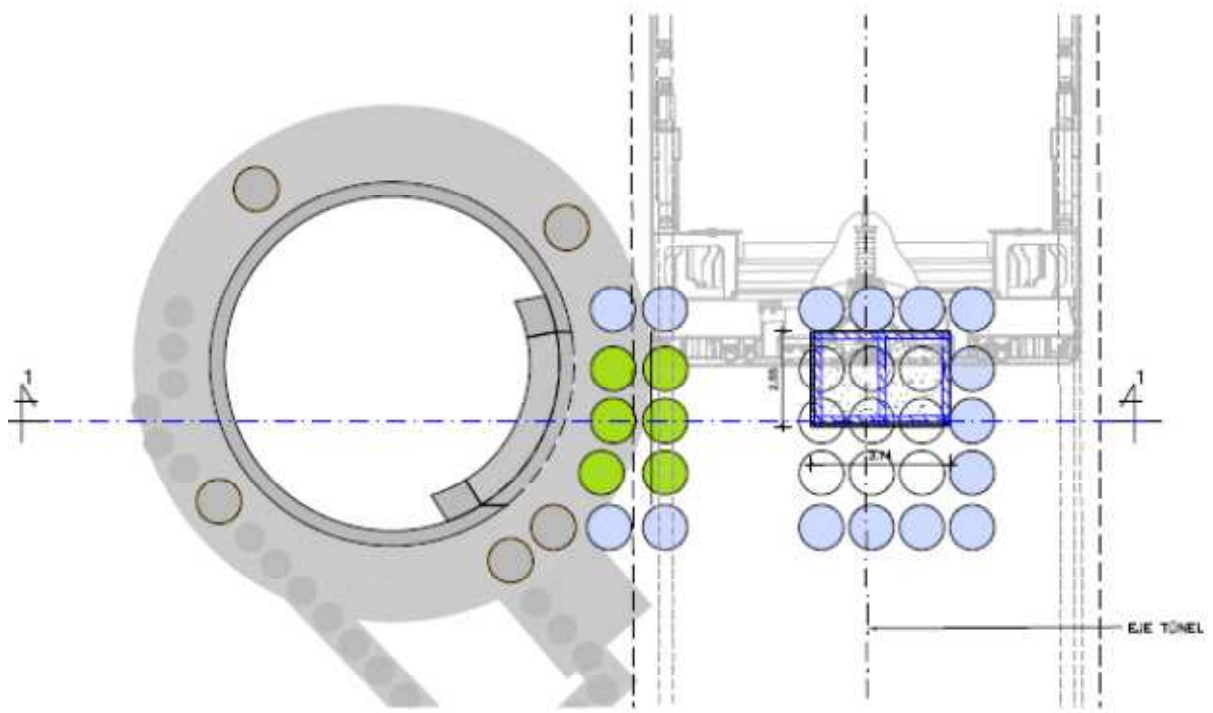


Figura nº12: Detalle del pozo y los pilotes que forman el corralito

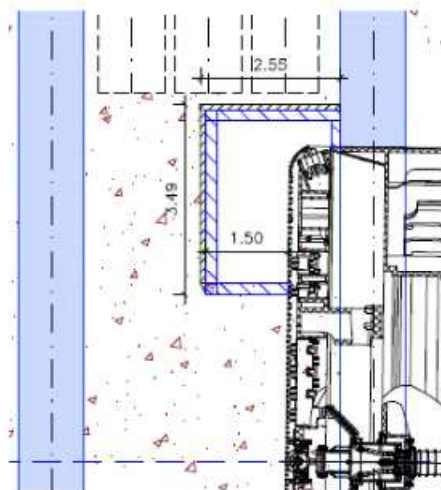


Figura nº13: Detalle de la cabeza de la tuneladora y los pilotes que forman el corralito

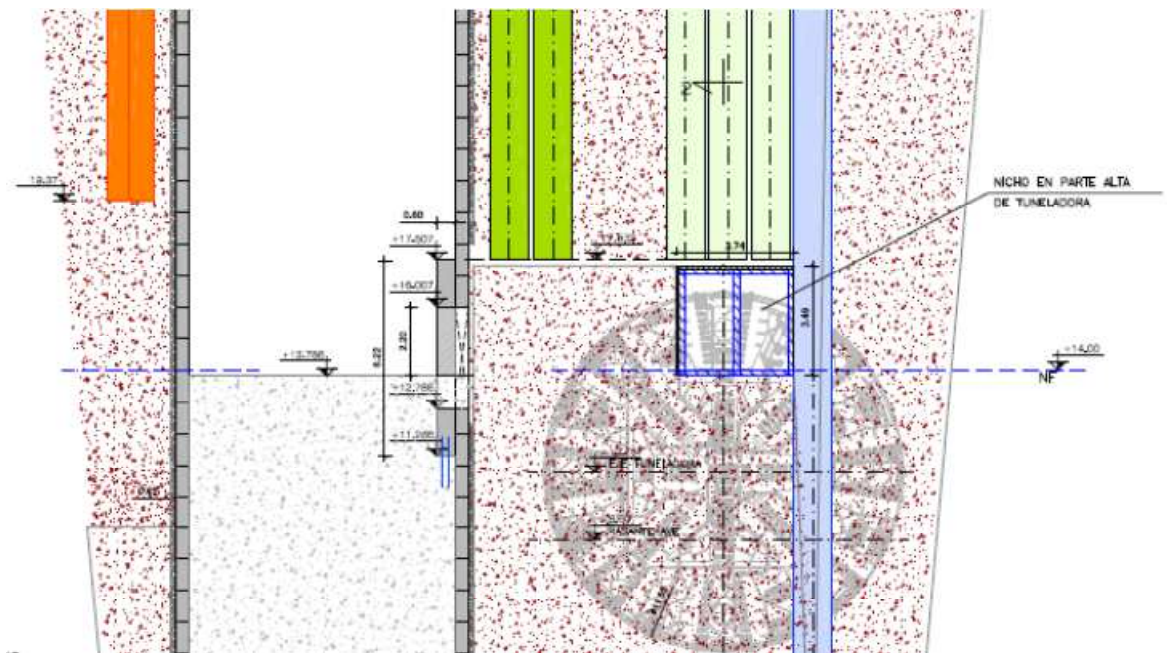


Figura nº14: Detalle de la cabeza de la tuneladora y la entrada de la galería a la TBM

Como nota deberemos tener en cuenta que los pozos cada uno tendrá su forma y dimensiones para adaptarse al entorno de la calle donde se ubicara y será estudio de otro proyecto.

8.2. PUNTOS PREFERENCIALES PARA INTERVENCIONES HIPERBÁRICAS

Como se ha visto en el apartado anterior, de los 11 pozos que se encuentran a lo largo de la traza solo 8 se consideran imprescindibles para la reparación de la tuneladora, dejando los otros 3 por si es necesaria una reparación de emergencia, aunque su ejecución estará acabada para el paso de la tuneladora. Las distancias a excavar entre los 8 pozos son las siguientes:

- *Pk 0+851,54: Pozo Polígono del Espíritu Santo (819,54 m desde el pozo anterior).*
- *Pk 2+416,96: Pozo de Los Pardos (1.565 m desde el anterior)*
- *Pk 3+592,42: Pozo Campus el Milán (1.175 m desde el anterior)*
- *Pk 4+470: Pozo Paseo de los Álamos (877,58 m desde el anterior).*
- *Pk 5+237,67: Pozo Plaza Castilla (767,67 m desde el anterior).*
- *Pk 5+572,43: Pozo el Cristo (334,76 m desde el anterior).*
- *Pk 6+200: Pozo Plaza de Toros (627,57 m desde el anterior).*
- *Pk 6+850: Pozo Marcos Peña Royo (650 m desde el anterior).*
- *Pk 7+063,31: Pozo de Extracción de la TBM (213,31 m desde el anterior).*

A la vista está que son distancias muy a tener en cuenta, salvo excepción del las de los pozos de Plaza Castilla y el Cristo, y en las que son de esperar desgastes de las herramientas de corte. Para evaluar dichos desgastes, así como para proceder a la sustitución de las herramientas dañadas por otras nuevas es necesario plantear una campaña de intervenciones hiperbáricas. El proceso de cambio de herramientas en ambiente hiperbárico se detallará en el apartado 7.3.3. de este anexo por lo que ahora nos centraremos en la identificación de las zonas del trazado más idóneas.

Para realizar con éxito una intervención hiperbárica es necesario generar una película de impermeabilización o “cake” en el frente de excavación mediante el empleo de lodo bentonítico. Esta película se verá favorecida en terrenos con granulometrías continuas y una proporción de finos aceptable, favoreciendo la impermeabilidad tanto frente al agua freática como frente a la burbuja de aire comprimido inyectada a la cámara de excavación en la que trabajarán los buzos durante dichas intervenciones.

Aunque la necesidad de abordar una intervención hiperbárica vendrá determinada por la evolución de los parámetros de excavación (incremento del par y del empuje), así como por los datos arrojados por los sensores de desgaste de las herramientas, es conveniente planificar una campaña preventiva de intervenciones para la revisión de la rueda y las herramientas de corte.

A continuación se detallan los puntos aparentemente más favorables para el desarrollo de las intervenciones hiperbáricas en los tramos descritos:

- *Desde el Pozo de arranque de la Tuneladora hasta el Pozo Polígono del Espíritu Santo (819,54 m desde el pozo anterior):* Se trata de un tramo que geológicamente atraviesa materiales de capacidad portante alta, a base de calizas y margas aunque en ocasiones tiene alternancia de arcillas marrones, en ocasiones toca calizas y calizas arenosas en su parte baja. En este tramo por sus características dificulta la formación del “cake”, a pesar de eso se recomienda hacer 3 intervenciones cada 200 m. Estas intervenciones podrán hacerse en abierto, es decir sin presión en la cámara, si se detecta que el terreno es estable. No obstante en los primeros 400 m se recomendaría hacer una revisión a los 50 m de la salida y otra a los 100 mts para ver el comportamiento de las herramientas en ese tipo de terreno.
- *Desde el Pozo Polígono del Espíritu Santo hasta el Pozo de Los Pardos (1.565 m desde el anterior):* Se trata de un tramo que geológicamente es igual al anterior, por lo que se realizarán intervenciones cada 200 m, suponiendo que las revisiones iniciales hayamos obtenido datos para realizarlas a esa distancia. Se consideran seguros todos los puntos del trazado ya que no afectan a ninguna edificación importante.
- *Desde el Pozo de los Prados hasta el Pozo Campus el Milán (1.175 m desde el anterior):* Se trata de un tramo igual al anterior con lo que se seguirá las mismas premisas para realizar las revisiones o cambios de herramientas.
- *Desde el Pozo del Campus el Milán hasta el Pozo Paseo de los Álamos (877,58 m desde el anterior):* Se trata de un tramo que geológicamente va a atravesar calizas y calizas arenosas en la primera parte del trazado, hasta la falla del pk 3+820, y arenas, arcillas y gravas desde esa falla hasta el pozo. Se propondrá una revisión en el pk 3+780 antes de atravesar la falla y con una distancia suficiente para no tener problemas de inestabilidades. Posteriormente se realizarán dos intervenciones más coincidiendo con los pk 4+005 y 4+200, correspondientes a los cruces de las calles

Gascona y Santa Clara con Víctor Chavarri. Se consideran puntos seguros para realizar la intervención hiperbárica.

- *Desde el Pozo Paseo de los Álamos hasta el Pozo Plaza Castilla (767,67 m desde el anterior):* Se trata de un tramo que geológicamente consta de arenas, calizas y arcillas, hasta el pk 4+654,45 donde se atravesara una falla para cambiar a terrenos formados por arcillas, arenas y gravas, con lo que debido a la presencia de calizas, que pueden producir mayor desgaste en las herramientas, y a la falla se recomienda una revisión de herramientas en el pk 4+620, que coincidirá con el Campo San Francisco. Posteriormente y hasta el pk 5+237,67 nos encontraremos con dos fallas que aunque no nos cambie el tipo de material, si tenemos que evitar realizar una intervención próxima a ellas, el punto elegido para la intervención es el pk 4+850 que corresponde al cruce de la calle Santa Teresa con Calvo Sotelo, para desde ahí llegar al pozo.
- *Desde el Pozo Plaza Castilla hasta el Pozo el Cristo (334,76 m desde el anterior):* No se considera necesario realizar una intervención programada, siempre y cuando los parámetros de excavación sean los normales.
- *Desde el Pozo el Cristo hasta el Pozo Plaza de Toros (627,57 m desde el anterior):* Se trata de un terreno que geológicamente atravesara arcillas, arenas y gravas, Cabe destacar la presencia de una falla directa en el pk 5+840, que no reviste mayor importancia debido a la poca alteración que esta produce. Con lo que la intervención hiperbárica se realizara en el pk 5+820, justo antes de la falla y que coincide con los cruces de las Calles Joaquín Villa Ceñal y Álvarez Flórez Estrada. Este punto se considera seguro para la realización de la intervención.
- *Desde el Pozo Plaza de Toros hasta el Pozo Marcos Peña Royo (650 m desde el anterior):* Se trata de un terreno que geológicamente atravesara arcillas, arenas y gravas. Con lo que la intervención hiperbárica se realizara en el pk 6+525, a la altura del nuevo Campo de Futbol Municipal. Este punto se considera seguro para la realización de la intervención.
- *Desde el Pozo Marcos Peña Arroyo hasta el Pozo de extracción de la tuneladora (213,31 m desde el anterior):* No se considera necesario realizar una intervención programada, siempre y cuando los parámetros de excavación sean los normales.

9. TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Se están realizando los siguientes tratamientos del terreno del trazado del túnel.

- Corralito de salida del pozo de arranque de la tuneladora: formado por un recinto cerrado entre pantallas y un refuerzo interior del terreno a base de pilotes de mortero ($\Phi=80$ cm) y taladros horizontales desde pozo para rebaje del nivel freático.
- Corralitos de entrada y salida de los pozos de cambio de herramientas: formados por un recinto cerrado entre pantallas y un refuerzo parcial del interior del terreno mediante pilotes de mortero ($\Phi=80$ cm) y bombeo para rebaje del nivel freático. Esta solución puede verse modificada para los distintos pozos debido a su ubicación o problemática del terreno o de espacio, a medida que se vayan estudiando las distintas soluciones para cada uno de los pozos se incorporaran en un documento que reflejara su, solución propuesta, ejecución y cálculos precisos, no obstante en el apartado anterior de puntos de revisión de herramientas se describe una versión de cómo pueden ser de los tratamientos de entrada y salida a los pozos.
- Micropilotes y pilotes de protección en la zona con falta de cobertura de tierras o de problemas de estabilización del terreno: Se colocaran una serie de pilotes armados o micropilotes a ambos lados del túnel a modo de protección en caso de ser necesario en algún punto problemático de la obra, aunque en el estudio geológico-geotécnico no se ha detectado ninguno, durante la ejecución de los pozos se comprobara el comportamiento de la zona y si es necesario realizar algún tratamiento especial.
- Corralito de entrada del pozo de desmontaje de la tuneladora: formado por un recinto cerrado entre pantallas y un refuerzo interior del terreno a base de pilotes de mortero y taladros horizontales desde pozo para rebaje del nivel freático. Este corralito servirá para el desmontaje de la TBM.

10. SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO DEL TUNEL

10.1. CRITERIOS DE DISEÑO DEL REVESTIMIENTO PREFABRICADO

El presente proyecto contempla la construcción de un túnel de unos 7 km de longitud y 11,54 m de diámetro de excavación, mediante un Escudo de Presión de Tierras.

El trabajo de las tuneladoras de suelos o rocas blandas, es decir, de los escudos implica la incorporación al proceso de excavación mecánica de un sistema de sostenimiento con el fin de afrontar el problema de la inestabilidad del terreno.

Los revestimientos prefabricados son los sistemas que se aplican hoy en día, con carácter prácticamente universal a las tuneladoras, siendo el revestimiento más empleado el constituido por anillos prefabricados de hormigón armado atornillados entre sí y formados, a su vez, por piezas (llamadas dovelas) también atornilladas.

En este apartado se describen los distintos tipos de anillos existentes, las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, la metodología empleada para su dimensionamiento, los sistemas que se utilizan para su unión e impermeabilización.

10.1.1. TIPOS DE ANILLO

Los anillos de los revestimientos de dovelas prefabricadas se pueden clasificar en tres grupos:

- Anillos metálicos atornillados.
- Anillos de hormigón no atornillados.
- Anillos de hormigón atornillados.

ANILLOS METÁLICOS ATORNILLADOS

El anillo metálico atornillado es, históricamente, el elemento básico de los primeros revestimientos prefabricados de túnel, ya que hace más de 100 años la ejecución de un túnel en terrenos blandos se podía abordar de dos formas posibles: mediante revestimiento

manual de ladrillos y mampuestos o con anillos de hierro atornillados, por ser éste el único material de la época que permitía tal aplicación.

Durante muchos años, y hasta que la calidad del hormigón hizo posible su empleo como solución alternativa, los anillos metálicos atornillados fueron la única solución posible en los casos de inestabilidad, bien fuera debida a la presencia de agua o a las propias condiciones del terreno.

La tipología del anillo metálico ha conservado siempre los tornillos de unión entre dovelas (y entre anillos sucesivos) como carácter distintivo. Es el tipo de material el que ha variado a lo largo de la historia, pudiendo decir que se usaron anillos de fundición maleable y anillos metálicos ligeros.

- Los primeros muy pesados al principio (con espesores grandes, de unos 20 cm, aún en secciones pequeñas) y aligerados después (dovelas conformadas por casetones) no se oxidan con el paso del tiempo, encontrándose muchos de ellos en perfecto estado.
- Los anillos metálicos ligeros están formados por dovelas nervadas construidos con fundiciones maleables al grafito o con palastros de acero laminado, y espesores no mayores de 10 mm. La dificultad mayor que tiene el palastro es que se oxida con el paso del tiempo.

Hoy en día son los anillos metálicos ligeros los que tienen frecuentes aplicaciones, sea para resolver tramos de túnel en terreno de muy alta inestabilidad, sea como complemento de los prefabricados no atornillados de hormigón. De este tipo fueron los revestimientos diseñados para las tuneladoras construidas para pasar accidentes geológicos famosos, como la ROBBINS prevista para excavar los 700 – 800 m del túnel de Yacambu que atraviesan la “falla Boconó” (Venezuela).

ANILLOS DE HORMIGÓN NO ATORNILLADOS

Hasta bien entrada la década de los años 60 no se produce la transferencia del campo metálico al del hormigón armado. Y cuando se alcanza una calidad razonable, en las resistencias del hormigón, aparece una dificultad añadida que son las múltiples roturas que se producen alrededor de los orificios practicados en las piezas para las uniones entre dovelas o entre anillos.

Por ello no es de extrañar que el desarrollo de los anillos de hormigón se orientase preferentemente a soluciones de revestimientos no atornillados, que se pueden emplear en escudos abiertos o que trabajan sin presión en el frente.

Se desarrollaron soluciones que cabe clasificar en dos grandes grupos: “anillos de dovelas apoyadas”, con inyección posterior en su trasdós y anillos de dovelas expandidas.

- Anillos de dovelas apoyadas entre sí:

Este tipo de anillos son similares a los atornillados actuales, pues se conciben con despieces de n dovelas más una pieza llave que completan el anillo, que es el módulo que repetido va formando el tubo cilíndrico circular del revestimiento.

Para llevar a la práctica la conformación del anillo, hay que realizar el montaje de las sucesivas dovelas conjugando el apoyo de unas en otras.

En este caso, en que no hay tornillos, el guiado se puede hacer moldeando las juntas en curva; o bien con agujas metálicas que se alojan en orificios de ambas caras de la junta, o con “llaves” cilíndricas de madera o goma dura, que se encajan en ranuras moldeadas en la fibra neutra de las caras.

El anillo se monta dentro de la cola de la máquina. Al iniciar el avance, hay que ir rellenando el espacio entre el terreno y el trasdós del anillo. El relleno puede hacerse de dos formas:

- Inyección de gravilla con aire comprimido. Posteriormente, lo más cerca posible del frente, se hace una segunda fase de inyección de mortero de arena fina, con lo que se completa el cierre.
- Inyección de mortero de arena en una sola fase, lo que precisa sofisticar algo más el dispositivo, teniendo que introducir algunos tornillos de fijación de piezas, así como juntas entre escudo y anillo para hacer la inyección. Tales juntas tienden a ser “juntas de grasa” con todo lo cual estas variantes adoptan soluciones muy próximas a las habituales hoy en día para los anillos atornillados.

- Anillos de dovelas expandidas:

Se trata de anillos que, generalmente, se montan fuera de la cola del escudo y que toman su geometría definitiva cuando se expanden contra el terreno.

Requiere para su utilización un terreno muy homogéneo, que pueda cortarse con gran regularidad ya que, de lo contrario, la expansión del anillo podría romper las dovelas en caso de que existieran huecos en el trasdós.

Este tipo de dovela es típica de la tecnología británica, usada en las arcillas de Londres. Los proyectos actuales siguen usándola como en varios contratos del Proyecto del “Water Ring”, o de la ampliación de la “Jubilee Line del Metro de Londres”.

ANILLOS DE HORMIGÓN ATORNILLADOS

Los anillos de dovelas atornillados son hoy día los más empleados por las tuneladoras, y se pueden clasificar desde dos puntos de vista:

- En función de cómo trazan las curvas: anillo no universal y universal
- En función de la geometría de las dovelas

Se pueden considerar dos tipos de anillo según el modo de trazar las curvas:

- Anillo no universal
- Anillo universal

- Anillo no universal

En el anillo no universal las dovelas tienen desarrollos distintos y están colocadas siempre en la misma posición. La dovela de cierre se encuentra siempre por encima del diámetro horizontal. Estos tipos de anillos pueden ser rectos o troncocónicos.

Si cortamos por dos planos verticales el cilindro que constituye el revestimiento, el tronco de cilindro resultante define el anillo, cuyas caras, que forman las juntas con los anillos contiguos, coinciden con dichos planos.

En el caso de los anillos rectos, los planos son paralelos entre sí y normales al eje del túnel. Así se hicieron los primeros despieces, por la simplicidad de fabricación, pero es necesario colocar calzos en las juntas para poder seguir el trazado en curva.

Posteriormente, para evitar el uso de calzos y mejorar el contacto entre las juntas del anillo, los planos de junta se dispusieron oblicuos, con el ángulo preciso para poder seguir el trazado en planta, es decir, los anillos tienen una cierta conicidad que les permite trazar el radio mínimo que presenta el trazado en planta. Los tramos rectos se consiguen alternando la oblicuidad de los anillos consecutivos, lo que se realiza girando el anillo 180º respecto de la precedente.

En este segundo caso son necesarios dos juegos de moldes para describir curvas a derechas o a izquierdas.

Las ventajas, en este caso, son muy claras ya que el montaje del anillo se realiza siempre con la misma secuencia, comenzando por la pieza de solera y terminando por la llave, siempre en posición cenital, por lo que:

- El montaje es más seguro, ya que se realiza siempre a favor de la gravedad.
- La secuencia de colocación, siempre idéntica, permite un ahorro de tiempo en el ciclo de colocación, que resulta muy significativo en una obra de esta longitud.
- Al ocupar las dovelas la misma situación en el anillo, es posible diseñar la dovela de solera de forma que lleve incorporadas las vías para los vagones de retirada de escombros y/o transporte de dovelas.

Como desventajas se pueden señalar:

- La necesidad de elaborar dos juegos de moldes (siempre que existan tramos en recta y/o curvas de distinto signo).
- Las juntas anillo / dovelas son siempre en cruz, solución que es menos segura ante las filtraciones. No obstante por debajo de los 2 bar el riesgo es mínimo, como se ha demostrado en la Línea 10 del Metro de Madrid, tramo Lago – Príncipe Pío, donde hubo que pasar bajo el río Manzanares, a través de arenas saturadas.

Este tipo de anillo se adapta peor que el universal al trazado en alzado.

- Anillo universal

Se parte de un anillo en tronco de cilindro, con las caras oblicuas para describir las curvas del trazado. Con un solo tipo de anillo se pueden describir las curvas que tengan radios superiores al mínimo, en planta o en alzado, haciendo girar, en cada avance, el conjunto de las dovelas de un anillo respecto del contiguo.

Está claro que la continuidad no es perfecta, pues las curvas de los bordes de las caras del anillo no son circunferencias sino elipses, pero de ejes tan próximos que el error, en la práctica, es despreciable.

Para ello la anchura de las dovelas debe ser la misma, por lo que una vez fijado el número de dovelas sólo falta decidir las dimensiones de la pieza de cierre que es simétrica respecto de la directriz más corta del anillo.

Aunque la dimensión de la pieza de cierre y el giro sucesivo podría ser cualquiera, hay que buscar soluciones que fijen el número y disposición de los tornillos de unión entre anillos, de modo que la dimensión media de la dovela de clave sea $1/m$ de la del resto de dovelas, centrando la decisión en fijar m .

Lógicamente, el giro debe de ser un múltiplo del número de tornillos existentes en las juntas circunferenciales. Por lo tanto, si hay "n" tornillos, el giro deberá ser múltiplo de $2\pi/n$.

Como ventajas, se pueden citar las siguientes:

- Sólo se necesita un juego de moldes, ya que se puede girar el anillo (con la conicidad adecuada) en cualquier dirección.
- Las juntas no quedan alineadas, lo cual puede representar una ventaja en zonas con abundancia de agua.

Como desventajas, se pueden citar dos principales:

- El montaje del anillo comienza por la dovela opuesta a la llave; en consecuencia, cuando la primera pieza se monta en clave, se plantea un problema de seguridad ya

que, en este momento, la dovela queda sujeta únicamente por los tornillos y por la presión de los gatos (que podría caer si se produjera un fallo en el sistema hidráulico).

- En el supuesto anterior, si se colocase la pieza de llave en último lugar en solera, puede suceder que el propio peso del anillo cierre éste, teniéndose entonces dificultades para la introducción de la llave. Lógicamente, esto tendría mayores posibilidades de producirse cuánto mayor, y por tanto más pesado, sea el anillo.

Hay que señalar también que existen dovelas de tipo universal, que requieren también dos juegos de moldes, ya que la pieza llave se monta siempre por encima del diámetro horizontal para evitar, precisamente, los inconvenientes apuntados.

12.1.2. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL ANILLO

Los parámetros geométricos que definen el anillo son:

- El espesor.
- La longitud.
- La conicidad.
- El número de dovelas que componen el anillo.

ESPESOR

Antes de entrar en el diseño estructural de la dovela, es preciso fijar a priori un espesor de partida, aunque es posible que, según los resultados obtenidos en los cálculos, deba ser reconsiderado este valor.

Los criterios empíricos recomiendan cifras entre 1/30 a 1/25 del diámetro interior.

LONGITUD DEL ANILLO

La longitud del anillo depende de:

- El diámetro del túnel.
- El trazado, tanto en planta como en alzado.

- La limitación de la longitud del neopreno utilizado para sellar el anillo, que puede dar lugar a problemas de filtraciones.
- La optimización de los ciclos de excavación y colocación del anillo. A mayor longitud de anillo el rendimiento en el ciclo de avance es mayor.
- La carrera de los cilindros de empuje del TBM.
- El peso de las dovelas, puesto que éste influye en su manejo, desde la factoría hasta el parque de almacenamiento en obra y en los equipos de colocación de las dovelas, para formar un anillo, en el túnel.

La longitud del anillo varía normalmente entre 0,60 m y 2,00 m.

CONICIDAD

La conicidad de un anillo de revestimiento de dovelas prefabricadas condiciona su capacidad de giro y se define como la diferencia entre la longitud máxima y mínima del anillo.

La conicidad es función de los radios de curvatura en planta y en alzado, de manera que será mayor cuando la curva a trazar sea más cerrada.

En el caso de un anillo cónico, la conicidad que resulta se deduce de la ecuación.

$$C = D \times L / R$$

Siendo:

C = la conicidad total del anillo

D = el diámetro exterior del túnel

R = el radio mínimo del trazado en planta o en alzado.

La conicidad debe ser algo mayor que la estrictamente necesaria para poder describir curvas más cerradas y así corregir, en el caso de que se produzcan, desviaciones de la tuneladora.

NÚMERO DE DOVELAS

El número de dovelas que tiene un anillo varía ampliamente de un proyecto a otro.

En el momento de decidir el número de dovelas que conforman un anillo se ha de tener en cuenta lo siguiente:

- Cuando menor sea el número de piezas, es decir, cuando mayores sean las dovelas, el riesgo de “ovalización” del anillo en su colocación es menor.
- Para diámetros superiores a 3,5 m el número teórico de dovelas sería, por lo menos, de cinco piezas más llave.
- La impermeabilización es condición a exigir del anillo atornillado por lo que no se deben admitir calzos como solución sistemática para construir las curvas.
- Limitación del número de dovelas para reducir el riesgo de filtraciones dentro del túnel.

El peso de las dovelas, si el anillo tiene pocas dovelas el peso de cada una de ellas puede ser demasiado elevado, dificultando el almacenaje, transporte y colocación de dovelas en el túnel.

12.1.3. UNIONES ENTRE ANILLOS Y ENTRE DOVELAS DE UN MISMO ANILLO

SUPERFICIES DE CONTACTO

En un anillo de revestimiento de dovelas se forman dos tipos de juntas, las radiales, que son las formadas entre juntas de un mismo anillo y las circunferenciales, que son las formadas entre anillos contiguos.

- Juntas radiales

Las cargas debidas al terreno circundante, a la inyección, y al propio peso del revestimiento generan unos esfuerzos que actúan sobre las juntas radiales, cuya geometría debe permitir centrar estos esfuerzos y limitar el daño producido por el posible desplazamiento de una dovela respecto de otra.

Las juntas radiales pueden ser de varios tipos:

- Rectas: son las más habituales, ya que son suficientes para transmitir las cargas aplicadas en los anillos.
 - Cilíndricas: cuando los esfuerzos a los que está sometido el anillo son demasiado elevados para utilizar juntas rectas, se recurre a las cilíndricas. Las juntas cilíndricas pueden ser cóncavo – convexa, cuidando que el radio de curvatura de la superficie convexa no sea mayor que el de la superficie cóncava para permitir una pequeña rotación entre dovelas, o convexa – convexa.
 - Otras juntas de contacto: son aquellas que incorporan una barra de guiado conjuntamente con un tornillo. También se pueden utilizar soluciones con dos barras de guiado. El eje de la barra de guiado puede formar un ángulo de 15° con respecto de la dirección normal al canto de la dovela.
- Juntas circunferenciales

Las juntas de contacto entre anillos están sometidas a las siguientes acciones:

- Cargas de compresión debidas al empuje, en ocasiones excéntrico, de los gatos de la tuneladora.
- Esfuerzos cortantes debido a una discontinuidad de las cargas del terreno.
- Esfuerzos resultantes del peso propio de las dovelas que cuelgan durante el montaje del anillo.

Las juntas circunferenciales son generalmente planas. Dependiendo de la intensidad relativa de los esfuerzos antes descritos, este tipo de juntas puede permitir el desplazamiento relativo de un anillo respecto del contiguo. Para evitar este problema se fabrican juntas no planas que presentan otros inconvenientes como mayor dificultad para reforzarlas y menor holgura en el montaje del anillo.

Como ejemplo de una junta no plana se pueden citar las dovelas utilizadas en la Ampliación del Metro de Madrid, en el caso del túnel de 8,43 m de diámetro interior, que presentan unos salientes – entrantes conjugados (moldes – levas) en las juntas circunferenciales para facilitar el montaje.

Una alternativa a estos salientes-entrantes conjugados son actualmente la utilización de biconos, que además son una ayuda para el montaje del anillo. Se ha comprobado en la línea 9 del Metro de Barcelona que estos elementos mejoran los rendimientos de colocación de los anillos.

SISTEMAS DE FIJACIÓN

Los sistemas de ensamblaje se colocan en las juntas radiales y en las transversales con el propósito de:

- Permitir una mayor precisión en el montaje del anillo, procurando que no existan desniveles entre las piezas de hormigón.
- Asegurar, durante la fase del montaje del anillo, la estabilidad de todas las dovelas ya colocadas de ese anillo, incluso cuando no se esté ejerciendo ningún empuje con los cilindros de empuje de la tuneladora.
- Mantener las juntas de estanqueidad comprimidas, a corto y a largo plazo, para limitar las filtraciones de agua durante la construcción y explotación del túnel.

En general, los sistemas de unión entre anillos se distribuyen regularmente a lo largo de la junta circunferencial y su número varía, de un proyecto a otro, dependiendo de las fuerzas a equilibrar y de las tolerancias de giro, de unas piezas sobre otras, exigidas.

En el caso de los sistemas de unión entre dovelas de un mismo anillo, el número de elementos a colocar, cuando existen, oscila entre uno y tres.

En condiciones normales, los sistemas de unión entre anillos y entre dovelas suelen ser estrictamente necesarios solamente durante la fase constructiva, pudiéndose eliminar cuando la tuneladora se encuentre a más de 200 m y se hayan finalizado todas las operaciones de relleno del trasdós e inyección posterior si procede. No obstante lo anterior, no es habitual que se recuperen los sistemas de ensamblaje y, por el contrario, se conservan a lo largo de la fase de explotación del túnel.

Básicamente se emplean tres tipos de unión:

- Tornillos rectos o curvos

- Tirafondos
- Conectores

Para la instalación de un tornillo se requiere practicar dos huecos en el intradós de la dovela; siendo el hueco de menor tamaño cuando se utilizan tornillos curvos.

La solución con tirafondo requiere un solo hueco por unión, lo que contribuye a no reducir la capacidad resistente de la dovela, simplificar su geometría y facilitar su armado.

La utilización de conectores elimina la necesidad de huecos en la dovela, simplificando el montaje del anillo y permitiendo un mejor centrado de las dovelas. El problema de este sistema es que puede inhibir determinados grados de libertad, generando unas tensiones excesivamente altas en el revestimiento.

Este último elemento de unión se utiliza principalmente en las uniones circunferenciales.

Actualmente se está utilizando, en las uniones circunferenciales, un sistema de unión combinada de tirafondo con un conector de pequeña longitud, denominado bicono. Los dos elementos de unión se colocan durante el montaje del anillo, y a unos 200 m del frente se retiran los tornillos para su reutilización posterior. Esto se basa en que el anillo a 200 m del frente se ha estabilizado y únicamente está sometido a esfuerzos cortantes, que los resistiría el bicono.

12.1.4. IMPERMEABILIZACIÓN

La impermeabilización de un anillo de revestimiento se consigue a partir de:

- El relleno con mortero a presión del espacio anular comprendido entre el extradós del anillo de dovelas y la excavación y, eventualmente, una inyección posterior de lechada de cemento para corregir defectos del relleno, si procede.
- Los elementos de estanqueidad colocados en las juntas.
- Las propias dovelas, siendo importante limitar la porosidad del hormigón, el agrietamiento asociado a esfuerzos temporales o permanentes y los defectos en la fabricación de la acanaladura en la que se alojan los elementos de estanqueidad.

Se emplean tres tipos de elementos de estanqueidad:

- Juntas compresivas
 - Juntas hidrofílicas
 - Juntas mixtas
-
- Juntas compresivas

Se trata de juntas de estanqueidad fabricadas con material elastomérico, que tienen forma de bandas, y que se alojan en unos rebajes situados en las juntas tanto circunferenciales como radiales, situados próximos al extradós del anillo.

La estanqueidad de las bandas se consigue mediante la compresión de las mismas durante la colocación de las dovelas y manteniendo dicha compresión durante la vida de la estructura.

Las juntas de estanqueidad radiales funcionan por la compresión que sufren ante los esfuerzos que transmite el terreno, el peso propio del anillo y los tornillos de fijación radiales. En el caso de las juntas de estanqueidad transversales, son las cargas de compresión, que aplican los gatos hidráulicos de la tuneladora, las que comprimen las bandas y son los tornillos las que las mantienen.

- Juntas hidrofílicas

Las juntas hidrofílicas, que también se alojan en acanaladuras practicadas en las dovelas, se fabrican con polímeros que, en presencia de agua, aumentan hasta un 570% su volumen inicial; aunque las propiedades expansivas de este tipo de juntas pueden verse reducidas en presencia de aguas contaminadas o saladas.

- Juntas mixtas

Estas juntas están constituidas por una junta compresiva a la que se le ha añadido una junta hidrofílica.

El proceso de fijación de las juntas a las dovelas durante su fabricación, así como durante su posterior montaje en obra, debe hacerse con sumo cuidado para no dañar las juntas y evitar problemas posteriores de filtración al túnel.

En el caso de túneles sometidos a presiones de agua elevadas y riesgo apreciable de ovalización, se pueden adoptar dos soluciones: colocar dos juegos de juntas compresivas o bien colocar una junta compresiva en la proximidad del extradós y una junta hidrofílica en el intradós.

12.2. ANILLO PROPUESTO

La construcción del futuro túnel de Metro de la Ciudad de Oviedo con un escudo presurizado implica la utilización de revestimientos prefabricados, de dovelas de hormigón armado.

Se ha adoptado un anillo universal, formado por seis dovelas más cierre, con una relación entre la dovela de cierre y el resto de 1:2. La dovela de cierre puede situarse en 19 posiciones distintas, puesto que hay 19 tornillos en las juntas circunferenciales.

La elección del anillo universal frente al anillo no universal se debe a las ventajas que presenta el primero, que son:

- El anillo no universal exige dos juegos de moldes, uno a derechas y otro a izquierdas, para describir curvas en planta; mientras que el anillo universal requiere un solo juego de moldes.
- El anillo universal es el que permite una gama más amplia de radios de curvatura, tanto en planta como en alzado, consiguiendo un mayor ajuste del túnel a la traza del proyecto.
- En el anillo no universal, las juntas anillo / dovela son siempre en cruz, lo que se considera menos eficaz ante filtraciones de agua que las juntas en T obtenidas con el anillo universal.

El anillo propuesto está formado por dovelas rectangulares y trapezoidales (dovela de cierre y adjuntas).

En las juntas circunferenciales se han dispuesto 13 biconos, que ayudan durante el montaje de las dovelas, situados a 150 mm respecto del perno.

En las juntas radiales se han dispuesto como elementos de unión, con excepción de la unión entre la dovela de clave con las dovelas contiguas (donde se disponen dos tornillos rectos), dos barras de guiado de 60 mm de diámetro y 400 mm de longitud y un tornillo recto (tirafondo) de 25 mm de diámetro.

12.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL ANILLO

El diámetro interior del anillo es de 10,40 m.

De acuerdo con los criterios empíricos, citados por Carlos Oteo en su artículo “Diseño del anillo prefabricado para el revestimiento del Metro de Madrid” editado por la Revista de Obras Públicas (1997), el espesor del anillo deberá estar comprendido $1/30$ y $1/25$ veces el diámetro interior, es decir, con el diámetro interior de 10,40 m, entre 34 y 41 cm. El espesor finalmente adoptado ha sido de 38 cm. Respecto de la longitud del anillo se ha adoptado un anillo de 1,8 m.

En relación con el número de dovelas, hemos de indicar que cuanto menor sea su número menor es el riesgo de ovalización. En este sentido se ha adoptado un anillo formado por siete dovelas, cuatro de ellas rectangulares (denominadas en los planos con las letras A1, A2, A3 y A4) y tres trapezoidales (denominadas con las letras B, C y K) para poder cerrar el anillo.

Conocidos el número de dovelas y la relación de la dovela de cierre con el resto, resulta que los ángulos abarcados por las dovelas son $27,692^\circ$ en la dovela de cierre (denominada en los planos con la letra K) y $55,385^\circ$ en el resto.

El radio mínimo de curvatura que se puede describir con el anillo universal depende de la conicidad dada al anillo. En este caso el trazado tiene un radio mínimo de 350 m. El despiece de las dovelas se ha proyectado para un radio menor, de 250 m, que permite la corrección de la alineación del escudo en el caso de algún problema de trazado, por otra parte esta conicidad se adapta mejor al trazado en alzado.

El anillo se ha proyectado cónico con un ángulo de $0,413^\circ$, resultando una conicidad total de 80,36 mm.

Con objeto de evitar juntas en cruz, se recomienda no disponer más de dos anillos consecutivos con la llave en la misma posición. Esto no es ningún problema ya que combinando de manera adecuada los 19 giros que permite el anillo, se pueden describir rectas y curvas, en planta y en alzado de radio superior a 250 m.

Como ejemplo de posicionamiento de dovelas podemos ver que:

- Con la dovela de cierre situada en la posición 1 y 19, el túnel describe un tramo recto con pendiente ascendente.
- Con la dovela de cierre situada en las posiciones sucesivas 7 y 8, el túnel describe un tramo recto con pendiente descendente.
- Con la dovela de cierre situada en la posición 4, el túnel describe una curva cerrada a derechas, más o menos horizontal.
- Con la dovela de cierre situada en la posición 11, el túnel describe una curva cerrada a izquierdas y más o menos horizontal.

Combinado el resto de las posiciones describirá desplazamientos ascendentes y descendentes a la vez que proporcionara un giro a la izquierda o a la derecha según sea su posición.

12.2.2.UNION DE LAS DOVELAS

En los siguientes apartados se definen el tipo de junta y los elementos de fijación adoptados para el diseño del anillo de revestimiento.

SUPERFICIES DE CONTACTO

Las superficies de contacto, tanto en las juntas radiales como en las circunferenciales, se han diseñado planas.

En las juntas radiales, con excepción de la unión de la dovela de clave con la contigua se han dispuesto dos barras de guiado, habiéndose realizado un rebaje en la junta, consistente en un semicilindro de 61 mm de diámetro en cada cara. En una de las caras el rebaje es continuo y en la opuesta el rebaje está limitado a la longitud de la barra de guiado más una tolerancia de 4 mm.

SISTEMAS DE FIJACIÓN

En las juntas circunferenciales se han dispuesto dos biconos y dos tornillos por dovela con excepción de la dovela de clave donde solo hay un tornillo y un bicono. Para permitir alojar

los biconos se han creado, en las dovelas, unos rebajes consistentes en la combinación de un cono truncado de 66 y 33 mm de diámetro y 20 mm de profundidad y un cilindro de 66 mm de diámetro y 13 mm de altura. En la cara circunferencial de las dovelas donde se han puesto los packers (cara opuesta a la cara donde empujarán los gatos) se ha añadido a continuación del hueco existente un rebaje con forma troncocónica de 15 mm de profundidad y diámetro variable entre 7 y 9 mm con un chaflán a continuación de 3 mm en la unión de los dos rebajes.

Por otra parte, en las juntas radiales (con excepción de la dovela de clave con las contiguas) se disponen, como elementos de unión, dos barras de guiado de 400 mm de longitud por 60 mm de diámetro más un tornillo recto de 25 mm de diámetro.

Para poder alojar las barras de guiado en las juntas radiales se han realizado dos acanaladuras de 30,5 mm de radio y 404 mm de longitud (con una tolerancia de 4 mm) en una de las caras de unión y en la cara contigua la acanaladura se ha diseñado pasante.

Los tornillos dispuestos en las juntas, tanto radiales como circunferenciales, se insertan en unos rebajes con forma trapezoidal con inserto embutido en la dovela contigua, de forma que se reduce el número de rebajes necesarios para los tornillos a la mitad.

En este caso, al tratarse de una obra que requiere un alto grado de impermeabilización, la solución adoptada es la más adecuada.

12.2.3. IMPERMEABILIZACIÓN

Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores la impermeabilización de un revestimiento prefabricado de dovelas se consigue mediante dos barreras:

- En primer lugar, la colocación en las juntas de la dovela de unas bandas o tiras de impermeabilización (impermeabilización primaria).
- En segundo lugar, una vez colocadas las dovelas en su posición, la inyección del espacio que queda entre la superficie excavada y el anillo de dovelas construido (impermeabilización secundaria).

En realidad, sería más correcto decir que la inyección del trasdós de las dovelas cumple la misión de ser la impermeabilización primaria, ya que, en la práctica, es la primera barrera que encuentra el agua freática en su recorrido hacia el interior del túnel, siendo la secundaria la que proporciona las juntas.

En relación con las juntas o bandas de estanqueidad, la construcción del túnel bajo el Canal de La Mancha, empleando como sistema de impermeabilización, únicamente, éstas y la inyección del espacio anular comprendido entre el anillo de dovelas y la excavación, ha contribuido enormemente al desarrollo de aquéllas.

Normalmente, estas bandas impermeabilizantes están fabricadas con cauchos de etileno-propileno (E.P.D.M.), termo-polímeros, o de policloropreno (CR), vulgarmente conocido este compuesto bajo la denominación de neopreno, ya que éste fue el nombre comercial del primer caucho fabricado en este compuesto a escala industrial.

Las bandas se encuentran alojadas en unos rebajes situados en las juntas, muy próximos al extradós, contruidos a tal efecto en las juntas radiales y circunferenciales de las dovelas. El encaje de las bandas en los rebajes, se hace normalmente a presión o mediante el empleo de resinas. Estas funcionan, fundamentalmente, por la compresión que sufren ante los esfuerzos que les transmiten los tornillos de fijación con que se unen las dovelas.

Además de las juntas entre las dovelas que constituyen un anillo del revestimiento (juntas radiales), existen las de unión entre los diferentes anillos (juntas circunferenciales), en las que las bandas de estanqueidad también funcionan por deformación bajo presión; en este caso la que transmiten los gatos de la tuneladora al hacer reacción en el último anillo construido.

Hay que decir que, normalmente las bandas de neopreno pueden soportar una presión máxima de sellado de 10 bar.

En cuanto a lo que se ha denominado como impermeabilización secundaria, esto es, la inyección del hueco anular creado entre la excavación realizada por la tuneladora y el anillo constituido por las dovelas, las fases son las siguientes: una vez conformado el anillo de dovelas y colocado en su posición definitiva se rellena el hueco que queda entre su trasdós y la excavación realizada, empleando medios neumáticos, con una lechada de cemento.

Para el dimensionamiento de las juntas de impermeabilización se debe partir de una carga hidrostática, que, en este caso se ha supuesto de 3,3 bar.

Para la comprobación de la validez del sello formado por la junta, es necesario su verificación a una presión superior a la de trabajo, durante un tiempo significativo.

La junta adoptada es capaz de aguantar 12 bar de presión de sellado inmediato (considerando un gap de 6 mm y un offset de 15 mm). La capacidad de sellado a largo plazo de acuerdo con stress relaxation según la BS903 es de 7,8 bar y la capacidad de sellado con criterio conservador de 100 años es de 6,0 bar. En ambos casos la capacidad de sellado de la junta propuesta es superior a la presión hidrostática máxima existente.

La junta está formada por material EPDM, tiene una anchura de 20 mm sin comprimir y de 12 mm comprimida.

La fuerza necesaria para comprimir la junta es de 42,5 KN/m y dado que la junta radial tiene una anchura de 1,80 m, se necesita aplicar una fuerza de 76,5 KN para poder comprimir la junta.

12.2.4.DATOS GEOMÉTRICOS DE LOS ANILLOS UTILIZADOS EN OTROS TÚNELES

A título de ejemplo se exponen en la tabla adjunta algunos casos de anillos empleados en obras similares:

TÚNEL	Ø _i (m)	e (cm)	Ø/e (m)
Metro de Atenas	8,48	35	24,23
Grauholz (Suiza)	10,60	40	26,50
Periférico Lyon	9,78	46	21,16
Metro Cairo	8,40	40	21,00
Metro Lisboa	8,80	36	24,44
Passante Milano	6,90	30	23,00
Metro Madrid	8,43	32	26,34
Metro de Barcelona	10,90	35/40	31,14/27,25

Tabla nº12: Anillos utilizados en otros túneles

En este caso, se ha tomado para un $\varnothing_i = 10,40$ m un espesor de dovela de 38 cm, con lo cual $\varnothing/e = 27,37$, lo cual está en consonancia con la tendencia al aumento de esta relación.

Las dovelas se montan al abrigo de la coraza del escudo, mediante el encaje de unas con otras, con el sistema de unión descrito anteriormente, colocándose por anillo 13 tornillos más 13 biconos en las juntas circunferenciales y 9 tornillos más 10 barras de guiado en las juntas radiales.

Las características de las dovelas son:

Tipo de anillo	Universal
Diámetro de excavación:	11.54 mm
Diámetro interior:	10.400 mm
Espesor de revestimiento:	380 mm
Espesor inyección en trasdós:	157,5 mm
Longitud media del anillo:	1.800 mm
Número de dovelas:	6 + 1
Posiciones de la llave	19
Angulo abarcado por la pieza llave	27,692°
Angulo abarcado por el resto de las dovelas	55,385°

Tabla nº13: Características de anillo a emplear en el túnel

12.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Se suponen las siguientes características para los materiales empleados.

HORMIGÓN

Dadas las características del túnel, se propone un hormigón HA-40 de resistencia característica a compresión (f_{ck}) de 40 MPa a los 28 días.

- Resistencia característica a compresión:

La resistencia característica del hormigón de las dovelas a 28 días será de 40 MPa.

- Resistencia a tracción:

El término resistencia a tracción, según el Código Modelo CEB-FIP 1990, se refiere a la resistencia a tracción axial f_{ct} determinada de acuerdo con RILEM CPC7.

Los límites superior e inferior de la resistencia característica a tracción $f_{ctk,max}$ y $f_{ctk,min}$ pueden estimarse a partir de la resistencia característica a compresión.

$$f_{ctk,min} = f_{ctko,min} \left(\frac{f_{ck}}{f_{cko}} \right)^{2/3}$$
$$f_{ctk,max} = f_{ctko,max} \left(\frac{f_{ck}}{f_{cko}} \right)^{2/3}$$

donde:

$$f_{cko} = 10 \text{ MPa}$$

$$f_{ctko, min} = 0,95 \text{ MPa}$$

$$f_{ctko, max} = 1,85 \text{ MPa}$$

Por otra parte, la resistencia media a tracción f_{ctm} asociado a la resistencia característica f_{ck} es:

$$f_{ctm} = f_{ctko, m} \left(\frac{f_{ck}}{f_{cko}} \right)^{2/3}$$

$$f_{ctko, m} = 1,40 \text{ MPa}$$

Los valores correspondientes de la resistencia característica a tracción que resultan para un hormigón de 40 MPa de resistencia característica son:

$$f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,min} = 2,4 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,max} = 4,7 \text{ MPa}$$

- Módulo de elasticidad:

Los valores del módulo de elasticidad pueden estimarse a partir de la resistencia característica especificada según la ecuación:

$$E_{ci} = E_{co} \left[(f_{ck} + \Delta f) / f_{cmo} \right]^{1/3}$$

donde:

E_{ci} = módulo de elasticidad (MPa) para una edad del hormigón de 28 días.

f_{ck} = resistencia característica (MPa).

Δf = 8 MPa

f_{cmo} = 10 MPa

E_{co} = $2,15 \cdot 10^4$ MPa

Este valor se reduce, según el Código Modelo CEB-FIP 1990, para tener en cuenta la deformación plástica inicial.

$$E_c = 0,85 E_{ci}$$

Los valores del módulo tangente E_{ci} y del módulo reducido E_c que resultan son:

$E_{ci} = 36.000$ MPa

$E_c = 31.000$ MPa

ACERO

Se utilizarán barras corrugadas que cumplan los requisitos técnicos establecidos en la UNE 36068:94 y UNE 36740:98.

Las barras serán del tipo B 500 S, cuyas principales características son:

Clase de acero soldable

Límite elástico (f_y) = 500 N/mm²

Carga unitaria de rotura 550 N/mm²

Relación f_u/f_y en ensayo no menor que 1,05

Módulo de elasticidad = 200 KN/mm

12.2.6. DIMENSIONAMIENTO DE LA DOVELA

Para el dimensionamiento de la dovela se han buscado los parámetros y la experiencia aplicada en otras obras de construcción en las que sean empleado este tipo de anillos y que han servido de referencia para el dimensionamiento del anillo propuesto.

ARMADURA

La cuantía geométrica mínima exigible que debe disponerse es 1,8‰, referido a la sección total de hormigón.

Para una dovela de 1,8 m de longitud y 0,38 m de espesor, la cuantía mínima será de 12,312 cm², que corresponde a 11 ϕ 12.

Podemos decir como orden de magnitud que las cuantías oscilan habitualmente entre los 40 kg/m³ y los 180 kg/m³.

DIMENSIONAMIENTO DE LA DOVELA

Los resultados obtenidos para el dimensionado son los siguientes:

HIPÓTESIS	N _d (t)	M _d (mt)	U _s (t)	As (mm ²)	Armadura
Cargas debidas al terreno	280,12	23,03	--	--	--
Manipulación	--	11,156	36,514	840	8 ϕ 12
Desencofrado	--	11,156	37,480	862	8 ϕ 12
Almacenamiento	--	13,296	44,09	1.014	9 ϕ 12
Armadura mínima geométrica	--	--	--	1.231	11 ϕ 12

Tabla nº14: Dimensionamiento de la dovela a emplear en el túnel

Los esfuerzos correspondientes a las cargas del terreno son por metro.

La hipótesis más desfavorable, como se puede observar en el cuadro adjunto, corresponde al almacenamiento de dovelas, exigiendo una armadura de 9 ϕ 12, que es inferior a la mínima geométrica del 1,8‰.

Respecto del empuje de los gatos se dispone una armadura transversal en las dos juntas circunferenciales consistente en 11 cercos de ϕ 12 por metro más una armadura adicional en el sentido circunferencial de 8 ϕ 12 en cada cara. Por spalling se disponen 4 ϕ 10.

En las juntas radiales se ha dispuesto una armadura adicional consistente en 12 cercos de ϕ 12 y 4 redondos de 10 mm en la dirección del túnel.

Como armadura principal se dispondrá, por consiguiente, una armadura de 12 ϕ 12 que representa una cuantía del 2,154 ‰ mayor que la mínima exigible del 1,8‰ según indica la Norma EHE y el EUROCÓDIGO nº 2.

Respecto de la armadura de reparto se disponen cercos de ϕ 8 cada 20 cm. También se ha dispuesto un refuerzo de armadura en el contorno del alojamiento de los tornillos y del inserto de inyección de la dovela.

La armadura dispuesta en las dovelas se calcula para absorber los esfuerzos que se producen durante el manejo de las mismas, así como por las acciones del terreno, es decir, se han tenido en cuenta todas las acciones posibles que pueden actuar sobre ellos.

Teniendo en cuenta todas las hipótesis mencionadas resulta el dimensionamiento de la dovela:

HORMIGÓN	ARMADURA PRINCIPAL	CERCOS	CUANTÍA (kg/m ³)
HA-40	12 ϕ 12	ϕ 8 / 20 cm	125

ANEJO N°7

INSTALACIONES AUXILIARES

INDICE

- 1. INTRODUCCION**
- 2. ENERGIA ELECTRICA**
 - 2.1. ACOMETIDA
 - 2.2. CENTROS DE TRANSFORMACION
 - 2.2.1. CENTRO DE MEDIDA Y DISTRIBUCION
 - 2.2.2. CENTROS DE TRANSFORMACION CT1, CT2 Y CT3
 - 2.3. REDES DE DISTRIBUCION
- 3. AGUA INDUSTRIAL**
 - 3.1. ACOMETIDA
 - 3.2. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION
 - 3.2.1. CARACTERISTICAS DEL GRUPO DE PRESION A INSTALAR
 - 3.3. SISTEMAS DE REFRIGERACION
 - 3.4. PLANTA DE DEPURACION
- 4. TRENES DE TRABAJO**
 - 4.1. PLAYA DE VIAS
 - 4.2. COMPOSICIONES
 - 4.2.1. LOCOMOTORAS
 - 4.2.2. VAGONES PLATAFORMAS
 - 4.2.3. VAGONES CUBA PARA BENTONITA
 - 4.2.4. VAGONES CUBA PARA MORTERO
 - 4.2.5. VAGONES DE TRANSPORTE DE PERSONAL
 - 4.3. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO Y CIRCULACION
 - 4.4. ESTUDIO DE TRACCION Y FRENADO
- 5. SISTEMA DE EVACUACION DE ESCOMBROS**
 - 5.1. CINTAS TRANSPORTADORAS
 - 5.2. BOOSTERS
 - 5.3. FOSO DE ESCOMBROS
- 6. PORTIGO-GRUA**
 - 6.1. FUNCIONES
 - 6.2. CARACTERISTICAS
 - 6.3. ACOPIO DE ANILLOS
- 7. REDES DEL TUNEL**
 - 7.1. VENTILACION

-
- 7.1.1. CALCULO DEL CAUDAL NECESARIO DE VENTILACION EN EL TUNEL
 - 7.1.2. CALCULO DE LA INSTALACION Y VENTILADOR A EMPLEAR
 - 7.2. AGUA INDUSTRIAL Y RESIDUAL
 - 7.3. ENERGIA ELECTRICA
 - 7.4. AIRE COMPRIMIDO
 - 8. PLANTA DE MORTERO**
 - 9. PLANTA DE BENTONITA**
 - 10. PLANTA DE CAL**
 - 11. PLANTA DE FABRICACION DE DOVELAS**
 - 11.1. INTRODUCCION
 - 11.2. SISTEMA Y CANTIDADES
 - 11.3. PRODUCCION PREVISTA
 - 11.4. PLANTA DE FABRICACION
 - 12. RESTO DE INSTALACIONES (Almacenes, bascula y lavadero talleres, vestuarios y oficinas)**

1. INTRODUCCION

Toda tuneladora necesita de una serie de instalaciones auxiliares para su correcto funcionamiento. Estas instalaciones se implantan en las cercanías del pozo de ataque y de su correcto dimensionamiento depende el buen desarrollo de los trabajos de excavación.

Entre los elementos más importantes destaca la fuente de suministro de energía, necesaria para el funcionamiento de la tuneladora en sí y del resto de instalaciones. También hay que considerar el suministro de agua, tanto como materia prima necesaria en el acondicionamiento del terreno como para la limpieza, así como todas las instalaciones necesarias para el suministro de material (mortero, bentonita, cal, etc.) y su transporte (trenes, cinta de desescombro).

En los apartados siguientes se detallan todas las instalaciones.

2. ENERGIA ELECTRICA

2.1. ACOMETIDA

La acometida eléctrica, o enganche a la red general de Hidroeléctrica del Cantábrico se realizara la zona de el pozo de instalaciones de la Tuneladora entre los barrios del Nora y Folgueras, zona por donde pasa la acometida general de Hidroeléctrica del Cantábrico, mediante un cable RHZ1 18/30 KV 3(1X240) mm² Al., apto para 10 MVA. Desde este punto de acometida se alimentarán las celdas de medida y protección de las líneas que, a su vez, alimentan los tres transformadores utilizados en la obra.

2.2. CENTROS DE TRANSFORMACION

El primer transformador, situado junto al punto de acometida, se usa sólo para adecuar la tensión entregada por la compañía distribuidora (HC) a la que se utiliza en la tuneladora, es decir de 25 kV a 20 kV, y tiene una potencia de 10 MVA. Las otras celdas, integradas en el Centro de Medida y Distribución, se utilizan para la alimentación de los tres centros de transformación secundarios, que se van a emplear para todos los servicios e instalaciones necesarias para el funcionamiento de la obra.

2.2.1. CENTRO DE MEDIDA Y DISTRIBUCION

El centro estará integrado en un contenedor prefabricado de hormigón y compuesto por los siguientes elementos:

- 1 Cabina de entrada de línea – 36 kV.
- 1 Cabina de seccionamiento y frontera – 36 kV.
- 1 Cabina de remonte – 36 kV.
- 1 Cabina de disyuntor general de M.T.- 36 kV.
- 1 Cabina de contaje – 36 kV.
- 1 Cabina de seccionamiento de medida – 36 kV.
- 1 Cabina de protección del Trafo de 10 MVA-36 kV.
- 1 Cabina protección línea **CT1** - 36kV.
- 1 Cabina protección línea **CT2** – 36 kV.
- 1 Cabina protección línea **CT3** – 36 KV.
- 1 Cabina de remonte 24 kV.
- 1 Cabina de protección de línea 20 kV a tuneladora – 24 kV.

Cada celda de protección de línea, dispondrá de un relé de protección ekor-RPT, contra sobre intensidades multicurva para fases y tierra (Homopolar, 50-50N), y contra falta a tiempo definido, para fase o tierra (51-51N). La protección de la intensidad de defecto a tierra (cuba a masa) se realizara mediante relé MIF-II-IV.

2.2.2. CENTROS DE TRANSFORMACION CT1, CT2 y CT3.

Además del transformador de entrada y del centro de Medida y Distribución se cuenta con instalar tres transformadores secundarios de 1.600 kVA. para el suministro de energía a todas las instalaciones auxiliares.

Cada centro de transformación se compondrá de una celda de remonte y una celda de protección para el cuerpo del transformador. La tipología de los transformadores es la siguiente: transformador en seco para el **CT1** y para el **CT2** y **CT3** refrigeración por aceite y llenado integral. En ambos casos transforman la tensión desde 25 kV a 400 V. A la salida de cada secundario hay un interruptor general para la protección del secundario ante sobrecargas y cortocircuitos. Cada centro dispondrá de una cubeta de hormigón para la recogida de aceites y con los correspondientes componentes para cualquier maniobra que eventualmente haya que realizar, (guantes, banquetas, pértigas).

Del **CT1** se suministrara energía a las siguientes instalaciones: Oficinas del Túnel, Vestuarios y Baños, Almacenes de la Tuneladora, Taller Eléctrico y Taller Mecánico de la Tuneladora, Grupo de Presión y Bombeo de Agua Industrial, Torre de Refrigeración del Agua, Ventilación del Túnel, Alumbrado General del Área y los servicios generales del primer kilómetro del túnel, que son: Alumbrado y *Boosters* de la Cinta de Desescombro.

Del **CT2** se suministrara energía a la Planta de Fabricación de Bentonita, Planta distribuidora de Cal, Sistema de Carga de Mortero, Acumulador Cinta de Desescombro y *Stacker*, Depuradora de Agua Residual, Pórtico-Grúa, Alimentación Foso Locomotoras y Playa de Vías, Alumbrado General del Área, Lavadero de Ruedas y Báscula de Pesaje de Camiones.

Del **CT3** se suministrara energía a la Planta de Fabricación de Dovelas.

Por otra parte cada uno de los "*Boosters*", o tambores motores de accionamiento de la cinta de desescombro, excepto el primero que se encuentra en el primer kilómetro de túnel y se alimenta desde el **CT1**, cuenta con un transformador propio para la conversión de la tensión desde la línea principal de alimentación a la tuneladora (25 kV a 400 V). Estos transformadores también proporcionarán la energía para el alumbrado del túnel.

2.3. REDES DE DISTRIBUCION

Desde la salida del Centro de Medida y Distribución principal, la alimentación del **CT1**, **CT2** y **CT3** se realizara mediante doble tubo enterrado. El cable que conecta cada celda de protección con cada transformador, es unipolar Al 3x150, va bajo tubo, y cada 25 m hay una arqueta de acceso a este. Por motivo de seguridad, el cable que quede al descubierto en las arquetas se ha tapado con 50 cm. de arena y colocado una señalización indicativa de la existencia de cable eléctrico. En previsión a posible ampliación tanto el tendido de tubo entre el centro de medida y centro de transformación va con doble tubo.

El cable que conecta la celda de protección con la tuneladora (Alta Tensión) se llevara bajo tubo, salvo en las cercanías del pozo de montaje, que es mediante canaleta prefabricada de hormigón con tapa y en el pozo, que está sujeto a la pared mediante bridas. En el pozo de montaje del escudo, hay una estructura a 3 m de altura, donde se realizará el empalme con la bobina de alta de la tuneladora.

El tendido de baja tensión será también bajo tubo, con acceso mediante arquetas registrables, salvo en el pozo de montaje y el playa de vías, donde el conexionado a los cuadros se realizara mediante el tendido de los cables sobre bandeja. Los cables que estén por debajo de 2 m tendrán una tapa ciega metálica, para protegerlos mecánicamente ante golpes, y dificultar el acceso a estos.

3. AGUA INDUSTRIAL

3.1. ACOMETIDA

La acometida de abastecimiento de agua a la red general de AQUALIA se tomará de la que alimenta a los barrios del Nora y Folgueras, que se encuentran próximos a la zona de instalaciones, a esta acometida conectara una tubería de acceso de 4" y se consumirá un caudal máximo de 60 m³/h, que es suficiente para el consumo de la tuneladora y resto de las instalaciones, dado que se cuenta con un sistema de almacenamiento de 600 m³ y que el agua de refrigeración circula por un circuito cerrado.

3.2. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION

Para el almacenamiento y distribución de agua se instalaran 4 depósitos de chapa de acero galvanizado y lámina de impermeabilización interior de 150 m³ de capacidad cada uno que nos permiten acumular agua para la alimentación de la tuneladora durante aproximadamente un día de trabajo en el caso de fallo de suministro de la red. Otro cometido es la de recibir el agua de retorno procedente de la torre de refrigeración y alimentar al equipo de bombeo.

De este sistema de depósitos salen las tuberías de abastecimiento de la tuneladora, la planta de fabricación de bentonita, la de fabricación de las dovelas y mortero, así como diversos puntos para el baldeo y la limpieza general. Toda la red de tuberías está formada por tubos de acero DIN 2458/1626 st 37 Ø 219,1 x 4 mm en tramos de 6 m unidos mediante bridas con junta de estanqueidad.

3.2.1. CARACTERISTICAS DEL GRUPO DE PRESION A INSTALAR

En las especificaciones de la tuneladora el fabricante recomienda que el agua suministrada llegue a la máquina con una presión, caudal y temperatura determinados, independientemente del punto del trazado:

- Caudal de entrada en la máquina: **Q_e=150 m³/h.**
- Presión de entrada en la máquina: **P_e=5 bar.**
- Temperatura de entrada en la máquina: **T_a=20 °C.**

El grupo de presión está situado en el interior del pozo de arranque de la Tuneladora, a la cota +136 m. y los depósitos de abastecimiento a la cota +157 m. La ubicación de los depósitos con respecto al grupo de presión hace que la presión de alimentación de las bombas sea positiva. El grupo que se instalara es de la marca **GRUNDFOS**, compuesto por cuatro bombas de 75 kw y funcionando las cuatro bombas en dos líneas paralelas (con dos bombas en serie en cada línea). Estas bombas son capaces de funcionar tanto en serie como en paralelo, para adaptarse a las necesidades de la tuneladora. El grupo es capaz de suministrar un caudal de 180 m³/h (el de trabajo es de 150 m³/h), con una presión de salida de 30 bar.

En el cálculo de una bomba, la altura total es la suma de la altura geométrica H_G más la pérdida de carga producida por la circulación del fluido (agua clara) por la tubería J:

$$H_T = H_G + J$$

Dicho término de pérdida de carga J es proporcional al cuadrado del caudal que circula:

$$J = c Q^2$$

El coeficiente de proporcionalidad se deriva de la clásica fórmula de Darcy. Una fórmula empírica para determinar la pérdida de carga en una tubería es:

$$J = \frac{10,34 n^2 L}{d^{16/3}} Q^2$$

Donde:

J: pérdida de carga, m ($1 \text{ m} = 0,10 \text{ kp/cm}^2 = 0,10 \text{ bar} = 0,01 \text{ MPa}$)

L: longitud de la tubería, m

Q: caudal, m^3/s

d: diámetro interior de la tubería (m)

n: factor de fricción que depende del material del que esté hecha la tubería

- Polietileno: $n=0,010$
- Acero: $n=0,013$
- Fundición: $n=0,015$
- Hormigón: $n=0,016$

Vamos a aplicar la fórmula en el caso más desfavorable, cuando el túnel tiene la longitud máxima. Los datos son:

$$L = 7.000 \text{ m}$$

$$Q = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0416 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 200 \text{ mm} = 0,200 \text{ m}$$

$$n = 0,013$$

En este caso la altura geométrica es nula ya que al funcionar en circuito cerrado la cota del punto de salida del agua es la misma que la cota del punto de llegada $H_G=0$. La altura total será la correspondiente a la pérdida de carga por fricción:

$$H_T = J = c Q^2$$

El coeficiente c vale:

$$c = \frac{10,34 n^2 L}{d^{16/3}} = \frac{10,34 \times 0,013^2 \times 7000}{0,200^{16/3}} = 6,5 \times 10^4$$

Por lo tanto, la pérdida de carga por fricción en la tubería cuando la longitud es $L=7.000$ m vendría dada por la parábola:

$$H_T = 6,5 \times 10^4 \times Q^2 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Si el caudal es $Q= 180 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0416 \text{ m}^3/\text{s}$, resulta que la pérdida de carga total para los 7.000 m es:

$$H_T = 6,5 \times 10^4 \times 0,0416^2 = 112,5 \text{ m}$$

La pérdida por m lineal de tubería es:

$$H_1 = \frac{112,5}{7000} = 0,0160 \text{ m/m}$$

Y la pérdida de carga por cada 100 m de tubería será:

$$H_{100} = 0,0160 \times 100 = 1,6 \text{ m/ 100m}$$

Que coincide aproximadamente con lo que se calcula a partir del ábaco.

Para determinar el punto de trabajo de la bomba se ha de representar esta parábola en la misma gráfica que la de la bomba. Para eso hay que tener en cuenta que en dicha gráfica el caudal va en m^3/h por lo tanto, la parábola que hay que representar es:

$$H_T = 6,5 \times 10^4 \times \left(\frac{Q}{3600} \right)^2 = 5,0 \times 10^{-3} \times Q^2 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Nomogramas para el cálculo de pérdidas por fricción.

Valores orientativos de rugosidad superficial (k) para tuberías

Material de la Tubería	Tubería nueva k (mm)	Tubería vieja k (mm)
plástico	0,01	0,25
acero estirado	0,05	1,0
acero soldado	0,1	1,0
acero inoxidable estirado	0,05	0,25
acero inoxidable soldado	0,1	0,25
fundición	0,25	1,0
acero galvanizado	0,15	
fundición bituminada	0,12	
hormigón	0,3 - 2,0	
amiante-cemento	0,025	

Nomograma para pérdidas en tuberías, agua limpia a 20°C

Ejemplo
 $Q = 12,1/s$
 $D = 100 \text{ mm}$
 $k = 0,01 \text{ mm}$
 $H_p = 2,5 \text{ m} / 100 \text{ m}$

Q = Caudal, l/s
 D = Diámetro interior de la tubería, mm
 k = Rugosidad superficial, mm
 H_p = Pérdidas en la tubería, m/100 m

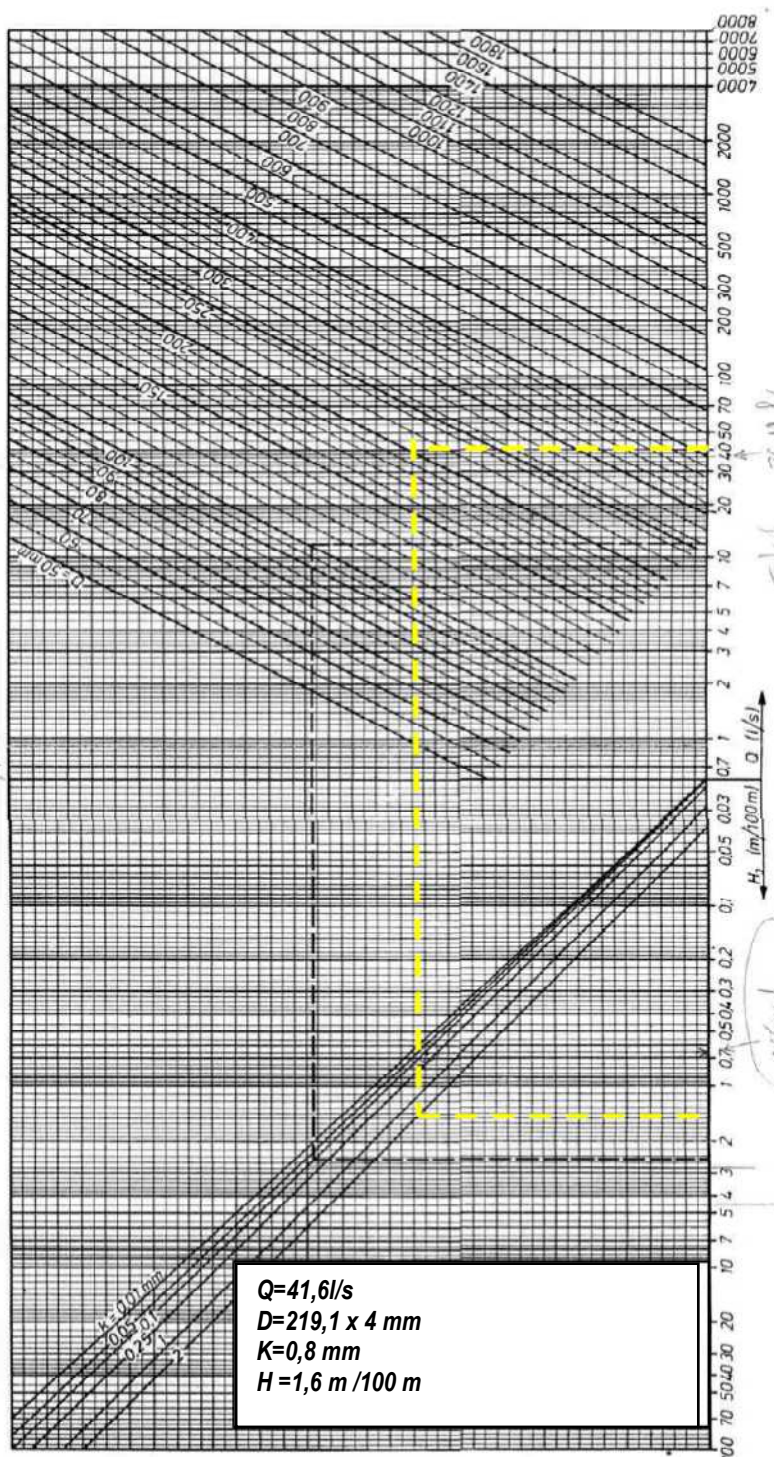


Figura nº1: Cálculo de Fricción para la tubería a emplear visto en el monograma

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS BOMBAS

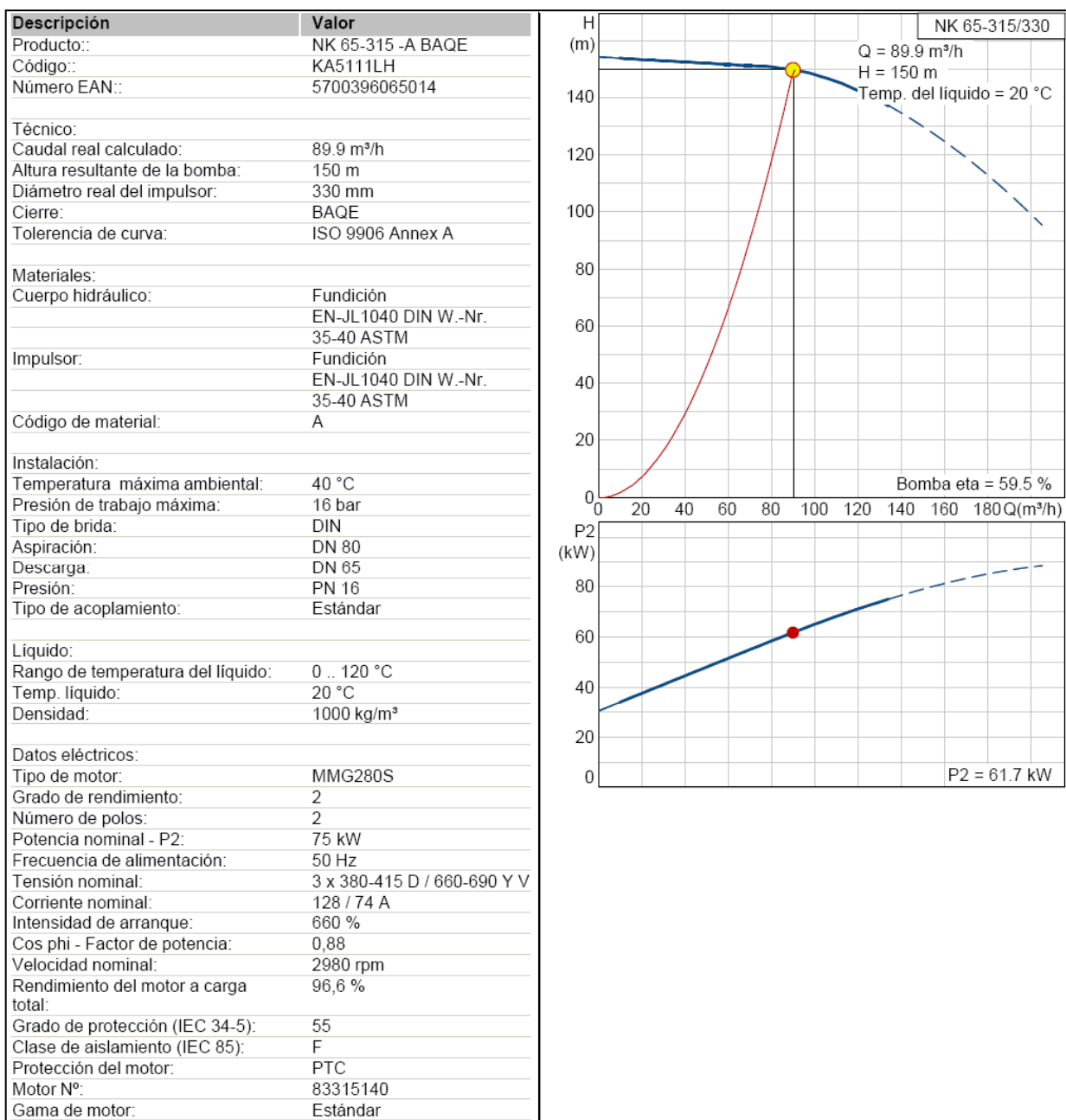


Figura N°2: Características técnicas de las bombas (1Ud)

A continuación en la tabla de la figura nº3 se consideran los puntos de trabajo a lo largo del túnel y se da el valor de presión o altura manométrica que debe entregar las bombas para conseguir los 5 bar de presión que nos demanda la máquina, puede comprobarse que el equipo de bombeo es el acto para la ejecución de este túnel. La fórmula considerada es la siguiente:

$$5 \text{ bar} = P_{\text{alimentación bomba}} + P_{\text{bomba}} - \Delta H_{\text{fricción tubería}} - \Delta H_{\text{cota z}}$$

Luego para conseguir los 5 bar de presión tenemos que:

$$P_{\text{BOMBA}} = 5 \text{ bar} - P_{\text{alimentación bomba}} + \Delta H_{\text{fricción tubería}} + \Delta H_{\text{cota z}}$$

Siendo:

$$\Delta H_{\text{fricción tubería}} = 1,6 \text{ m por cada tramo de } 100 \text{ m de tubería}$$

$$\Delta H_{\text{COTA Z}} = \text{altura manométrica}$$

$$P_{\text{alimentación bomba}} = 2 \text{ bar}$$

PUNTOS DE TRABAJO	COTA Z (m)	P.K. (m)	PERDIDAS POR FRICCIÓN (bar)	ALTURA MANOMETRICA (m)	PRESION SALIDA BOMBA PARA TENER 5 bares EN TBM (bar)
A	136	0	0	0	3
B	156	2000	3	20	8
C	156	3400	5	20	10
D	220	5000	7	84	19
E	220	5400	8	84	19
F	244	6200	9	108	23
G	212	7000	10	76	21

Figura nº3: Detalle de los puntos singulares del trazado.

La composición de trabajo de las bombas se ira modificando a lo largo del túnel, configurándolo de manera que se adapte a la demanda de la Tuneladora en cada punto concreto. A continuación veremos la composición de trabajo de las bombas para el túnel, las cuales se han considerado las mejores:

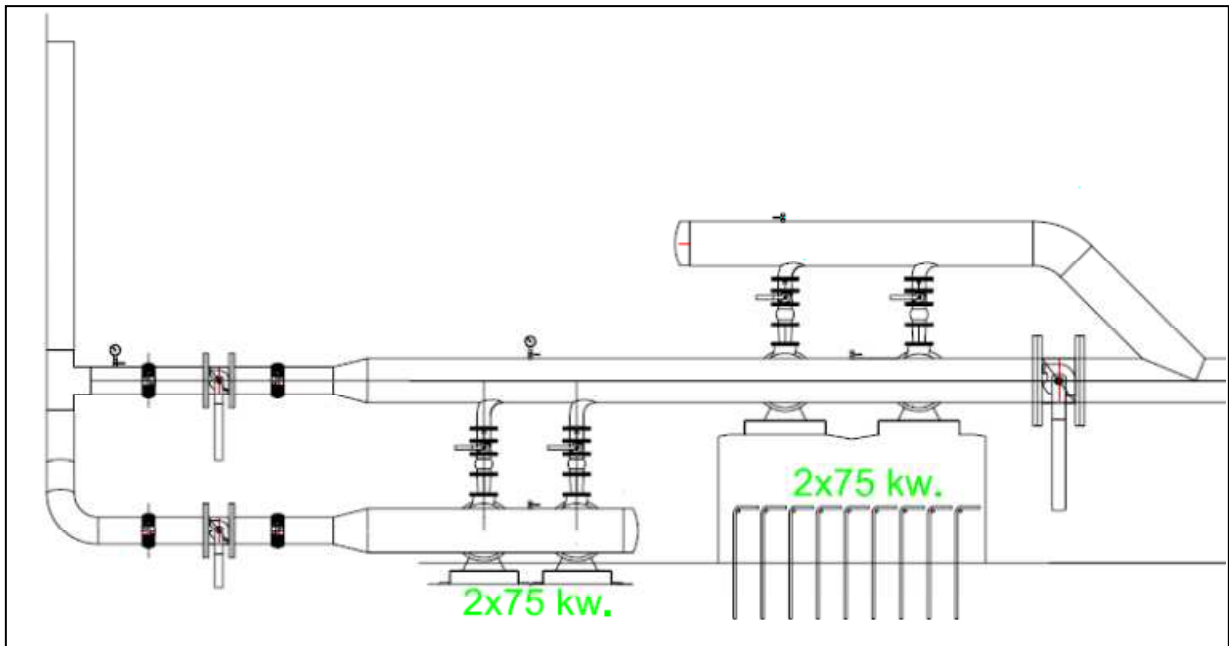


Figura Nº4: Esquema de posición de las bombas de alimentación de agua a la TBM

- Desde el inicio de perforación del túnel hasta, aproximadamente, el Pk. 5+000 podemos trabajar con las dos bombas de 75 kw funcionando en paralelo, de manera que se suministre un caudal de 180 m³/h a una altura de H=150 m, como se puede ver en la grafica de la dos bombas (figura nº4). El arranque será estrella triángulo, bomba a bomba, de forma local, o remota desde la cabina de mando de la TBM. Cuando se detecte falta de caudal en la aspiración de la bomba, el sistema se parará automáticamente no permitiendo arrancar en un espacio corto de tiempo. Alguna señal luminosa debe avisarnos de este contratiempo. Cuando se esté trabajando con esta opción no se podrá arrancar, bajo ningún concepto, el otro grupo de bombas de 75 kw. Cuando el sistema detecte que, una vez puesto este en marcha, hay falta de flujo aguas abajo de las bombas es de suponer que alguna válvula del túnel está cerrada y el sistema debe parar automáticamente.
- Cuando se exceda un número de horas determinadas (por ejemplo cada 1.000 horas de trabajo), se pasara a trabajar con el otro grupo de bombas de 75 Kw para compensar de esta manera el número de horas trabajadas por los dos grupos.

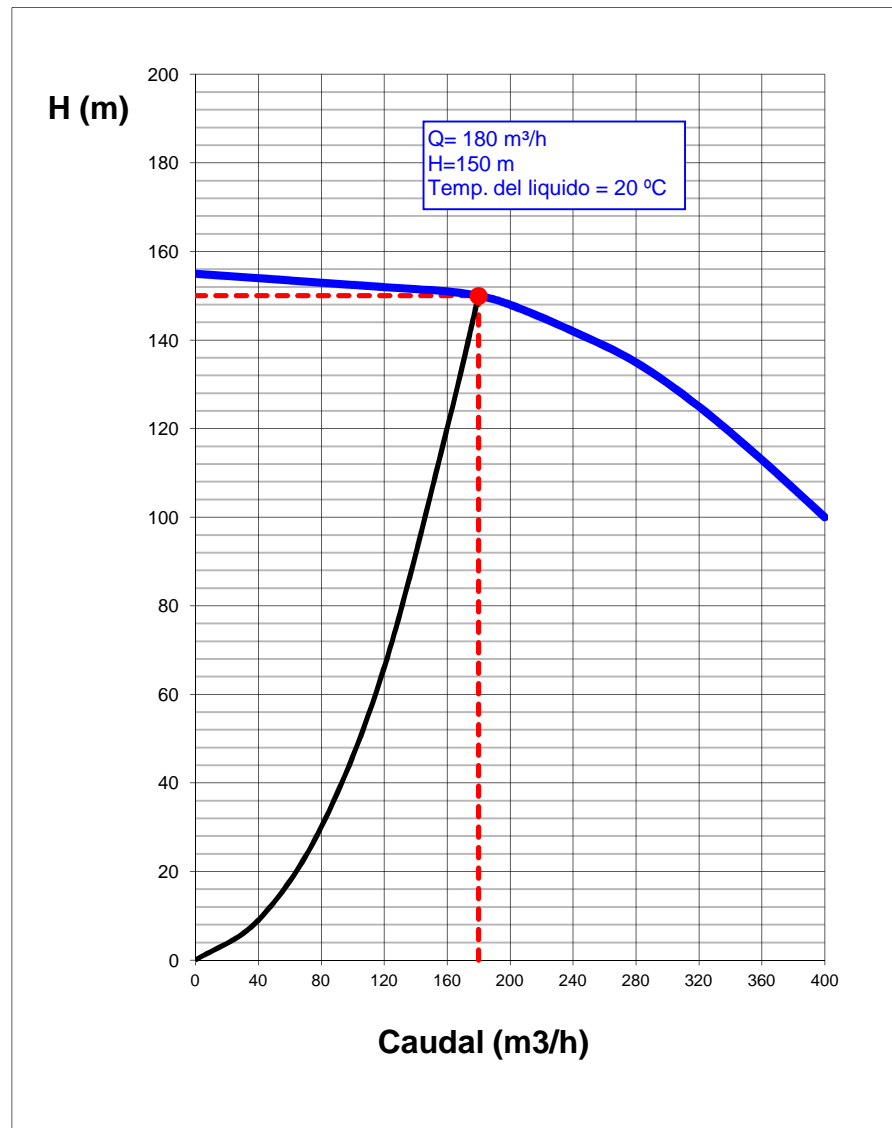


Figura N°5: Curvas de trabajo de dos bombas trabajando en paralelo

- A partir del Pk 5+000 y hasta el final del túnel la configuración anterior no suministrara suficiente presión para vencer las distintas pérdidas de cargas provocadas por las alturas manométricas, longitud de tubería, etc. En este momento debemos conectar el sistema de forma que los dos grupos de bombas trabajen en serie. En esta configuración las presiones se suman y el caudal permanece intacto, en la figura n°5 se puede ver la curva de trabajo de las bombas trabajando dos a dos en serie.

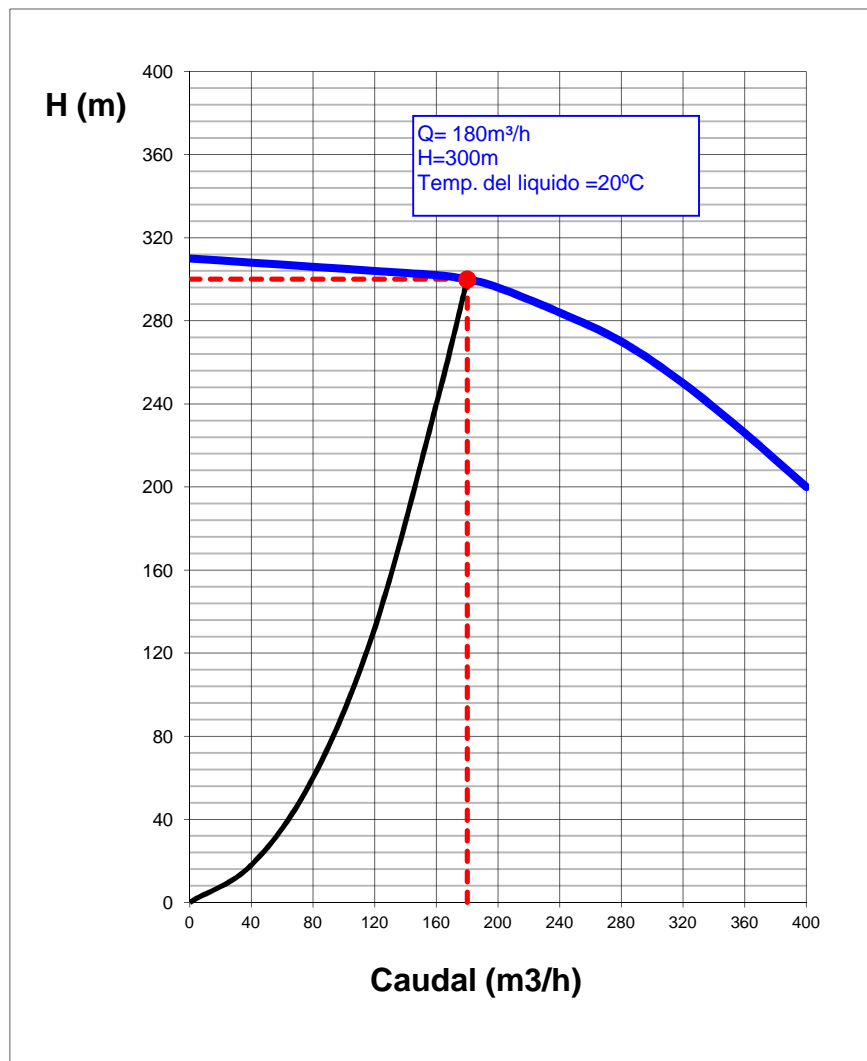


Figura N°6: Curvas de trabajo de cuatro bombas trabajando en serie dos a dos

3.3. SISTEMAS DE REFRIGERACION

El sistema de refrigeración de la tuneladora se basa en un circuito cerrado de recirculación de agua. El agua caliente, una vez circulada es bombeada al exterior para pasar por la torre de refrigeración y volver a los tanques de agua y para ser reutilizada. La tuneladora dispondrá de un tanque de almacenamiento de agua de retorno con capacidad para 8 m³ ubicado en el remolque nº 4. Una bomba centrífuga es la encargada de retornar el agua hacia la torre de refrigeración. Las características de la bomba que se instalara serán las siguientes, aunque puede instalarse una de similares características:

- Marca: KSB
- Modelo: Etanorm 80-200
- Diámetro rodete: 219 mm
- Potencia necesaria: 36 kW
- NPSHR: 0,5 bar.
- Presión: 6 bar.
- Caudal: 180 m³/h
- Motor: 45 kW.

En caso de tener problemas para retornar el agua, por alguna inconveniencia de la obra, podría instalarse en alguno de los puntos intermedios del túnel, un grupo de presión para facilitar la llegada del agua hasta la Torre de Refrigeración.

La torre de refrigeración estudiada para este caso será de la marca BALTIMORE y tiene una presión máxima de trabajo de 10 bar y una pérdida de carga de 0,464 bar. El funcionamiento de los ventiladores (tres ventiladores accionados por dos motores, M1=1 vent., M2=2 vent.) se regula mediante un sensor de temperatura situado en el conducto de entrada que marcará los cuatro rangos de funcionamiento:

- Si $T_e < 20^\circ\text{C}$ → M1 y M2 apagados.
- Si $20^\circ\text{C} \leq T_e < 22^\circ\text{C}$ → M1 encendido (33% de potencia).
- Si $22^\circ\text{C} \leq T_e < 24^\circ\text{C}$ → M2 encendido (66% de potencia).
- Si $24^\circ\text{C} \leq T_e$ → M1 y M2 encendido (100% de potencia).

La bomba es la pieza principal del sistema, debe impulsar el caudal necesario de agua (180 m³/h) a una presión que permita llegar a la torre de refrigeración después de haber superado las pérdidas por fricción y altura geométrica. El retorno de agua proveniente de la tuneladora deberá ser vertido a los depósitos a una cota tal que no permita la descarga a contracorriente. Los depósitos van provistos de un desagüe a la red de alcantarillado para evitar el rebose incontrolado en caso de que la suma del agua de retorno más el agua de aporte de la red supere eventualmente el nivel máximo de los depósitos. Dicho rebosadero está abierto para evitar el sifonamiento del circuito y con ello la descarga a la red de saneamiento del contenido de los depósitos.

DESIGN SELECTION DATA :	
Fluid inlet temperature	: 33.7 °C
Fluid outlet temperature	: 29.3 °C
Wet bulb temperature	: 26.0 °C
Fluid Flow	: 50.00 l/s Pressure Drop : 123.1 kPa
Capacity	: 914.1 kW
Coil Arrangement	: Standard
SELECTED MODEL : FXV 562-N	
Certified cooling capacity for above temperature conditions : 50.00 l/s (914.1 kW) Pressure Drop : 123.0 kPa	
TECHNICAL DATA :	
Unit height	: 4790 mm
Unit width	: 2985 mm
Unit length	: 5520 mm + 515 mm (pump) = 6035 mm (Total length)
Weight :	
Approx. shipping weight	: 7140 kg
Heaviest section	: 4730 kg
Approx. operating weight	: Standard : 11640 kg
	Remote sump : 11380 kg
	(Bottom drain diameter : 200 mm)
Airflow	: 56.7 m ³ /s
Fan Motor	: 18.50 kW + 11.00 kW
Spray waterflow	: 38.0 l/s
Pump Motor	: 4.00 kW
Coil Volume	: 1007.0 l
Base Sound Data at 15 m :	FAN : 73 dB(A)
	END : 64 dB(A)
	BACK : 66 dB(A)
	TOP : 74 dB(A)
Engineered sound attenuation packages are available for lower sound requirements.	

Figura nº7: Características técnicas de la torre de refrigeración.

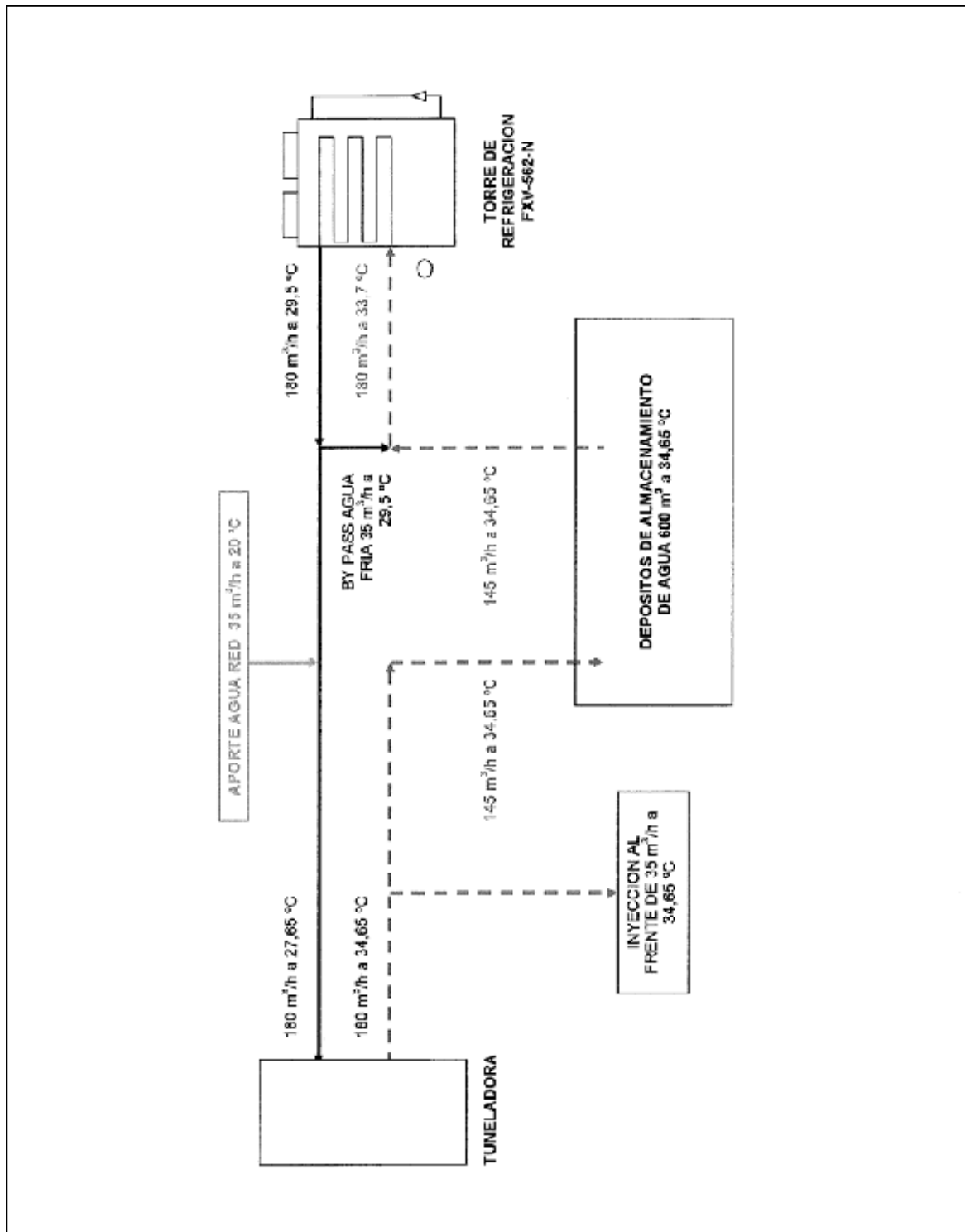


Figura n°8: Esquema del circuito de refrigeración de la tuneladora.

3.4. PLANTA DE DEPURACION

La planta de depuración está diseñada para depurar el agua residual proveniente de la tuneladora cuyo caudal máximo (de no mediar problema alguno) se estima en unos 25 m³/h y que contendrá fundamentalmente sólidos en suspensión (arenas, finos y restos de la limpieza de derrames del mortero), restos de grasas y aceites de la maquinaria (en muy baja concentración), etc.

Para dicho tratamiento dispondremos de un sistema dividido en varias fases, después de las cuales el agua (siempre dentro de los límites marcados por la Ley) será vertida directamente a la red de saneamiento público de AQUALIA.

Dichas fases de tratamiento de aguas serán las siguientes:

- a) Una primera fase donde las aguas residuales llegarán a una cámara agitada donde se adicionará ácido o base, según las características de las aguas a modificar su pH hasta valores requeridos. Este valor nos lo proporciona un controlador de pH, que dispone de una sonda con electrolito que transmite la señal de las aguas contenidas en el recinto.
- b) Posteriormente el agua pasará a un recinto de decantación con capacidad para 50 m³, desde donde el flujo iniciará un recorrido ascendente. Los fangos arrastrados se floculan deteniéndose gracias a la disminución de la velocidad ascensional. Dichos fangos formarán un manto filtrante que clarifica el flujo ascendente. El agua depurada emerge de la planta a través de unas pantallas deflectoras.
- c) Estos fangos serán bombeados y conducidos a un filtro prensa (automático con traslado superior de placas de baja presión), donde se realizará una deshidratación mecánica para eliminar el agua presente en el fango, esto se hará aplicando una presión elevada. Este filtrado se retornará a la cabecera del tratamiento.
- d) Por su parte el agua depurada en el apartado *b)* pasará a un recinto de neutralización (con deflectores en fibra de vidrio) donde de nuevo se comprobará los valores de pH, que en el caso que sean correctos será enviada a pozo de bombeo.

Este pozo de bombeo (unos 2,5 m de diámetro x 2 m de altura) dispondrá de una motobomba capaz de dar un caudal de 30 m³/h y altura manométrica de 1,2 bar, para su posterior vertido al colector.

4. TRENES DE TRABAJO

4.1. PLAYA DE VIAS

Para el abastecimiento de materiales a la tuneladora, así como para el transporte del personal se contara con un sistema de trenes de trabajo. Estos trenes tienen como base de aprovisionamiento, estacionamiento y punto de revisión/mantenimiento la playa de vías que se situara en el pozo principal de instalaciones.

Esta playa de vías cuenta con 4 vías, dos de las cuales son aptas para las operaciones de carga y aprovisionamiento de los materiales (anillos del túnel, mortero de relleno del trasdós, lodo bentonítico, carriles y todos los consumibles necesarios para la excavación del túnel). Una tercera vía es la que da acceso al foso-taller de revisión de locomotoras. La cuarta vía servirá para estacionamiento y maniobra del tren auxiliar o de emergencias.

4.2. COMPOSICIONES

Tal como se ha mencionado en el apartado anterior el aprovisionamiento de materiales se efectúa mediante trenes. Cada uno de los trenes de servicio tiene la misma composición: una locomotora, un vagón plataforma para carga de materiales diversos, un vagón cuba para el transporte de lodo bentonítico, un vagón cuba para el transporte de mortero y tres vagones plataforma (mesillas) para el transporte de los anillos del revestimiento divididos en tres paquetes. Se tendrá un tren de reserva ante posibles averías de los trenes de servicio con la misma composición.

Como podremos ver más adelante en los tramo del 4% que comienza hacia mitad del tunel pk 3+400, deberá acoplarse una nueva Locomotora a la composición, a modo de tanden, de manera que aumenta la fuerza de tracción de la composición.

Adicionalmente hay un tren auxiliar para transporte de personal, transporte de materiales independientemente de los ciclos de excavación, servicios de emergencia, etc. Este tren se compone de una locomotora más pequeña, un vagón para transporte de personal y un vagón-plataforma para materiales diversos y estará permanentemente a disposición en caso de evacuación por accidente en túnel.

4.2.1. LOCOMOTORAS

Los trenes de servicio (así como el de reserva) estarán remolcados por una locomotora diesel-hidráulica modelo Schöma CHL-350 BB. Estas locomotoras tienen un motor diesel que acciona un convertidor hidráulico de par que, a su vez, activa los motores hidráulicos de tracción.

Las características principales de las locomotoras son:

- Peso Locomotora: 52 t.
- Ejes Motores: 4 (100%)
- Diámetro Ruedas Nuevas: 715 mm.
- Ancho de Vía: 900 mm.
- Coeficiente de Adherencia: 0,11 kN/t.
- Potencia motor Diesel: 381 Kw/h.

- Máximo rango del motor: 2.100 r.p.m.
- Presión hidráulica máxima: 420 bar.
- Máximo Esfuerzo Tracción: 113,4 kN.
- Capacidad de Remolque: 900 t.
- Velocidad Máxima: 30,8 km/h.

La locomotora del tren auxiliar será una locomotora modelo Schöma CFL-180 DCL, con un peso de 25 t y una potencia de 180 Kw, especialmente válida para los trenes ligeros de transporte del personal, transporte de pequeños elementos o trabajos auxiliares.

A continuación se muestran dos croquis de las locomotoras que se emplearán en el túnel:

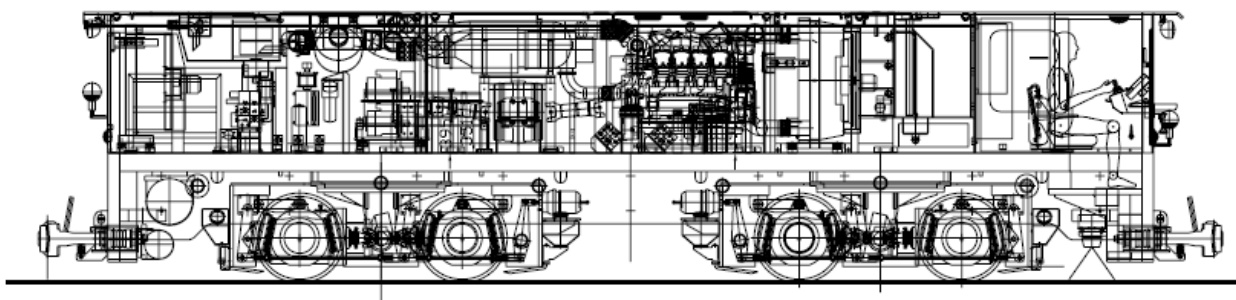


Figura nº9: Croquis de la locomotora **Schöma CHL-350 BB**, empleada en los dos trenes de servicio.

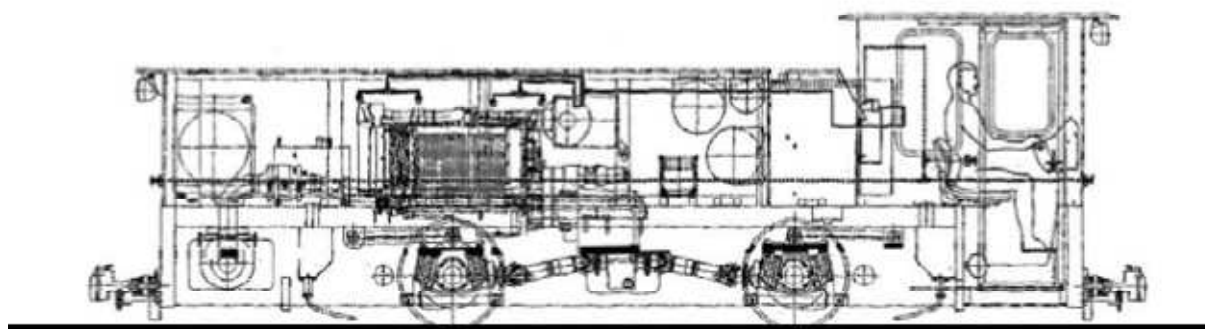


Figura nº10: Croquis de la locomotora **Schöma CFL-180 DCL**, empleada en el tren auxiliar y de emergencias.

4.2.2. VAGONES PLATAFORMA

Contaremos con dos tipos de vagones plataforma, las de transporte de materiales diversos, que tienen 9 m de longitud y son totalmente diáfanos, aptas para el transporte de tuberías, carriles, bidones de grasas/espumas y resto de materiales consumibles en los avances, y las de transporte de anillos (mesillas), más cortas y aptas tan sólo para el transporte de los anillos hacia a la tuneladora. Los anillos se repartirán en tres paquetes que se cargarán en otras tantas mesillas.

4.2.3. VAGONES CUBA PARA BENTONITA

Se usaran vagones cuba Mühlhäuser de 8 m³ de capacidad (con agitador) para el transporte de lodo bentonítico. Dado que por avance se consumirán unos 2 m³ no es necesario que cada viaje circule el vagón cargado (un viaje de cada cuatro), sin embargo estos vagones se emplearán como medio auxiliar de transporte de lodo bentonítico durante las tareas de intervenciones hiperbáricas.

4.2.4. VAGONES CUBA PARA MORTERO

Se dispondrá de vagones Mühlhäuser de 14 m³ de capacidad (con agitador mecánico) para el transporte del mortero de relleno del *gap*. En cada avance se consumirán 13 m³ por lo que circularán habitualmente cercanos a su capacidad máxima. Estos vagones cuentan con un grupo electrógeno que alimenta un motor eléctrico para el accionamiento de las palas agitadoras, necesario para evitar la decantación o segregación del mortero. Durante las intervenciones hiperbáricas también se emplearán para el suministro de bentonita.

4.2.5. VAGONES DE TRANSPORTE DE PERSONAL

Los vagones de transporte de personal habitualmente estarán acoplados a los trenes de servicio y al tren auxiliar. Tienen una capacidad suficiente para trasladar al interior de la tuneladora un relevo completo.

4.3. CICLOS DE FUNCIONAMIENTO Y CIRCULACION

El túnel contara con doble vía, por lo que los trenes serán capaces de circular independientemente por cualquiera de las dos vías de acceso a la tuneladora. Dados los tiempos medios de duración de los avances (estipulados en 50 mm/min como máxima velocidad media de avance), tenemos 40 minutos de excavación más 20 minutos para el montaje del anillo, por lo que nos salen ciclos de 1 hora (en el caso mas favorable), es decir, necesitaremos al menos un tren cada hora. Ahora bien, los trenes no son necesarios para el desescombro (realizado mediante cinta transportadora), por lo que sólo deberán estar dentro de la tuneladora para la descarga del anillo, descarga del mortero, bentonita y resto de materiales consumibles, tareas que pueden realizarse simultáneamente. En el peor de los casos consideraremos que dichas tareas llevan una hora, por lo que mantenemos la cadencia de trenes en uno cada hora.

Por otra parte las tareas de carga y aprovisionamiento en la Playa de Vías también pueden realizarse simultáneamente, dado que las instalaciones se han diseñado para que no sea necesario el movimiento del tren, por lo que mientras se están cargando las dovelas puede cargarse el mortero, la bentonita y el resto de materiales consumibles (bidones de grasas/aceites, carriles, tubos, etc.). En virtud de experiencias anteriores estipulamos que todas estas operaciones no durarán más de 30 minutos, por lo que nos quedan otros 30 minutos para la circulación de entrada y salida de la tuneladora para que no se produzca ninguna falta de suministro a la tuneladora, viendo que la velocidad media estipulada de entrada y salida de los trenes es de 20 km/h, nos hace capaces de recorrer 10 km en 30 min con lo que hasta el kilometro 5 de túnel trabajaremos con 2 composiciones de servicio completas, para a partir del kilometro 5 se añadirá una tercera maniobra para evitar parones en el suministro de materiales a la tuneladora.

El peso del tren cargado con el anillo, el mortero, la bentonita y el resto de materiales, aparte del peso propio de la composición (excluida la locomotora) se sitúa en 150 t (ver figura 11). Para este peso, en la peor sección del trazado (rampas del 4%), zona en la que habrá que acoplar una nueva Locomotora a modo de Tandeen de manera que las dos locomotoras tengan suficiente fuerza de tracción para superar las pendientes del 4% que tenemos a lo largo del trazado del túnel. Se tomara la velocidad media de 20 km/h ya que para los primeros 3.400 m de túnel las pendientes serán mínimas (1%) aumentándose

posteriormente hasta el 4% donde se acoplara una nueva Locomotora a la composición manteniéndose la velocidad media en los 20 km/h.

CALCULO DE TRACCION DE LOS TRENES EMPLEADOS				
DENSIDAD DEL MORTERO HUMEDO	2.200	kg/m ³		
DENSIDAD DEL LODO BENTONITICO	1.200	kg/m ³		
ANILLO DE DOVELAS	ud.	Peso kg/ud	Pesos (kg)	
PESO DOVELA BASE	1	12.480	12.480	
PESO DOVELA B Y C	2	9.460	18.920	
PESO DOVELA A1 Y A4	2	9.300	18.600	
PESO DOVELA A2 Y A3	2	9.350	18.700	
PESO DOVELA CLAVE	1	2.325	2.325	
TOTAL PESO DEL ANILLO			71.025	
EQUIPO REMOLCADO	ud.	Peso Kg/ud	Peso (kg) ENTRADA	Peso (kg) SALIDA
VAGONES PERSONAL	1	6.350	6.350	6.350
VAGONES MORTERO HÚMEDO	1	8.640	8.640	8.640
VAGONE DE BENTONITA	1	6.800	6.800	6.800
VAGONES DOVELAS	3	2.250	6.750	6.750
VAGONES PLATAFORMAS	1	7.200	7.200	7.200
PESO PERSONAL	24	90	2.160	2.160
PESO MORTERO HÚMEDO	13	2.200	28.600	0
PESO DEL LODO BENTONITICO	8	1.200	9.600	0
PESO ANILLO DOVELAS	1	71.025	71.025	0
PESO MATERIALES DIVERSOS	1	3.500	3.500	0
TOTAL PESO REMOLCADO			150.625	37.900
CALCULO DEL EQUIPO TRACTOR		Locomotora Schöma CHL-350 BB		
Peso locomotora (t)		52		
Coefficiente de rodadura		0,009		
Coefficiente de adherencia		0,11		
Pendiente entrada		4 %		
Ángulo entrada		2,29061 °		
		0,03998 rad		
Ángulo salida		2,29061 °		
		0,0004 rad		
			ENTRADA	SALIDA
TRACCION POR RODADURA DE LA CARGA			1.355,63	341,10 Kg
TRACCION POR PENDIENTE DE LA CARGA			6.020,19	15,15 Kg
TRACCION POR PENDIENTE DEL EQUIPO TRACTOR			2.078,34	20,79 Kg
TRACCIÓN TOTAL			9.454,15	377,04 Kg
TRACCIÓN MÁXIMA POR PENDIENTE				5.715,43 kg
RESULTADO DE LA CURVA LOCOMOTORA	ENTRADA	SALIDA		Ud
FUERZA DE TRACCION	92,72	3,70		KN
VELOCIDAD	10	30		km/h
VELOCIDAD MEDIA	20			km/h
PENDIENTE MAXIMA	4% y -4%			

Figura nº11: Cuadro de cálculo de las velocidades del tren de servicio para carga máxima remolcada.

Estas previsiones están realizadas para una flota de dos composiciones hasta el kilómetro 5 donde se acoplara una tercera composición, estando siempre uno dentro de la tuneladora durante el ciclo de avance, el otro circulando hacia la playa de vías y el otro en la playa de vías realizando operaciones de carga. En un hipotético caso de que no se pudieran cumplir los ciclos de circulación siempre se pueden contar con poner en servicio una cuarta composición, que permanecerá en reserva ante cualquier eventualidad, avería o que servirá para poder realizar el mantenimiento de las composiciones en funcionamiento.

4.4. ESTUDIO DE TRACCION Y FRENADO

Como complemento al estudio de tracción realizado en el apartado anterior para una Locomotora Schöma, a continuación se muestran unas tablas con las curvas de tracción y frenado de las locomotoras.

CHL-350BB

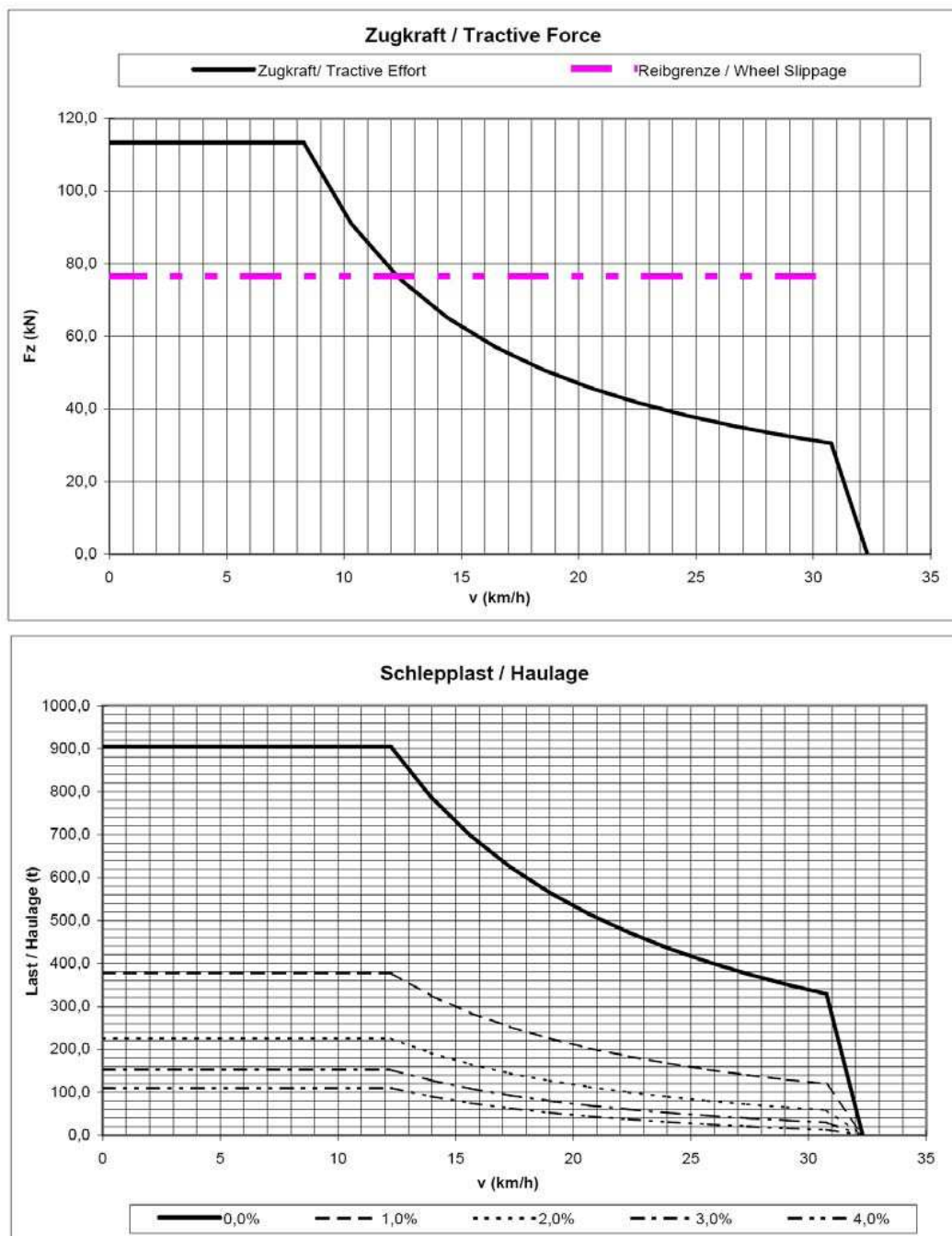


Figura nº12: Detalle de las curvas de Esfuerzo de tracción y carga remolcada.

SCHÖMA

Brake Distance Curves

Train loaded		
Type of Locomotive	CHL-350 BB	
Weight Loco	52	[t]
Rolling Resistance	40	[N/t]
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)	0,1	
Elektromagnetic Track Brake	0	[kN]
Waggon:		
Haulage 1	131	[t]
Haulage 2	131	[t]
Rolling Resistance	40	[N/t]
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)		
for braked axles	0,05	
Weight percentage of braked axles	100	%
General:		
Gradient (up=+, down=-)	-3	%
Reaction time of brake system	3	[s]
Max. speed	32	[km/h]

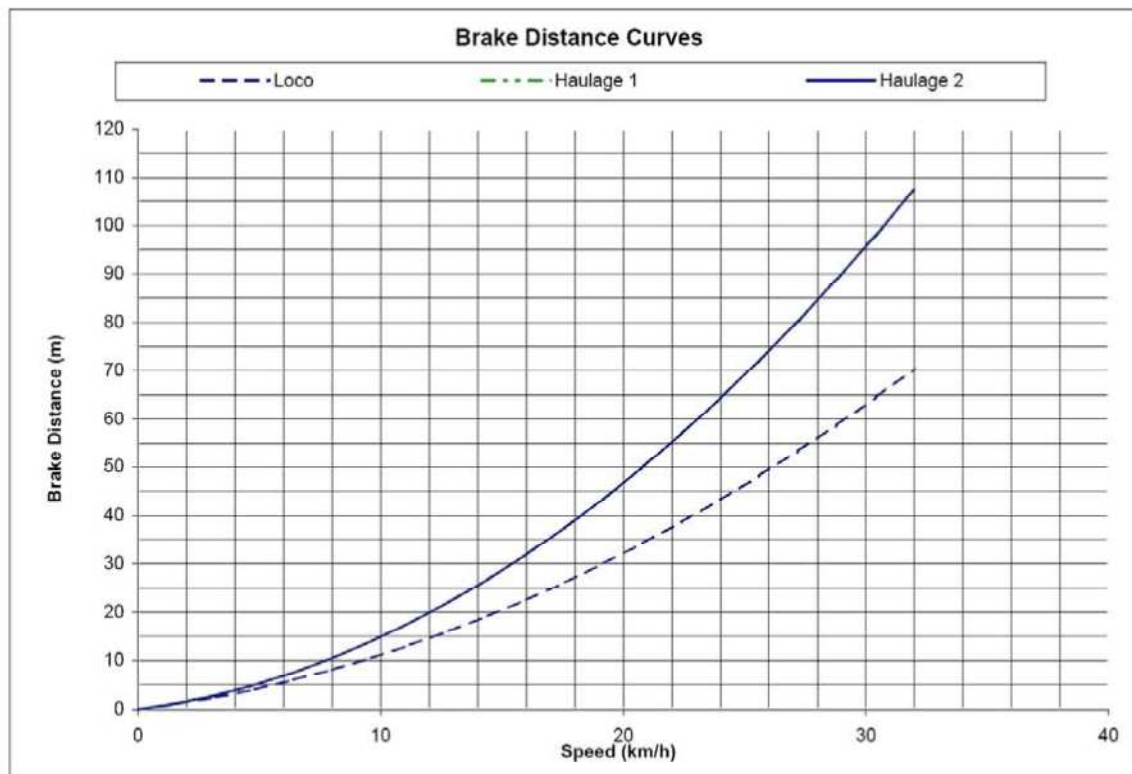


Figura n°13: Detalle de las curvas de frenado para un tren tipo (131 t remolcadas), en rampa del 3% y el freno actuando sobre el 100% de los ejes.

SCHÖMA

Brake Distance Curves

		Train loaded	
Type of Locomotive		CHL-350 BB	
Weight Loco	52	[t]	
Rolling Resistance	40	[N/t]	
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)	0,1		
Elektromagnetic Track Brake	0	[kN]	
Waggons:			
Haulage 1	131	[t]	
Haulage 2	131	[t]	
Rolling Resistance	40	[N/t]	
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)			
for braked axles	0,05		
Weight percentage of braked axles	0	%	
General:			
Gradient (up=+, down=-)	-3	%	
Reaction time of brake system	3	[s]	
Max. speed	32	[km/h]	

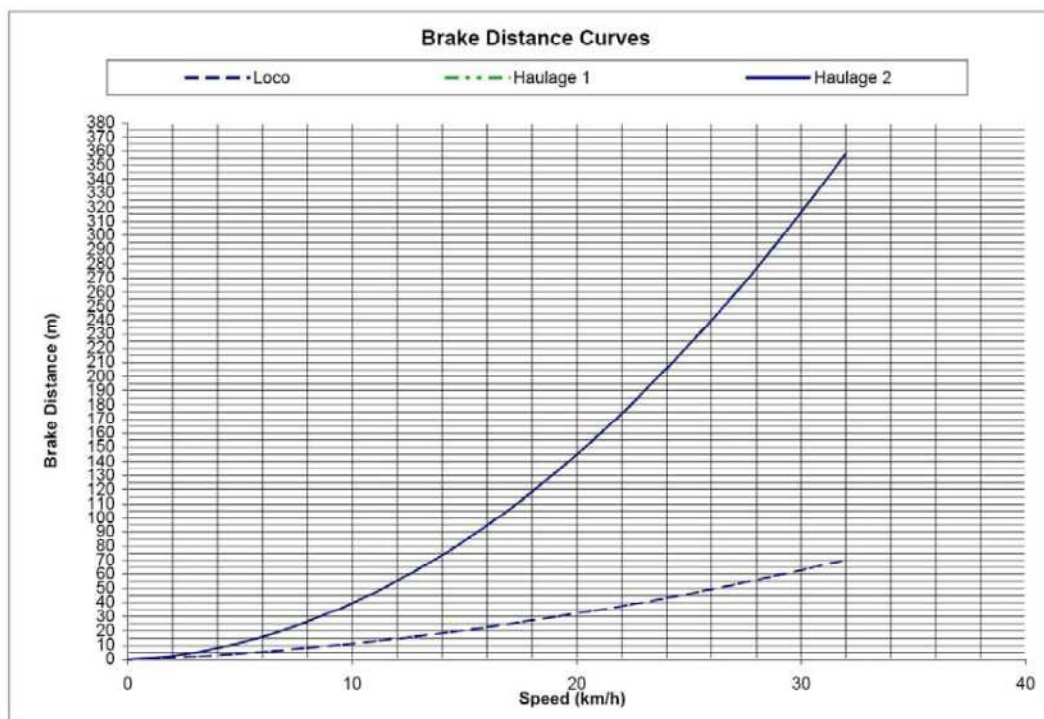


Figura nº14: Detalle de las curvas de frenado para un tren tipo (131 t remolcadas), en rampa del 3% y el freno actuando sobre el 50% de los ejes.

SCHÖMA

Brake Distance Curves

		Train loaded	
Type of Locomotive		CHL-350 BB	
Weight Loco	52	[t]	
Rolling Resistance	40	[N/t]	
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)	0,1		
Elektromagnetic Track Brake	0	[kN]	
Waggons:			
Haulage 1	131	[t]	
Haulage 2	131	[t]	
Rolling Resistance	40	[N/t]	
Assumed Friction Factor (Wheel / Rail)			
for braked axles	0,05		
Weight percentage of braked axles	50	%	
General:			
Gradient (up=+, down=-)	-3	%	
Reaction time of brake system	3	[s]	
Max. speed	32	[km/h]	

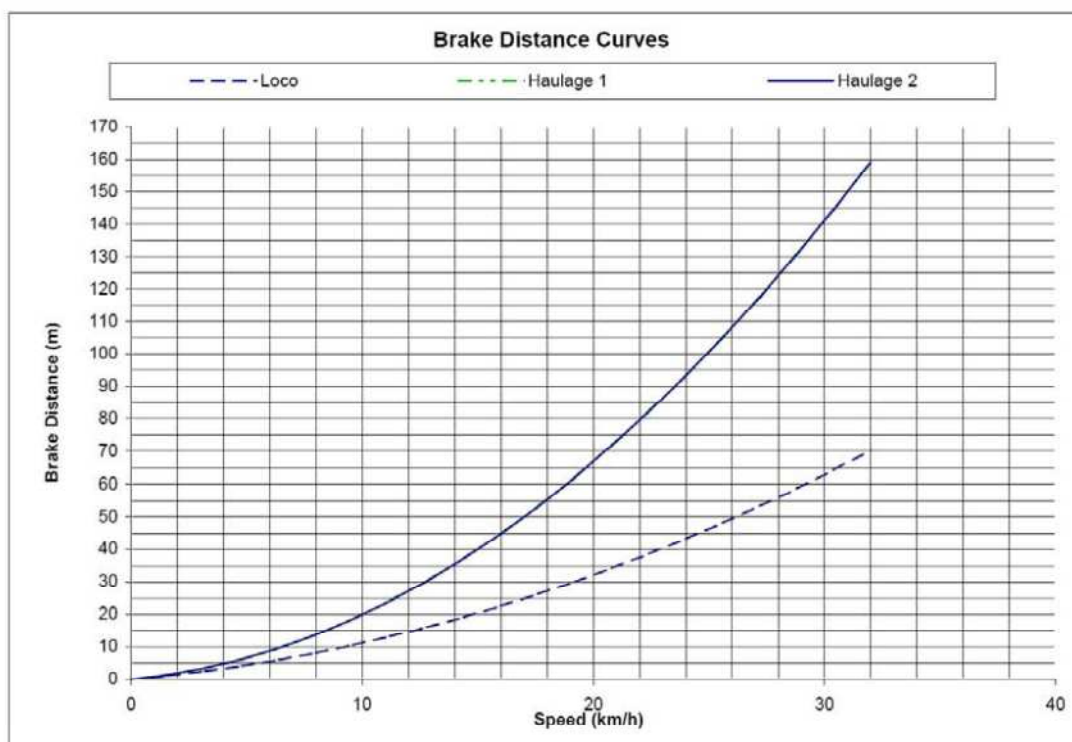


Figura nº15: Detalle de las curvas de frenado para un tren tipo (131 t remolcadas), en rampa del 3% y el freno actuando sobre el 0% de los ejes.

5. SISTEMA DE EVACUACION DE ESCOMBROS

5.1. CINTAS TRANSPORTADORAS

El sistema de desescombro del material procedente de la excavación se realizara mediante una cinta transportadora continua. Esta cinta, que se ira prolongando a medida que se avanza en la excavación del túnel, enlazara en la tuneladora con las cintas fijas de la máquina, y estará colocada a lo largo del túnel hasta el exterior, donde vierte a una cinta pivotante o “*stacker*” que a su vez vierte el escombros en el foso de tierras.

La estructura portante de la cinta del túnel se ensambla secuencialmente en el ultimo carro de la tuneladora, que se irá suspendiendo de la dovela por el túnel mediante unas cadenas.

La cinta contara a su vez, en el exterior, con un acumulador de banda que permitirá tener cinta suficiente para que a medida que avance la tuneladora vaya soltando la cinta necesaria. La cinta se irá prolongando mediante un sistema de tensiones que la ira soltando a medida que avance la tuneladora.

La banda se suministrara en bobinas de 500 m y una vez agotado el recorrido (250 m de túnel) es necesario proceder a su prolongación, insertando una nueva bobina en el acumulador de banda.

La cinta, estará dimensionada para una capacidad máxima de desescombro de 1.200 t/h, que se corresponde con un avance máximo de las excavaciones de 80 mm/min, aunque estas velocidades de avancen distan mucho de la realidad de trabajo que se espera.

Las principales características de la cinta del túnel se muestran a continuación:

- Ancho de banda: 1.000 mm.
- Longitud de la cinta: 7.100 m.
- Mercancía transportada: Escombros de excavación.
- Granulado del material: 0-200 mm.
- Velocidad de la cinta: 3,0 m/s.
- Rendimiento de Transporte: 1.200 t/h.
- Potencia instalada: 8 x 132 KW, 400 V a 50 Hz.

- Tambor de accionamiento: Ø 635 (principal); Ø 534 (Booster).
- Tambor inverso: Ø 524 (principal); Ø 424 (Booster y acumulador);
⊙320 (acumulador).
- Tipo de cinta: 1000-EP800/4 4,5+2,5K (Difícilmente inflamable).
- Ramal superior: Rodillos portantes 3 piezas 45°, 2 ud Ø 108 x 460 mm + 1 ud Ø 108 x 380 mm cada 1.800 mm + rodillos guía laterales de Ø 10x150 mm.
- Ramal inferior: Rodillos portantes en 2 piezas 10,0° cada 3.600 mm + rodillos guía laterales de Ø 10x150 mm.
- Sustento de la cinta: Suspendido de cadenas ancladas a la dovelas.

La cinta de vertido al foso (cinta pivotante o “stacker”), se montara una estructura metálica en celosía de 40 m de longitud. Esta cinta se desplazara radialmente, teniendo como pivote la tolva de recepción del material procedente de la cinta de desescombro del túnel. En su movimiento será capaz de verter el material repartido por el foso de desescombro, evitando la acumulación en un único punto. Las capacidades son las mismas que las de la cinta del túnel (1.200 t/h). Los detalles se muestran a continuación:

- Ancho de banda: 1.000 mm.
- Longitud de la cinta: 40 m.
- Mercancía transportada: Escombro de excavación.
- Granulado del material: 0-300 mm.
- Velocidad de la cinta: 3,0 m/s.
- Rendimiento de Transporte: 1.200 t/h.
- Potencia instalada: 2 x 45 KW, 400 V a 50 Hz.
- Tambor de accionamiento: Ø 524
- Tambor inverso: Ø 424
- Tipo de cinta: 1000-EP800/4 4,5+2,5K (Difícilmente inflamable).
- Ramal superior: Rodillos portantes en 3 piezas 37,5° cada 1.250 mm, Ø 108 x 380 mm.
- Ramal inferior : Rodillos portantes en 1 piezas cada 2.500 mm, Ø 63,5/108 x 1150 mm.
- Sustento de la cinta: Suspendido de cadenas ancladas a la dovelas.

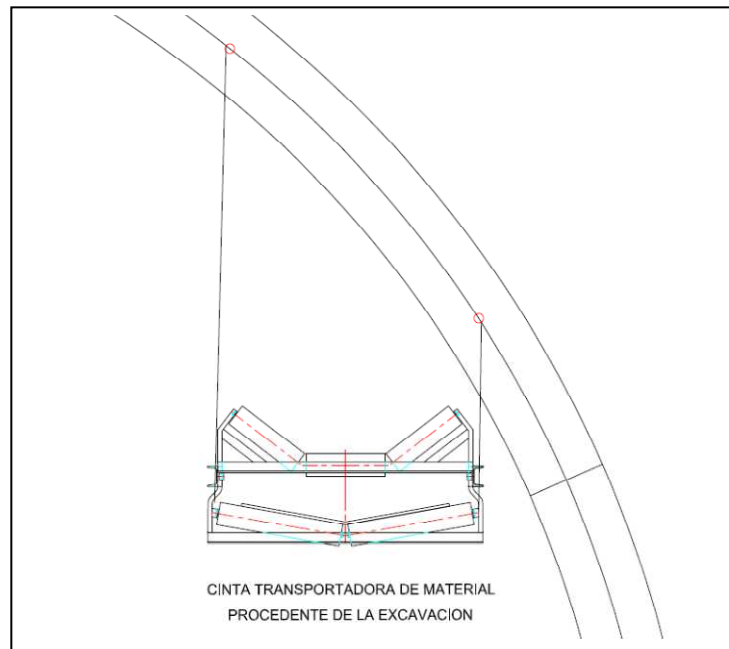


Figura nº16: Colocación en la dovela de la cinta transportadora de escombros

5.2. BOOSTERS

Para impulsar la cinta de desescombro es necesario un sistema de tambores motores o “boosters” repartidos a lo largo del túnel. La distribución de hace en función del aumento de la tensión en la banda, para lo cual hay que tener muy en cuenta el trazado en planta y en alzado. En esta cinta transportadora, además del accionamiento principal situado en el exterior, habrá repartidos por el túnel un total de 6 boosters, 5 en sentido de desescombro (hacia el exterior del túnel) y uno de retorno.

Las potencias instaladas son las siguientes:

- Accionamiento Principal: 2x132 KW.
- 1º Booster (a 520 m. del acumulador): 132 KW.
- 2º Booster (a 1.100 m. del acumulador): 132 KW.
- 3º Booster (a 3.300 m. del acumulador): 132 KW.
- 4º Booster (a 4.800 m. del acumulador): 132 KW.
- 5º Booster (a 5.800 m del acumulador): 132 KW.
- Booster retorno (a 4800 m del acumulador): 132 KW.

Esta cinta se ha diseñado suponiendo una pérdida de tensión por cada metro de túnel, debido a la infinidad de curvas y pendientes, dividiremos los cálculos de las tensiones en dos:

- Curvas de radio máximo de 350 m y pendiente máxima del 4%, en el interior del túnel.
- Pendiente del 10 % en el tramo del acumulador hasta la torre de descarga a la cinta pivotante.

Si aplicamos el mismo procedimiento de diseño de cinta transportadora que para el Tunel de conexión Sant`s-Sagrera (UTE Sagrera), según el fabricante de cintas H+E logistik GmbH, tendremos unas pérdidas de tensión en la cinta de:

- Tramo de túnel:1 KN / 32 m.
- Tramo exterior del acumulador a la cinta pivotante:.....1 KN/10 m.

Teniendo en cuenta el trazado del túnel y la disminución de la tensión a medida que avanza la tuneladora, se han ubicado los boosters de manera que la tensión no disminuya de los 20 KN, que es el mínimo donde la cinta puede empezar a dar problemas, sabemos además que cada vez que se monta un booster la tensión en ese punto aumenta en 40 KN.

Una vez visto esto, les mostraremos en la siguiente figura la disposición de los Booster y el aumento de la tensión en la banda que justifica su emplazamiento, además de un esquema de cómo se montaran los Booster y los tambores que van en ellos, a lo largo del túnel:

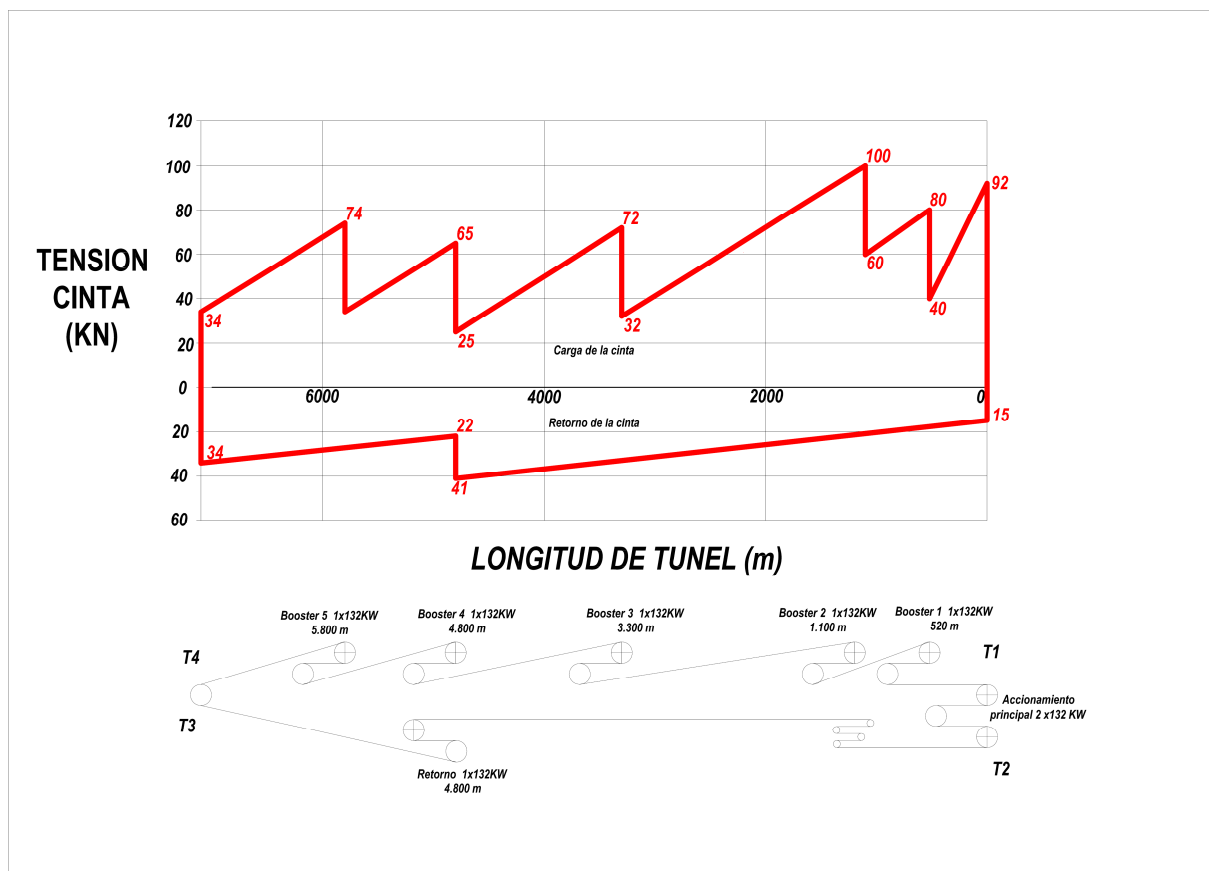


Figura nº17: Diagrama de tensiones en la cinta de desescombro.

El conjunto de boosters se moviliza desde de la cabina del piloto de la tuneladora, de modo que cuando éste comienza la excavación los motores de la cinta repartidos por el túnel se activan secuencialmente para generar la correcta tensión sobre la banda. Este control se logra mediante un PLC local y sincronizado con otro desde un container exterior mediante

comunicación con Profibus DP, que le da como consigna, velocidad de trabajo, marcha y parada. El PLC local monitoriza tensiones, detección de deslizamiento y velocidad de banda. Estos parámetros de consigna se podrán modificar en caso de que la cinta tenga algún problema ya sea de arranque, desvió, u otro problema. Además desde este sistema en caso de tener algún parámetro anómalo se parara la cinta del túnel automáticamente y no se podrá arrancar hasta que se subsane dicho problema.

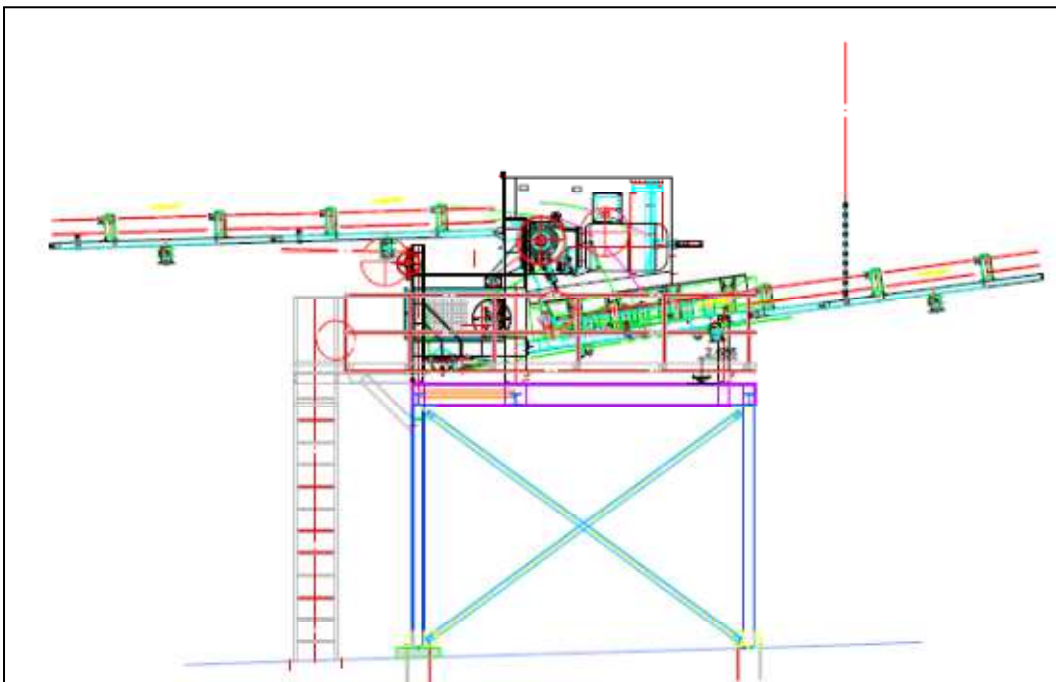


Figura nº18: Detalle de un Booster montado en el interior del túnel

5.3. FOSO DE ESCOMBROS

El foso de desescombro o foso de tierras, es el acopio intermedio del escombros previo a su traslado a un vertedero definitivo. Se hará para albergar un volumen útil cercano a los 8.000 m³. A la hora del dimensionamiento se ha tenido en cuenta el rango de operación de las retroexcavadoras que realizarán la carga.

El foso de desescombro tiene forma de riñón, de tal forma que se sitúa en todo momento bajo la cinta pivotante de vertido del escombros. Se hará de pilotes de hormigón armado, colocados tangencialmente. Dichos pilotes serán de 10 m de profundidad, estando hincado 5 m bajo la cota inferior del pozo. En la superficie se rematará por una viga de atado de 1 m x 1 m. de sección que además servirá como margen de seguridad para los camiones encargados del transporte a vertedero. El foso será accesible en todo el contorno, permitiendo las operaciones de vaciado en cualquier punto.

El volumen útil es apto para acopiar el escombros procedente de 22 excavaciones (350 m³ cada excavación contando con un factor de esponjamiento de 1,8) que se prevé que sea la máxima producción realizable durante dos días sin realizar transporte a vertedero.

A la hora de albergar las tierras procedentes de la excavación del túnel, se buscará una ubicación próxima a la obra no superando el radio de los 15 km, dado el volumen de estas que será aproximadamente de 1.400.000 m³ de material y el tránsito de camiones será elevado. Por la proximidad a la obra no se descarta la idea de aprovechar las tierras para restaurar las canteras que se encuentran a las afueras de la ciudad y que entrarían dentro del radio propuesto. Dichas canteras serían las próximas a la falda del Naranco tal como la situadas en la Villaperi o la próxima al Caleyo a las afueras de Oviedo.

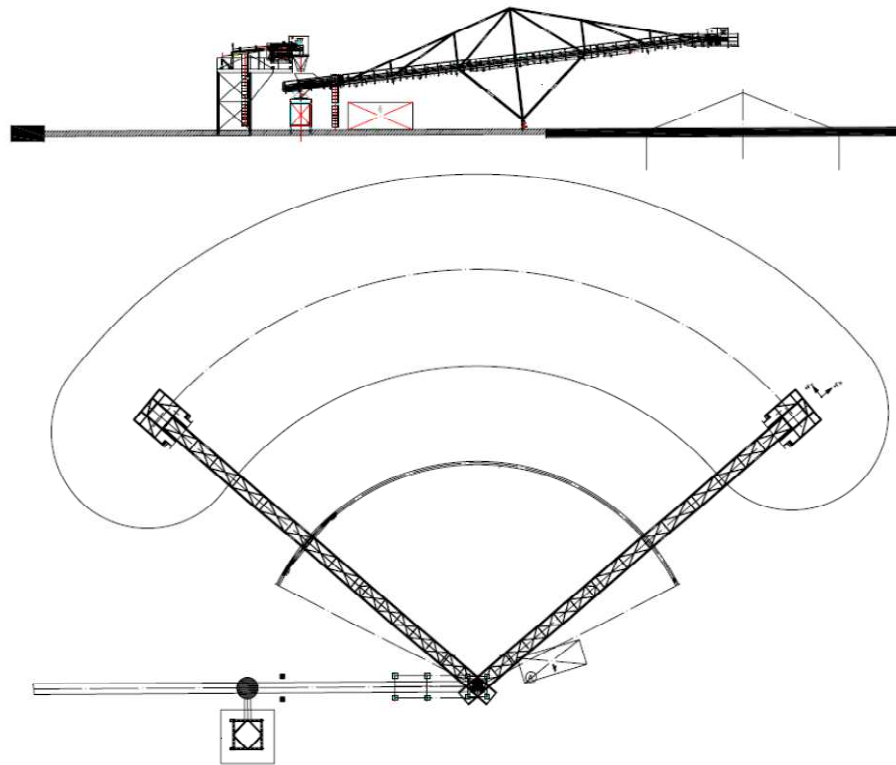


Figura nº19: Detalle de la cinta pivotante y del foso de desescombro de tierras

6. PORTIGO-GRUA

6.1. FUNCIONES

La carga de las dovelas a los trenes de servicio se realizara mediante un pórtico-grúa birrail de carro abierto de 32 t de capacidad, siendo ésta la única función de este elemento durante el servicio normal, sin embargo eventualmente podrá emplearse en tareas auxiliares como movimiento de vagones desde el pozo al exterior, manipulación de grandes cargas, etc.

El pórtico se desplaza por dos carriles colocados sobre dos vigas-estampidoras del pozo principal de instalaciones y la zona de acopio de dovelas, de modo que durante su recorrido el pórtico es capaz de situarse sobre los vagones para efectuar la carga. Cuenta con un carro que se desplaza transversalmente por los voladizos y el vano entre apoyos del pórtico, sumando un recorrido total de 40 m (2 voladizos de 8,5 m y el vano central de 23 m). En su recorrido longitudinal como transversal (mediante el carro), es capaz de abarcar toda la zona de acopio de anillos y el pasillo de estacionamiento y descarga de camiones, en caso de ser necesario.

El pórtico está provisto de:

- Escalera de acceso y barandillas de mantenimiento en ambas vigas
- Mando por radio IKUSI Mod. TM-70.
- Cabina abierta solidaria con el carro.
- Gancho s/DIN-15401.
- Variadores en todos los movimientos.
- Sistema anticabalgamiento de cable.
- Sondas térmicas PTC en todos los motores.
- Finales de carrera en todos los movimientos.
- Tejadillos en todos los motores.
- 4 Full-stop.
- 4 setas de emergencia.
- 2 Luces destellantes.
- Anemómetro, avisador acústico y sistema de trincado manual (2).

- 4 Proyectoros cuarzo-yodo de 500 W bajo viga y 1 proyector cuarzo-yodo de 500 W bajo cada carro.
- Enrollador motorizado para alimentación del pórtico en 100 m de longitud de recorrido con toma central, es decir, 50+50 m.
- Enrollador motorizado para alimentación de una pinza de su propiedad.
- Chorreado grado SA 2½. Una capa de imprimación de 40 μ y dos capas de acabado de pintura DURAMIN, consiguiéndose un espesor total de 120 μ.

Para la manipulación de las dovelas cuenta con una pinza de 32 t de capacidad, apta para cargar paquetes de 3 dovelas simultáneamente. Hay que recordar que el anillo se compone de 7 dovelas más la dovela base, por lo que los paquetes se cargarán en los vagones de la siguiente forma:

1^{er} paquete: Dovelas **Base + K** (clave).

2^o paquete: Dovelas **B + C + A4**.

3^{er} paquete: Dovelas **A3 + A2 + A1**.

6.2. CARACTERISTICAS

Las principales características y datos técnicos del pórtico grúa, así como de los elementos mecánicos que lo integran son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Tipo de Grúa Pórtico: GH 18F.
- Concepción de la máquina: Birrail cajón con 2 carros.
- Tipo de Carro: ABIERTO.
- Nº de ramales: 4/2.
- Capacidad elevación máxima: 32.000 Kg.
- Luz entre ejes de carriles: 23 m.
- Voladizos: 2 de 8,5 m útiles.
- Luz total bajo gancho: 45 m.
- Altura bajo gancho: 10 m.
- Recorrido total del gancho: 25 m.
- Flecha: 1/1000.
- Tipo de gancho: Simple según DIN 15.401
- Servicio: EXTERIOR.

MOVIMIENTO DE ELEVACION CON VARIADOR DE FRECUENCIA

- Velocidad principal: 20 – 2 m/min.
- Potencia del motor: 132 Kw
- Protección: IP-55

MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN DEL CARRO CON VARIADOR DE FRECUENCIA

- Velocidad principal: 30 - 3 m/min.
- Potencia del motor: 2 x 2,5 Kw.
- Protección: IP-55.

MOVIMIENTO DE DIRECCION PÓRTICO CON VARIADOR DE FRECUENCIA

- Velocidad principal: 60 - 6 m/min.
- Potencia del motor: 2 x 5 Kw.
- Protección: IP-54
- TENSION DE ALIMENTACION: 400 V.
- FRECUENCIA: 50 Hz.
- TENSION DE MANDOS: 48 V.

6.3. ACOPIO DE ANILLOS

Hay un acopio de anillos en la propia fábrica de dovelas, posicionada en la obra, en la que hay capacidad para cerca de 600 ud.

El acopio bajo el pórtico-grúa tiene una capacidad de 70 anillos, manteniendo una zona libre para el otro lado de la playa de vías, para el tránsito de dovelas desde la fabrica al pórtico de carga a los trenes de trabajo. El tránsito de dovelas se realizara mediante un manipuladora de gran tonelaje o mediante camiones.

Este número de anillos, que en principio puede parecer escaso, puede ser suficiente para un periodo de 6 días sin reposición, que se considera suficiente debido a la proximidad de la fábrica de dovelas.

7. REDES DEL TUNEL

7.1. VENTILACION

Todo túnel necesita de un sistema de ventilación que aporte aire limpio y respirable en todo punto, especialmente en las inmediaciones del frente donde se acumula el personal y la maquinaria. Esta aportación de aire fresco en el frente sirve además para disminuir la temperatura ambiente, así como para generar un caudal de retorno de evacuación del aire viciado.

El conducto de ventilación tiene un diámetro de 2.500 mm y se suministra en tramos de 200 m de longitud, plegados dentro de un contenedor especial, denominado "cassette", que se transporta a la tuneladora donde se emplaza en el último carro del Back-Up y se va desplegando a medida que esta avanza. El conducto va colgado en la zona de la clave de los anillos del revestimiento mediante dos cables de acero que sujeta la ventilación en dos puntos.

El estudio de ventilación se realiza con una longitud máxima en fondo de saco de 6.900 m y una sección de túnel de 85 m².

Los datos de partida para el cálculo de la ventilación y del ventilador necesario son los siguientes:

- Longitud.....7.000 m.
- Sección.....85 m².
- Sostenimiento.....Dovelas Prefabricadas espesor=0,38 cm.
- Potencia diesel381 cv.
- Número de personas en el túnel.....22.
- Velocidad del aire de retorno.....0,4 m³/s.
- Instalación.....soplante.
- Tipo de tubería.....flexible.
- Diámetro de la tubería.....2.500 mm.

El ventilador llevara un variador de frecuencia instalado que nos permitirá regular el caudal del ventilador en cada momento, adecuándose al caudal necesario de salida dependiendo de la longitud de túnel que se lleve excavado en cada momento.

7.1.1. CALCULO DEL CAUDAL NECESARIO DE VENTILACION EN EL TUNEL

El caudal necesario para la ejecución del túnel según el REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BASICAS DE SEGURIDAD MINERA aplicable, es el siguiente:

- Por personal:

Según ITC 04.07.1 se necesitan 40 l/s de aire por persona, por tanto:

$$Q_1 = 22 \text{ personas} \times 40 \text{ l/s} = 880 \text{ l/s} = 0,88 \text{ m}^3/\text{s}.$$

- Por potencial diesel:

Se recomienda 50 l/s por cv diesel dentro del túnel, que será producido por las locomotoras que den servicio a la Tuneladora:

$$Q_2 = 381 \text{ cv} \times 50 \text{ l/s} \times 2 \text{ locomotoras} = 38,1 \text{ m}^3/\text{s}.$$

- Por velocidad de retorno:

Se ha acordado que la velocidad de retorno del aire por galería debe ser de 0,4 m/s siempre dentro de los límites prescritos en la ITC 04.07.1. con valores de la velocidad de retorno del aire en la galerías comprendidas entre 0,2 y 0,8 m/s.

$$Q_3 = 85 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ m/s} = 34 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tendremos que el caudal será el superior de:

$$Q_1+Q_2 = 38,98 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_3 = 34 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Consideramos que el caudal de aire que necesitaríamos en el frente de la galería será de 38,98 m³/s ($\approx 40 \text{ m}^3/\text{s}$).

7.1.2. CALCULO DE LA INSTALACION Y VENTILADOR A EMPLEAR

La ventilación para un túnel ha de llevarse con mucho cuidado para disminuir en la medida de lo posible la resistencia de la tubería y evitar que se produzca fugas de caudal. Podemos ver a continuación el planteamiento de cómo calcularíamos el ventilador necesario suponiendo nulas las fugas de caudal.

- Caída de Presión total de la tubería:

En el caso de que las fugas sean despreciables, el caudal a lo largo de la tubería es constante e igual a la que suministra el ventilador. La caída de presión total de la tubería es:

$$\Delta H = R_T \times Q_v^2 = (r \times L + R \times L) \times Q_v^2$$

- r es la resistencia lineal de la tubería.
- R es la resistencia lineal del túnel (en nuestro caso despreciable al no tener que eliminar gases de voladuras).
- L es la longitud total del túnel

Esa expresión es la curva característica de la instalación que llevada sobre la curva característica del ventilador nos define el punto de funcionamiento ΔH , Q_v del ventilador y, al ser igual es, nos define también el caudal que llegara al frente.

- Resistencia de la instalación:

La tubería que se empleara para esta instalación es una tubería lisa soplante ($\lambda=0,020$) de 2.500 mm de diámetro, con lo que la resistencia lineal será de:

$$r = 0,153 \times \lambda \times \frac{P}{S^3} = 0,153 \times 0,020 \times \frac{\pi \times 2,5}{\left(\pi \times 1,25^2\right)^3} = 0,00020 \text{ Ns}^2/\text{m}^9$$

La resistencia total de la tubería para todo el túnel sería:

$$R_1 = 0,00020 \text{ Ns}^2/\text{m}^9 \times 6.900 \text{ m} = 1,38 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$$

La resistencia del hormigón liso ($\lambda=0,022$) de 10.400 mm de diámetro interior tienen una resistencia lineal del orden de $r= 4,9 \times 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{m}^9$, la resistencia total del túnel para los 6,8 km sería despreciable como se ve a continuación:

$$R_2 = 4,9 \times 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{m}^9 \times 6.900 \text{ m} = 0,00338 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$$

Por lo que la Resistencia de la instalación es de:

$$R_T = R_1 + R_2 = 1,38 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$$

Con lo que la caída de presión en la tubería será:

$$\Delta H = R_T \times Q_v^2 = (1,38) \times 40^2 = 2.208 \text{ Pa}$$

Buscamos el orificio equivalente de la instalación para aplicarlo posteriormente en la grafica para obtener el ventilador, que en nuestro caso vale:

$$a = 1,2 \times \frac{Q_v}{\sqrt{\Delta H}} = 1,2 \times \frac{1}{\sqrt{R_T}} = 1,02 \text{ m}^2$$

Con los datos obtenidos en los apartados anteriores y llevando estos valores a la carta de ventiladores del fabricante ZITRON vemos que el ventilador puede llegar hasta los 40 m³/s (igual al necesario) bajo una presión de aproximadamente 2.300 Pa (en la grafica la presión

esta en mm.c.a. o Pa/10), con el orificio equivalente obtenido. La potencia aerolca necesaria será de:

$$P \text{ (Kw)} = (\Delta H \times Q) = 40 \text{ m}^3/\text{s} \times 2300 \text{ Pa} = 92 \text{ Kw}$$

Supondremos un rendimiento del ventilador del 75%.

$$P \text{ (Kw al 75\%)} = 92 \text{ kw} / 0,75 = 123 \text{ kw}$$

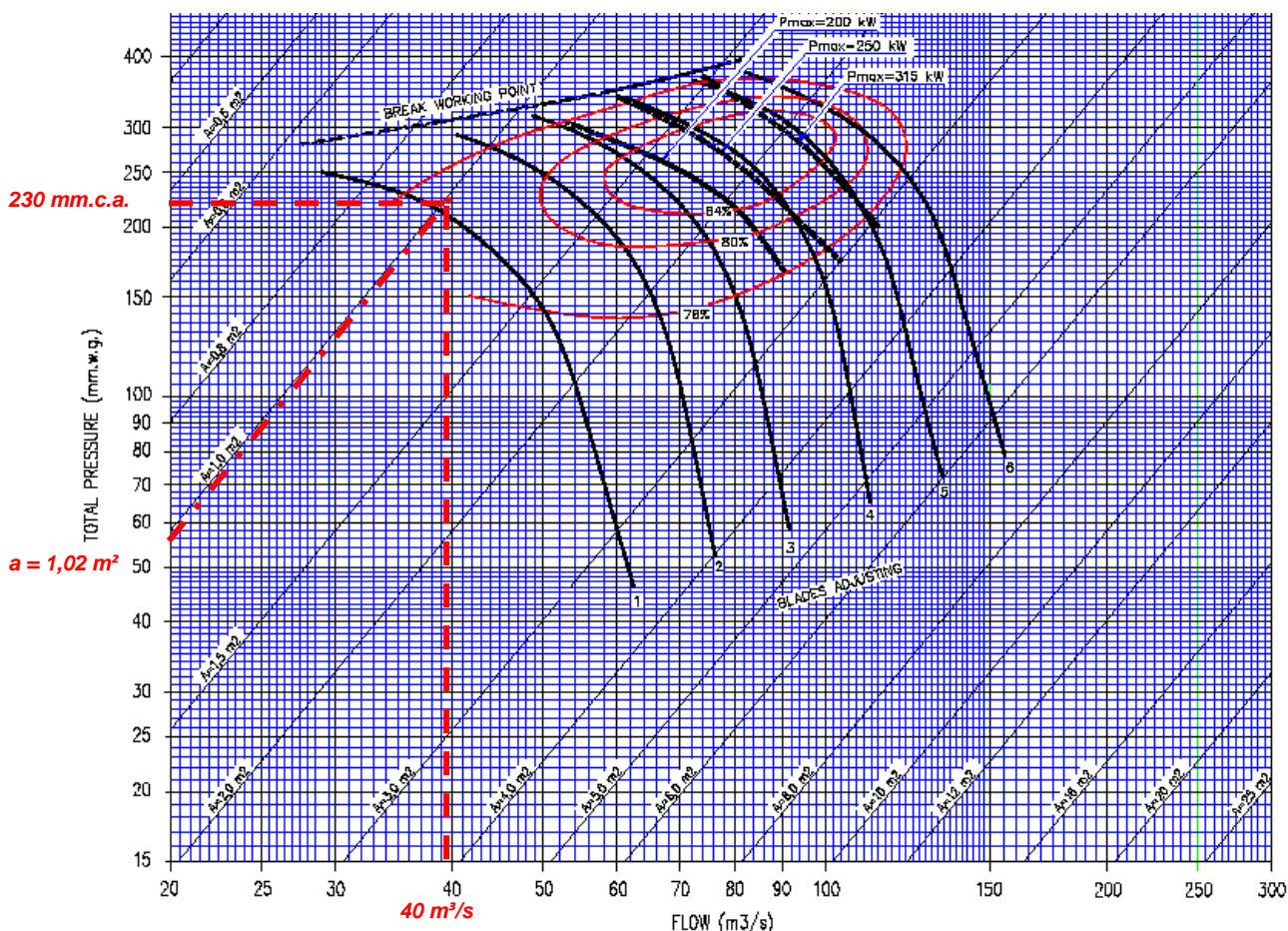


Figura nº20: Curvas características de ventiladores

Como no se puede diseñar un ventilador diferente para cada túnel, se cogerá un ventilador que se adapte mejor a nuestras características según el fabricante, en este caso cogeremos un ventilador del tipo de la marca Zitron ZVN 1-18-132-4, capaz de generar 42 m³/s a una

presión de 2.300 Pa. El accionamiento es mediante un motor eléctrico de 132 Kw y tensión de alimentación a 400 V.

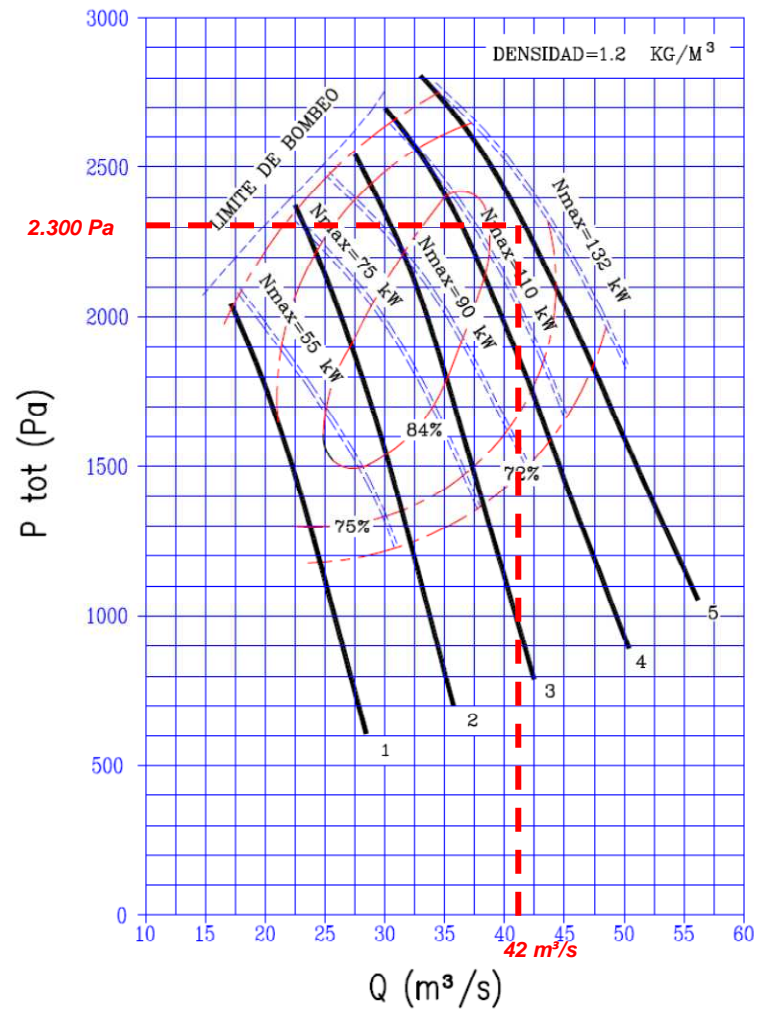


Figura nº21: Curvas características de ventilador

Además este ventilador estará diseñado con un variador de frecuencia capaz de generar las revoluciones necesarias al motor para demandar el caudal necesario en cada momento.

7.2. AGUA INDUSTRIAL Y RESIDUAL

La red de distribución de agua que se desarrollara a lo largo de este túnel se compone de tres líneas de tubos de acero DIN 2458/1626 st 37 Ø 219,1 x 4 mm en tramos de 6 m unidos mediante bridas con junta de estanqueidad tipo Victaulic. Una línea suministra el agua industrial desde el grupo de presión situado en el exterior, otra línea sirve de retorno para el agua de refrigeración de la tuneladora, que va directamente a la torre de refrigeración. La tercera línea sirve para la evacuación de las aguas residuales generadas en la tuneladora. Adicionalmente se montará una cuarta línea para el bombeo de los puntos bajos del trazado.

7.3. ENERGIA ELECTRICA

La alimentación de energía de la tuneladora se realizara desde el Centro de Medida y Distribución principal, a una tensión de 20 kV. La conducción se realizara a lo largo del túnel mediante un cable de 3x95 + 70 mm de línea de tierra, suministrado en bobinas de 250 m de longitud que se van desplegando desde la tuneladora. Los empalmes se realizaran bajo caja de protección y son aptos para intensidades de 250 A.

Para el alumbrado del túnel, servicios auxiliares y boosters se dispondrá de transformadores de 20/0,4 kV. refrigerados en silicona e IP 67, con seccionamiento para maniobras y puesta a tierra, fusibles de protección para trafo y cuadro general de baja tensión, distribuidos a lo largo del túnel. Esta distribución será la empleada a partir del primer kilómetro de túnel ya que en los primeros 1.000 m la alimentación eléctrica se efectuará desde el **CT1**, tal como se explicó en el apartado 2.2.2 del presente este anejo.

El alumbrado se compondrá por pantallas estancas de 2x36W, de AF y con luminarias de emergencia cada cuatro puntos de alumbrado con una autonomía de 3 horas. Los servicios auxiliares serán pequeños cuadros con tomas, para poder dotar al túnel de puntos de alimentación para trabajos que se vayan a realizar en este. Los cables que se van a utilizar son libres de halógenos y no propagadores de llama.

7.4. AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido consumido en la tuneladora se generará dentro de la máquina mediante una batería de 2 grupos compresores ATLAS COPCO GA-160 y 2 ATLAS COPCOGA-55, por lo que no se montará línea de suministro de aire comprimido desde el exterior.

Para la alimentación de los servicios auxiliares del exterior (planta de bentonita, planta de mortero, talleres, etc.) se contará con grupos compresores individuales, para dar suministro a los puntos necesarios.

8. PLANTA DE MORTERO

El mortero de inyección del trasdós del túnel se fabricará en la planta de fabricación de dovelas situada en las inmediaciones de la obra. El mortero húmedo ya fabricado se transportará a la playa de vías mediante camión-hormigonera, donde se transvasará a los trenes de servicio mediante una planta de transvase.

Los camiones vierten el mortero en dos tolvas receptoras provistas de tamices vibratorios de 10 mm para evitar contaminación de áridos gruesos. Estas tolvas trasvasan el mortero a dos sinfines rosca-cuba de \varnothing 320 mm y 15,5 m. de longitud entre bocas, previstas para una producción de 40 m³/h de mortero húmedo. Cada uno de estos sinfines alimenta una tolva receptora de 15 m³ de capacidad (suficiente para cada avance de la tuneladora), montadas en una estructura porticada situada en la playa de vías sobre la zona de estacionamiento de los vagones-cuba de mortero. Las dos tolvas se podrán alimentar independientemente a través de un manguerón las dos vías de estacionamiento de los trenes de servicio de la tuneladora. Las bocas de descarga cuentan con una guillotina de apertura de accionamiento eléctrico y cuentan con otro tamiz.

Toda la estructura estará provista de plataformas de acceso y trabajo para facilitar las operaciones de mantenimiento y limpieza.

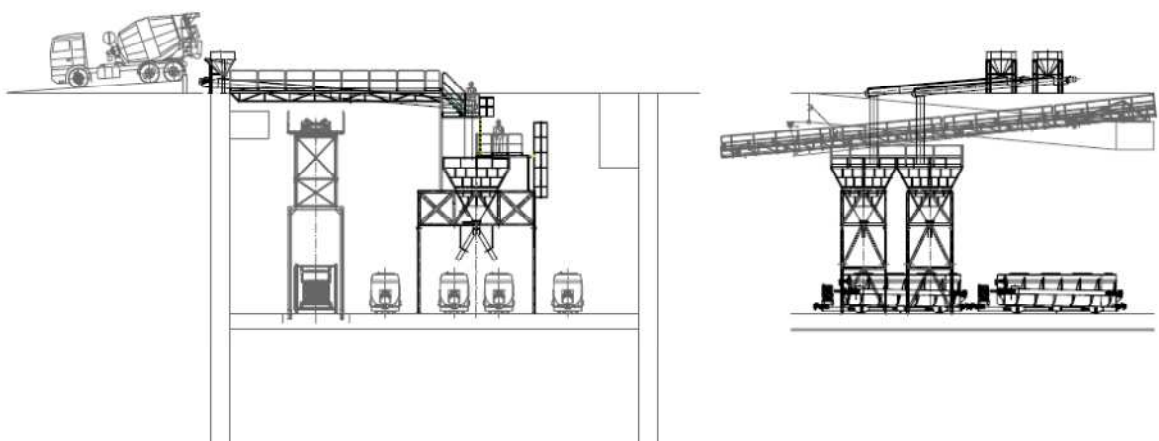


Figura nº22: Croquis en perfil y alzado de la planta de descarga de Mortero Húmedo en la playa de vías.

9. PLANTA DE BENTONITA

Durante la ejecución del túnel se empleará lodo bentonítico en cada avance para el relleno de la cavidad perimetral del escudo. También se consumirá bentonita durante las intervenciones hiperbáricas para el sostenimiento del frente y la formación del “cake” o película de impermeabilización. Toda esta bentonita se fabricará en el exterior en una planta con capacidad de producción de lodo de 20 m³/h.

La planta cuenta con un silo de almacenamiento de bentonita seca con una capacidad de 40 m³ desde aquí, mediante un sistema de sinfines, la bentonita llega a la cuba del agitador, de 4 m³ de volumen, donde se fabrica el lodo con un electro agitador de doble hélice, activado por un motor de 1,5 Kw. Una vez fabricado el lodo se pasa al depósito de transferencia, que se trata de una cuba de 5 m³ de capacidad, desde donde se bombea al silo de lodo bentonítico, de 40 m³. Una vez fabricado el lodo es necesario un periodo de maduración, por lo que la planta cuenta con un sistema de recirculación del lodo dentro del silo de 40 m³.

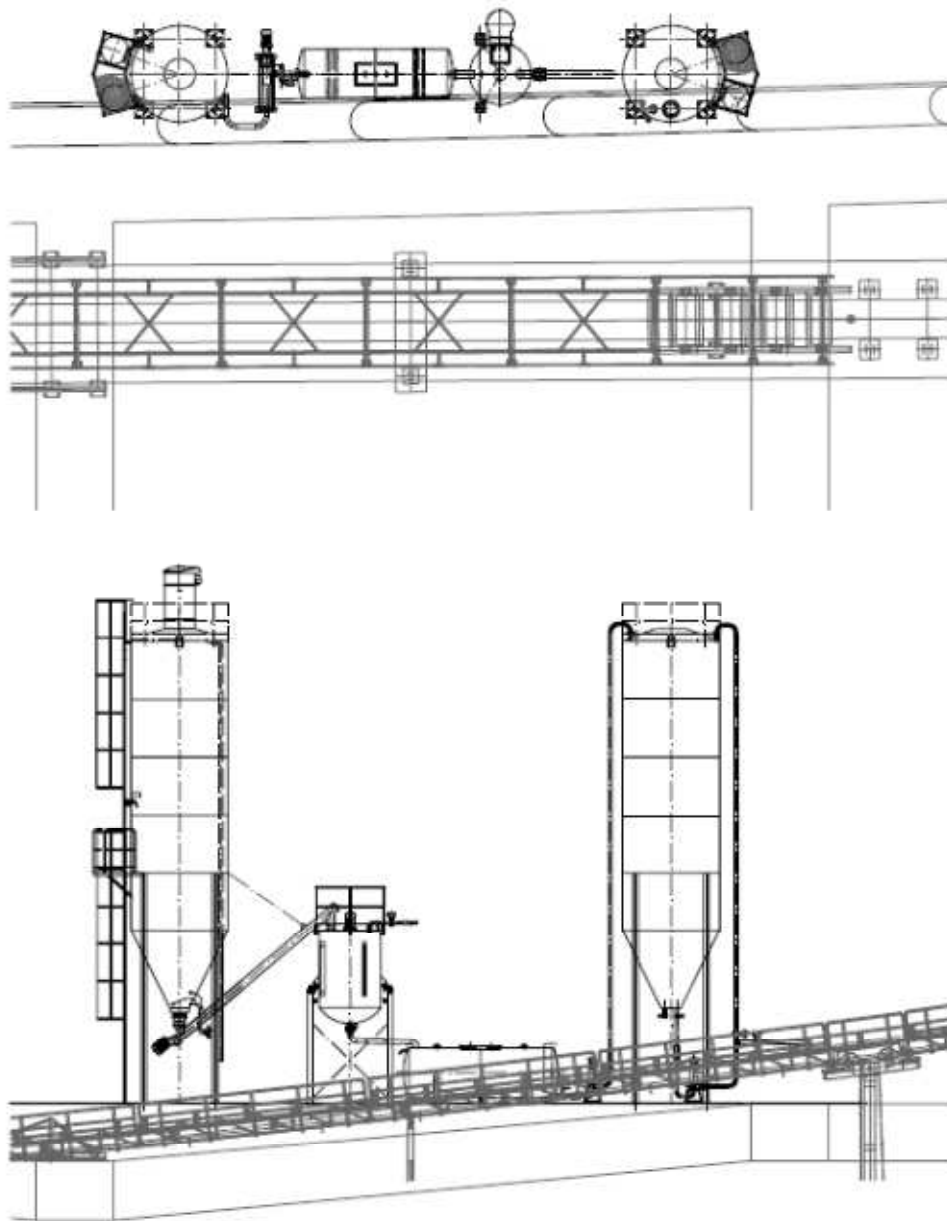


Figura nº23: Croquis en planta y perfil de la planta de fabricación de Bentonita.

10. PLANTA DE CAL

El escombros procedente del túnel contara con un alto grado de humedad debido a las espumas y aguas empleadas en su acondicionamiento durante el proceso de excavación. En los tramos con elevada presentación de arcillas o finos esto puede suponer un problema debido a la lentitud en su desecación y drenaje, por lo que la trabajabilidad del escombros en las operaciones de desescombros del foso de tierras, así como durante el transporte al vertedero incluso durante el vertido pueden verse seriamente comprometidas. Es por ello por lo que se cuenta con una planta dosificadora de cal que vierte directamente a la cinta de desescombros inmediatamente antes de que se trasvase el material desde la cinta que sale del túnel a la cinta repartidora o “*stacker*”.

La planta dosificadora de cal cuenta con tres silos de almacenamiento, con una capacidad total de acopio de 190 m³ (300 t). Según varios estudios el rango óptimo está en una concentración del 2% de cal respecto al peso del escombros, lo que nos daría una capacidad para 42 avances en el peor de los casos.

Desde los silos la cal se envía hacia dos tolvas receptoras provistas de báscula mediante un sistema de tornillos sinfín. Desde las tolvas la descarga de cal a la cinta del escombros también es mediante tornillo sinfín, con una capacidad de 40 t/h.

El escombros procedente de la excavación es pesado mediante una báscula de pesaje continuo en la cinta transportadora. La lectura es enviada a las básculas de las tolvas receptoras de modo que mediante la velocidad del tornillo sinfín se descargara la cal en la proporción deseada para lograr secar el material extraído de la tuneladora, dichos parámetros se podrán modificar y ajustar a la proporción que se considere adecuada en ese momento. La planta está totalmente automatizada.

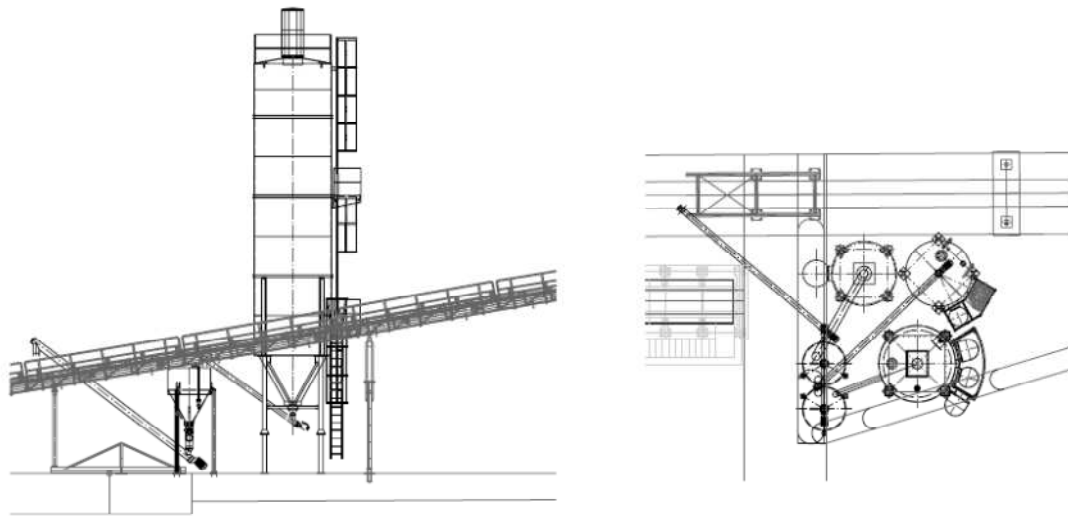


Figura nº24: Croquis en planta y perfil de la planta de dosificación de Cal.

11. PLANTA DE FABRICACION DE DOVELAS

11.1. INTRODUCCION

Como Parque para fabricación de dovelas para el revestimiento del túnel, se ha previsto la utilización de una planta de fabricación en forma de carrusel que se montara próximo a la obra.

Este tipo de planta de fabricación está conformada por una:

- Planta de hormigón
- Nave industrial donde se albergara el carrusel y el horno de curado, dentro habrá:
 - Carrusel de dovelas
 - Horno de secado de dovelas.
 - Cabina de hormigonado y vibración.
 - Desencofrado y puesto de extracción de dovelas al pre-acopio.
- Puesto de montaje de la estructura de acero de las dovelas.
- Acopio de áridos.
- Almacén.
- Pre-acopio de dovelas para un primer periodo de curado.
- Acopio de las dovelas hasta el traslado a la obra.
- Puentes grúa para el traslado y acopio de dovelas.

La fabricación de las dovelas tiene un sistema muy fácil. Los moldes de las dovelas van pasando por el carrusel donde se les incorpora todos los materiales necesarios para la fabricación de las dovelas como son la armadura de acero, vainas de atornillaje y bulones, a continuación pasaran a la cabina de hormigonado y vibrado donde se vaciara el hormigón sobre los moldes y se vibrara para su perfecta aplicación. Posteriormente pasara a una zona de alisado y puesta de las puertas de los moldes, para pasar finalmente al horno de secado, donde pasara las horas correspondientes para poder ser sustraída la dovela y se extraída a un pre-acopio donde permanecerá una semana para conseguir una mayor resistencia, para pasar posteriormente a la acopio antes de ser suministradas a la obra.

Además esta planta de dovelas servirá para el suministro de hormigón y mortero para la ejecución del túnel.

11.2. SISTEMA Y CANTIDADES

Se ha previsto realizar la prefabricación de dovelas en un plazo de 60 semanas, empezando la prefabricación dos mes, antes del comienzo de la excavación del túnel.

Hay siete dovelas por anillo, configurando un anillo universal de seis dovelas más una de clave con la siguiente geometría :

- Diámetro externo 11.160 mm.
- Diámetro interno 10.400 mm.
- Longitud 1.800 mm.
- Espesor 380 mm.

Número de dovelas:

$$\frac{7.056 \times 7}{1,8} = 27.440 \text{ Ud}$$

El sistema de fabricación previsto es el de carrusel con túnel de secado y espacio suficiente para la fabricación de dovelas base.

A la fabricación de dovelas habría que añadir otras 3.920 ud correspondientes a dovelas base ($7.056/1,8= 3.920$ ud.) que entraran en el propio carrusel de fabricación para tener de esta manera el ciclo completo por metro lineal de túnel.

11.3. PRODUCCION PREVISTA

El rendimiento de avance máximo previsto en el túnel es de 11,7 m/día, equivalente a:

$$(11,7 \text{ m/día} \times 7 \text{ dovelas}) / (1,8 \text{ m /dovelas}) = 46 \text{ dovelas/día}$$

Con el rendimiento medio de avance previsto en nuestra programación, teniendo en cuenta un coeficiente de reducción de 0,85; la necesidad media de dovelas diaria sería de:

$$46 \times 0,85 = 39 \text{ dovelas/día}$$

Estas cantidades son menores que la producción prevista en la fábrica de dovelas puesto que se a dimensionado para una producción diaria de 91 dovelas/día más 13 dovelas base, por lo que tenemos una seguridad total en el suministro de dovelas.

No obstante, se comenzará a fabricar dovelas dos meses antes del comienzo de la ejecución del túnel, con el fin de garantizar la existencia de un acopio razonable, ya que se debe dejar curar la dovela durante 28 días antes de su uso en obra.

En la fábrica de dovelas se trabajará diariamente en dos turnos de 12 horas (10 horas efectivas) y durante 5 días a la semana, pudiendo incrementarse los días de trabajo al sábado todo el día e incluso al domingo en caso necesario.

Hay que tener en cuenta que la propia fábrica de dovelas estará adaptada para el suministro de hormigón y mortero a la obra.

Con este ritmo de trabajo garantizamos una producción de:

$$91 \text{ dovelas/día} \times 5 \text{ días/semana} = 455 \text{ dovelas/semana}$$

Como la producción prevista de avance en túnel es:

- Avance medio: $11,7 \text{ m/día} \times 0,85 \times 7 \text{ días/semana} = 69,615 \text{ m/semana}$
- Avance máximo: $11,7 \text{ m/día} \times 7 \text{ días/semana} = 81,9 \text{ m/semana}$

La producción necesaria de dovelas es la siguiente:

- Dovelas en avance medio:
 $(69,615 \text{ m/semana} \times 7 \text{ días/semana}) / (1,8\text{m/dovelas}) = 271 \text{ dovelas/semana}$
- Dovelas en avance máximo:
 $(81,9 \text{ m/semana} \times 7 \text{ días/semana}) / (1,8 \text{ m/dovelas})= 319 \text{ dovelas/semana}$

Tenemos los siguientes coeficientes de seguridad en la producción de dovelas:

- Coeficiente seguridad en avance medio: $455 / 271 = 1,68$
- Coeficiente seguridad en avance máximo: $455 / 319 = 1,43$

Consideramos que estos coeficientes son lo suficientemente holgados para garantizar el suministro de dovelas a la tuneladora, teniendo en cuenta que la fabricación comenzará dos meses antes de la excavación y teniendo en cuenta que la planta deberá suministrar el mortero a la tuneladora, con lo que los rendimientos antes expuestos podrían verse rebajados aunque se trabajara con coeficientes de seguridad muy altos.

11.4. PLANTA DE FABRICACIÓN

Teniendo en cuenta la calidad y tolerancias exigidas de las dovelas, pensamos en una fabricación por sistema carrusel con túnel de secado.

El otro sistema de fabricación el de puesto fijo, sólo tiene interés para producciones mucho menores que las necesarias en esta obra.

El sistema de carrusel, que describimos a continuación, permite satisfacer las exigencias del proyecto y garantizar la producción necesaria.

$$\frac{22 \text{ h} \times 60 \text{ m/h} \times 0,85}{11 \text{ min/dovela}} = 104 \text{ dovelas/día}$$

El tiempo de curado será :

$$33 \text{ moldes} \times 11 \text{ min} = 363 \text{ min} = 6,05 \text{ h}$$

Con ese sistema, utilizando 40 moldes, 7 en fabricación y 33 en secado, y con un tiempo de ejecución por molde de 11 minutos, es posible conseguir una producción de 104 moldes.

A continuación describimos los moldes, así como la instalación del taller de fabricación de dovelas, mecanismos, automatización, ciclo de trabajo, pre-acopio y acopio, además se contara con un taller de fabricación de las armaduras para las dovelas, que estara incorporado en un lateral exterior de la nave que de acceso al carrusel para su introducción directamente en los moldes.

- Moldes de dovelas

Cada molde de dovelas nos permitirá hormigonar una dovela y esta constituido por:

- Un chasis soporte del fondo de molde montado sobre unos topes antivibratorios.
- Un fondo de molde que puede recibir dos vibradores externos de aire comprimido.
- Dos paredes longitudinales articuladas, que se apoyan en el fondo del molde.

- Dos paredes laterales articuladas también apoyan en el fondo del molde.
- Ajuste y apertura de los carrillos por cada lado :
 - 1 sistema apertura-cierre.
 - 2 sistemas de ajuste.
- Centrajes cónicos muy precisos.
- Cajas de reserva para atornillado de las dovelas entre sí.
- Reserva para mantenimiento tubo de inyección.
- Un cono inyección.
- Una junta garantizando la impermeabilización entre las paredes laterales y el fondo del molde.
- Dos fundas por la parte superior (maniobra manual).
- Apertura y cierre asistidos por resortes.
- Ajuste sobre paredes laterales por "grenouillères" (junta impermeabilización).

Todas las operaciones de apertura y cierre de las paredes laterales, ajuste y desajuste de los centrajes y fijaciones se hacen por medio de una llave dinamométrica neumática ó hidráulica (par ajuste 20 ml-kg).

Los moldes se construirán de tal manera que una pieza de ajuste, que eventualmente falla, no ocasionará el paro de la colocación de hormigón en el molde de una manera anormal.

Por otra parte, todos los elementos en movimiento tales como ajustes, varilla para maniobra de apertura, etc., serán desmontables e intercambiables (piezas de recambio).

Asimismo, los moldes se realizarán, de forma que en caso de modificación de estructura que conlleve cambios de cotas, después de un choque ó de un incidente técnico, las reanudaciones de las mismas sean posibles.

Resumiendo, para ese tipo de trabajos, los moldes, a pesar de las obligaciones de explotación, vibración externa, secado, deben conservar las cotas previstas en las tolerancias dimensionales requeridas.

A partir de las cotas de tolerancia dadas de construcción, los moldes de dóvelas deben permitir de conseguir las siguientes cotas en hormigón :

- Longitud = 1 mm.
 - Ancho = 0,2 mm.
 - Rectitud pared lateral = 0,5 mm.
 - Espesor = 2 mm. (según calidad pulido trasdós)
 - Reserva = 1 mm.
 - Lado izquierdo del cilindro = 2 mm.
 - Diagonal = 2 mm.
 - Angulo en el centro = 1 mm.
- Ciclo de trabajo en el carrusel

El ciclo de trabajo en el carrusel es muy sencillo y rápido, ya el carrusel se encuentra en continuo movimiento, solo se parara en caso de avería o accidente para que de esta se garanticen las producciones diarias antes expuestas.

El mantenimiento que se deba de hacer se realizara durante el fin de semana o durante una parada programada para tal acto.

Los trabajo en el carrusel antes de la entrada al horno de curado son:

- Posición 1: Apertura de molde y desencofrado de dovelas (una vez salido del horno de curado).
- Posición 2: Limpieza de los moldes
- Posición 3: Limpieza y aceitado de los moldes. Control de molde.
- Posición 4: Puesta en obra de armaduras, insertadores, separadores, etc. Cierre de los capós
- Posición 5: Hormigonado y vibrado
- Posición 6: Alisado, pulido de trasdós
- Posición 7: Acabado y limpieza

Posteriormente el molde con pieza pasa a la zona de secado donde permanecerá durante 6,05 horas.

Para que se cumpla un ciclo completo de trabajo y obtener los rendimientos requeridos el carrusel cuenta con 40 moldes de producción entre los que se encuentran los moldes para la fabricación de las dovelas base.

El equipamiento del carrusel, consta de los siguientes moldes :

- 1 línea de fabricación: 7 moldes
- 1 línea de secado : 11 moldes
- 1 línea de secado : 11 moldes
- 1 línea de secado : 11 moldes

Con lo que hace un total de 35 moldes de dovelas + 5 moldes de dovelas base.

- Funcionamiento del carrusel

Cuando el sistema de fabricación arranca, los diferentes movimientos se hacen en el siguiente orden:

- Arranque del empuje de los transbordadores,
- Salida de un molde de la cadena de fabricación e introducción de un molde que empuja y desplaza la cadena de fabricación.
- Desplazamiento de los transbordadores.
- Parada y recentraje frente a su respectiva cadena de transbordadores.
- Apertura de las puertas de la estufa de secado.
- Introducción del molde en su cadena de secado.
- Extracción de un molde y carga en el transbordador, de extracción al pre-acopio.
- Cierre de las puertas de la estufa de secado.
- Regreso de los transbordadores frente a la cadena de fabricación.

En la cadenas de secado los moldes están en continuo contacto y empuje.

- Mecanización

La mecanización del carrusel estará formado por:

- 2 transbordadores automotores.
 - 2 carros lanzaderas.
 - 1 sistema empuje de cadena fabricación
 - 2 sistemas empuje de cadena de secado
 - 3 sistemas de centraje de los moldes a los puestos de trabajo a un 1 cm de desencofrado.
 - Puesta en obra de la armadura.
 - Puesta del hormigonado de vibración.
- Automatismo

El equipo de funcionamiento del carrusel será concebido para un trabajo en automático con la posibilidad de un trabajo manual si es necesario.

Para prevenir los problemas de fluencia del hormigón fresco en la cadena de fabricación, se hará un desplazamiento con suavidad y sin golpes

El automatismo llevara el funcionamiento completo del carrusel así como de las puertas de las estufas o horno y del local insonorizado, donde se cargara el hormigón en los moldes para su posterior vibrado. En las tres cadenas de secado , los moldes se presentan en alternancia de cada cadena.

El carrusel estará dotado con todos los dispositivos de seguridad y de todos los mandos para su buen funcionamiento.

Constara con un sistema de parada de emergencia alarma sonora y luminosa para desplazamientos, confirmaciones de las secuencias de trabajo en cada puesto de la cadena de fabricación.

Desde el pupitre de mando general del carrusel con un cuadro sinóptico sencillo se reanudara el desarrollo de cada operación para el funcionamiento del carrusel.

Debe tenerse en cuenta las siguientes informaciones para el sistema de mando del carrusel:

- Posición de los moldes en cada cadena.

- Posición de los transbordadores.
- Posición de los puestos de secado.
- Posición del arranque del ciclo (llave de seguridad)
- Parada de emergencia.

Los sistemas de carrusel y los automatismos deben de tener una interconexión perfecta y con toda seguridad con las otras funciones y trabajos a ejecutar en la cadena (desencofrado, armadura, hormigonado, vibración).

Todos los equipos mecánicos, hidráulicos, eléctricos, detectores, etc., estarán completamente protegidos contra las proyecciones de hormigón y agua durante el trabajo.

La fiabilidad del funcionamiento del carrusel es uno de los elementos mas importantes para el buen funcionamiento de la fabrica de dovelas.

- Carriles de rodadura

Los carriles están fijados al suelo por clavijas extensibles antes del relleno con hormigón sin retirada debajo de los apoyos ajustables previstos a ese efecto.

- Estación de Vibración y hormigonado

En el puesto de hormigonado esta prevista una estación de vibración que recibe los moldes listos para el hormigonado. Se lanzara el molde de sus carriles de rodadura utilizando unos "pneurides" con aire, los cuales también hacen el papel de aislamiento al nivel del suelo cuando la vibración actúa. El molde no debe desplazarse cuando la vibración se efectúe. El mando se hace a partir de un armario de regulación situado en el puesto de hormigonado.

Una vez posicionado el molde en la estación de vibrado y hormigonado, el hormigón se vaciara en los moldes, para su posterior vibrado.

La vibración de cada molde será por medio de 4 vibradores de aire, excepto en la clave que poseerá 2, los vibradores son externos de frecuencia 14.500 t/min con una fuerza centrifuga de 60 KN, con un consumo unitario de 160 l/min. Para la vibración de un molde es necesario 6400 l/mm.

El vibrado se realizara desde un armario de mando neumático con botón de marcha/paro.

- Secado de las Dovelas

Para permitir un desencofrado rápido de las pieza de hormigón, este tendrá un tunel de secado. Los moldes hormigonados se introducirán en el horno de secado, donde pasaran el tiempo necesario para que las dovelas puedan ser desencofradas y puestas en el pre-acopio sin fisurarse ni deteriorarse.

El horno constara con una estufa de secado, esta estufa estará bajo una estructura para protegerla de las bajas temperaturas y obtener de ella un rendimiento optimo con el menor consumo.

- Grúa de dovelas y volteador

Una vez que los moldes de dovelas salen del horno de curado, son extraídos de los moldes por una grúa de dovelas de vacío, similar a las usada en la TBM, la cual transporta la dovela de hormigón, hasta un volteador para darle la vuelta y posicionar en su forma correcta. Posteriormente se pondrá las juntas y paquets para pasar al pre-acopio de dovelas, antes de ser trasladadas al acopio de la fabrica.

- Taller de fabricación de armadura

Próximo a la fabrica de dovelas, se montara un parque de ferralla donde se fabricaran las armaduras de las dovelas. Este contara con un pórtico y un puerta de entrada a la fabrica por donde se introducirán las armaduras hasta el carrusel donde se colocaran en los moldes para su posterior hormigonado.

- Pre-acopio y acopio

Una vez sacadas las dovelas del carrusel, se apilaran en un pre-acopio hasta un periodo de una semana que será suficiente para que el hormigón adquiriera una mayor resistencia y este en condiciones de ser colocado en el acopio de la fabrica, antes de ser transportado a la obra.

En el pre-acopio las dovelas se apilaran de tres en tres, para posteriormente en el acopio ser apilado el anillo completo, es decir las 7 piezas que conformar el anillo.

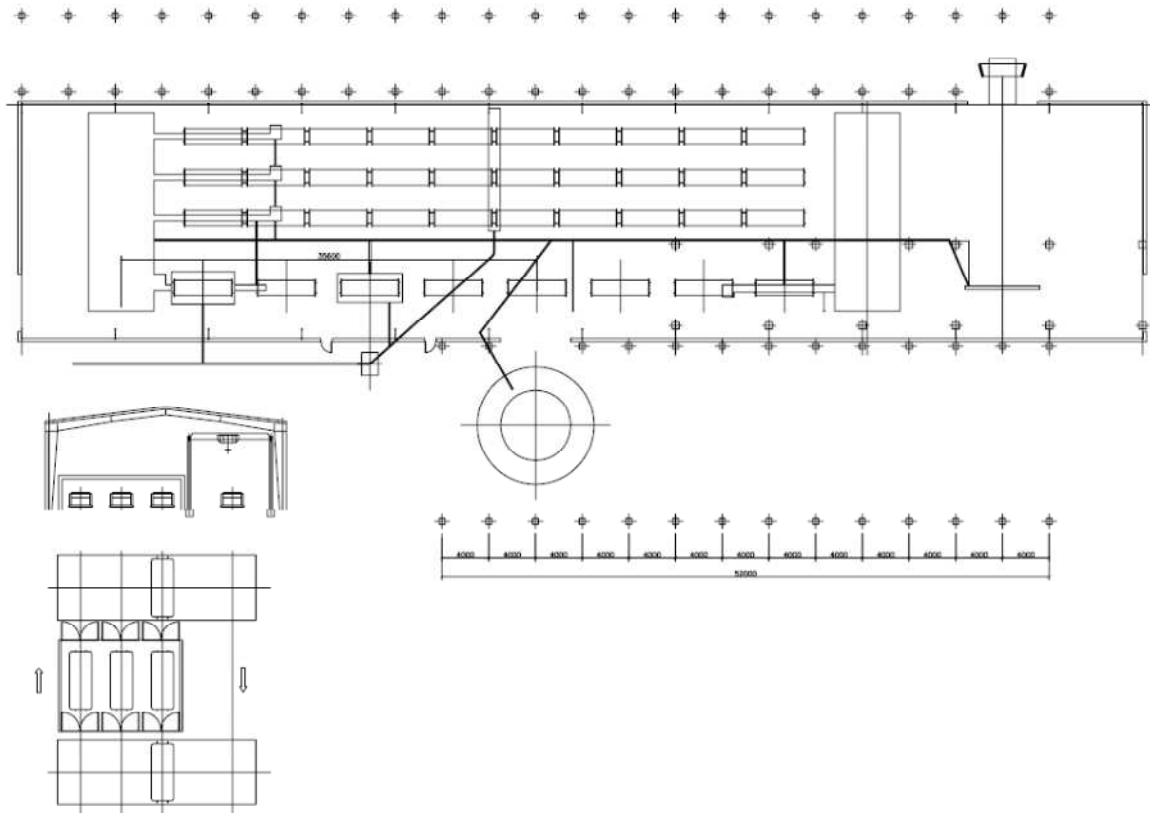


Figura nº25: Vista de la planta y alzado de una fabrica de dovelas

12. RESTO DE INSTALACIONES (Almacenes, basculas y lavadero, talleres, vestuarios y oficinas).

Para cumplimentar las instalaciones generales del túnel se instaurarán una serie de naves, oficinas y vestuarios, además de báscula y lavadero de camiones que darán servicio a tanto al personal de ejecución del túnel como al personal de oficina.

ALMACENES

Se montara un almacén cubierto para repuestos y material de la tuneladora, accesible para pequeños vehículos.

Adicionalmente se contara con varias zonas de acopio exterior a pie de playa de vías, válido para material susceptible de acopiar a la intemperie (tubería, carriles, material de prolongación de la cinta de desescombro, etc.)

BASCULA Y LAVADERO

Para un correcto control tanto del material que entra a la obra como todo el escombros que saldrá al vertedero, se montara una bascula de pesaje de grandes toneladas a la salida de la obra, de manera que se pesaran los camiones por ejemplo de bentonita, cal, tierras extraídas de la tuneladora, etc., para comprobar el correcto peso del transporte.

Además se montara un lavadero para los camiones que por motivo de la inclemencia del tiempo y del barro que haya en la obra se puedan ensuciados y puedan causar problemas al trafico después de su salida de la obra.

TALLERES

Se montara también con una nave cubierta para talleres mecánicos y eléctricos. Ambos talleres contarán con la maquinaria necesaria para reparaciones específicas, trabajos de soldadura, etc.

En la playa de vías se montara un taller para la reparación y el mantenimiento de las locomotoras y del material rodante empleado para el servicio de la Tuneladora, este a su

vez contara con un foso-taller para el acceso a la parte de debajo de las locomotoras para si correcto mantenimiento. Este taller tendrá unas dimensiones de 12 m x 12 m y 10 m de altura libre, que además contara con un puente-grúa de pequeño tonelaje para el manejo de piezas pesadas.

VESTUARIOS Y OFICINAS

A pie de obra, se situarán los vestuarios, baños, comedor y resto de instalaciones para el personal, dimensionadas para 40 personas por cada relevo de trabajo. En una planta superior se situarán las oficinas del túnel para el personal técnico (ingenieros de producción, maquinaria, compras, etc.). En otro edificio junto a este, se situaran las oficinas generales de la obra para el resto del personal (jefe de obra, oficina técnica, administración, etc.).

ANEJO Nº8

PROCEDIMIENTOS DE AUSCULTACION

INDICE

- 1. OBJETO**
 - 1.1. EQUIPO DE AUSCULTACION
- 2. CRITERIOS DE DISEÑO**
 - 2.1. INTRODUCCION
 - 2.2. MANIFESTACIONES DEL ENTORNO
 - 2.2.1. MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN SUPERFICIE
 - 2.2.2. MOVIMIENTOS VERTICALES EN PROFUNDIDAD
 - 2.2.3. DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN PROFUNDIDAD
 - 2.2.4. MOVIMIENTOS VERTICALES EN EDIFICACIONES Y ESTRUCTURAS PROXIMAS
 - 2.3. INTERACION TERRENO-ESTRUCTURA
 - 2.3.1. PRESION DE AGUA FREATICA
 - 2.3.2. TENSION REAL DE TRABAJO DE LOS REVESTIMIENTOS DE HORMIGON
 - 2.3.3. PRESION ACTUANTE EN SOSTENIMIENTOS / REVESTIMIENTOS
 - 2.3.4. SECCIONES DE CONVERGENCIA EN EL TUNEL
- 3. SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACION**
 - 3.1. INTRODUCCION
 - 3.2. FRECUENCIAS DE LECTURAS
 - 3.2.1. TUNEL MEDIANTE E.P.B.
 - 3.2.2. POZOS DE MANTENIMIENTO
 - 3.3. UMBRALES DE CONTROL
- 4. CÁLCULO DE SUBSIDENCIAS Y ESTUDIO DE EDIFICACIONES AFECTADAS POR LA OBRA.**
 - 4.1. INTRODUCCION
 - 4.2. METODOLOGIA A EMPLEAR
- 5. SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**
 - 5.1. INTRODUCCION Y OBJETO
 - 5.2. DESCRIPCION DEL SOFTWARE
 - 5.2.1. DATOS DE EJECUCION
 - 5.2.2. DATOS DE INSTRUMENTACION

1. OBJETO

La ejecución de un túnel necesita de un sistema de auscultación que permita tener un conocimiento suficiente del modo en que el terreno, estructuras e instalaciones responden a las operaciones que se están realizando. Esta necesidad es más determinante cuando el túnel se construye en un entorno urbano, debido a la cantidad de viviendas y servicios que pueden verse afectados.

En la instrucción para el Proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-98) aprobada en 1998 por la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes se concluye que será obligatorio realizar un proyecto de auscultación siempre que los movimientos, estáticos o dinámicos, inducidos por la excavación, o por la presencia de la obra, puedan afectar a mediciones, instalaciones industriales o de cualquier otro tipo.

El presente anexo cubre el proyecto de auscultación arriba mencionado y el objeto de éste es:

- Describir los criterios de diseño de la instrumentación.
- Ubicar los dispositivos de instrumentación en túnel y superficie.
- Proponer una frecuencia de lectura de la instrumentación.
- Establecer unos umbrales de control en función del cálculo de movimientos estimados.

Los resultados de las mediciones, correctamente interpretados, permiten vigilar la seguridad de la obra, sus posibles afecciones y contrastar con la realidad las hipótesis del proyecto. El sistema de auscultación debe incluir una organización que realice una interpretación clara y rápida de los datos recibidos y transmita las conclusiones de esta interpretación, también de forma rápida, a los centros de decisión.

El sistema de auscultación se ha organizado en “unidades de control”, que se definen como las partes de la obra que pueden considerarse como unidades homogéneas, en su composición y comportamiento, y que a efectos de originar un peligro son independientes del resto de la obra.

A lo largo del trazado se han diferenciado las siguientes unidades de control:

- Túnel de línea.
- Excavaciones construidas al abrigo de pantallas, como son los pozos de mantenimiento (no presentes en este proyecto).

Para cada una de estas unidades se indica:

- Instrumentación: características y distribución.
- Organización de las medidas.

En función de la experiencia acumulada durante la ejecución de la propia obra, se podrán modificar, si se cree conveniente, la composición del sistema de auscultación o las características y localización de los instrumentos.

1.1. EQUIPO DE AUSCULTACION

El equipo formado por técnicos se encargará de realizar las mediciones, su análisis y la supervisión geológico-geotécnica del tramo.

El seguimiento de la instrumentación prevista dispondrá de los llamados equipos de medida, distinguiéndose entre equipos de nivelación y equipos de sensores siempre bajo la supervisión del Jefe de Instrumentación de la obra. Este trabajo se analizará en una oficina, debidamente equipada, en la que se llevarán los ficheros de auscultación, informatizados y puestos al día, y en la que se elaborarán los gráficos, análisis y conclusiones.

El número de equipos de auscultación y topografía se estimara en función de las frecuencias de lectura.

2. CRITERIOS DE DISEÑO

2.1. INTRODUCCION

A continuación se definen los criterios de diseño de la instrumentación necesaria para la medida de los efectos de la excavación en el entorno y en las estructuras de contención y sostenimiento del túnel.

En este diseño se ha tomado como base la instrumentación definida en diversos proyectos que se han realizado en España y los cuales han dado buenos resultados en los procesos seguidos.

2.2. MANIFESTACIONES EN EL ENTORNO

Los parámetros que se consideran medir para evaluar los efectos del túnel sobre el entorno son los siguientes:

- Movimientos del terreno en superficie.
- Movimientos verticales del terreno en profundidad.
- Desplazamiento horizontal del terreno en profundidad.
- Movimientos en edificaciones y estructuras próximas.

2.2.1. MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN SUPERFICIE

En superficie se prevé medir movimientos verticales y horizontales, para ello se instalarán hitos de nivelación y clavos metálicos, para los movimientos verticales, y arquetas de subsidencia combinada para medir tanto movimientos verticales, como horizontales.

Para conocer los posibles movimientos verticales del terreno, se procederá a la instalación de hitos de nivelación en suelo (HS). Estos hitos de nivelación o clavos metálicos tendrán aproximadamente 1 m de longitud y tendrán cabeza avellanada que se recubrirá, salvo en sus 3 a 5 cm superiores, con una capa de mortero. Estos elementos deben estar firmemente implantados en el terreno, salvando pavimentos y posibles capas cementadas.

Dichas secciones pueden ser de subsidencia o en secciones de túnel mediante tuneladora (ST y STC). En las secciones, la sección se materializa con la instalación de un máximo de 9 hitos en sentido transversal al túnel, de forma que un hito caiga sobre el eje del túnel, otros 2 sobre los hastiales y los 6 restantes cubriendo los 50 m que aproximadamente pueda medir la cubeta de subsidencias.

La distancia entre secciones para el cálculo de asientos en superficie, será aproximadamente de 50 m.

Aparte de los hitos que forman las secciones, se instalarán todos los hitos necesarios para que cada 25 m haya a lo largo de la traza del túnel un punto de medida, además de otros hitos complementarios en aceras y chaflanes.

La ubicación de todos estos hitos se realizara unos meses antes del comienzo a la ejecución del tunel para tener medidas de las posibles variaciones para antes, durante y al final de la ejecución del tunel y que incluso podrían tomarse medidas durante el funcionamiento de la línea para ver la evolución.

La toma de lecturas se realizará mediante nivelación de precisión con nivel y micrómetro de láminas paralelas con una precisión de 0,7 mm/Km. Las lecturas de estos dispositivos se referirán a dos bases de nivelación (BN) suficientemente alejadas de la zona de influencia de las obras y se llevarán a cabo mediante la colocación de una mira tipo Invar.

Las arquetas de subsidencia combinada, nos permiten medir tanto movimientos verticales como horizontales. Para la medida de movimientos transversales se colocarán arquetas de 30 cm de diámetro y 70 cm de profundidad en cuyo interior y sujeto al suelo con hormigón se instalará una varilla que en su parte más superficial llevará una rosca de fijación para la instalación de un prisma que será leído mediante una estación total, pudiendo medir de este modo los movimientos en las tres direcciones x, y, z.

Estas arquetas de subsidencia combinadas, se instalarán siempre junto a los inclinómetros que se instalen así como en las secciones de auscultación ST, en un número mínimo de 2, una a cada lado del túnel.

Para controlar las arquetas se partirá de bases fuera del área de influencia de la obra, de coordenadas conocidas.

2.2.2. MOVIMIENTOS VERTICALES EN PROFUNDIDAD

Para la medida de asientos en profundidad generados por la excavación del túnel, se recurre a la instalación de tres tipos de instrumentos:

- Extensómetros de varilla doble (EV).
- Extensómetros incrementales (EI).
- Micrómetros deslizantes (MD).

El objeto del extensómetro de varillas (EV), es el de medir el desplazamiento diferencial de las cabezas de las diferentes varillas respecto a la cabeza de la más profunda (que es la

que se considera fija), con el fin de controlar las deformaciones del terreno situado en la zona de influencia de la excavación.

Los extensómetros de varillas se instalarán en un sondeo mecánico a rotación, anclando la varilla a 1,5 m sobre la clave del túnel.



Figura nº1: Cabezal de un extensómetro de 3 varillas

Los extensómetros de varillas en clave se instalarán en las secciones ST y STC del túnel, que se encuentran situadas cada 150 m a lo largo de toda la traza de este.

Los extensómetros incrementales, nos permiten medir las deformaciones verticales de forma continua cada metro en toda su profundidad. Estos instrumentos son instalados en el interior de un sondeo realizado previamente, cuya profundidad será de un mínimo de 5 m por debajo de la cota inferior del túnel y el espacio anular que queda entre la tubería de extensómetro incremental y el terreno, se rellena mediante una lechada de inyección que tenga un módulo de deformación lo más parecido posible al módulo de deformación del terreno. Para ello se realizan varios ensayos en laboratorio de la lechada hasta conseguir la relación agua-cemento-bentonita más adecuada.

Para la lectura de este instrumento se utiliza una sonda que se introduce en el interior de la tubería incremental midiendo las deformaciones relativas entre los anillos instalados. La precisión de este instrumento es de $\pm 0,01$ mm/m. Es importante la instalación de un hito en suelo asociado al extensómetro incremental, para poder medir la deformación en superficie del mismo.

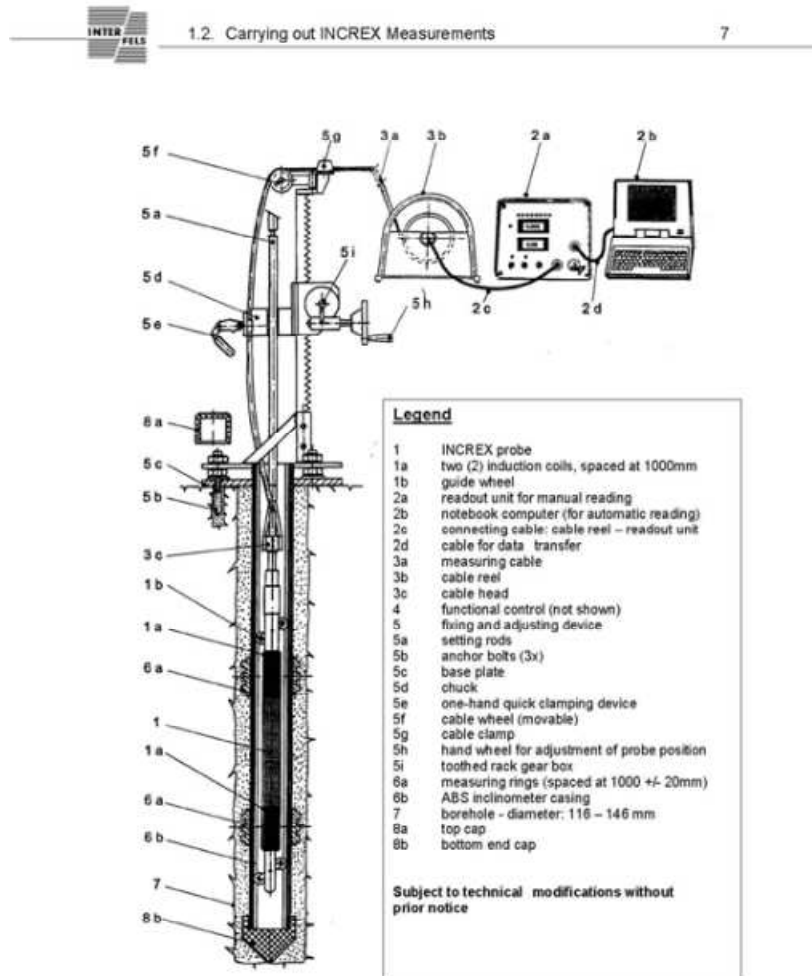


Figure 1 : INCREX Measuring System and Tubing

Figura n°2: Esquema de un extensómetro incremental magnético.

Los extensómetros incrementales, se instalarán en aquellas secciones ST y STC, previstas.

Otro instrumento para medir las deformaciones verticales en profundidad que se instala es el micrómetro deslizante. Este al igual que el extensómetro incremental, mide de forma continua cada metro, las deformaciones que se dan en profundidad a lo largo de la longitud de la tubería.

La instalación del micrómetro deslizante es igual que la del extensómetro incremental, variando la tipología de tubería a instalar, así como la sonda de lectura. En este caso la

precisión del aparato se sitúa en 0,001 mm/m. También es necesaria la instalación de un hito de nivelación asociado, para medir la deformación en superficie.

Los micrómetros deslizantes se instalarán siempre en los pozos de mantenimiento o pozos de bombeo, durante los ensayos de bombeo, en un número de tres micrómetros deslizantes por pozo: Uno en el interior del mismo que nos servirá para obtener datos relativos a posibles asientos debidos al bombeo y otros dos en el exterior para ver los posibles movimientos en profundidad que se puedan dar durante la excavación del mismo.

También se prevé la instalación de micrómetros deslizantes junto a los edificios singulares que se encuentran a lo largo de la traza.

2.2.3. DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN PROFUNDIDAD

Para la medida de desplazamientos horizontales en profundidad debido a la excavación del túnel, se recurre a la instalación de inclinómetros (IN), que permiten medir los desplazamientos transversales y longitudinales del terreno cada metro o cada medio metro.

Para ello, se instala una tubería de aluminio anodizado con doble acanaladura en el interior de un sondeo hecho previamente a destroza, rellenando el espacio entre sondeo y tubo con lechada de bentonita – cemento. El sondeo ha de profundizar 5 m por debajo de la cota de solera del túnel (0,5 Ø, aprox.), para poder garantizar así que el punto inferior del inclinómetro queda inmóvil. El inclinómetro estará protegido en su boca por una arqueta con tapa de acero y se tomarán precauciones para que éste no sea dañado por la maquinaria de obra durante la ejecución.



Figura nº3: Tubería inclinométrica instalada.

Al igual que los extensómetros de varillas EV, los inclinómetros se instalarán en las secciones ST y STC. Se ubicará junto a uno de los hastiales profundizando 12 m por debajo de la solera.

La colocación a un lado u otro del eje se decidirá en función de la proximidad de estructuras al túnel.

En la medida de lo posible, se intentará instalar el inclinómetro fuera de la zona de calzada, para facilitar su lectura. Aquellos inclinómetros instalados para medir las deformaciones al paso de la tuneladora, se instalará a una distancia máxima de 3 m desde el hastial del túnel, mientras que los que medirán deformaciones horizontales cerca de los edificios, se instalarán a una distancia máxima de 3 m de los mismos.

La medida de los movimientos se realizará mediante una sonda inclinométrica con toma de lecturas cada 0,5 m y una precisión mínima de ± 6 mm cada 25 m de lectura. Se utilizará una unidad de lectura digital que permita el volcado de los datos a un software adecuado para su tratamiento.

2.2.4. MOVIMIENTOS VERTICALES EN EDIFICACIONES Y ESTRUCTURAS PROXIMAS

CLAVOS DE NIVELACION

Para controlar los posibles movimientos verticales de las fachadas de los edificios cercanos al túnel, se procederá a la instalación de dispositivos de nivelación (clavos de nivelación, HN) en fachadas, pilares, muros de carga (en general, en los elementos estructurales de la edificación) de aquellos edificios o estructuras que se encuentren en la zona de desarrollo de la posible cubeta de subsidencias, para poder determinar los eventuales giros, asientos diferenciales y absolutos del edificio.

La densidad de instalación de estos clavos de nivelación dependerá de la proximidad del edificio a la traza y de su estado de conservación. De forma general, habrá que instalar al menos 2 clavos de nivelación en la fachada más próxima al túnel (de cada edificio o unidad estructural) y 2 en los laterales, para poder así cuantificar posibles asientos diferenciales y giros del edificio.



Figura nº4: Clavos de nivelación en muros para control de desplomes.

Dichos clavos de nivelación se instalarán no sólo en edificaciones, sino en aquellas estructuras aledañas al trazado que sean susceptibles de sufrir algún movimiento.

La toma de lecturas se realizará mediante nivelación de precisión con nivel y micrómetro de láminas paralelas con una precisión de 0,7 mm/Km. Las lecturas de estos dispositivos se referirán a dos bases de nivelación (BN) suficientemente alejadas de la zona de influencia de las obras y se llevarán a cabo mediante la colocación de una mira tipo Invar.

INSTRUMENTACION ROBOTIZADA

La instrumentación robotizada mediante prismas y estaciones totales robotizadas, nos permiten medir movimientos en las tres direcciones posibles, en tiempo real, con lo que conseguimos obtener información tanto movimientos verticales como posibles desplomes que puedan darse en cada uno de los edificios.

El número de prismas por fachada depende de la altura propia del edificio, así como la longitud de su fachada. Siempre se intenta tener un mínimo de dos alturas por edificio, para poder obtener desplomes del mismo.

Debido a la gran cantidad de edificios y estructuras presentes a lo largo de todo el trazado del túnel, se ha implementado un sistema de auscultación automatizada mediante

estaciones totales robotizadas y prismas en cada uno de los edificios y estructuras adyacentes en la traza. Con este sistema, se puede controlar los movimientos generados por el túnel en los edificios y estructuras próximos de forma automática, recibiendo vía WIFI los datos medidos en un ordenador, que gestiona los datos y los presenta en gráficas de evolución.

Haciendo un estudio pormenorizado de los detalles que rodean el proyecto del control de las zonas afectadas, y esperando conseguir precisiones, en el control de los puntos definidos para el estudio del posible movimiento, inferiores al milímetro, necesitamos que los equipos de medida no se sitúen a distancias superiores a 125 m de los puntos a controlar.

Respecto a la implantación del sistema automatizado en la obra, lo prioritario es cubrir las zonas en las que se ejecuten primero. Una vez puesto en servicio el sistema en estas zonas, se pasaría a completar el montaje en el resto de las áreas a controlar.

Estas estaciones irán colocadas en lo alto de los edificios adyacentes a la traza del túnel, desde donde se tenga una buena visual de la traza del túnel. Si esto no fuera posible, se ubicarían estas estaciones sobre pilares de hormigón armado o vigas realizados ex profeso, y a una altura suficiente para evitar actos vandálicos.

FISUROMETROS

En caso de que haya o aparezcan grietas en edificios próximos a la zona de influencia de los trabajos, se colocarán reglas de control de grietas (fisurómetros) para tener una indicación de la posible evolución de las mismas en función del desarrollo de la construcción de las obras.

2.3. INTERACION TERRENO-ESTRUCTURA

Aparte de los efectos de las excavaciones sobre el entorno, cabe registrar cómo evolucionan las variables que gobiernan el comportamiento del conjunto terreno – estructura: empujes, tensiones de trabajo, movimientos de los revestimientos, etc.

Estas variables permiten evaluar el comportamiento de estas estructuras ante las excavaciones.

2.3.1. PRESION DE AGUA FREATICA

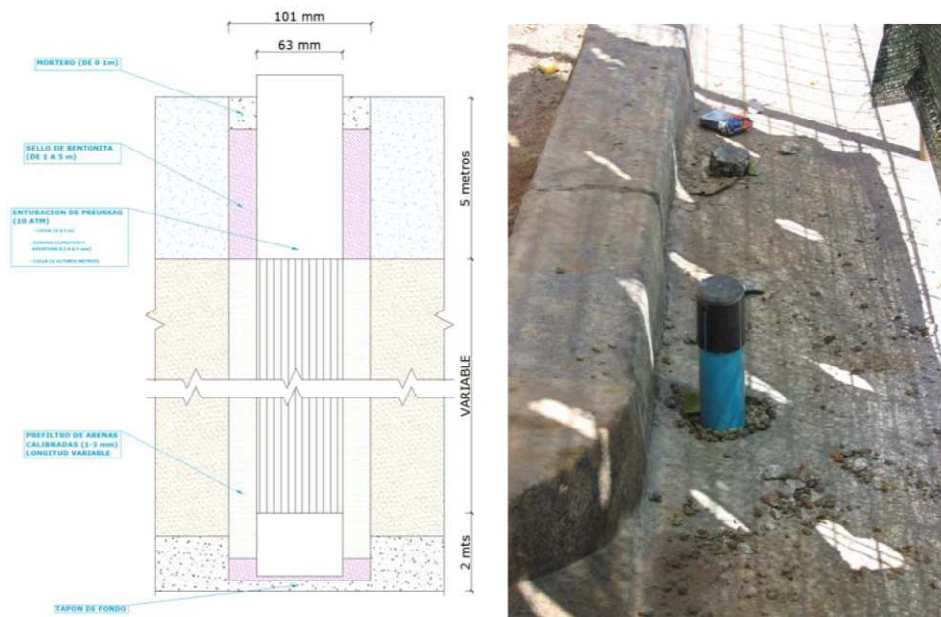
La excavación de los túneles supone, por lo general, un drenaje del terreno circundante, rebajando el posible nivel freático existente. Este drenaje cambia las presiones actuantes sobre elementos estructurales próximos, ya sean edificios o el propio revestimiento. En cualquier caso, lo que hace es reducir dichas presiones. Pero una vez finalizado el recinto excavado (túnel mediante E.P.B., entre pantallas o pozos de mantenimiento), este nivel freático puede recargarse si no hay puntos para el drenaje e incluso superar el nivel inicial si se produce un efecto barrera (de carácter temporal) cortando circulaciones transversales de agua.

Por este motivo, se recomienda instalar piezómetros para medir los niveles de agua existentes. Estos piezómetros se instalarán en las secciones de túnel ST y STC.

El número y profundidad dependerá del perfil geotécnico existente en la sección en cuestión.

En principio, se instalará un piezómetro abierto a profundidad de tres metros por debajo de la solera del túnel. Este estará ranurado en toda su longitud a excepción de los dos últimos metros, en los cuales se dejará tubería ciega.

En el caso de los pozos en los que sea necesario un bombeo para su excavación, se instalarán los piezómetros necesarios para el control tanto dentro como fuera del recinto a excavar. En este caso, bien sea por el perfil geotécnico, o bien sea por la perforación del propio piezómetro, se detecten niveles de agua colgados, se instalarán tantos piezómetros como niveles detectados, profundizando hasta la capa impermeable de la que “cuelga” cada nivel de agua.



Figuranº5: Esquema de un piezómetro abierto y boca de piezómetro

La instalación del piezómetro supone la ejecución del sondeo a la profundidad a la que se requiera instalar, para posteriormente colocar el tubo ranurado en la longitud necesaria para medir el nivel a estudiar. Dicho tramo de tubo ranurado irá protegido por geotextil. El resto de tubo será ciego.

El espacio entre tubo ranurado y sondeo se rellenará de material filtro. Por encima de éste se colocará un tapón de bentonita y el resto del hueco se rellenará con lechada.

La lectura de los piezómetros se hará de forma manual con la introducción de una sonda piezométrica en la tubería ranurada que compone el piezómetro. En determinados casos particulares se instalarán divers en el interior de los mismos con el fin de obtener un registro continuo de los niveles piezométricos.

2.3.2. TENSION REAL DE TRABAJO DE LOS REVESTIMIENTOS DE HORMIGON

Para conocer la deformación de trabajo en revestimientos de hormigón armado se instalan extensímetros de cuerda vibrante (ECV) dentro de la masa de hormigón, previamente soldados a la armadura.

En el caso del túnel, los extensímetros de cuerda vibrante se emplean para controlar la solución que provoca en las dovelas la transmisión de esfuerzos desde el terreno.

El equipo aloja en su interior un fino hilo de acero, sujeto longitudinalmente entre placas extremas. La deformación del dispositivo, por contracción o elongación, se manifiesta en una disminución o aumento, respectivamente, de la tensión del hilo. Ante la actuación de un campo electromagnético creado por una bobina exterior, en un estado de tensión cualquiera, vibra con periodo de resonancia proporcional a este estado de tensión.

De esta forma, se mide indirectamente la deformación del material al que está fijado el extensómetro, pudiendo conocerse a partir de esta, la tensión a la que está sometido. El extensómetro de cuerda vibrante se encuentra fijado axialmente a la parte central de una barra de acero. Para poder transmitir las deformaciones de la estructura al extensómetro, la barra de acero se une solidariamente a la estructura, mediante soldadura. Su lectura manual se realiza empleando un lector portátil, común para todos los sensores de cuerda vibrante.

En todas las lecturas realizadas por este lector, las medidas obtenidas responden al periodo de resonancia de la cuerda del sensor, y vienen indicadas en microsegundos ($1\mu\text{s}=1\times 10^{-6}\text{ s}$).

A partir de las hojas de calibración de cada uno de los extensómetros obtenemos la deformación unitaria del extensómetro en microdeformaciones, micras por metro ($\mu\text{m}/\text{m}$). Las compresiones nos dan signo negativo y las elongaciones nos dan signo positivo.

Se instalarán un par de extensómetros en cada una de las dovelas del túnel a excepción de la dovela llave. Los anillos a instrumentar, son aquellos situados en las secciones STC.



Figuranº6: Pareja de extensómetros de cuerda vibrante instalados en la armadura de la dovela.

En el caso de pantallas de los pozos de mantenimiento, se instalan extensímetros en las secciones ST y en los pozos de mantenimiento, contemplando un total de 3 pares en cada alineación de pantalla (6 pares en total, dependiendo de la profundidad de la pantalla) que se ubican, aproximadamente, en el medio de la profundidad de excavación y a 2 m de las cotas de coronación y excavación.

En aquellas pantallas de los pozos en las que se instalen inclinómetros para medir la deformación transversal se instalarán, de igual forma que la arriba descrita, 3 pares de extensómetros junto a cada inclinómetro.

2.3.3. PRESION ACTUANTE EN SOSTENIMIENTOS / REVESTIMIENTOS

Se instalarán células de presión total (CPT) para medir presiones actuantes sobre sostenimientos de túnel. A este efecto, se contemplan 2 tipos de medida: por un lado, la medida de la presión del terreno sobre el sostenimiento del túnel mediante E.P.B. Por otro lado, la medida de posibles subpresiones sobre las soleras de los pozos de mantenimiento.

En el caso del túnel mediante E.P.B., se emplean para conocer las presiones totales radiales en el trasdós de las dovelas que componen el anillo de sostenimiento del túnel, por efecto del empuje del terreno.

Estas células constan de dos placas rectangulares de acero, separadas 1 mm y soldadas a lo largo del borde. El espacio entre placas se rellena de aceite, garantizando la ausencia de aire en el interior de la célula. Este elemento constituye el captador de presión transmitiendo ésta al líquido, que a su vez comunica con el transductor de cuerda vibrante que posibilita la medición.

Su lectura manual se realiza empleando un lector portátil, común para todos los sensores de cuerda vibrante. En todas las lecturas realizadas por este lector, las medidas obtenidas responden al periodo de resonancia de la cuerda del sensor, y vienen indicadas en microsegundos ($1\mu\text{s} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$).

A partir de las hojas de calibración de cada uno de las células de presión total obtenemos la presión expresada en kPa.

Dichas CPT se instalarán en las secciones STC, en un número de 6 por anillo: una en cada una de las dovelas a excepción de la dovela llave. Se realizará el cableado de los instrumentos y su conexión a una caja centralizadora.



Figura nº7: Instalación de una célula de presión total en el trasdós de una dovela

Por otro lado, para medir la subpresión de las soleras de hormigón en los pozos de mantenimiento, se procederá a instalar células de presión total (CPT) en el contacto de éstas con el terreno.

Las células de presión total se instalarán en las secciones ST, colocando 2 a lo largo de toda la solera, garantizando un contacto adecuado entre terreno y hormigón. El cableado que conecta los transductores de cuerda vibrante se pasará a través de la solera y se llevarán a una caja de centralizado donde se podrán adquirir las lecturas con una unidad lectora de cuerda vibrante.

2.3.4. SECCIONES DE CONVERGENCIA EN EL TUNEL

La medida de convergencias en el túnel nos va a permitir conocer las deformaciones que se produzcan en el contorno de excavación. Para conseguir este objetivo instalaremos un número determinado de pernos.

Las secciones de convergencia, constituyen un elemento básico para calibrar la seguridad de la excavación durante la ejecución de las obras. Están compuestas por pernos que deberán instalarse lo antes posible a medida que se realice la excavación. Los pernos se instalarán en un taladro, fijándose al hormigón con resina epoxi o mortero de fraguado rápido.

Debido a la complejidad de utilizar la cinta de convergencias durante la excavación de un túnel mediante E.P.B., se prevé reforzar mediante dianas de puntería o prismas para de este modo no tener que trabajar con la cinta de convergencia, lo cual como se ha mencionado, resulta bastante complicado en este tipo de túnel. Las secciones de convergencia a instalar en el túnel mediante E.P.B., se sitúan cada 150 m. Estas secciones constan de un mínimo de tres pernos o dianas situadas en forma de triángulo y que midan las diagonales en diversos puntos.



Figura nº12: Cinta extensiométrica

La medición se realizará mediante una cinta extensométrica de acero invar; su resolución será de al menos, 0,01 mm y su receptividad en las medidas de $\pm 0,1$ mm. Se dispondrá de una varilla de calibración portátil. Para el caso de las dianas de puntería o prismas se dispondrá de una estación total, cuya precisión será menor de 1 mm.

Las medidas se recogerán en un registro de lecturas, que contendrá, además, los siguientes datos:

- Número de la sección instrumentada.
- Profundidad de la excavación.
- Fecha de la lectura.
- Croquis de la sección con indicación de las lecturas a realizar.
- Temperatura en el momento de realizar la lectura.

3. SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN

3.1. INTRODUCCION

Una vez que se han descrito los criterios empleados para diseñar la instrumentación, queda por definir qué hacer con ella, esto es, todo lo que se engloba en el proceso de seguimiento: cuándo se lee, qué se hace con las lecturas, etc. Todos estos aspectos se describen en los puntos siguientes del presente documento.

3.2. FRECUENCIAS DE LECTURA

Para definir la frecuencia de lectura de cada instrumento en concreto, se ha de considerar, por un lado, la distancia del frente de excavación a la sección en la que el instrumento en cuestión se encuentra: cuanto más cerca esté, mayor deberá ser la frecuencia de lectura.

Además, hay que distinguir el riesgo geotécnico que el instrumento indique, en función de un código semafórico que se le asigna al compararlo con los umbrales de control. No es lo mismo que el aparato esté en el rango definido por el umbral verde que en el definido por el umbral rojo.

Con estas consideraciones, se definen las siguientes frecuencias de lectura para cada método constructivo.

3.2.1. TUNEL MEDIANTE E.P.B.

Antes del comienzo de la excavación o que al menos el frente de excavación esté lo suficientemente alejado, se realizará una lectura cero que se tomará como referencia a las siguientes.

Para fijar esta lectura cero, se realizarán dos medidas adoptando como medida cero la media aritmética entre las dos, siempre que no difieran más de un 10% entre sí.

Cuando el dispositivo se encuentre en una banda de ± 50 m del frente de excavación la frecuencia de lectura será:

Distancia desde el frente del túnel (m)	NIVEL DE CONTROL		
	VERDE	AMBAR	ROJO
Entre (-50, -25) y (+25,+ 50)	2 semanales, excepto piezómetros quincenal	3 semanales, excepto piezómetros semanal	3 semanales, excepto piezómetros semanal
Entre (-25,0) y (0,+25)	Diaría, excepto piezómetros semanal	Diaría, excepto piezómetros semanal	3 diarias, excepto piezómetros semanal

Figura nº13: Frecuencias de lectura para aparatos en excavación mediante E.P.B.

Los extensómetros de varillas y los hitos de nivelación ubicados sobre la clave del túnel, se leerán cuando la cabeza de la tuneladora, se encuentre a 24 m, 12 m, 6 m, y 0 m, y en el montaje de cada anillo cuando la tuneladora se encuentre en los 14 metros posteriores al paso bajo el extensómetro de varillas.

Cuando el dispositivo se encuentre más allá de los 50 m del frente de excavación (zona completada), se tomará una lectura quincenal durante el primer mes y una lectura mensual hasta estabilización en los meses restantes.

3.2.2. POZOS DE MANTENIMIENTO

Antes del comienzo de la ejecución de pantallas de los pozos de mantenimiento (o de la excavación para los instrumentos que van embebidos en la propia pantalla), se realizará una lectura cero que se tomará como referencia a las siguientes. Para fijar esta lectura cero, se realizarán tres medidas adoptando como medida cero la media aritmética entre las tres, siempre que no difieran más de un 10% entre sí.

Cuando el dispositivo se encuentre en una banda de ± 50 m del frente de excavación la frecuencia de lectura será:

Distancia al frente excavación (m)	NIVEL DE CONTROL		
	VERDE	AMBAR	ROJO
Ejecución pantallas			
	2 semanales, excepto piezómetros quincenal	3 semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria, excepto piezómetros semanal
Vaciado entre pantallas			
Zona en excavación	2 semanales, excepto piezómetros semanal	3 semanales, excepto piezómetros 2 semanales	Diaria

FiguraNº14: Frecuencias de lectura para aparatos en excavación de los pozos

Cuando el dispositivo se encuentre más allá de los 50 m del frente de excavación (zona completada), se tomará una lectura quincenal durante el primer mes y una lectura mensual hasta estabilización en los meses restantes.

En el caso de que la excavación se realice mediante la ayuda de un bombeo para el rebaje del nivel freático, se realizará un seguimiento diario de los piezómetros.

3.3. UMBRALES DE CONTROL

A continuación se definen los umbrales de control a emplear para la comparación y evaluación de las lecturas de instrumentación.

Para el caso clavos de nivelación (HN), y prismas (HT) ubicados en los edificios, se emplean los valores de la tabla siguiente, teniendo en cuenta que para el caso de los prismas, este umbral se aplica al valor de la media diaria de los caso datos, con el fin de evitar falsas alarmas debidas a las variaciones térmicas diarias que sufren los edificios.

MOVIMIENTOS ADICIONALES ADMISIBLES												
UMBRALES DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm)				DISTORSION ANGULAR				DEFORMACION HORIZONTAL UNITARIA (%)			
	Verde	Ámbar	Naranja	Rojo	Verde	Ámbar	Naranja	Rojo	Verde	Ámbar	Naranja	Rojo
Zonas sin edificaciones	En el caso que nos ocupa, no aplica esta clasificación.											
Edificios porticados posteriores a 1980, sin daños aparentes, según las inspecciones realizadas previamente.	< 10	10 a 15	15 a 20	> 20	< 1/2000	1/2000 a 1/1000	1/1000 a 1/750	> 1/750	< 0,10	0,10 a 0,14	0,14 a 0,16	> 0,16
Edificios de fábrica o sillería. Edificios monumentales. Edificios porticados anteriores a 1980, o que presenten daños según las inspecciones realizadas previamente.	< 5	5 a 10	10 a 15	> 15	< 1/3000	1/3000 a 1/2000	1/2000 a 1/1000	> 1/1000	< 0,05	0,05 a 0,08	0,08 a 0,12	> 0,12
Túneles existentes.	Se establece mediante un estudio específico para cada túnel. Este estudio se presenta en el anejo de cálculo al final de este documento.											

Figura nº15: Movimientos admisibles en los edificios y estructuras próximas

Respecto a los extensómetros de varillas (EV), e hitos de nivelación en el terreno (HS) situados sobre la clave del túnel (± 3 m a partir del eje), que nos servirán para evaluar el correcto funcionamiento de los parámetros de funcionamiento de la tuneladora, los valores de control admisibles son los mostrados en la siguiente tabla:

Dispositivo de AUSCULTACIÓN	UMBRAL DE CONTROL		
	VERDE	AMBAR	ROJO
Hitos de nivelación situados en las proximidades de la clave del túnel.	$< \pm 15$ mm	Entre ± 15 mm y ± 20 mm	$> \pm 20$ mm
Extensómetros de varillas situados en las proximidades de la clave del túnel.	$< \pm 20$ mm	Entre ± 20 mm y ± 25 mm	$> \pm 25$ mm

Figura nº16: Umbrales de control para hitos de nivelación y extensómetros de varillas

Respecto a los extensómetros de varillas (EV), extensómetros incrementales (EI), y micrómetros deslizantes (MD), que se encuentren en la proximidad de los edificios los valores admisibles se determinarán a partir de los umbrales admisibles propios del edificio, siendo estos un 25% superior a los establecidos para el edificio.

Para el caso de los extensímetros de cuerda vibrante instalados en las dovelas:

Dispositivo de AUSCULTACIÓN	UMBRAL DE CONTROL
Extensímetros de cuerda vibrante	ROJO Se define un solo umbral de riesgo correspondiente al 80% de la deformación del límite elástico del acero: $1,6 \cdot 10^{-3}$

Figura Nº17: Umbrales de control de sensores de cuerda vibrante

4. CÁLCULO DE SUBSIDENCIAS Y ESTUDIO DE EDIFICACIONES AFECTADAS POR LA OBRA.

4.1. INTRODUCCION

La excavación de túneles en áreas urbanas, realizada con frecuencia en suelos blandos, lleva siempre emparejado el grave problema de la interacción de estos trabajos con las estructuras y servicios situados en el área de influencia de los mismos.

El análisis de estos movimientos es fundamental, dado que dependen de factores tales como el método constructivo, el trazado o el tipo de terreno excavado entre otros, por lo que puede ser de gran importancia a la hora de escoger los más adecuados para la construcción del futuro túnel.

El principal motivo para la existencia del fenómeno de la subsidencia es la relajación de tensiones que sufre el terreno como consecuencia de la excavación de un túnel. Esta descompresión produce un movimiento del terreno circundante hacia el interior de la excavación hasta que quedar establecido el equilibrio tensional, bien de forma espontánea como en ciertos medios o bien por la introducción de un sostenimiento del terreno, como es el caso de los suelos blandos que nos ocupan.

Los desplazamientos del terreno hacia el interior del túnel tienen, por una parte, un componente más o menos radial hacia el centro del túnel y un componente axial en la zona del frente del túnel. El volumen de terreno desplazado se conoce habitualmente mediante el término "pérdida de volumen" y se expresa como porcentaje de pérdida de volumen respecto al volumen teórico de un avance de 1 m de túnel.

Esta pérdida de volumen se traduce en el fenómeno de la subsidencia, y se puede transmitir por completo o en parte a la superficie. Para evitar este último problema, la pérdida de volumen se expresa en relación a la subsidencia realmente medida en la superficie del terreno.

En la medida de la subsidencia, tradicionalmente se ha prestado una gran atención a los movimientos verticales medidos en superficie, los cuales son de gran importancia para las estructuras cimentadas superficialmente, pero la subsidencia se manifiesta también en todos

los niveles situados entre el túnel y la superficie, por lo que afecta también a cimentaciones profundas y a servicios enterrados. Es más, no hay que olvidar que la subsidencia tiene también un componente horizontal, que suele influir en las estructuras más negativamente que la vertical y que en muchas ocasiones no es tenida en cuenta.

La pérdida de volumen en el túnel se refleja rápidamente al nivel de superficie, pero la totalidad del movimiento no se produce en el mismo instante de la excavación. Los movimientos, en una sección determinada, se comienzan a producir cuando el túnel se encuentra aún a una cierta distancia de la misma. El movimiento progresa y cuando el frente del túnel se sitúa en la vertical de la sección observada, el asiento se encuentra por lo general entre el 10% y el 50% de su valor máximo. Este valor máximo se alcanza al cabo de cierto tiempo, el cual puede llegar a ser muy dilatado, incluso años, en el caso de suelos arcillosos.

La subsidencia depende, como se ha mencionado anteriormente, de muchos factores, lo cual complica enormemente la solución teórica del problema; por ello existen métodos teóricos, empíricos, semiempíricos y numéricos que permiten la estimación, con bastante aproximación, de los movimientos horizontales y verticales del terreno, tanto en superficie como en niveles inferiores.

Establecida esta comparación, se pueden analizar qué estructuras son las que, en teoría, hay que vigilar más e incluso proteger. Además, se podrá establecer para cada una de las estructuras unos umbrales de control para los movimientos que se midan en campo.

4.2. METODOLOGIA A EMPLEAR

En este apartado se va a describir la metodología a seguir para realizar el estudio de edificaciones que pueden verse afectados por la ejecución del túnel.

El siguiente esquema resume el proceso a seguir:

- **Recopilación de información previa:** en esta etapa inicial hay que recoger toda la información necesaria del proyecto de ejecución del túnel (geotecnia, trazado) y de las estructuras próximas. En el caso de las estructuras, esta recopilación supone realizar una inspección de las mismas, considerando para cada una de ellas su tipología estructural, tipo de cimentación, estado de conservación, número de alturas, etc.
- **Estudio de estructuras:** para aquellos edificios singulares o aquellos en los que a partir de la inspección previa se haya determinado que padecen alguna patología importante de daños, se realizará una clasificación de las mismas, definiendo su sensibilidad estructural ante los movimientos. Se definen 3 sensibilidades (alta, media, baja), y para cada una de ellas se define una tabla de movimientos admisibles.
- **Cálculo de subsidencias:** empleando un método semiempírico o numérico de cálculo, se procederá a estimar el nivel de movimientos que la excavación de los túneles generará en dichas estructuras.
- **Comparación de movimientos calculados y movimientos admisibles:** una vez estimados los movimientos en cada estructura, se compararán con los admisibles (definidos según la sensibilidad estructural) y se definirá, para cada estructura, un estado o nivel de control (0, 1, 2 ó 3).
- **Conclusiones:** con esta comparación, ya se podrá definir qué estructuras hay que analizar más en detalle e incluso proteger adecuadamente, y qué umbrales de control hay que definir para los mismos.

5. SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.1. INTRODUCCION Y OBJETO

Para completar el Sistema de Auscultación, se dispone de un software específico para esta obra que permita integrar la instrumentación automatizada, la instrumentación convencional y los avances del túnel, de forma que se pueda consultar las lecturas de todos estos instrumentos en tiempo cuasireal (especialmente en el caso de la instrumentación automatizada), y evaluar estas medidas en función del estado de ejecución del túnel.

Dicho software tiene un entorno gráfico que permite acceder a toda la información desde la pantalla sin más que pinchar con el ratón en los elementos sensibles. El objeto de este documento es describir el alcance y los contenidos de este software.

5.2. DESCRIPCION DEL SOFTWARE

El software que se propone desarrollar para este tunel, es el mismo empleado para otros túneles, es el denominado Geoscope, pretende fundamentalmente la gestión de las lecturas de auscultación tomadas en campo, en especial las procedentes de instrumentación automatizada, de una manera más cómoda y sencilla.

Dado que la frecuencia de adquisición de lecturas en este tipo de aparatos es muy alta, el desarrollo de este tipo de programa se hace indispensable para el manejo de dicha información, simplificando en la medida de lo posible la gestión de la misma. Como complemento, se pretende introducir en dicho software el avance de la excavación del túnel, de manera que se pueda identificar de forma inmediata qué instrumentación está en la zona de avance (más susceptible a moverse) y poder evaluar de forma más detallada los movimientos que se vayan produciendo. Además, con estos datos podría analizarse de forma general el estado de la obra (porcentaje ejecutado, rendimientos, cumplimiento del diagrama espacios-tiempos, etc.).

Con estas herramientas, se persigue realizar el seguimiento de la obra (en lo referente a los movimientos generados) de forma más sencilla, ya que la introducción de datos es automática (en casi todos los casos) y el programa, de forma interna, compara las medidas con los umbrales en cada aparato, generando avisos en aquellos instrumentos en los que se supere los umbrales propuestos.

A continuación se realizará una descripción más detallada de cada una de las partes de las que se compondría el software.

5.2.1. DATOS DE EJECUCION

Como se comentó más arriba, los datos de ejecución que se incluirán en el software con los avances de los túneles. En el caso del túnel mediante E.P.B., se introducirán el avance de forma que visualmente en el programa se puede estimar el avance de la obra.

La ejecución de cada una de las secciones de Auscultación se reflejará en el plano y se irán actualizando mediante nuevas vistas que se enviarán mediante un servidor ftp.

5.2.2. DATOS DE INSTRUMENTACION

Los datos de instrumentación que se introducen al software son, básicamente, las sucesivas lecturas tomadas de cada instrumento, bien sea de forma manual o de forma automatizada. Se introduce también, para cada instrumento, información de su ubicación y los umbrales de control, con los que se comparan las medidas.

La instrumentación aparece en pantalla representada por elementos sensibles, de forma que al pinchar sobre uno de ellos salta una pantalla auxiliar que contiene toda la información asociada a ese instrumento.

El color de cada instrumento será verde, ámbar, naranja (en el caso de clavos de nivelación y prismas instalados en edificios) o rojo según resulte de la comparación interna (que el programa realiza) entre la última medida tomada y los umbrales correspondientes.

Desde la pantalla de información de un instrumento se pueden consultar todas las lecturas tomadas, bien en forma de tabla bien en forma de gráfico. Ambos tipos de consulta se pueden exportar a Excel para trabajar con la información fuera del software e incluso, desde la ya mostrada pantalla de sección transversal, se pueden consultar las lecturas de varios instrumentos de la misma naturaleza.



ANEJO Nº9

PROCEDIMIENTO TOPOGRAFICO

INDICE

- 1. OBJETIVO**
- 2. DISEÑO DE LA RED TOPOGRÁFICA**
 - 2.1. PLANIMETRÍA
 - 2.1.1. DEFINICIÓN DE LA RED PRIMARIA
 - 2.1.2. DEFINICIÓN DE LA RED SECUNDARIA
 - 2.2. ALTIMETRIA

1. OBJETIVO

El objetivo de este anexo es incluir las pautas a seguir para el replanteo, control y seguimiento topográficos necesarios para la realización del proyecto constructivo correspondiente al Tramo Túnel de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo. Dichos trabajos se pueden clasificar en dos partes bien diferenciadas: por un lado el diseño y cálculo de una Red Primaria adecuada para la obra en cuestión, y por otro la determinación de la Red Secundaria de bases de replanteo en el interior del propio túnel para la ejecución del mismo.

Se realizara una Red Primaria de bases para conseguir un sistema de coordenadas correspondiente a las bases de replanteo de manera que este sea homogéneo y fiable.

El sistema de referencia que se utilizara para este proyecto será el de la Red GNSS Activa del Principado de Asturias.

La Red Primaria que se diseñara, tendrá como objetivo el dotar a la totalidad de la obra de una infraestructura topográfica permanente que sirviera de referencia para la ejecución de la misma.

Las Red Secundaria de bases de replanteo del túnel, será obtenida a partir de la propia red primaria a través de poligonales y línea de nivelación de alta precisión y será utilizada, principalmente para el guiado de la máquina tuneladora.

2. DISEÑO DE LA RED TOPOGRÁFICA.

La Red Topográfica distingue por un lado la Planimetría, mediante las Redes Primaria y Secundaria, y la Altimetría, definida por la Red Altimétrica.

- La Red Primaria está enlazada a la Red GNSS del Principado de Asturias y a la Red Nacional de Nivelación de Alta Precisión (perteneciente al Municipio de Oviedo). Por lo tanto, adoptamos para la red el sistema oficial español ED50, que lleva asociado el Elipsoide Internacional de Hayford y Datum Postdam (European Datum 1950 ED50), proyección UTM, huso de la zona 31.
- La Red Secundaria se apoya en la Red Primaria y está formada por las bases de replanteo del interior del túnel.
- La Red Altimétrica está enlazada a la Red Nacional de Nivelación de Alta Precisión y la conforman las cotas geométricas de las bases de replanteo de la obra.

2.1. PLANIMETRÍA.

2.1.1. DEFINICIÓN DE LA RED PRIMARIA.

La Red Primaria desempeña una doble finalidad:

- En primer lugar, sirve de base en la realización de los planos de ubicación de la Ciudad de Oviedo.
- En segundo lugar, sirve de base para la Red Secundaria, trasladando su sistema de coordenadas a la obra.



Figura N°1: Aparato Trimble

Para la observación se utilizan receptores bi-frecuencia (Trimble modelos R8, R6, 5800), y una estación de referencia perteneciente a la Red GNSS cercana a la zona de trabajo. Se efectúan las observaciones en modo Estático Rápido Diferencial en Post proceso, con simultaneidad de tiempo de almacenamiento de datos entre todos los receptores. Una vez registradas todas las observaciones GPS, estas son procesadas posteriormente en la oficina con el software de cálculo Trimble Total Control.

En este modo de observación podemos obtener precisiones en el cálculo de las baselíneas, de $5\text{ mm}+0,5\text{ ppm}$ en planimetría y de $5\text{ mm}+1\text{ ppm}$ en altimetría. Durante la observación en campo, para poder garantizar las precisiones descritas anteriormente, necesitamos un mínimo de 5 satélites observables con una geometría (PDOP) mejor de 6, durante la observación en cada base a observar.

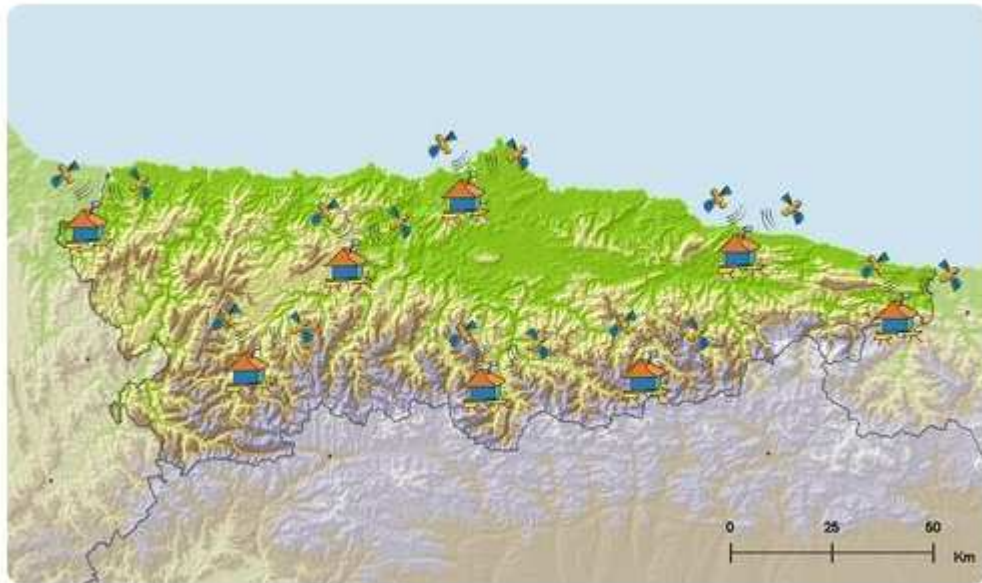


Figura nº2: Distribución de las estaciones GNSS del Principado de Asturias

En una primera sesión se colocaran receptores en bases materializadas con placas de centrado forzoso en azoteas relativamente alejadas de la zona de trabajo que servirán como referencias de orientación lejanas para las futuras poligonales de túnel.

En la segunda sesión se observaran bases englobadas en la zona de final de obra, tales como otros hitos de hormigón, bases de replanteo, etc.

En la tercera sesión se observaran bases en los chaflanes de los cruces de las calles paralelas al trazado y las perpendiculares a estas en las que se encontraban los pozos de mantenimiento.

El proceso de cálculo de la red consta de dos partes:

- Cálculo de las baselíneas (vector entre los receptores GPS) utilizando el software Trimble Geomatics Office.
- Ajuste de las observaciones GPS, utilizando el módulo de ajuste de dicho programa.

En el cálculo y ajuste de las observaciones se realiza una transformación de coordenadas de WGS84 a ED50. El proceso de cálculo es realizado mediante el programa Trimble Total

Control definiendo previamente como parámetros el sistema de coordenadas y zona UTM-31 North, Datum de transformación European 1950.

Con todo esto conseguimos una red ajustada y homogénea que nos garantice la precisión requerida para una segura ejecución del proyecto.

2.1.2. DEFINICIÓN DE LA RED SECUNDARIA.

La Red Secundaria se diseñó para poder realizar todos los trabajos en el interior del túnel, tanto los propios del sistema de guiado de la máquina, como para los trabajos auxiliares dentro del túnel. Al igual que en la Red Primaria, la planimetría y la altimetría se realizan de manera separada.

Los objetivos de dicha red deben responder a los siguientes criterios:

- Calar el túnel dentro de unas tolerancias aceptables.
- Guiado de la máquina tuneladora por el trazado en planta y en alzado.
- Detectar posibles desviaciones de la trayectoria teórica.

La Red Secundaria se realizará con técnicas de poligonación y radiación.

POLIGONIZACION

La poligonal principal será cerrada y encuadrada partiendo de referencias lejanas de la Red Primaria y realizando un itinerario por dentro del túnel. En el cálculo de las poligonales intervienen una serie de errores que se deben tener en cuenta para minimizarlos lo máximo posible. Para ello se tomarán las siguientes medidas:

1. Homogeneidad de la distancia entre las bases. Las bases están distribuidas cada 250 m y enfrentadas entre sí.
2. Se materializarán con bases de centrado forzoso, en las cuales se mantendrán fijas las bases nivelantes durante la ejecución de la poligonal intercambiando la estación y los prismas entre sí para evitar el error de dirección.
3. Las visuales serán: cruzadas para evitar alteraciones del rayo por refracción debido al gradiente de temperatura entre la zona central del túnel y el paramento

- hormigonado del hastial; y recíprocas y simultáneas para tener las mismas condiciones de la atmósfera del túnel en el momento de la observación.
4. Se realizan 7 series de observaciones en C.D. y en C.I. (Regla de Bessel), con cinco medidas por cada cara en cada una de las series. Calcularemos in situ la desviación estándar de la serie, desechándola si es superior a 5 cm. Dicho proceso es totalmente automático, evitando los posibles errores por parte del operador.
 5. Las estaciones de última generación cuentan con un sistema de puntería automática que evita los errores de puntería. Todas las medidas se realizarán con este sistema activado, por lo que si existe demasiado polvo en suspensión, por ejemplo, no se podrá realizar la medida hasta que las condiciones mejoren, lo que asegura una calidad en la observación.
 6. Todos los datos se graban en el colector de la estación total evitando errores de transcripción de datos y facilitando el volcado al ordenador para su cálculo.
 7. Cuando se realicen las observaciones se tomarán lecturas de presión y temperatura que se introducirán en el aparato. Las estaciones llevan incorporado un barómetro y la temperatura se obtendrá de una estación meteorológica que llevará el operario.
 8. Las observaciones se harán en horas del día en las que la temperatura del exterior del túnel y del interior, sea la más parecida posible.

GEOMETRIA DE LA RED SECUNDARIA

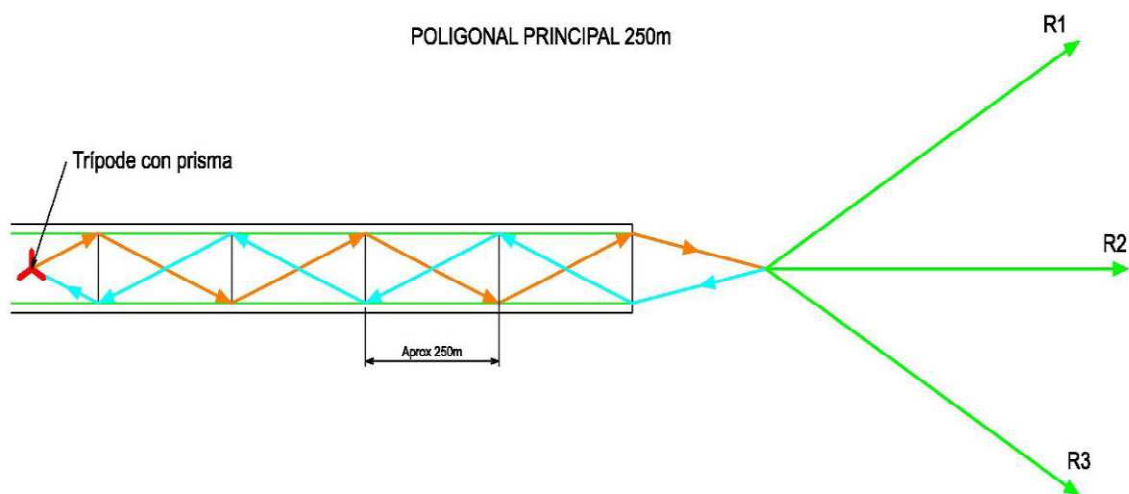


Figura nº3: Esquema general de la Red Secundaria

RADIACION

Para los trabajos topográficos dentro del túnel necesitaremos densificar la poligonal principal por el método de radiación. Para ello estacionaremos en las bases de la red secundaria y radiaremos estas bases auxiliares que estarán distribuidas cada 125 m y enfrentadas entre sí. Estas bases serán leídas desde las 4 bases primarias más cercanas, obteniendo así una redundancia de datos que nos permita detectar posibles errores. Los condicionantes para la observación serán los mismos que para la poligonal principal.

SISTEMA DE GUIADO DE LA TUNELADORA

Las actuales máquinas tuneladoras incorporan un sistema de guiado en tres dimensiones, que con ayuda de un ordenador central, posiciona dicha máquina con respecto a un trazado teórico en tiempo real.

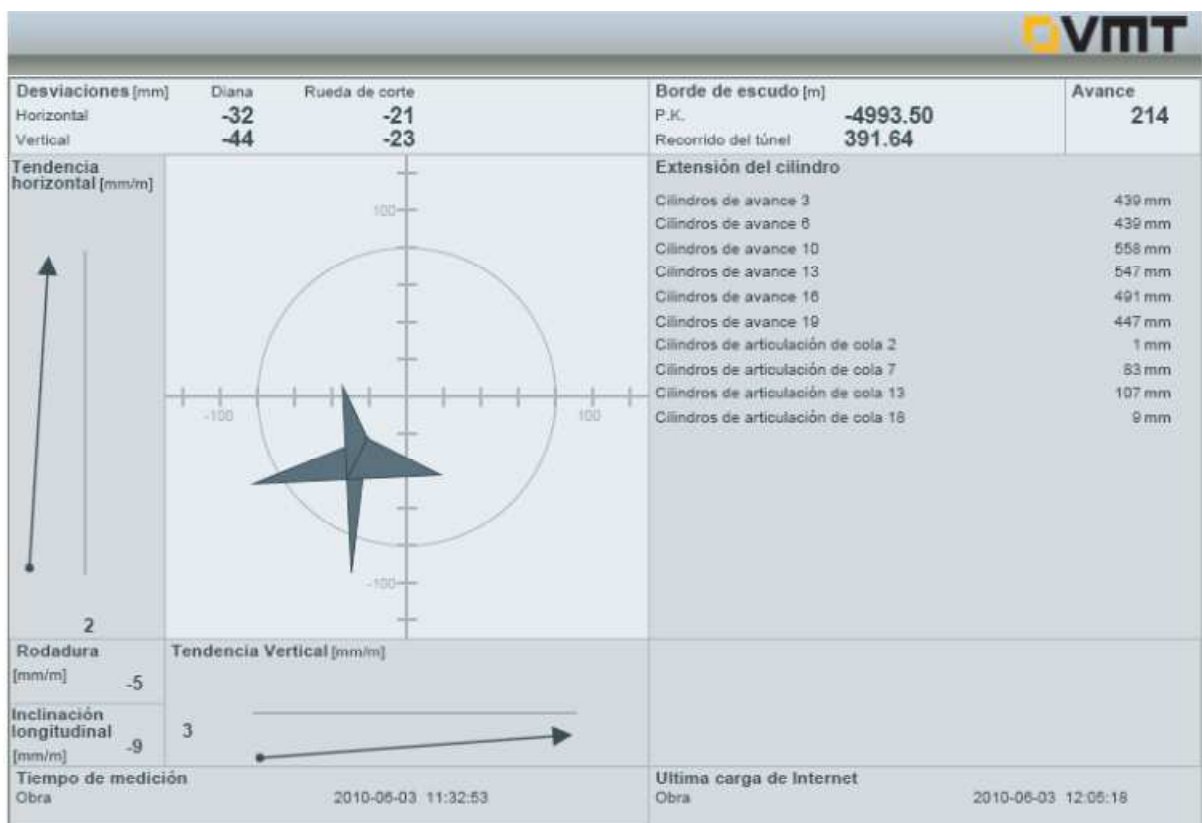


Figura nº4: Pantalla de posicionamiento de la TBM para el pilotaje respecto al eje teórico

Al construir un túnel es importante conocer constantemente la posición de la máquina tuneladora (TBM) referente al eje nominal (DTA). Sobre todo durante el avance. Únicamente controlando la posición se pueden corregir movimientos no deseados de la máquina de forma constante y continua, evitando así maniobras abruptas de guiado.

La desviación referente al trazado nominal depende de varios factores. Por ejemplo de la condición del terreno a retirar (roca, arena, arcilla, etc.). Una máquina de 100 t reaccionará con material blando de una forma totalmente diferente que con piedra dura.

A una tuneladora trabajando sobre un radio le influye una fuerza radial, igual que a un automóvil en una curva. Esta depende de la masa y no se debe desestimar en máquinas de este peso. En trazados con radios estrechos es necesaria una corrección más fuerte, y por consiguiente más difícil, que en trazados rectos. Una tuneladora con cilindros articulados es más ágil.

Si se utilizan para la construcción anillos cónicos, el párrafo anterior crece en relevancia. Al montar un anillo erróneo, la tuneladora se alejara de forma más rápida del trazado nominal deseado. También la corrección de este movimiento no deseado será más difícil.

El seguimiento exacto del trazado nominal es sumamente importante. Esto garantiza una calidad superior de construcción y un mejor cumplimiento de la planificación. Por ejemplo se evitan movimientos abruptos de corrección, evitando así un retroceso innecesario de la separación en la cola que puede causar fracturas o roturas en las dovelas.

Las prestaciones que debe cumplir el sistema de guiado de una tuneladora son:

- Determinación e indicación de la posición de la tuneladora con indicación en forma gráfica y numérica.
- Determinación e indicación de las tendencias de la TBM (diagrama de trazado).
- Documentación completa del trayecto del escudo (banco de datos, archivos de protocolos, etc.).
- Manejo de los componentes a través de un ordenador personal.
- Trayecto del escudo completamente automatizado.
- Control automático de la orientación del láser (control de la dirección).

- Cambio de sitio del láser teodolito con asistencia del programa durante la construcción del anillo.
- Telemantenimiento a través de conexión por modem.
- Visualización de la pantalla en la oficina de la obra o en cualquier otro lugar del mundo (a través del modem).
- Determinación del trazado con los elementos principales conocidos.
- Manejo sencillo (programa Windows).

El sistema de guiado consta de un taquímetro, un punto de orientación y una tablilla ELS en la cual incide el rayo láser proveniente del taquímetro. El taquímetro y el punto de orientación se encuentran en unas coordenadas conocidas previamente calculadas, con lo que se consigue tener orientada la estación en el sistema de coordenadas de la obra.

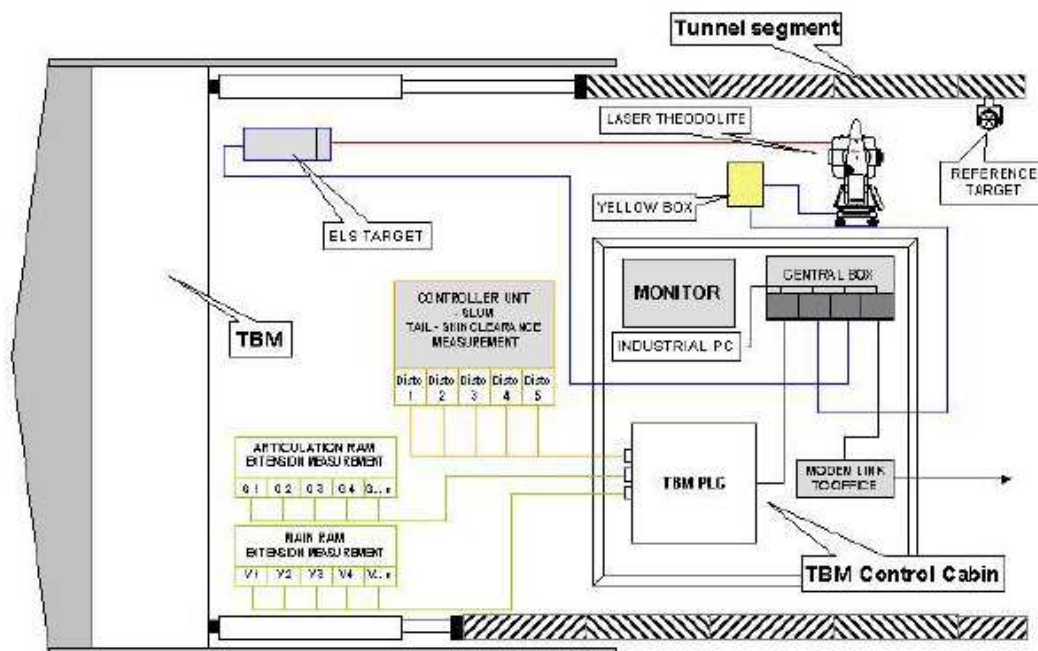


Figura nº5: Esquema de los posicionamientos de los aparatos en la TBM y túnel

El rayo láser incide en la tablilla ELS y el sistema calcula el ángulo de entrada del rayo con respecto al plano de dicho sistema. Con el ángulo de refracción entre el punto de orientación y la tablilla ELS, y el ángulo de incidencia del láser, se calcula el ángulo horizontal de la máquina.

El giro y la inclinación se calculan con unos inclinómetros incluidos en la propia máquina (ELS). Con estos valores, un ordenador central calcula la posición real de la máquina respecto al trazado teórico.

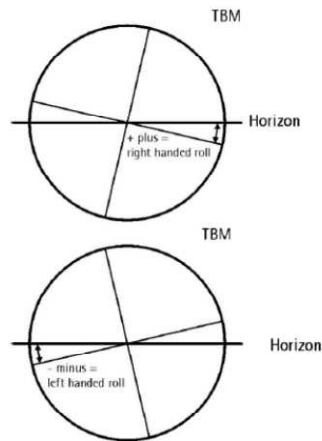


Figura nº6: Giro de la TBM según la horizontal

Por lo tanto es fundamental que el taquímetro y el punto de orientación, se encuentren en unas coordenadas lo más precisas posibles. Para conseguirlo estas coordenadas serán radiadas desde una de las bases de la poligonal principal orientando con otra de dicha poligonal, nunca desde una ménsula a la siguiente. Será desde esta base con las nuevas coordenadas y orientando a una base de la poligonal principal, desde la que se radiará la nueva posición del taquímetro que continuará con el guiado de la máquina. Como comprobación, se tendrá la posición de la máquina antes y después del cambio.

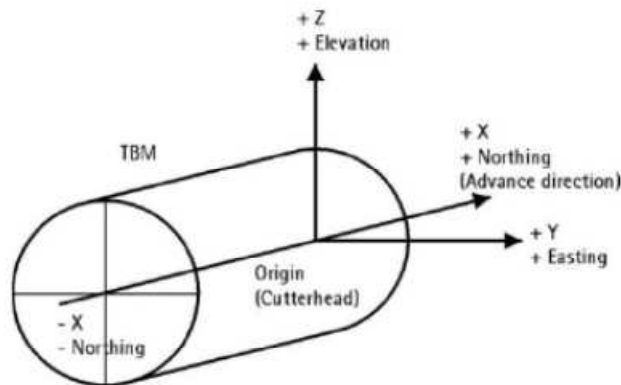


Figura nº7: Coordenadas de posición de la TBM

La posición de las consolas de guiado de la máquina, está supeditada a la longitud de la misma, ya que las mismas se situarán a una altura a la cual será muy complicado acceder una vez que la máquina haya pasado. Por lo tanto, se situarán tres consolas separadas entre ellas 40 m, en las que se situarán el taquímetro y el prisma de orientación.

La operación de cambio de consola consistirá en los siguientes pasos:

1. Se radian coordenadas desde la poligonal principal a la ménsula que se encontrará en el final de la máquina (posición 3) y en la que estará el prisma de orientación.
2. Desde la posición 3 orientando con una de las bases de la poligonal principal, se radia la ménsula que se encuentra en la cabeza de la máquina (posición 1) y la que se encuentra en el medio de la máquina (posición 2), y se les dota de unas nuevas coordenadas.
3. Se pasa el taquímetro de la posición a la posición 1 y se orienta con las nuevas coordenadas obtenidas en este proceso.

Es con esta orientación con la que se continúa el guiado del túnel, ya que la ménsula de la posición 3 debe ser desmontada antes de que se encuentre fuera de la máquina y colocada en la posición 1 a medida que avance la excavación.

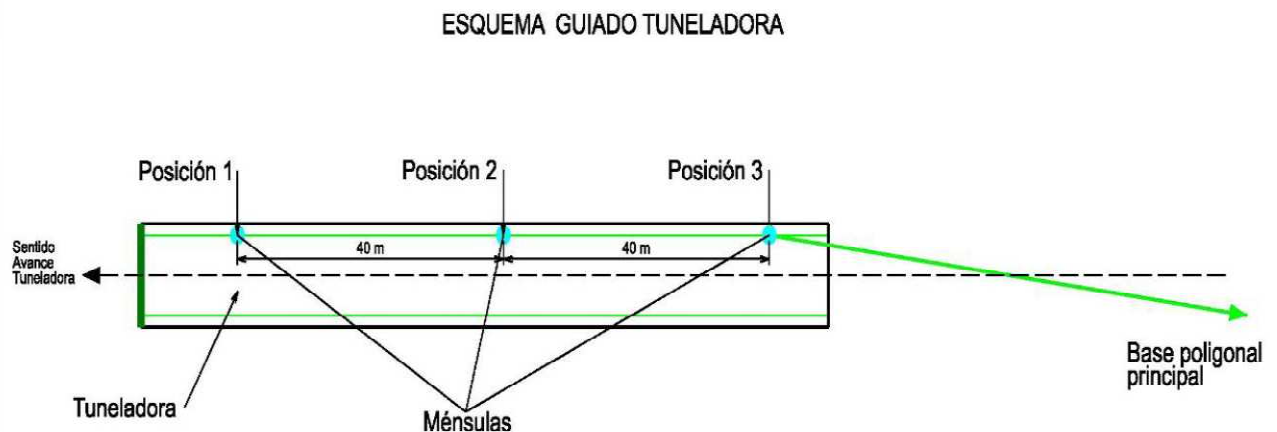


Figura Nº8: Esquema guiado tuneladora

2.2. ALTIMETRÍA.

La red altimétrica principal partirá del clavo NP1997* del Instituto Geográfico Nacional, antiguo clavo de bronce, incrustado vertical sobre el pavimento pétreo del rellano central de la escalinata de acceso a la puerta principal del Edificio de la Junta General del Principado de Asturias (Antigua Diputación), en la Calle Fruela nº 17 de Oviedo. Se realizara una nivelación de alta precisión con un nivel digital de 0,3 mm, portamiras y mira ínvar, con bípode de 2 m, sobre clavos de punta esférica.

Los anillos se realizaran de 500 m de longitud, tomando niveladas de 50 m, por punto medio, ya que esta es la mejor forma de compensar los errores. La línea de nivelación se llevara por toda la obra partiendo de dicho clavo y hacia en inicio y final de la traza del tunel.

Los anillos se compensaran de manera individual y de forma colectiva, tomando como tolerancia las referentes a la nivelación de alta precisión, y el error total de la línea fuera de tan solo 2 mm en los kilómetros de nivelación que se vaya a efectuar. Este error se compensara, proporcional a la diferencia de desniveles de los anillos.

La altimetría de la red secundaria partirá de la red de nivelación principal y se realizará con los condicionantes de la red primaria. Se realizará una línea de nivelación geométrica a lo largo del túnel independiente de la red planimétrica. Cada 250 m se materializará un punto mediante un clavo de nivelación de cabeza redondeada. Se realizarán anillos cerrados de ida y vuelta cada 0,5 km, con lo que podemos tener una comprobación de datos entre los mismos y la posibilidad de volver a observar el anillo afectado de un error intolerable sin tener que repetir toda la línea.

La nivelación geométrica es el método altimétrico más exacto. Se utilizará el método del punto medio con una visual máxima de 50 m, dentro del rango de medición establecido por el fabricante. Este método elimina la influencia de la esfericidad y refracción ya que afecta de igual manera a ambas miras. Además con las miras codificadas y la lectura automática se elimina el posible error de lectura del operador. El aparato almacena en la memoria interna los resultados de la medición, lo que elimina posibles errores de transcripción de datos y facilita el posterior cálculo de la nivelación en la oficina.

NIVELACION DEL GUIADO DE LA TBM

Debido a la situación de las ménsulas de guiado de la máquina, resulta imposible llegar a las mismas con la nivelación geométrica, por lo que no queda más remedio que proporcionar cota con nivelación trigonométrica partiendo de los clavos de la línea de nivelación del propio túnel. Con los aparatos actuales dicha nivelación resulta lo suficientemente precisa para garantizar el guiado de la máquina tuneladora.

CONTROL GEOMÉTRICO DEL TUNEL

En este apartado lo que se pretende es ir comprobando la geometría del túnel y su ubicación exacta con respecto al trazado teórico de proyecto, tanto en planta como en alzado. Para ello desde las bases de la poligonal, se tomará el eje teórico del túnel y un perfil transversal, tomando puntos a cada metro de distancia. Este proceso se realizará una vez pasado el Back-up, ya que por su morfología y dimensiones sería imposible de realizar desde el.

La frecuencia en esta toma de datos será a cada 5 anillos en curva y cada 10 anillos en recta.

ANEJO Nº10

PLAN DE OBRA

INDICE

- 1. OBJETO Y CRITERIOS ADOPTADOS**
- 2. PROCESO DE EJECUCIÓN**
- 3. EQUIPOS Y RENDIMIENTOS**
- 4. CONCLUSIONES**
- 5. DIAGRAMA GANT**

1. OBJETO Y CRITERIOS ADOPTADOS

En el presente anejo se desarrolla el plan de obra propuesto para la ejecución de los trabajos del túnel de la Línea 1 de Metro Ciudad de Oviedo. El tramo en cuestión tiene una longitud aproximada de 7.050 m.

En la confección del diagrama de barras que se adjunta al final del anejo se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes:

- La obra civil del túnel que se proyecta se ha dividido en cuatro tajos, correspondientes a las siguientes partes de la obra:
 - Túnel excavado con Tuneladora.
 - Fabricación de Dovelas.
 - Ejecución de los pozos de arranque y extracción de la Tuneladora.
 - Pozos que sirven al túnel para el manteniendo.

- En general se ha optado por concentrar en el tiempo la ejecución de las distintas obras con el fin de reducir el plazo de ejecución entorpeciendo en lo menor posible la vida cotidiana de la ciudad.
- La ejecución de los numerosos pozos se ha previsto de manera secuencial según el método empleado, pero a su vez simultaneando pozos, compatibilizándolo con la excavación del túnel de manera que estos estén terminados para poder hacer el mantenimiento de la tuneladora una vez que esta se encuentre en el pozo.
- Como criterio general se ha considerado que como las obras se emplazan en un medio urbano es preciso minimizar la alteración de la circulación de vehículos (tráfico rodado, líneas de autobuses, etc.) y los efectos negativos que generan en el entorno de la obra (impacto sonoro, repercusión en la actividad económica del comercio, etc.). Por tanto, los trabajos deben de orientarse a finalizar lo más rápidamente posible la losa de cubierta.
- En general, los servicios afectados deben reponerse de la manera más expedita posible. Dicha reposición debe ser compatible con el mantenimiento del servicio.
- El montaje, puesta en marcha y fabricación de las dovelas para el túnel deben comenzar antes que el arranque de la tuneladora para poder tener suficiente acopio.

Los plazos de ejecución considerados para cada actividad de obra se han basado en experiencias de obras recientemente ejecutadas de características similares.

Hemos considerado la construcción de pozos por los dos métodos para realizar el plan de obra de manera que pondremos la ejecución de 6 pozos por el método de pantallas y 5 por el método de tuneladora vertical o perforadora de pozos.

Aunque no son de este proyecto la ejecución de los pozos se verá reflejado en este Diagrama de Gantt, ya que influye en el correcto desarrollo del túnel con tuneladora.

2. PROCESO DE EJECUCION

- Actividades previas

Para poder ejecutar el túnel es preciso realizar previamente el pozo de instalaciones, donde se montara la tuneladora y toda la infraestructura necesaria para su consecución. Este ira ejecutado por medio de pantallas.

- Túnel con tuneladora

La excavación del túnel se realizará siempre utilizando un escudo de presión de tierras (EPB's).

La realización del túnel con el escudo es un proceso repetitivo, en el que el ciclo consiste en:

- Apoyo de los gatos en el anillo anterior y excavación de una longitud igual a la de un anillo (1,8 m).
- Colocación de dovelas.
- Inyección del trasdós del anillo.

- Ejecución de pantallas (Pozos de arranque y extracción, pozos de mantenimiento)

El proceso constructivo previsto para los pozos es mediante la construcción de pantallas, que por la experiencia obtenida en otras obras son de los métodos mejores para la ejecución de este tipo de obras.

Se ha planificado la obra sobre la base del uso de grandes excavadoras de accionamiento hidráulico o cucharas de gran tonelaje, manejadas por cable, que en ambos casos garantizan la verticalidad de la pantalla.

Cada uno de estos equipos estará formado por el equipo de excavación propiamente dicho, el equipo de circulación y desarenado de lodos y la grúa auxiliar para el manejo de útiles, tubos, junta e introducción de la armadura de los panales.

- Excavación entre pantallas

Una vez terminados los muros pantallas se procederá a la excavación localizada. La primera actividad consistirá en la excavación superficial entre pantallas que permitirá su descabezado, la construcción de la viga superior de atado, donde posteriormente se procederá al vaciado y construyendo de inmediato la losa de cubierta. Si es posible, una vez terminada ésta puede procederse a reponer el tráfico dejando el hueco suficiente para la albergar lo necesario hasta el paso de la tuneladora.

Para la excavación se empleará, en función del gálibo disponible en cada caso y la sección, retroexcavadora, pala cargadora sobre orugas o pala cargadora de bajo perfil.

- Excavación mediante tuneladora vertical (Pozos de mantenimiento)

A lo largo de la traza por la que pasa el túnel es posible que alguno de los pozos de mantenimiento se realice por medio de tuneladora vertical o perforadora de pozos, un método que se está comenzando a realizar en muchas obras de gran envergadura. Este método acorta los plazos de ejecución de los pozos por lo que las zonas urbanas se verán afectadas el menor tiempo posible.

- Fabricación de las Dovelas

Las dovelas que albergan el sostenimiento del túnel se ejecutaran en un planta de fabricación de dovelas, se trata de un proceso repetitivo como se ha visto en apartados anteriores.

3. RENDIMIENTOS

– Túnel con Tuneladora:

- Plazo total de ejecución del túnel, sin contar la fabricación de la tuneladora alcanza 33 meses.
- El trabajo se ejecutara durante los 7 días de la semana, trabajando a turnos de 8 horas de trabajo, durante las 24 horas del día.

– Ejecución de pozo de instalaciones.

- Plazo total de ejecución del pozo alcanza los 6 meses.
- Plazo total de montaje de instalaciones alcanza los 3 meses.
- Se trabajar durante los 5 días de la semana a trabajo diurno como jornada normal.

– Ejecución del pozo de extracción.

- Plazo total de ejecución del pozo alcanzara los 4 meses.
- Se trabajar durante los 5 días de la semana a trabajo diurno como jornada normal.

– Ejecución de los pozos de mantenimiento

- Plazo total de ejecución de cada pozo por medio de pantallas alcanzara los 4 meses.
- Plazo total de ejecución de los pozos por tuneladora vertical alcanzara los 2 meses.
- Se trabajar durante los 5 días de la semana a trabajo diurno como jornada normal.

– Fabricación de Dovelas

- El proceso de fabricación de dovelas alcanza un plazo de 15 meses.
- El montaje de la Fábrica alcanzara los 3 meses.
- El trabajo se ejecutara durante los 5 días de la semana, trabajando a turnos de 8 horas de trabajo.

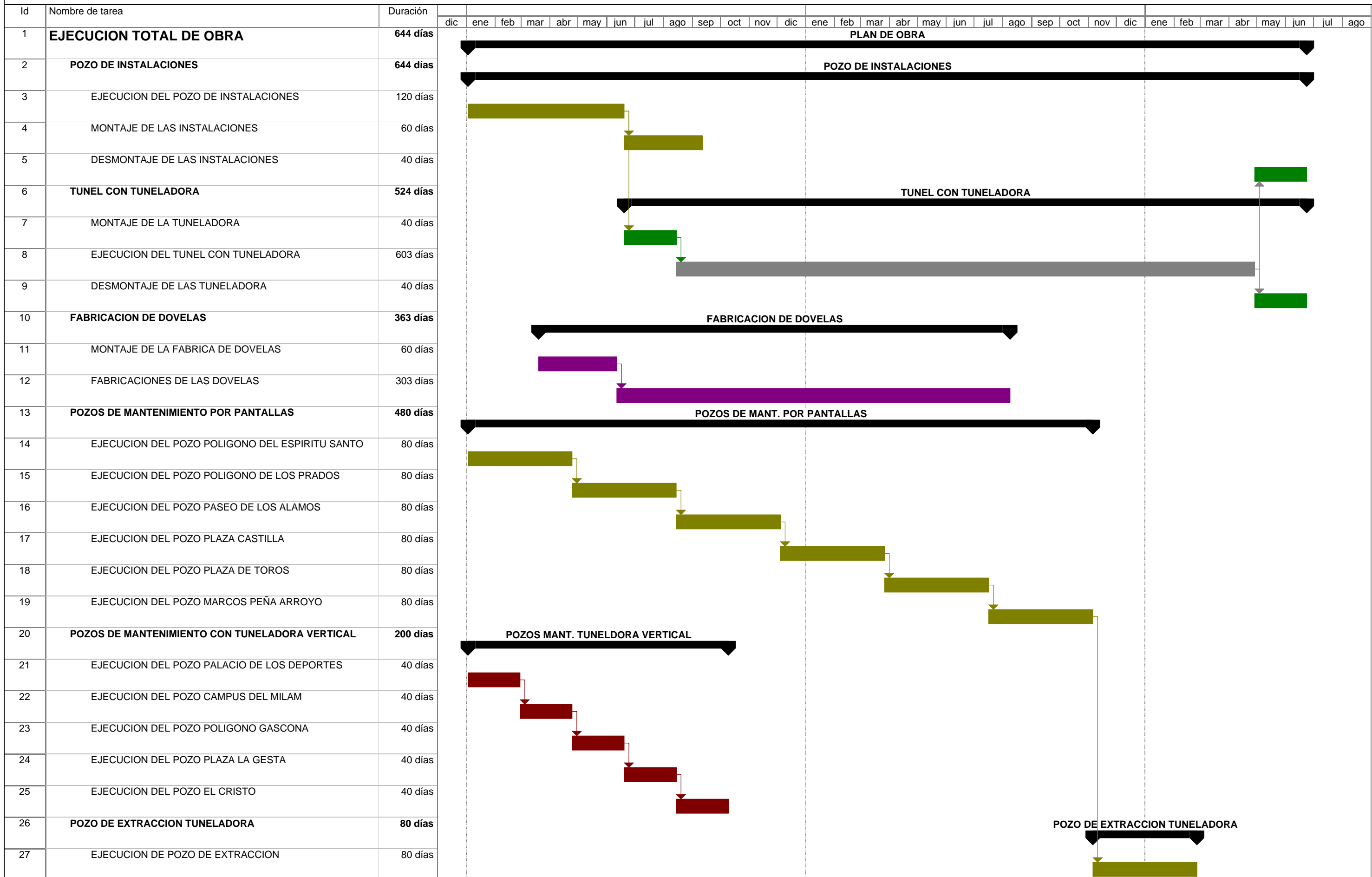
4. CONCLUSIONES

A la vista del Plan de obra confeccionado se pueden obtener las siguientes conclusiones:

El *plazo total* previsto para la ejecución de la obra civil del túnel que atravesara la ciudad de Oviedo es de 38 meses. Este plazo abarca la ejecución de la totalidad de las obras vinculadas a la ejecución del túnel con tuneladora, el resto de obras a realizar como son las estaciones, plataforma de la vía e instalaciones que acompañan a la puesta en servicio de la obra, así como la conexión con la línea de ferrocarril de F.E.V.E. será objeto de otro proyecto.

Dentro del este diagrama no se incluirá el proceso de fabricación de la tuneladora ni el de transporte a la obra.

5. DIAGRAMA DE GANT



ANEJO Nº11

JUSTIFICACION DE PRECIOS Y PRESUPUESTO

INDICE

1. **JUSTIFICACION DE PRECIOS**
 - 1.1. GENERALIDADES
 - 1.2. MANO DE OBRA
 - 1.3. MAQUINARIA
 - 1.4. MATERIALES
 - 1.5. COSTES INDIRECTOS
2. **PRESUPUESTOS PARCIALES**
3. **PRESUPUESTO DE EJECUCION**

1. JUSTIFICACION DE PRECIOS

1.1. GENERALIDADES

En cumplimiento del Artículo 1º de la Orden de 12 de Junio de 1968 (B.O.E. de 25-7-68), se redacta este punto, en el que se justifica el importe de los precios unitarios que figuran en los Cuadros de Precios.

Se hace constar que, el presente Anejo de Justificación de precios es de carácter orientativo, ya que a la hora de la ejecución puede haberse variado los precios de forma sustancial o los convenios de trabajo careciendo de valor los presentados en este anejo.

Debemos tener en cuenta también que las mediciones realizadas para los pozos y la auscultación y control, en este presupuesto, pueden variar sustancialmente de lo realmente se vaya a ejecutar, esto es por cambios que se pudieran producir a la hora de realizar el método más conveniente para cada pozo y que se decidirá en un proyecto aparte para su ejecución con lo que el presupuesto para esto es meramente orientativo.

Se relacionan los precios básicos de Mano de Obra, Maquinaria y Materiales; se llega a obtener el coste directo de las distintas unidades de obra, al que se ha añadido el coste indirecto (mediante la aplicación del coeficiente K) para obtener el precio unitario final, redondeando a dos céntimos de euro.

1.2. MANO DE OBRA

Para el cálculo del coste de la mano de obra, se ha tenido en cuenta lo especificado en la Orden de 21 de Mayo de 1979 que modifica parcialmente la de 14 de Marzo de 1969 sobre Normas Complementarias del Reglamento General de Contratación; así como el Convenio Colectivo de la Construcción y Obras Públicas de los últimos años y el del sector de la siderurgia.

Según la mencionada Orden, los costes horarios de las distintas categorías laborales, se obtendrán mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C = A \cdot (1 + G.S.S./100) + B$$

siendo:

C = Coste horario para la empresa (€/h)

A = Retribución total del trabajador que tiene carácter salarial exclusivamente (€/h)

B = Retribución total del trabajador de carácter no salarial, por tratarse de indemnización de los gastos que ha de realizar como consecuencia de la actividad laboral.

G.S.S. = Cargas sociales que debe pagar la empresa por cada trabajador, fijadas por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

1.3. MAQUINARIA

Cálculo del coste horario

Para la determinación del coste de utilización de la maquinaria, se procederá al cálculo del coste medio de la hora de funcionamiento efectivo basado en la adopción de valores medios estadísticos. En la redacción de este Proyecto se utilizarán los tabulados en el Manual de Costes de Maquinaria (1994), elaborado por la Asociación de Empresas de Obras Públicas de Ámbito Nacional (SEOPAN) y la Asociación Española de Técnicos de Maquinaria para la Construcción y Obras Públicas (ATEMCOP) cuya última edición es de enero de 2005.

Se considerarán los siguientes datos para el desarrollo de todos los posteriores cálculos.

- Costes intrínsecos
 - Interés Medio Virtual Equivalente: $i_m = 5,25 \%$
 - Seguros y otros gastos fijos: se adopta el 2 % anual sobre el valor de adquisición de la misma.
- Costes complementarios (Consumos de energía)
 - *Consumos principales*

Dependiendo del estado de la máquina y de las características del trabajo a realizar se han considerado los siguientes consumos principales medios, según el tipo de combustible utilizado por la máquina:

Gasoil	0,15 l/kW/h
Gasolina	0,30 l/kW/h
Energía eléctrica.	0,60 kWh/kW

Se han adoptado los precios sin I.V.A. de combustible siguientes:

- *Consumos secundarios*

Corresponden a grasas y aceites para la conservación y engrase de la maquinaria.

Se considerarán los siguientes valores porcentuales respecto al consumo principal:

Maquinaria con motores de Gasoil:	20 %
Maquinaria con motores de Gasolina:	10 %
Maquinaria con motores eléctricos:	5 %

- *Mano de obra de manejo y mantenimiento diario*

Sólo se considera la mano de obra que se encarga del manejo de la maquinaria así como de su mantenimiento y engrase diario.

El coste horario para cada categoría laboral se determina a partir del coste anual del personal y el promedio de las horas de funcionamiento de la maquinaria al año.

- *Coste medio de la hora de funcionamiento efectivo*

Para el cálculo del coste medio de la hora de funcionamiento efectivo intervienen ciertos datos estadísticos:

Hua: promedio estadístico de las horas anuales de funcionamiento de la maquinaria

Hut: promedio estadístico de las horas totales de funcionamiento económico de la máquina.

1.4. MATERIALES

Se utilizan los precios medios actuales de los distintos materiales empleados en diversas obras del País.

1.5. COSTES INDIRECTOS

Para la determinación de los costes indirectos, se aplicará lo prescrito en el Artículo 67 del Reglamento General de Contratación del Estado, y en los Artículos 9 a 13 de la mencionada Orden de 12 de Junio de 1968.

El coeficiente de costes indirectos, se obtiene como suma de dos coeficientes K1 y K2.

El coeficiente K1, se obtiene como porcentaje de los costes indirectos sobre los costes directos.

$$K1 = \frac{\text{Costes indirectos}}{\text{Costes directos}} \times 100$$

Los costes indirectos previstos durante el período de ejecución de las obras, que se considera de 38 meses, son los siguientes:

	cantidad		plazo	total
Ingeniero de Caminos. Jefe de obra	1	80.000,00	3,17	253.333,33
Ingeniero de Caminos. Jefe de producción	4	70.000,00	3,17	886.666,67
Ingeniero de Minas. Jefe de producción	4	55.000,00	3,17	696.666,67
I.T.O.P.	7	55.000,00	3,17	1.219.166,67
Ing. Técnico Topógrafo	7	50.000,00	3,17	1.108.333,33
Auxiliar Topógrafo	7	35.000,00	3,17	775.833,33
Encargado obra	5	50.000,00	3,17	791.666,67
Administrativo	3	25.000,00	3,17	237.500,00
Secretaria	3	22.500,00	3,17	213.750,00
Coches de obra	7	16.500,00	3,17	365.750,00
Instalación y alquiler de oficinas	1	387.538,90	3,17	1.227.206,52
Gastos de oficina y laboratorio	1	362.531,28	3,17	1.148.015,72
			TOTAL C.I.	8.923.888,91

Los costes directos se han obtenido aplicando a las mediciones el coste directo de cada unidad que aparece en la justificación de cada precio unitario.

Con ambos valores obtenidos, se deduce el coeficiente K1:

$$K1 = \frac{7.091.471,37}{141.829.427,46} \times 100 = 5 \%$$

El segundo coeficiente K2, relativo a imprevistos, se fija en el 1 % conforme prevé el Artículo 12 de la Orden de 12 de Junio de 1968.

Por lo tanto, el porcentaje de costes indirectos es:

$$K = K1 + K2 = 5 + 1 = 6 \%$$

Se hace constar que, en el cálculo del coste indirecto, no se han considerado los gastos de conservación de las obras durante el período de garantía, y que el I.V.A. no está incluido en ningún precio ni componente del mismo.

2. PRESUPUESTO PARCIALES

<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad Proyecto</i>	<i>Precio Ud</i>	<i>Precio Total/Ud</i>
Capítulo		TUNEL CON TUNELADORA			
Partida	m	EJECUCION DE TUNEL DE 10,40 m. DE DIAMETRO INTERIOR, INCLUYENDO EXCAVACION MECANICA CON ESCUDO DE PRESION DE TIERRAS, COLOCACION DE REVESTIMIENTO A BASE DE DOVELAS PREFABRICADAS DE 0,30 M. DE ESPESOR, INYECCION DE MORTERO EN TRASDOS DE REVESTIMIENTO Y JUNTAS ELASTOMERICAS, INCLUYENDO EL TRANSPORTE DE TIERRAS A VERTEDERO Y CANON DE VERTIDO	7.031,3100	9.269,54	65.177.009,30
Partida	m	FABRICACION Y SUMINISTRO DE REVESTIMIENTO TUNEL A BASE DE DOVELAS PREFABRICADAS DE HORMIGON ARMADO DE 0,38 M DE ESPESOR, PARA FORMAR ANILLOS DE 10,40 M DE DIAMETRO INTERIOR	7.031,3100	3.944,17	27.732.681,96
Partida	ud	MONTAJE E INTRODUCCION DE TUNELADORA, INCLUIDO EL BACK-UP, INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y ESTRUCTURA DE REACCION NECESARIAS PARA EL EMPUJE	1,0000	432.659,25	432.659,25
Partida	ud	MONTAJE, UTILIZACION Y RETIRADA DE ESTRUCTURA DE REACCION PARA EL INICIO DE LA PERFORACION CON TUNELADORA, INCLUSO ANILLOS AUXILIARES	1,0000	20.914,45	20.914,45
Partida	ud	DESMONTAJE Y EXTRACCION DE TUNELADORA, INCLUIDO EL BACK-UP Y DEMAS INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	1,0000	357.313,92	357.313,92
TOTAL CAPITULO TUNEL CON TUNELADORA.....					93.720.578,88

<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad Proyecto</i>	<i>Precio Ud</i>	<i>Precio Total/Ud</i>
Capítulo		POZO DE INSTALACIONES E INTRODUCCION TUNELADORA			
Partida	m ³	EXCAVACION EN DESMONTES CON MEDIOS MECANICOS, SIN AYUDA DE EXPLOSIVO	34.500,0000	1,54	53.130,00
Partida	m ³	TRANSPORTE DE MATERIAL A RECUPERAR, EN CAMIONES BASCULANTES DE HASTA 15 T DE PESO A DISTANCIA MENOR DE 10 KM, CONSIDERANDO IDA Y VUELTA	34.500,0000	4,31	148.695,00
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-15 PARA RELLENOS, CAPAS DE NIVELACION Y LIMPIEZA	6.900,0000	66,33	457.677,00
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-20 EN CIMIENTOS, SOLERAS Y PEQUEÑAS OBRAS DE FABRICA	2.437,1400	72,50	176.692,65

Partida	m ³	HORMIGON PARA ARMAR HA-30 EN LOSAS SOBRE TERRENO Y VIGAS DE ATADO, INCLUSO BOMBEO	9.801,5200	92,57	907.326,71
Partida	m ³	EXCAVACION EN VACIADO ENTRE PANTALLAS EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO A CIELO ABIERTO	86.944,3200	4,17	362.557,81
Partida	m ³	EXCAVACION EN VACIADO ENTRE PANTALLAS CUALQUIER TIPO DE TERRENO EN ZONAS CUBIERTAS	7.271,2400	7,65	55.624,99
Partida	m ³	HORMIGON PARA ARMAR HA-25 EN MARCOS, LOSAS, MUROS Y ESTRIBOS	1.165,5000	78,79	91.829,75
Partida	kg	ACERO B 500 S COLOCADO EN ARMADURAS DE PANTALLAS O PILOTES	1.708.285,2600	0,99	1.691.202,41
Partida	m ²	PERFORACION Y HORMIGONADO DE PANTALLA DE HORMIGON ARMADO DE 100 CM DE ESPESOR, DE CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO MURETES GUIAS, EXCAVACION, HA-25, DESCABEZADO Y LIMPIEZA DE PARAMENTOS	8.979,3000	236,46	2.123.245,28
Partida	m ²	PERFORACION Y HORMIGONADO DE PANTALLA DE HORMIGON ARMADO DE 120 CM DE ESPESOR, DE CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO MURETES GUIAS, EXCAVACION, HA-25, DESCABEZADO Y LIMPIEZA DE PARAMENTOS	3.291,4200	246,99	812.947,83
Partida	m ³	PILOTE DE MORTERO IN SITU, DE CUALQUIER DIAMETRO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRASNPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA, VERTIDO DE MORTERO, MURETES GUIA, DESCABEZADO DE PILOTE, HINCA Y EXTRACCION POR CUALQUIER MEDIO DE LA TUBERIA DE ENTUBACIÓN, LOS LODOS TIXOTROPICOS Y TRASNPORTE DE MATERIAL DE LA EXCVACION A VERTEDERO O LUGAR DE EMPLEO	1.463,2000	100,99	147.768,57
Partida	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S, CORTADO, DOBLADO, ARMADO Y COLOCADO EN OBRA, SEGÚN EHE	729.095,0000	1,31	955.114,45
Partida	m	PILOTE DE DIAMTREO 1 M DE EXTRACION CON ENTUBACION RECUPERABLE INCLUIDA LA ARMADURA COLOCADA	1.950,0000	444,56	866.892,00
Partida	PA	PARTIDA ALZADA DE ABONO INTEGRO EN CONCEPTO DE MOVILIZACION, IMPLANTACION Y DESMOVILIZACION DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PERFORACION DE LAS PANTALLAS	1,0000	250.000,00	250.000,00
TOTAL CAPITULO POZO INSTALACIONES E INTRODUCCION TUNELADORA.....					9.100.704,45

<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad Proyecto</i>	<i>Precio Ud</i>	<i>Precio Total/Ud</i>
Capítulo		POZO DE EXTRACCION TUNELADORA			
Partida	m ²	DEMOLICION DE FIRME EXISTENTE	1.024,9000	3,52	3.607,65
Partida	m ³	TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO, EN CAMIONES BASCULANTES DE HASTA 15 T DE PESO A DISTANCIA MENOR DE 10 KM, CONSIDERANDO IDA Y VUELTA INCLUSO CANON DE VERTEDERO Y SIN INCLUIR LA CARGA	819,9200	17,62	14.446,99
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-15 PARA RELLENOS, CAPAS DE NIVELACION Y LIMPIEZA	204,9800	66,33	13.596,32
Partida	m ³	HORMIGON PARA ARMAR HA-30 EN LOSAS SOBRE TERRENO Y VIGAS DE ATADO, INCLUSO BOMBEO	614,9400	92,57	56.925,00
Partida	m ²	PERFORACION Y HORMIGONADO DE PANTALLA DE HORMIGON ARMADO DE 100 CM DE ESPESOR, DE CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO MURETES GUIAS, EXCAVACION, HA-25, DESCABEZADO Y LIMPIEZA DE PARAMENTOS	3.100,0000	236,46	733.026,00
Partida	m ³	EXCAVACION EN VACIADO ENTRE PANTALLAS CUALQUIER TIPO DE TERRENO EN ZONAS CUBIERTAS	24.576,0300	7,65	188.006,63
Partida	m	DOVELA PARA APOYO DE BACK-UP, TOTALMENTE COLOCADA	13,0000	367,44	4.776,72
Partida	m ³	PILOTE DE MORTERO IN SITU, DE CUALQUIER DIAMETRO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA, VERTIDO DE MORTERO, MURETES GUIA, DESCABEZADO DE PILOTE, HINCA Y EXTRACCION POR CUALQUIER MEDIO DE LA TUBERIA DE ENTUBACIÓN, LOS LODOS TIXOTROPICOS Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE LA EXCVACION A VERTEDERO O LUGAR DE EMPLEO	3.015,9360	100,99	304.579,38
Partida	m ²	PANTALLA DE MORTERO IN SITU CON CUCHARA DE 0,80 M DE ANCHO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA	2.065,0000	124,58	257.257,70
Partida	m ²	PERFORACION Y HORMIGONADO DE PANTALLA DE HORMIGON ARMADO DE 80 CM DE ESPESOR, DE CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO MURETES GUIAS, EXCAVACION, HA-25, DESCABEZADO Y LIMPIEZA DE PARAMENTOS	3.583,0000	190,94	684.138,02

Partida	PA	PARTIDA ALZADA DE ABONO INTEGRO EN CONCEPTO DE MOVILIZACION, IMPLANTACION Y DESMOVILIZACION DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PERFORACION DE LAS POZOS	1,0000	250.000,00	250.000,00
---------	----	--	--------	------------	------------

TOTAL CAPITULO POZO EXTRACCION TUNELADORA..... 2.510.360,41

<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad Proyecto</i>	<i>Precio Ud</i>	<i>Precio Total/Ud</i>
Capítulo		POZOS DE MANTENIMIENTO TUNELADORA POR TUNELADORA VERTICAL (5 Pozos)			
Partida	m ²	DEMOLICION DE FIRME EXISTENTE	3.000,0000	3,52	10.560,00
Partida	m ³	TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO, EN CAMIONES BASCULANTES DE HASTA 15 T DE PESO A DISTANCIA MENOR DE 10 KM, CONSIDERANDO IDA Y VUELTA INCLUSO CANON DE VERTEDERO Y SIN INCLUIR LA CARGA	2.400,0000	17,62	42.288,00
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-15 PARA RELLENOS, CAPAS DE NIVELACION Y LIMPIEZA	600,0000	66,33	39.798,00
Partida	m ³	HORMIGON PARA ARMAR HA-30 EN LOSAS SOBRE TERRENO Y VIGAS DE ATADO, INCLUSO BOMBEO	857,5200	92,57	79.380,63
Partida	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S, CORTADO, DOBLADO, ARMADO Y COLOCADO EN OBRA, SEGÚN EHE	254.397,6000	1,31	333.260,86
Partida	m	EJECUCION DE POZO DE 10 m. DE DIAMETRO INTERIOR, INCLUYENDO EXCAVACION MECANICA CON TUNELADORA VERTICAL, COLOCACION DE REVESTIMIENTO A BASE DE DOVELAS PREFABRICADAS DE 0,40 M. DE ESPESOR, INYECCION DE MORTERO EN TRADOS DE REVESTIMIENTO Y JUNTAS ELASTOMERICAS, INCLUYENDO EL TRANSPORTE DE TIERRAS A VERTEDERO Y CANON DE VERTIDO	300,0000	19.259,16	5.777.748,00
Partida	m	FABRICACION Y SUMINISTRO DE REVESTIMIENTO POZO A BASE DE DOVELAS PREFABRICADAS DE HORMIGON ARMADO DE 0,40 M DE ESPESOR, PARA FORMAR ANILLOS DE 10 M DE DIAMETRO INTERIOR	300,0000	3.994,67	1.198.401,00
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-20 EN CIMIENTOS, SOLERAS Y PEQUEÑAS OBRAS DE FABRICA	1.963,5000	72,50	142.353,75
Partida	m	PILOTE DE DIAMTREO 1 M DE EXTRACCION CON ENTUBACION RECUPERABLE INCLUIDA LA ARMADURA COLOCADA	7.200,0000	444,56	3.200.832,00

Partida	m ³	PILOTE DE MORTERO IN SITU, DE CUALQUIER DIAMETRO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA, VERTIDO DE MORTERO, MURETES GUIA, DESCABEZADO DE PILOTE, HINCA Y EXTRACCION POR CUALQUIER MEDIO DE LA TUBERIA DE ENTUBACIÓN, LOS LODOS TIXOTROPICOS Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE LA EXCAVACION A VERTEDERO O LUGAR DE EMPLEO	6.361,7400	100,99	642.472,12
Partida	m	TUNEL SUBTERRANEO EN GALERIAS DE SECCION LIBRE 2,60 X 3,00 M EXCAVADO POR EL METODO TRADICIONAL INCLUIDO REVESTIMIENTO DE HORMIGON DE 0,60 M DE ESPESOR MAXIMO, ENTIBACION DE MADERA, CORDON SELLANTE DE CAUCHO BENTONITA, ACERO EN PERFILES TH-16.5 COLOCADO COMO LONGARINAS PARA PROTECCION DEL AVANCE EN TUNEL, PUNTAL EN ROLLIZO DE MADERA DE PINO, TALADRO HORIZONTAL O INCLINADO Y EXCAVACION, INCLUYENDO CANON DE VERTIDO PARA ACCESO A REPARACION DE LA TUNELADORA	75,0000	2.088,15	156.611,25
Partida	PA	PARTIDA ALZADA DE ABONO INTEGRO EN CONCEPTO DE MOVILIZACION, IMPLANTACION Y DESMOVILIZACION DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PERFORACION DE LAS POZOS	5,0000	250.000,00	1.250.000,00
TOTAL CAPITULO POZOS MANTENIMIENTO TBM POR TUNELADORA VERTICAL.....					12.873.705,61

Nat	Ud	Resumen	Cantidad Proyecto	Precio Ud	Precio Total/Ud
Capítulo POZOS DE MANTENIMIENTO TUNELADORA POR PANTALLAS (6 Pozos)					
Partida	m ²	DEMOLICION DE FIRME EXISTENTE	6.000,0000	3,52	21.120,00
Partida	m ³	TRANSPORTE DE ESCOMBROS A VERTEDERO, EN CAMIONES BASCULANTES DE HASTA 15 T DE PESO A DISTANCIA MENOR DE 10 KM, CONSIDERANDO IDA Y VUELTA INCLUSO CANON DE VERTEDERO Y SIN INCLUIR LA CARGA	3.600,0000	17,62	63.432,00
Partida	m ²	PERFORACION Y HORMIGONADO DE PANTALLA DE HORMIGON ARMADO DE 120 CM DE ESPESOR, DE CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO MURETES GUIAS, EXCAVACION, HA-25, DESCABEZADO Y LIMPIEZA DE PARAMENTOS	20.734,5600	246,99	5.121.228,97
Partida	kg	ACERO B 500 S COLOCADO EN ARMADURAS DE PANTALLAS O PILOTES	3.690.751,6800	0,99	3.653.844,16
Partida	m ³	EXCAVACION EN VACIADO ENTRE PANTALLAS EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO A CIELO ABIERTO	94.248,0000	4,17	393.014,16

Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-15 PARA RELLENOS, CAPAS DE NIVELACION Y LIMPIEZA	942,0000	66,33	62.482,86
Partida	m ³	HORMIGON PARA ARMAR HA-30 EN LOSAS SOBRE TERRENO Y VIGAS DE ATADO, INCLUSO BOMBEO	2.826,0000	92,57	261.602,82
Partida	m	DOVELA PARA APOYO DE BACK-UP, TOTALMENTE COLOCADA	120,0000	367,44	44.092,80
Partida	m ³	HORMIGON EN MASA HM-20 EN CIMIENTOS, SOLERAS Y PEQUEÑAS OBRAS DE FABRICA	13.920,0000	72,50	1.009.200,00
Partida	m ²	PANTALLA DE MORTERO IN SITU CON CUCHARA DE 1,20 M DE ANCHO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA	29.040,0000	177,32	5.149.372,80
Partida	m ³	PILOTE DE MORTERO IN SITU, DE CUALQUIER DIAMETRO EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO Y A CUALQUIER PROFUNDIDAD, INCLUSO PARTE PROPORCIONAL DE TODAS LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE, INSTALACION Y RETIRADA DE MAQUINARIA, VERTIDO DE MORTERO, MURETES GUIA, DESCABEZADO DE PILOTE, HINCA Y EXTRACCION POR CUALQUIER MEDIO DE LA TUBERIA DE ENTUBACIÓN, LOS LODOS TIXOTROPICOS Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE LA EXCVACION A VERTEDERO O LUGAR DE EMPLEO	5.702,0040	100,99	575.845,38
Partida	PA	PARTIDA ALZADA DE ABONO INTEGRO EN CONCEPTO DE MOVILIZACION, IMPLANTACION Y DESMOVILIZACION DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PERFORACION DE LAS POZOS	6,0000	250.000,00	1.500.000,00
TOTAL CAPITULO POZOS MANTENIMIENTO TBM POR PANTALLAS.....					17.855.235,95

<i>Nat</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad Proyecto</i>	<i>Precio Ud</i>	<i>Precio Total/Ud</i>
Capítulo AUSCULTACION Y CONTROL					
Partida	ud	ARQUETA PARA LA PROTECCION DE EXTENSOMETRO DE VARILLA EN CIUDAD, TOTALMENTE ACABADA	70,0000	59,44	4.160,80
Partida	ud	ARQUETA PARA PROTECCION DE INCLINOMETRO EN CIUDAD, TOTALMENTE ACABADA	70,0000	59,44	4.160,80
Partida	ud	ARQUETA PARA PROTECCION DE PIEZOMETRO, TOTALMENTE ACABADA	70,0000	122,02	8.541,40

Partida	ud	ARQUETA PARA PROTECCION DE TUBERIA DE EXTENSOMETRO INCREMENTAL, TOTALMENTE ACABADA	70,0000	66,39	4.647,30
Partida	ud	CELULA DE PRESION TOTAL DE 50 BARES DE RANGO Y PRECISION DE 1,25% DE FONDO DE ESCALA EN JUNTAS DE DOVELAS EN SECCIONES INSTRUMENTADAS DE TUNEL.	420,0000	1.153,13	484.314,60
Partida	ud	EXTENSOMETRO DE CUERDA VIBRANTE PARA DEFORMACIONES EN ARMADURA EN SENSIBILIDAD 1X10-6 MM Y RANGO 3X10-3 MM	420,0000	289,13	121.434,60
Partida	ud	PUNTO DE CENTRALIZACION EN ARMARIO ESTANCO PARA LECTURA DE SEÑAL DE SENSOR CON PROTECCION IP-55 E IDENTIFICACION DE SENSORES.	700,0000	63,26	44.282,00
Partida	ud	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PIEZOMETRO DE 3,5 KG/CM2 DE RANGO Y 0,5% DE PRECISION	70,0000	604,11	42.287,70
Partida	m	PERFORACION A DESTROZA CON 116 MM O INFERIOR, INCLUIDO MONTAJE, CEMENTADO E INSTALADO EN ARQUETAS DE REFERENCIA DE NIVELACION, INCLINOMETROS, EXTENSOMETROS, Y PIEZOMETROS SEGUN CORRESPONDA	7.350,0000	88,75	652.312,50
Partida	m	SUMINISTRO DE VARILLA DE ACERO INOXIDABLE INCLUYENDO VAINA DE PVC Y ELEMENTOS DE UNION	1.547,3680	16,22	25.098,31
Partida	ud	CABEZA DE VARILLA SIMPLE PARA LECTURA MANUAL CON COMPARADOR O MIRA	70,0000	1.687,96	118.157,20
Partida	m	TUBERIA PARA INCLINOMETRO EN ALUMINIO ANONIZADO, INCLUYENDO PARTE PROPORCIONAL DE MANGUITOS, TAPONES DE FONDO Y CABEZA	2.800,0000	28,66	80.248,00
Partida	m	TUBERIA DE PVC PARA EXTENSOMETRO INCREMENTAL CON MARCAS ABS INCLUYENDO PARTE PROPORCIONAL DE TAPA DE BOCA CON ANCLAJE ESPECIAL PARA CARRETE DE LECTURA Y TAPA DE FONDO.	2.800,0000	116,46	326.088,00
Partida	PA	MONTAJE EN FACTORIA DE CELULA DE PRESION TOTAL O EXTENSOMETRO DE CUERDA VIBRANTE EN DOVELAS DE REVESTIMIENTO	420,0000	84,38	35.439,60
Partida	PA	DE ABONO INTEGRAL PARA LA PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO REQUERIDO POR LA OBRA DE UN EQUIPO INFORMATICO COMPUESTO POR ORDENADOR, FAX, MODEM E IMPRESORA EN COLOR.	1,0000	5.962,50	5.962,50

Partida	mes	PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO DE TORPEDO BIAIXIAL Y UNIDAD DE LECTURA DE INCLINOMETRO.	38,0000	894,38	33.986,44
Partida	mes	PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO DE CINTA EXTENSOMETRICA.	38,0000	260,33	9.892,54
Partida	mes	PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO DE LECTOR PORTATIL PARA SENSORES POTENCIOMETRICOS.	38,0000	126,45	4.805,10
Partida	mes	PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO DE LECTOR PORTATIL PARA SENSORES DE CUERDA.	38,0000	126,45	4.805,10
Partida	mes	PUESTA A DISPOSICION, AMORTIZACION Y MANTENIMIENTO DURANTE EL PERIODO REQUERIDO DE USO DE NIVEL DE PRECISION MICROMETRICO Y MIRA DE INVAR.	38,0000	855,00	32.490,00
Partida	mes	EQUIPO COMPUESTO POR TECNICO Y TECNICO AUXILIAR, CON DEDICACION TOTAL PARA LA INSTALACION Y TOMA DE LECTURAS DE INSTRUMENTACION BAJO LA DIRECCION DEL JEFE DE INSTRUMENTACION, INCLUYENDO P.P. DE DIETAS, GASTOS DERIVADOS Y VEHICULO.	38,0000	11.137,50	423.225,00
Partida	mes	EQUIPO DE TOPOGRAFIA COMPUESTO POR TOPOGRAFO Y AUXILIAR, CON EXPERIENCIA EN INSTRUMENTACION DE OBRA, INCLUYENDO P.P. DE DIETAS, GASTOS DERIVADOS Y VEHICULO.	38,0000	9.112,50	346.275,00
Partida	mes	TECNICO COMO JEFE DE INSTRUMENTACION DE OBRA, CON EXPERIENCIA EN INSTRUMENTACION DE OBRA, NIVELACION DE PRECISION Y CONOCIMIENTOS DE INFORMATICA, ASESORAMIENTO DE MONTAJE, DIRECCION DEL EQUIPO DE MEDIDA Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS, CON DEDICACION COMPLETA INCLUYENDO P.P. DE DIETAS, GASTOS DERIVADOS Y VEHICULO.	38,0000	9.675,00	367.650,00
Partida	ud	REFERENCIA PARA NIVELACION DE PRECISION EN FACHADAS DE EDIFICIOS	1.500,0000	15,64	23.460,00
Partida	ud	ARQUETA PARA PROTECCION DE REFERENCIAS DE NIVELACION	380,0000	59,51	22.613,80
Partida	ud	ARQUETA PARA PROTECCION DE BASES DE REFERENCIA COMBINADA	840,0000	117,02	98.296,80

Partida	m	SUMINISTRO DE ACERO DE 25 MM DE DIAMETRO PARA REFERENCIA TOPOGRAFICA DE HASTA 1 M. DE LONGITUD.	70,0000	13,11	917,70
Partida	m	SUMINISTRO DE VARILLA DE ACERO DE 25 MM DE DIAMETRO PARA REFERENCIA TOPOGRAFICA PROFUNDA (MAS DE 1 M) INCLUYENDO MANGUITOS DE EMPALME.	100,0000	6,08	608,00
Partida	ud	MOVILIZACION DE EQUIPO DE PERFORACION	35,0000	596,25	20.868,75
Partida	ud	CABEZA DE REFERENCIA TOPOGRAFICA INOXIDABLE PARA NIVELACION DE PRECISION.	380,0000	13,39	5.088,20
Partida	ud	CAJA DE INTERCONEXION DE CABLES UNITARIOS A ARMARIO DE CENTRALIZACION Y LECTURA, POR DOVELA.	140,0000	28,14	3.939,60
Partida	PA	MONTAJE DE UN PERNO DE CONVERGENCIA EN TUNEL	420,0000	21,60	9.072,00
Partida	PA	MONTAJE DE UNA DIANA DE CONVERGENCIA EN TUNEL	420,0000	21,60	9.072,00
Partida	ud	PERNO DE CONVERGENCIA PARA CINTA EXTENSOMETRICA DE MEDIDA DE CONVERGENCIAS (CON TACO DE EXPANSION).	420,0000	2,59	1.087,80
Partida	ud	SUMINISTRO DE PRISMA PARA MEDICIÓN CON TEODOLITO MOTORIZADO	1.800,0000	55,55	99.990,00
Partida	ud	MONTAJE, LIMPIEZA Y DESMONTAJE DE PRISMA	5.400,0000	114,81	619.974,00
Partida	ud	SUMINISTRO DE TEODOLITO AUTOMATICO PROGRAMABLE Y METEORIZADO CON PRECISIÓN DE 0,5" EN ÁNGULOS Y 1 MM +- 1PPM EN DISTANCIAS	38,0000	29.884,39	1.135.606,82
Partida	ud	MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE TEODOLITO AUTOMATICO, INCLUYENDO JAULA DE PROTECCION, PALO DE SOPORTE Y DESMONTAJE AL FINAL DE LA CAMPAÑA PARCIAL DE LECTURAS; SE INCLUYE ADEMÁS LA PUESTA EN SERVICIO INICIAL DEL APARATO, QUE INCLUYE ENL SUMINISTRO ELÉCTRICO, CONEXION AL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS Y PROGRAMACION	90,0000	5.977,58	537.982,20
TOTAL CAPITULO AUSCULTACION Y CONTROL.....					5.768.842,16

3. PRESUPUESTO DE EJECUCION

PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL

Resumen	IMPORTE EN €	%
TUNEL CON TUNELADORA.....	93.720.578,88	66,08%
POZO INSTALACIONES E INTRODUCCION TUNELADORA.....	9.100.704,45	6,42%
POZO DE EXTRACCION TUNELADORA.....	2.510.360,41	1,77%
POZOS DE MANTENIMIENTO TUNELADORA.....	30.728.941,56	21,67%
AUSCULTACION Y CONTROL.....	5.768.842,16	4,07%

TOTAL EJECUCION MATERIAL 141.829.427,46

13% GASTOS GENERALES..... 18.437.825,57
6% BENEFICIO INDUSTRIAL..... 8.509.765,65

SUMA G.G. Y B.I. 26.947.591,22

SUMA 168.777.018,68

18% IVA..... 30.379.863,36

SUMA TOTAL 199.156.882,04

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCION POR CONTRATA 199.156.882,04

Asciende el Presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de CIENTO NOVENTA Y NUEVE MILLONES CIENTO CIENCIENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS CON CUATRO CENTIMOS.

Oviedo, Junio 2012
El Autor del Proyecto



Fdo.: Antonio Tosal Lopez
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo

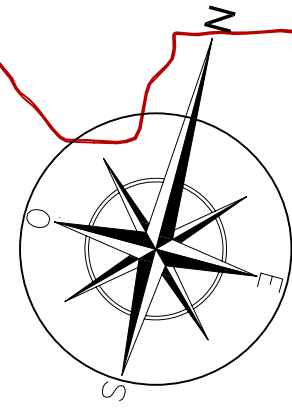
ANEJO Nº12

PLANOS

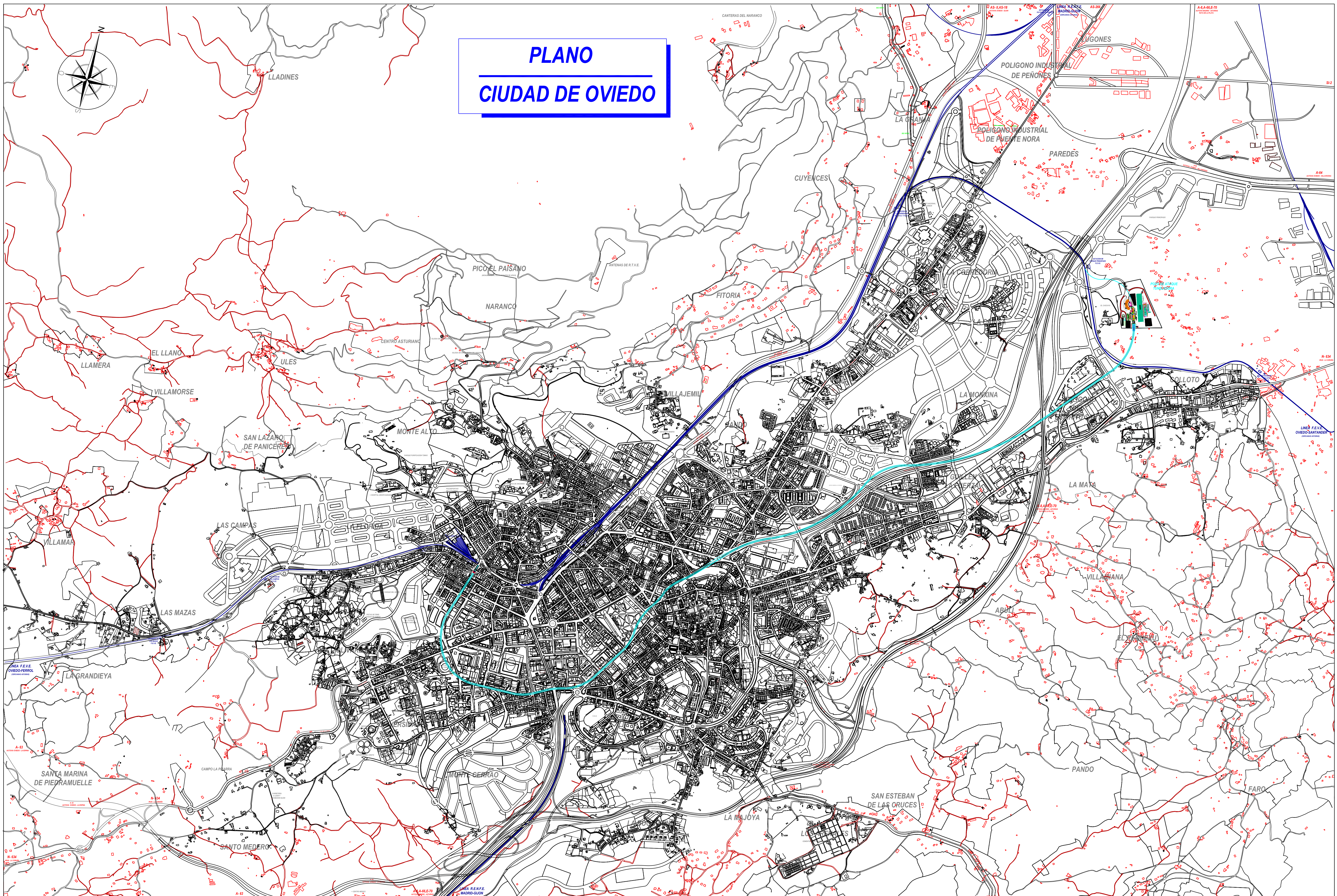
**PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL
E.T.S.I.M.O.**

ÍNDICE GENERAL DE PLANOS

Nº DE PLANO	DESIGNACIÓN	Nº DE HOJAS
12.0.	ÍNDICE GENERAL DE PLANOS	1
12.1.	PLANTA DE SITUACIÓN	1
12.2.	SECCION FINAL	1
12.3.	PERFIL GEOLOGICO DE LA TRAZA	1
12.4.	TRAZADO TUNEL	7
12.4.1	TRAZADO TUNEL PK 0+000 A 1+000	
12.4.2.	TRAZADO TUNEL PK 1+000 A 2+000	
12.4.3.	TRAZADO TUNEL PK 2+000 A 3+000	
12.4.4.	TRAZADO TUNEL PK 3+000 A 4+000	
12.4.5.	TRAZADO TUNEL PK 4+000 A 5+000	
12.4.6.	TRAZADO TUNEL PK 5+000 A 6+000	
12.4.7.	TRAZADO TUNEL PK 6+000 A 7+114,94	
12.5.	ESQUEMA TUNELADORA E.P.B.	1
12.6	GEOMETRIA DOVELAS	1
12.7.	POZO INTRODUCCION- EXTRACCION TBM	2
12.7.1	POZO INTRODUCCION T.B.M.	
12.7.2.	POZO EXTRACCION T.B.M.	
12.8.	INSTALACIONES AUXILIARES	2
12.8.1.	POZO INSTALACIONES EXTERIORES - PLANTA	
12.8.2.	INSTALACIONES AUXILIARES - REDES DEL TUNEL	
12.9.	SECCION DE AUSCULTACION Y CONTROL	1



PLANO CIUDAD DE OVIEDO



PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

AUTOR
ANTONIO TOSAL LOPEZ

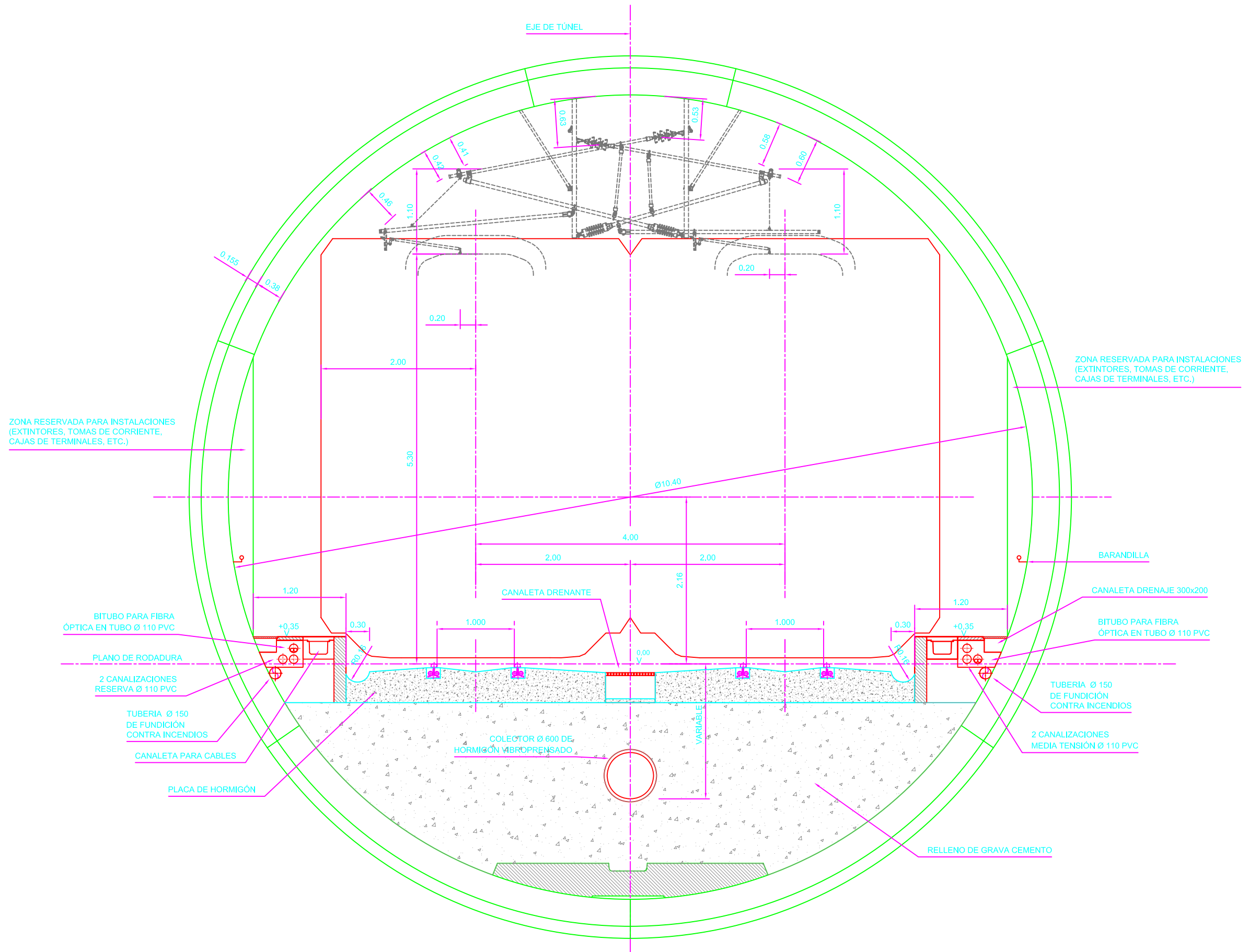


ESCALA
0 500 1000 m.
Numérica Gráfica

FECHA
JUNIO 2012

TITULO DEL PLANO
PLANO DE SITUACION

Nº DE PLANO
12.1.
Hoja 2 de 18



SECCIÓN TIPO - 1 VÍA GENERAL

PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

AUTOR

ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA

Numérica

0 1 2m.

Gráfica

FECHA

JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO

SECCION FINAL TUNEL


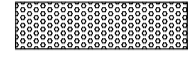
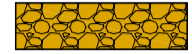



Nº DE PLANO

12.2.

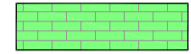
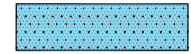
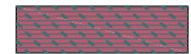

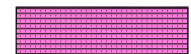


Hoja 3 de 18

LEYENDA






DEPOSITOS ANTROPICOS

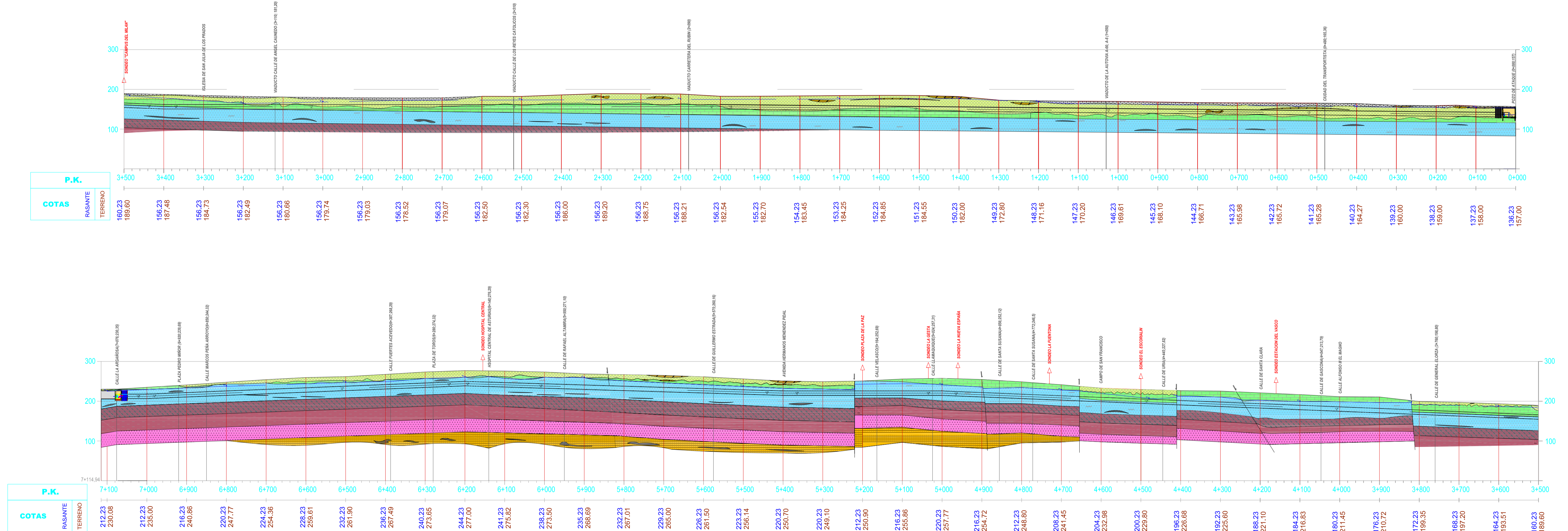
-  Rellenos Artificiales
- CUATERNARIO**
-  Aluviones
-  Arcillas y Gravas (Pliocuaternario)
- TERCIARIO**
-  Arcillas arenosas pardo-rojizas
-  Arcillas y margas
-  Calizas margosas blanquecinas

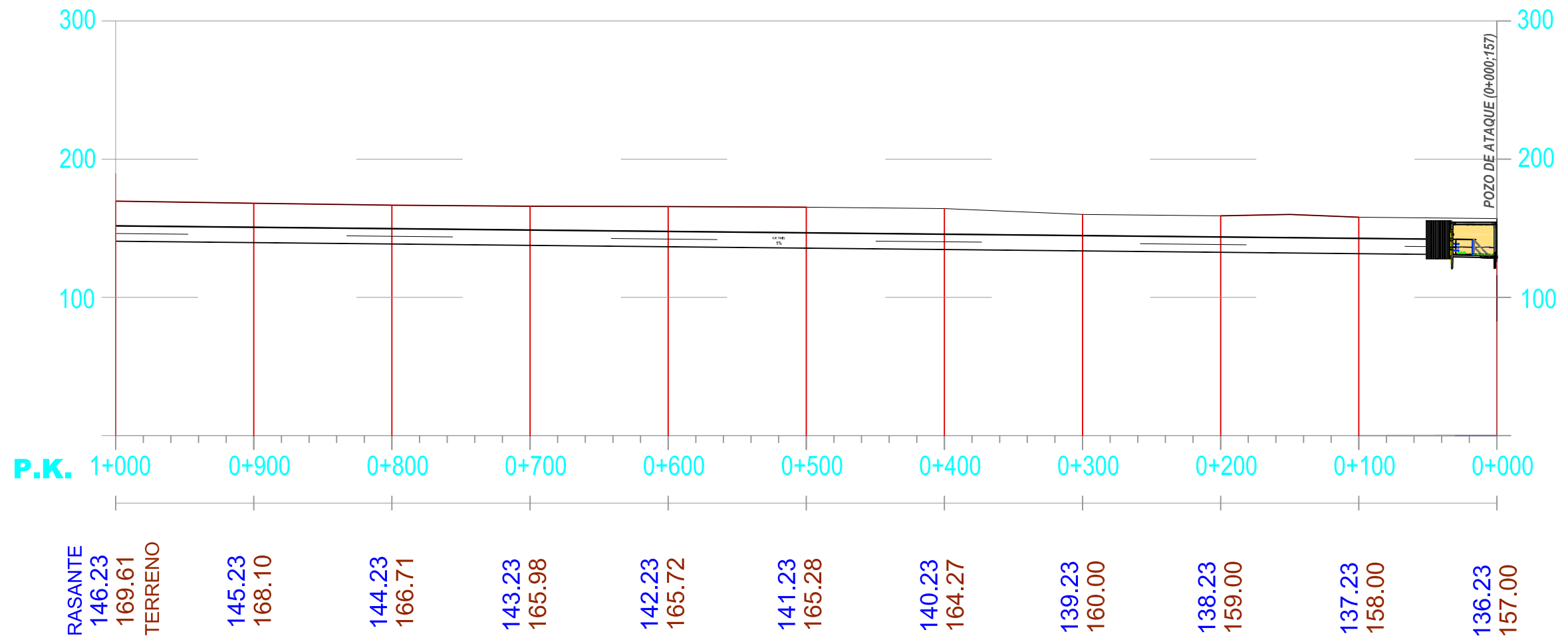
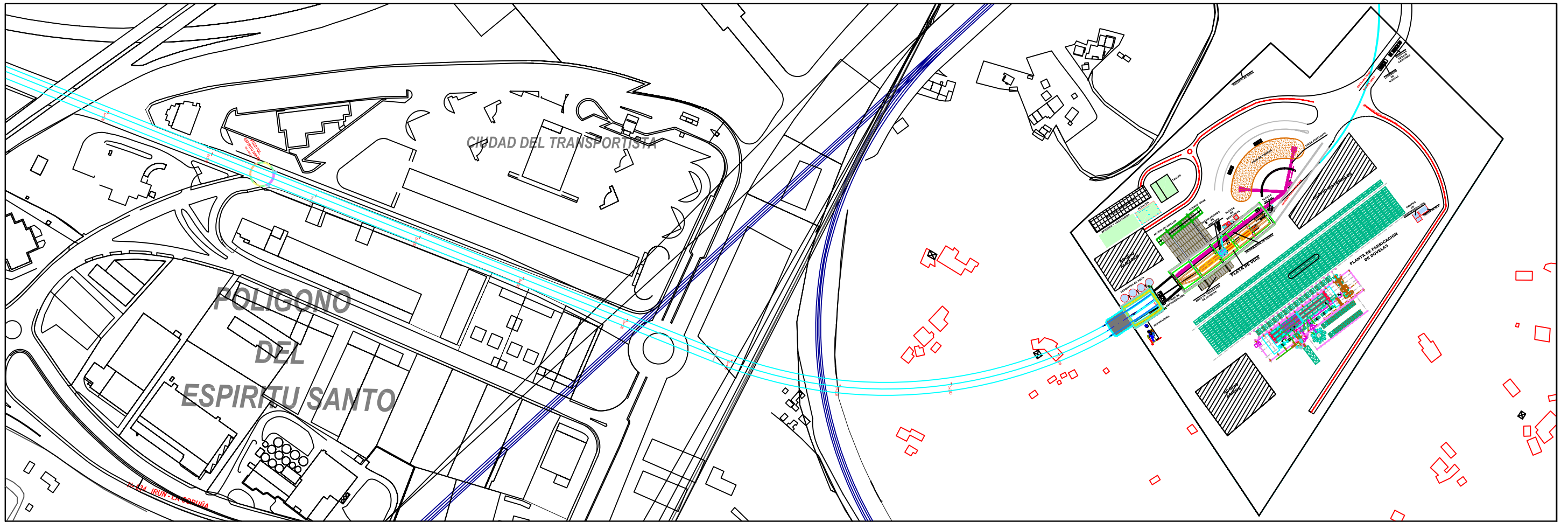
CRETACICO

-  Calizas y calizas arenosas (Formación Oviedo)
-  Arenas, arcillas y gravas (Formación Argañosa)
-  Calizas, calizas nodulosas y limos (Formación Las Tercias)
-  Limos y Calizas (Formación Otero)
-  Arenas, arcillas y calizas (Formación Piedramuelle)
-  Arenas, limos y Arcillas (Formación El Caleyú)
-  Arcillas, arenas y calizas (Formación Ullaga)

SIMBOLOGÍA

-  Contactos entre formaciones
 -  Trazas de capas
 -  Fallas
 -  Cabalgamientos y fallas
-  S-10
Sondeos próximos a la traza del Túnel





PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

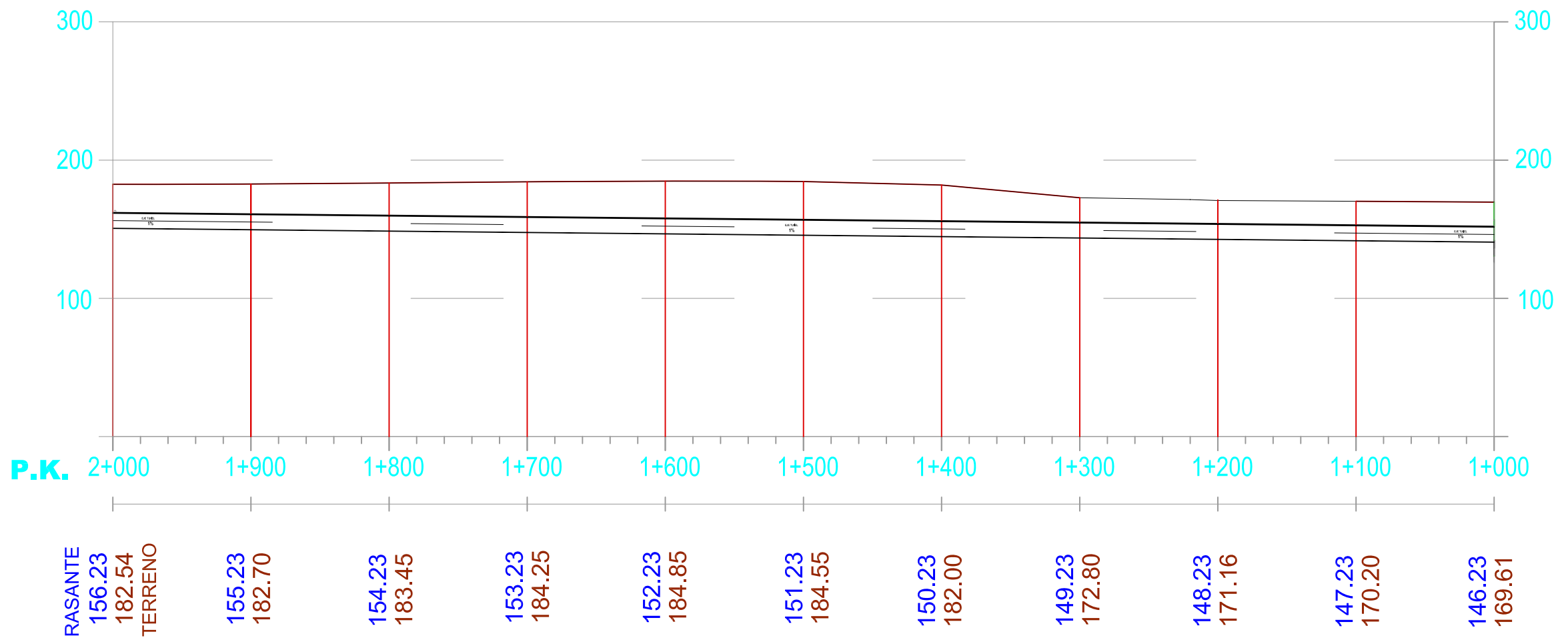
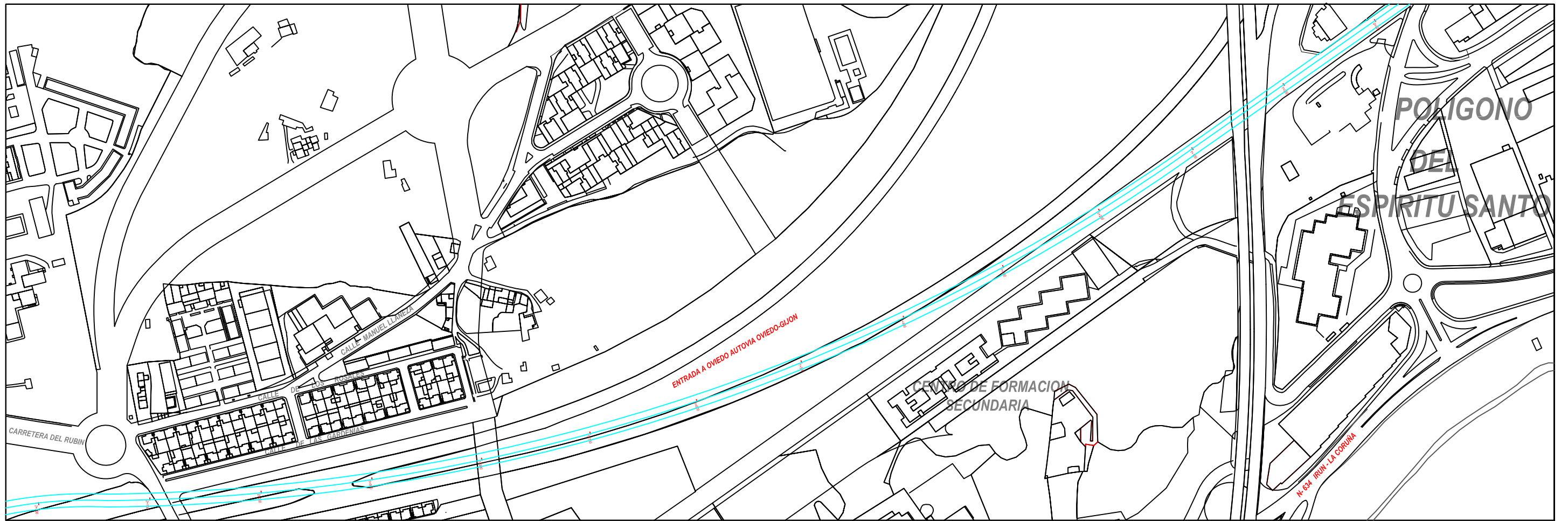
AUTOR
ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA 0 50 100 150m.
Numérica Gráfica

FECHA
JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO
TRAZADO TUNEL PK 0+000 A 1+000

Nº DE PLANO
12.4.1
Hoja 5 de 18



PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

AUTOR

ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA

0 50 100 150m.

Numérica

Gráfica

FECHA

JUNIO 2012

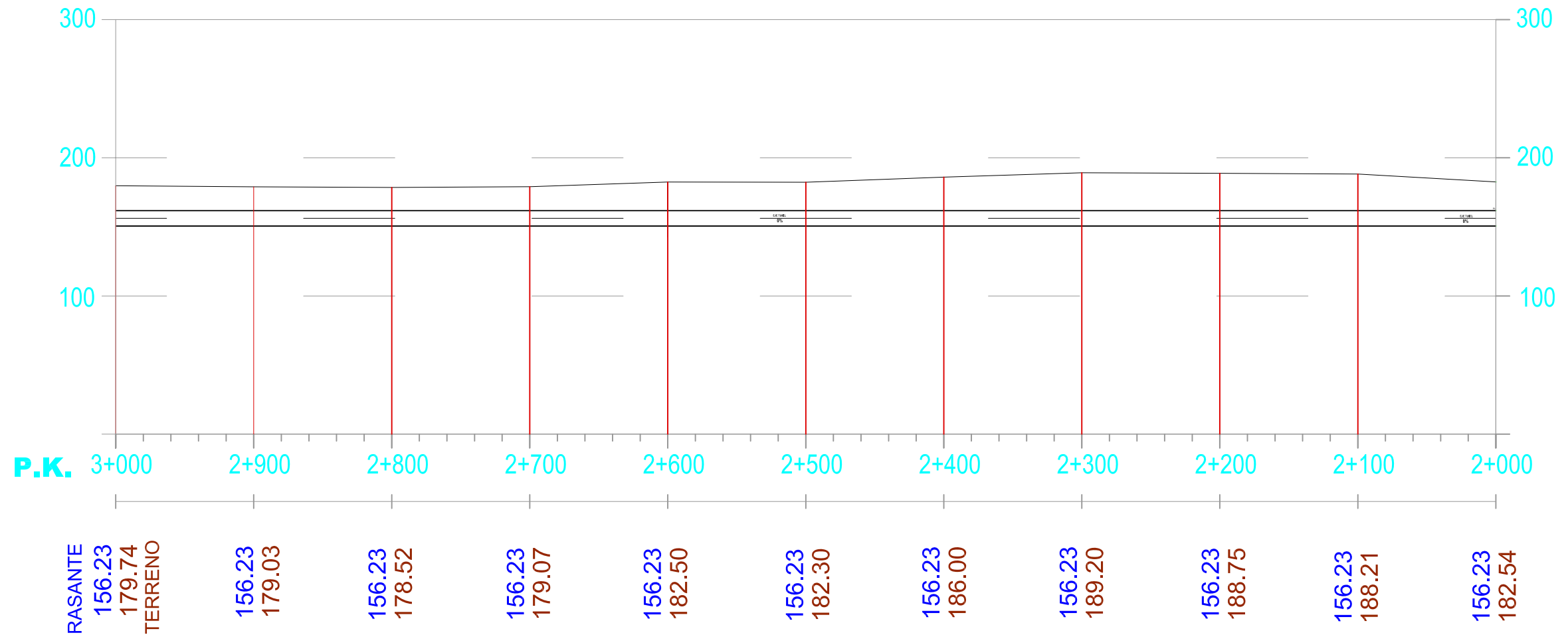
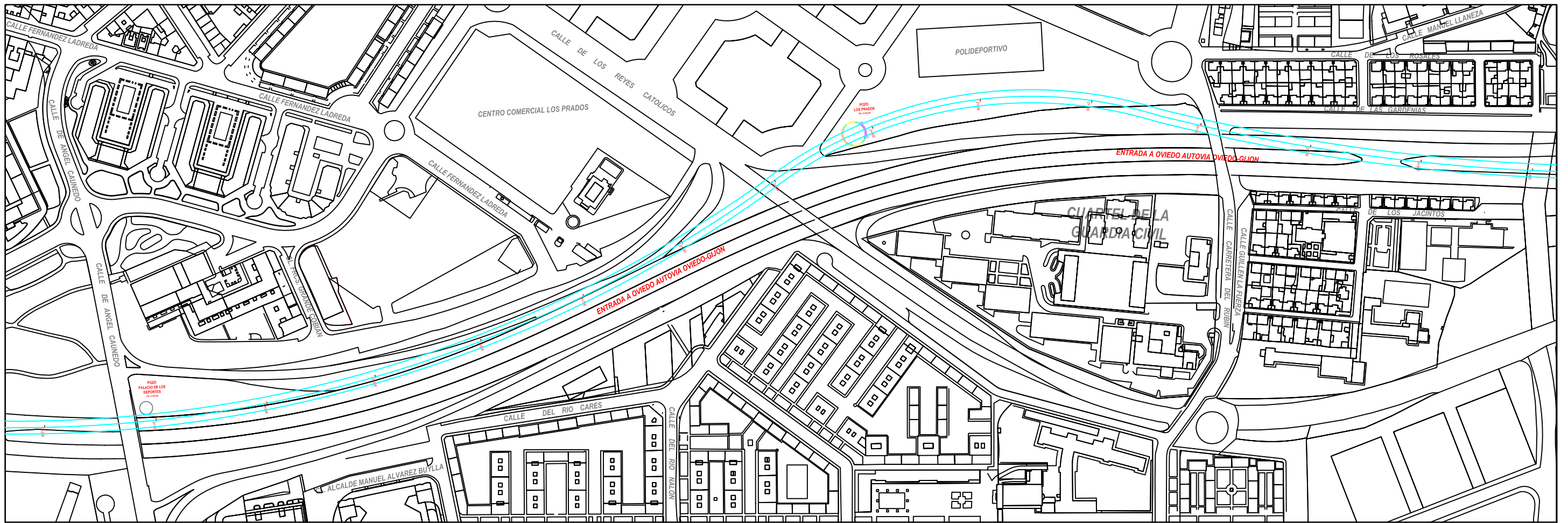
TITULO DEL PLANO

TRAZADO TUNEL PK 1+000 A 2+000

Nº DE PLANO

12.4.2.

Hoja 6 de 18



PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

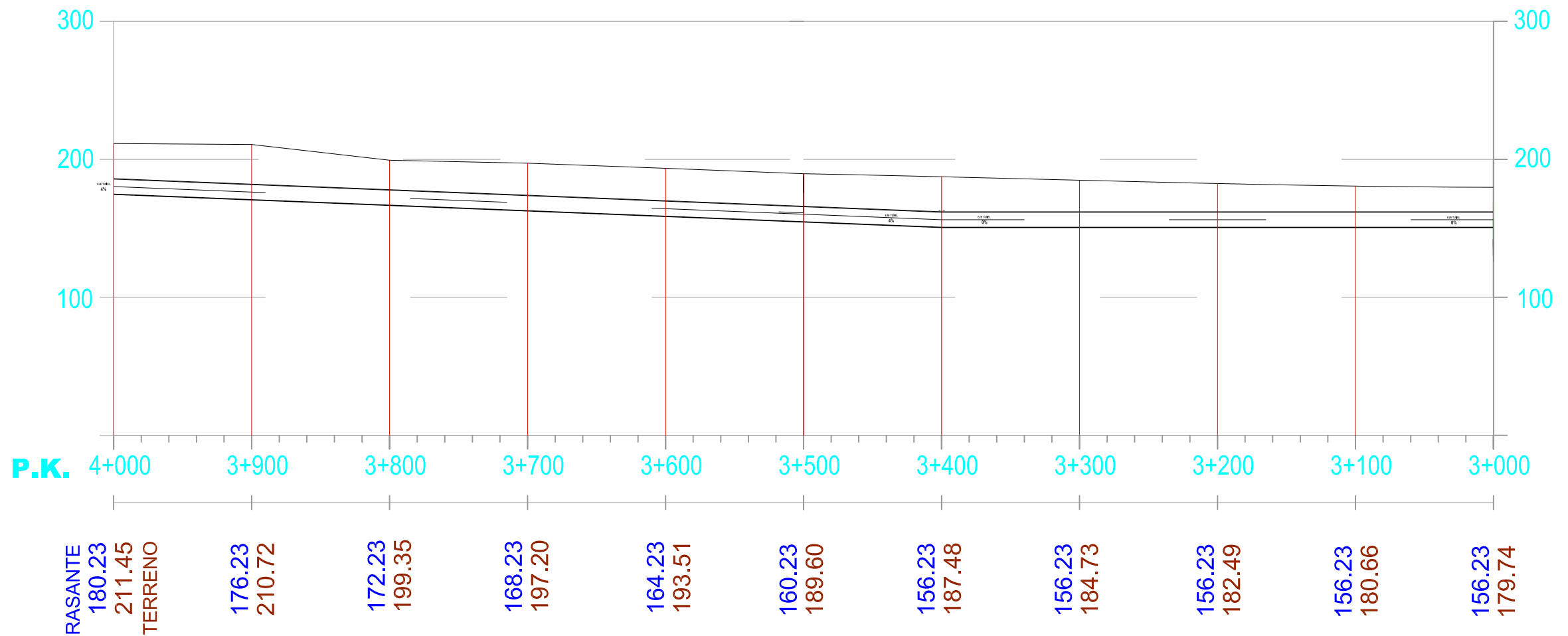
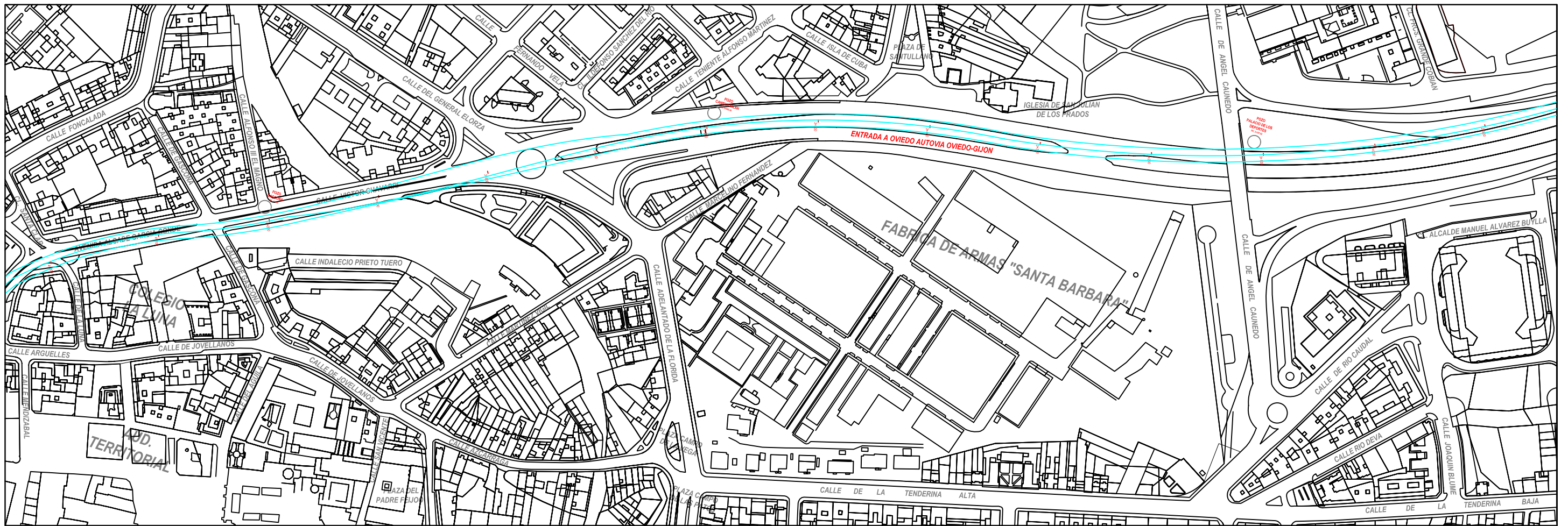
AUTOR
ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA 0 50 100 150m.
Numérica Gráfica

FECHA
JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO
TRAZADO TUNEL PK 2+000 A 3+000

Nº DE PLANO
12.4.3
Hoja 7 de 18



PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

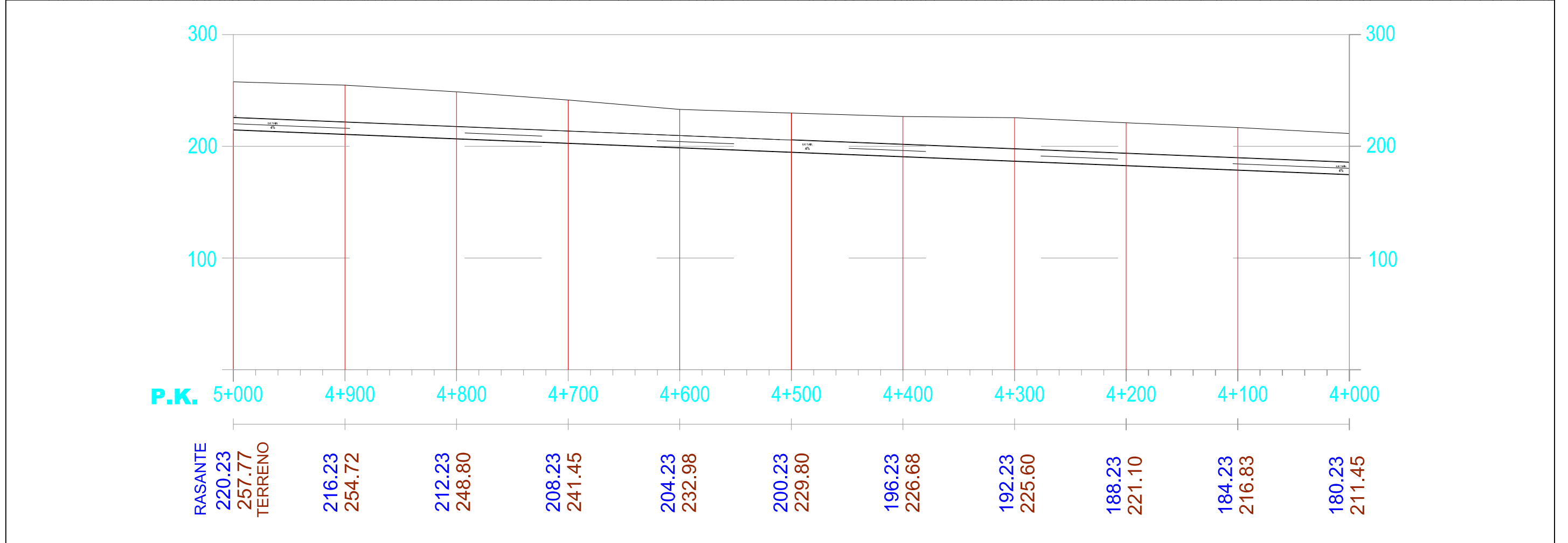
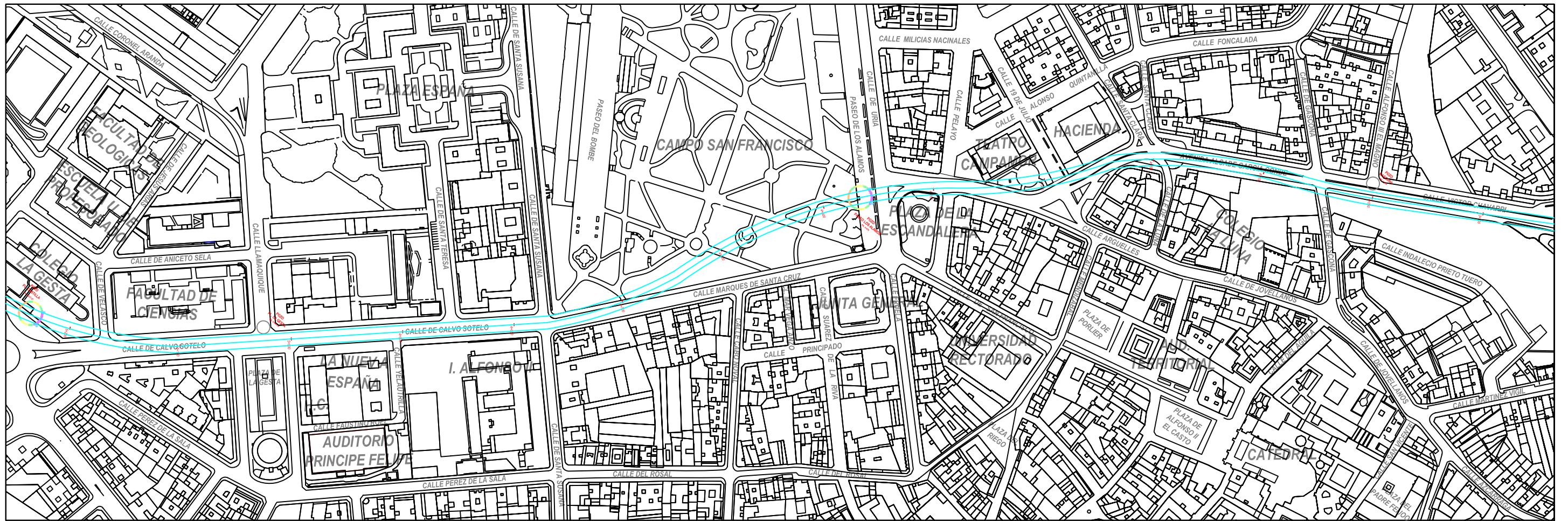
AUTOR
ANTONIO TOSAL LOPEZ

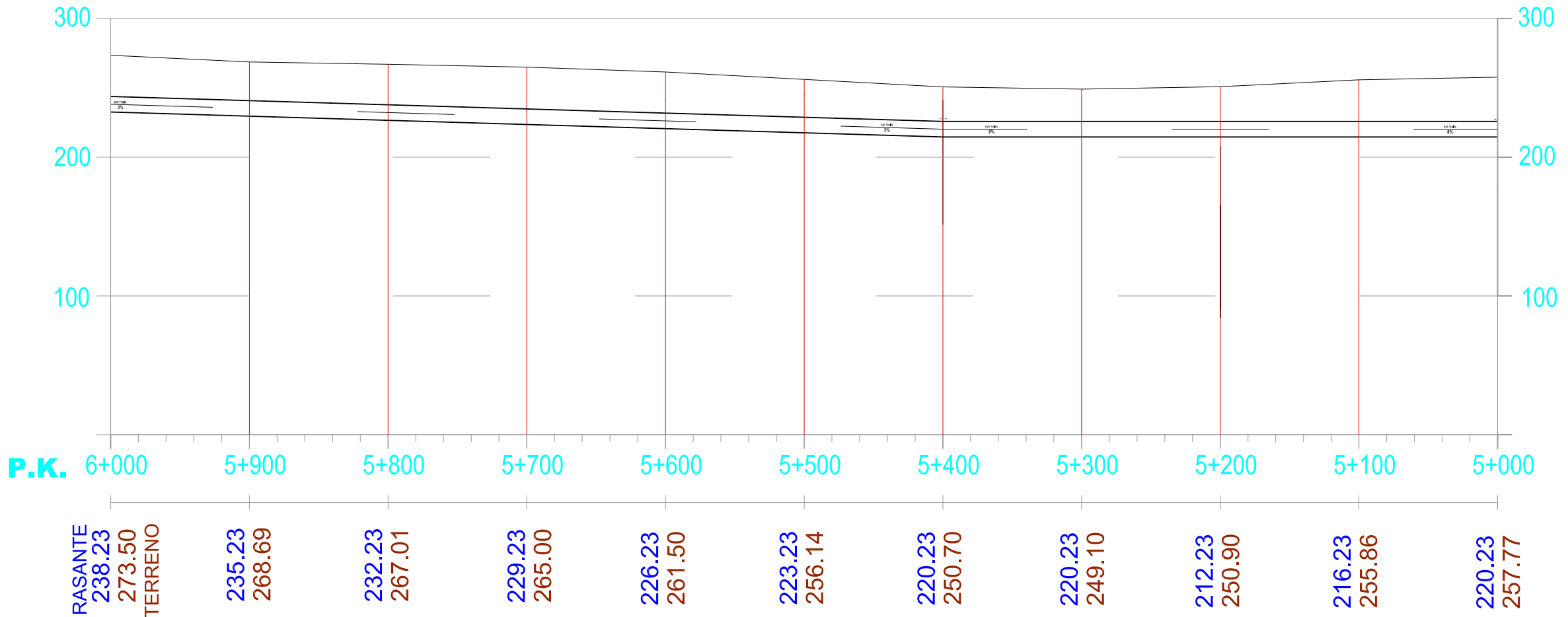
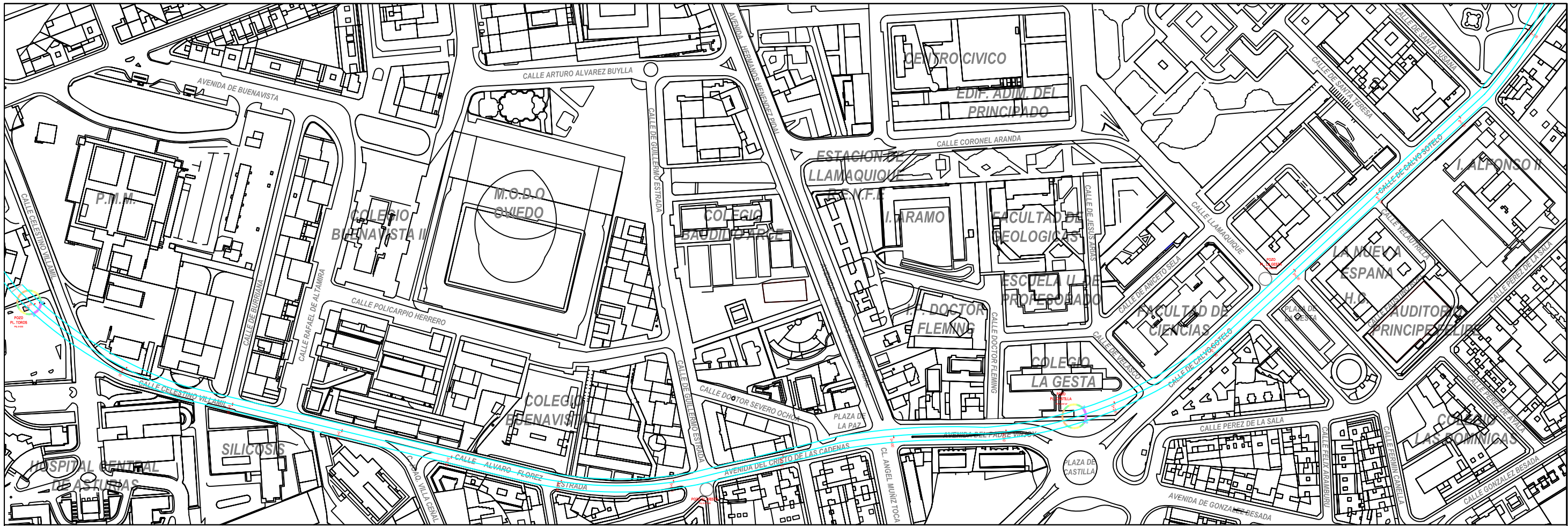
ESCALA
0 50 100 150m.
Numérica Gráfica

FECHA
JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO
TRAZADO TUNEL PK 3+000 A 4+000

Nº DE PLANO
12.4.4.
Hoja 8 de 18





PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
 E.T.S.I.M.O.

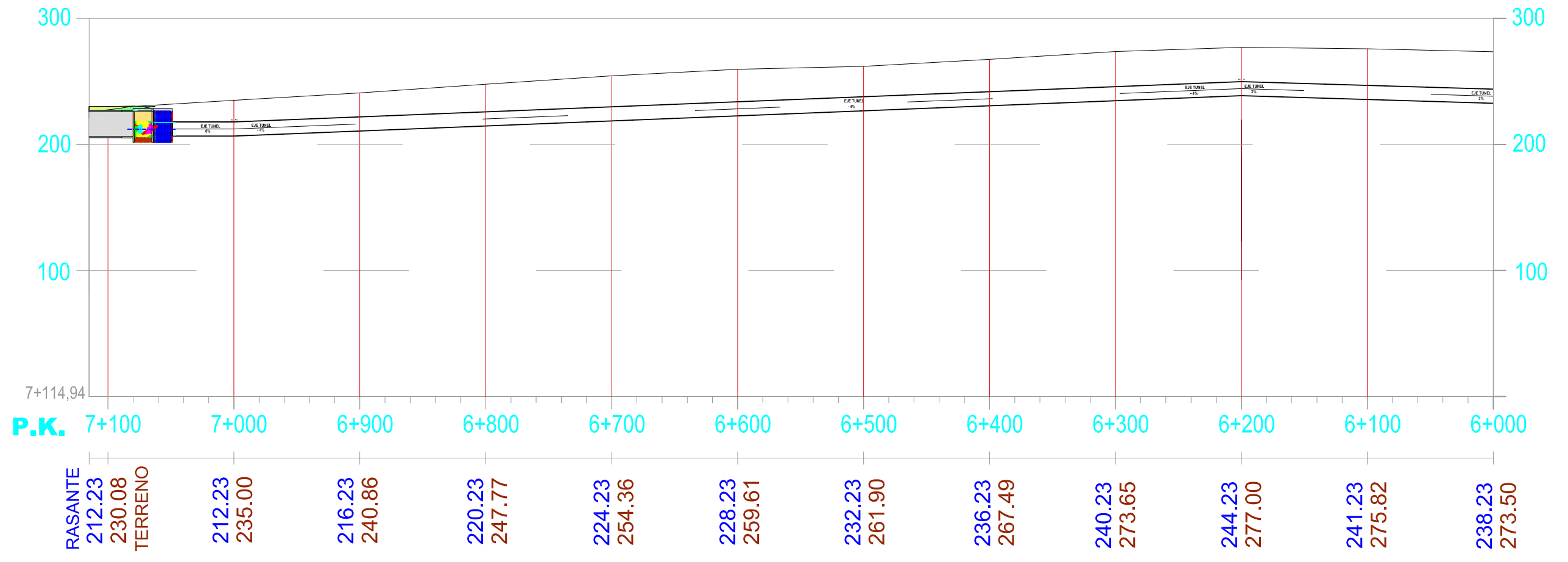
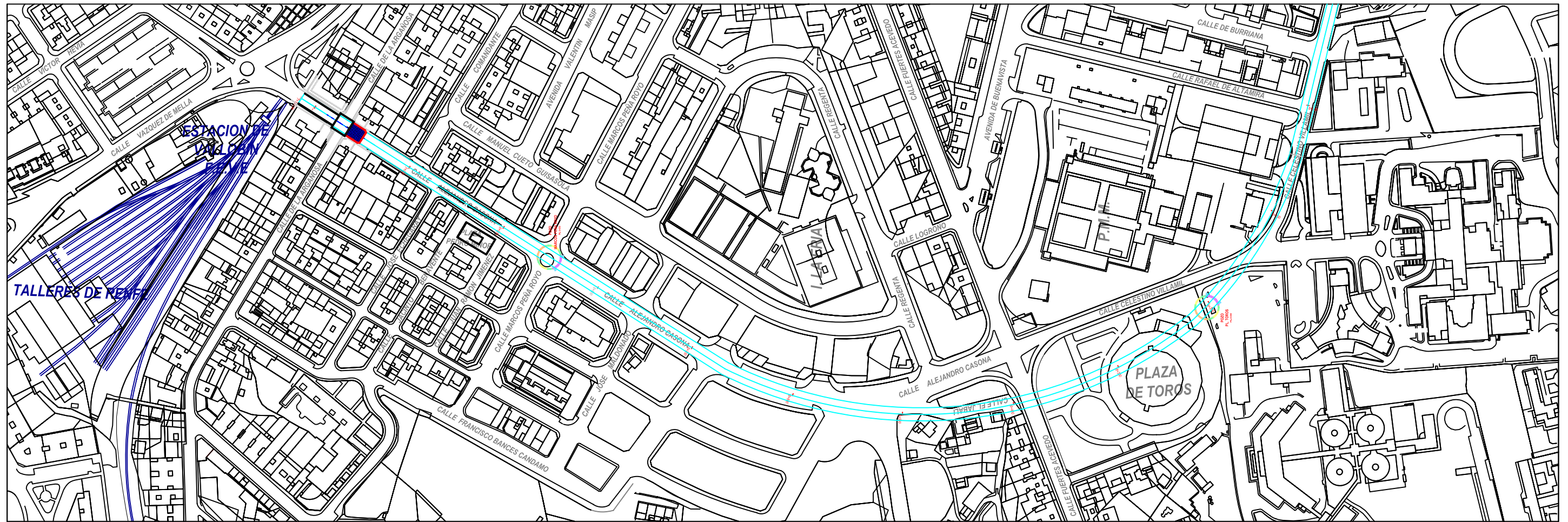
AUTOR
 ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA 0 50 100 150m.
 Numérica Gráfica

FECHA
 JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO
 TRAZADO TUNEL PK 5+000 A 6+000

Nº DE PLANO
 12.4.6.
 Hoja 10 de 18



PROYECTO DEL TUNEL DE LA LINEA 1 DE METRO CIUDAD DE OVIEDO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
E.T.S.I.M.O.

AUTOR
ANTONIO TOSAL LOPEZ

ESCALA
0 50 100 150m.
Numérica Gráfica

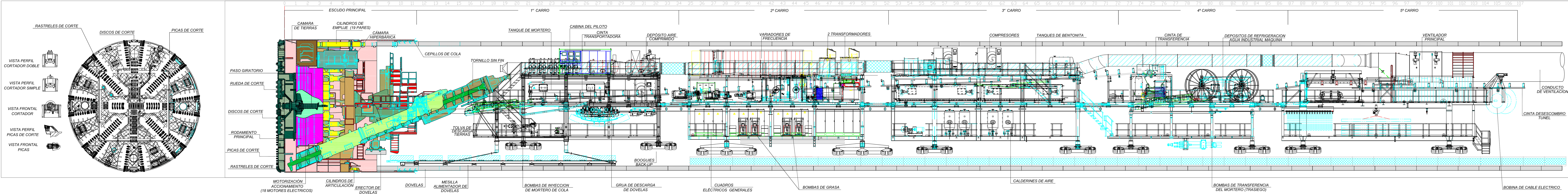
FECHA
JUNIO 2012

TÍTULO DEL PLANO
TRAZADO TUNEL PK 6+000 A 7+114,94

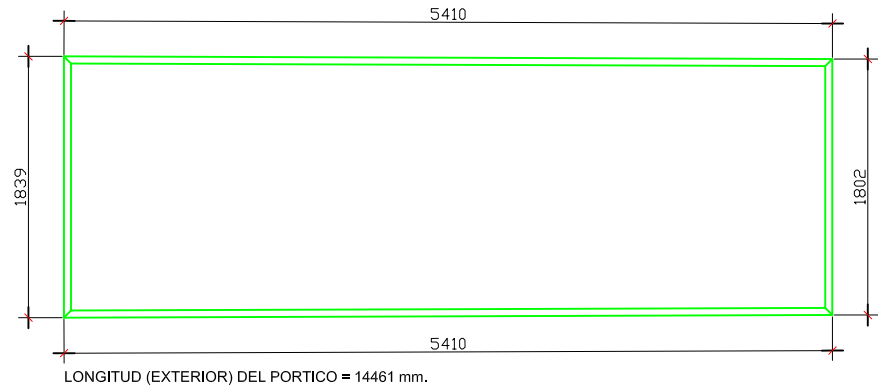
Nº DE PLANO
12.4.7.
Hoja 11 de 18

FRONTAL RUEDA DE CORTE

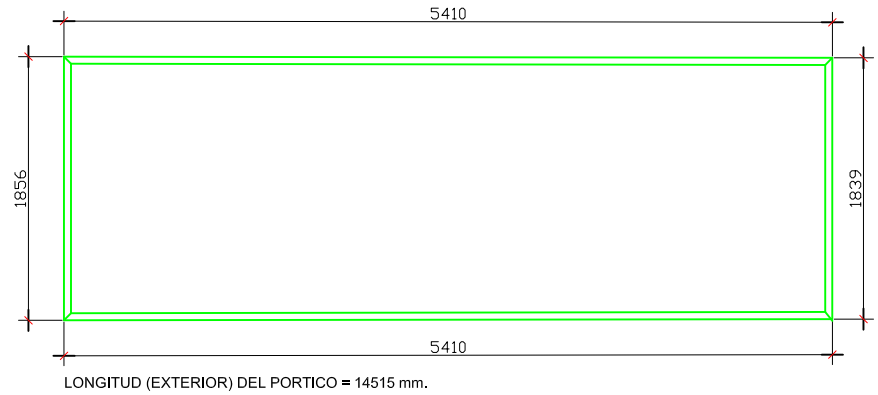
PERFIL LONGITUDINAL DE LA TUNELADORA



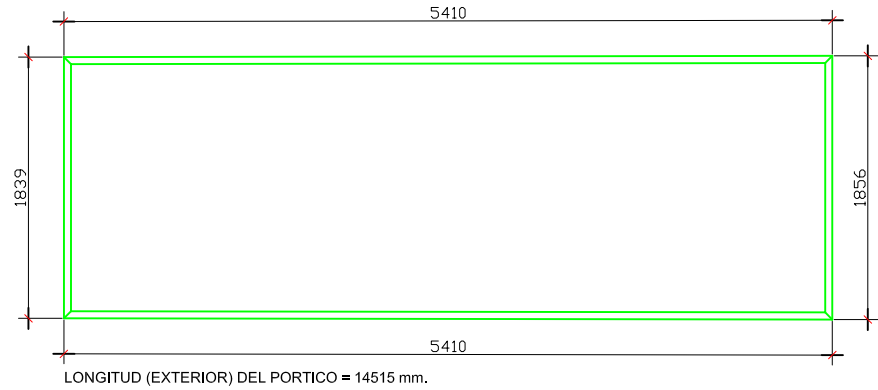
DOVELA "A1"
(COTAS EN mm)



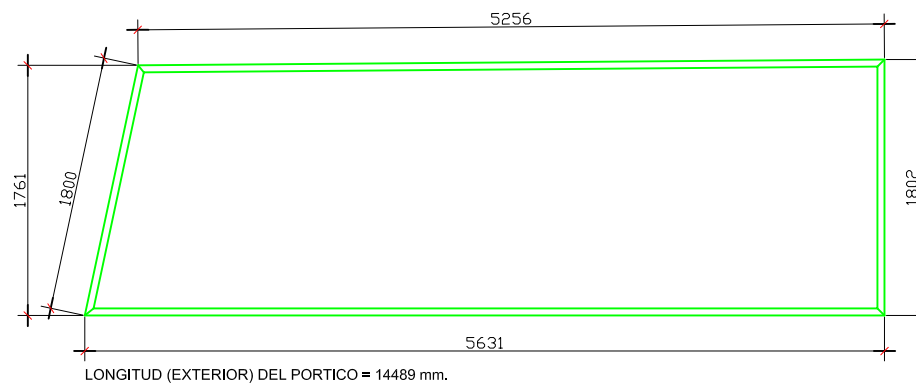
DOVELA "A2"
(COTAS EN mm)



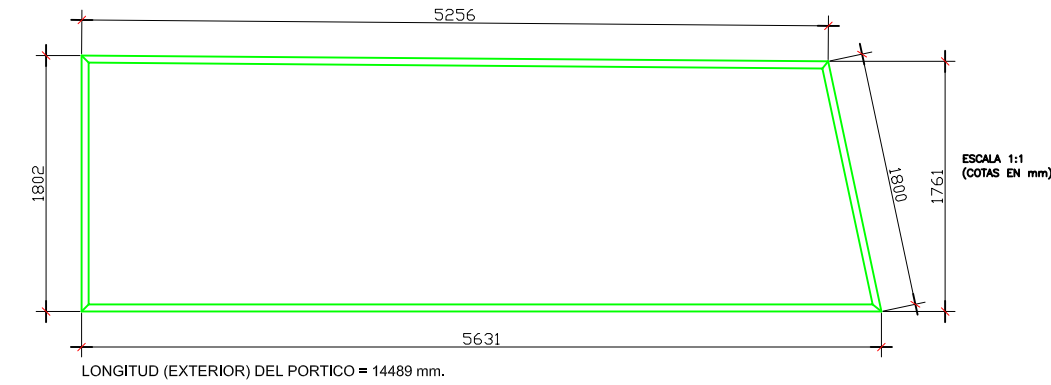
DOVELA "A3"
(COTAS EN mm)



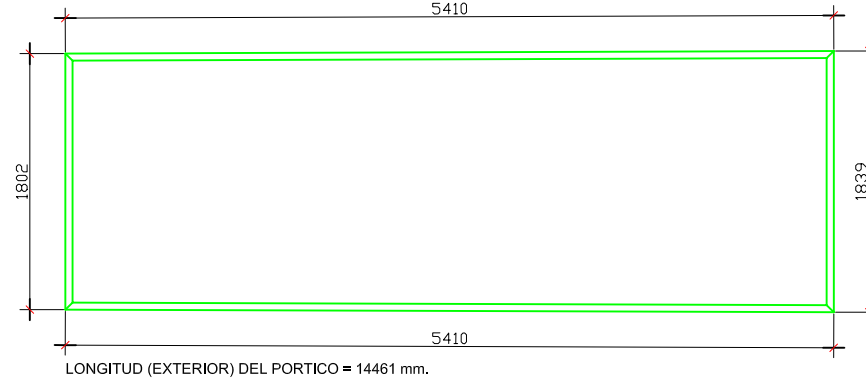
DOVELA "B"
(COTAS EN mm)



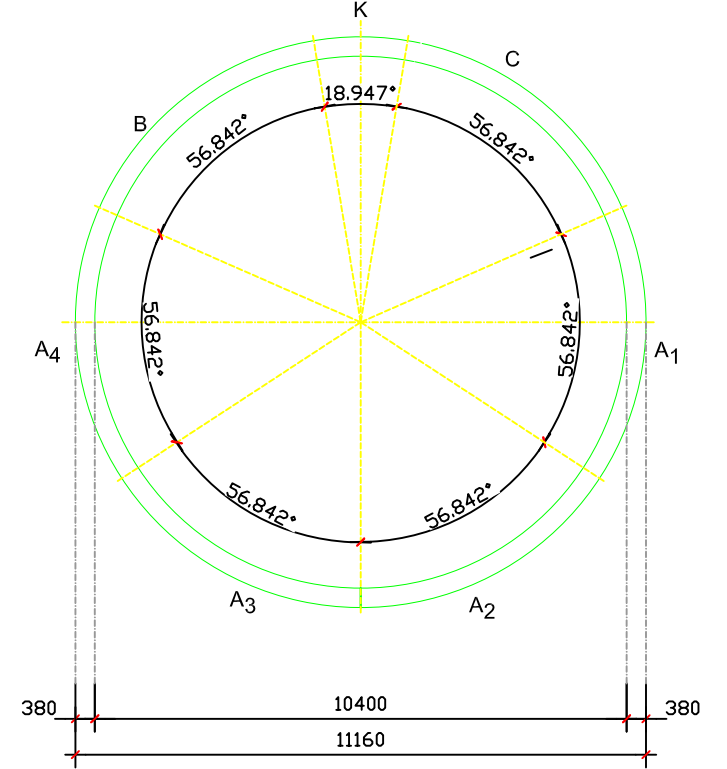
DOVELA "C"
(COTAS EN mm)



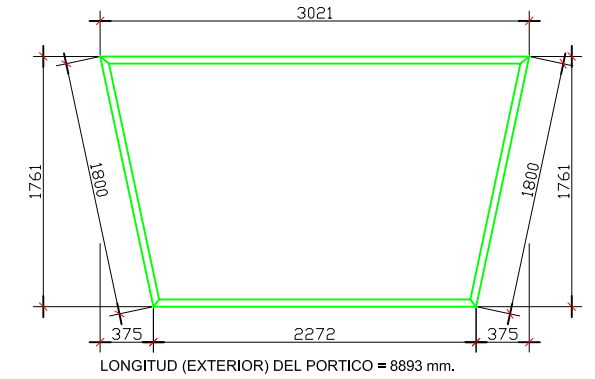
DOVELA "A4"
(COTAS EN mm)

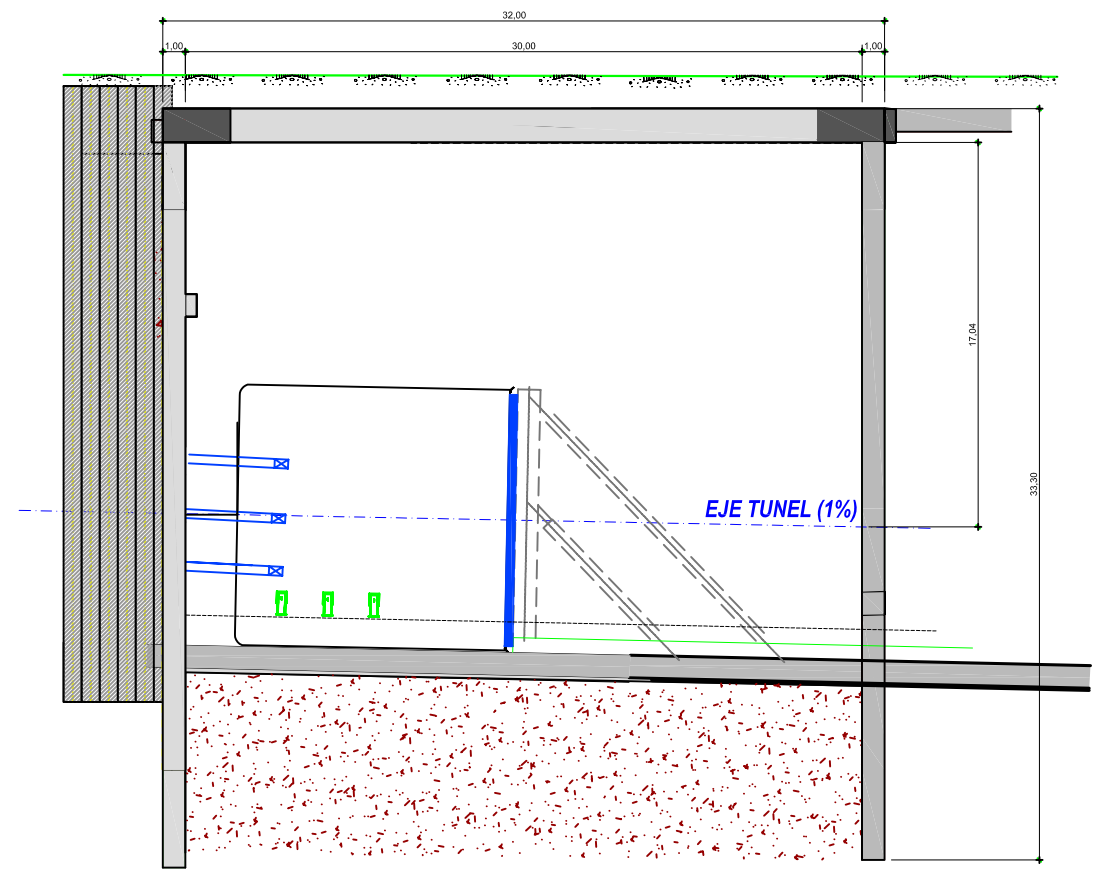
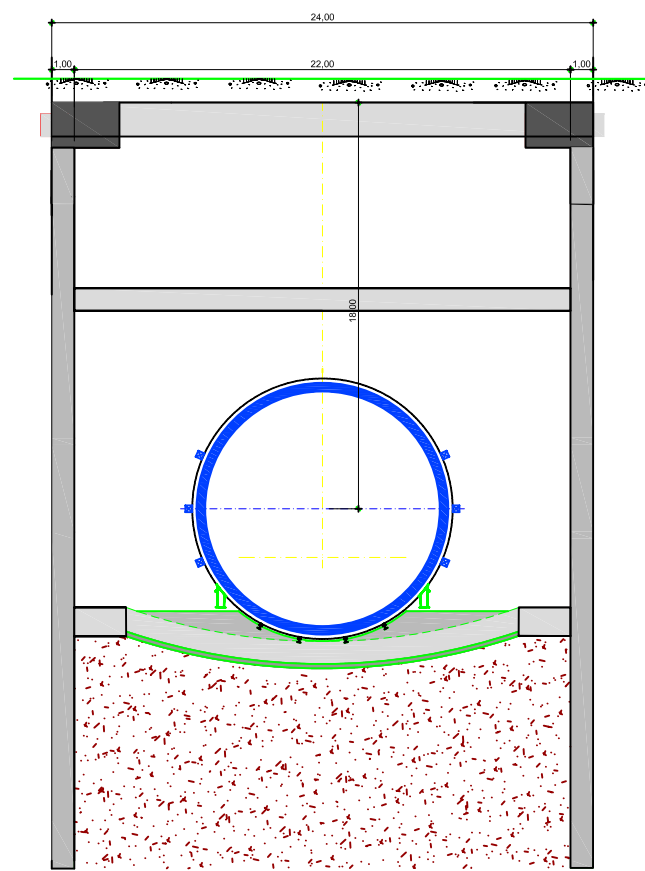
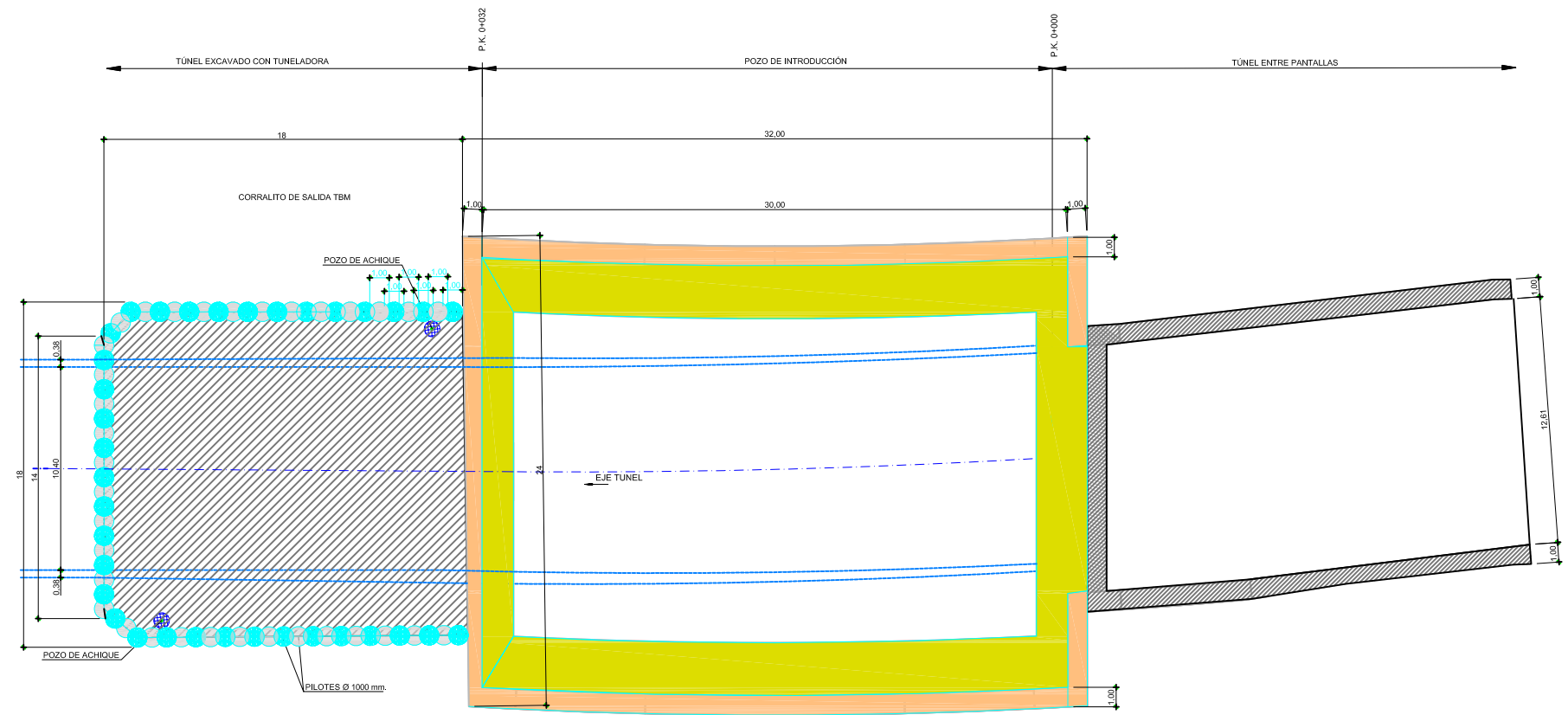


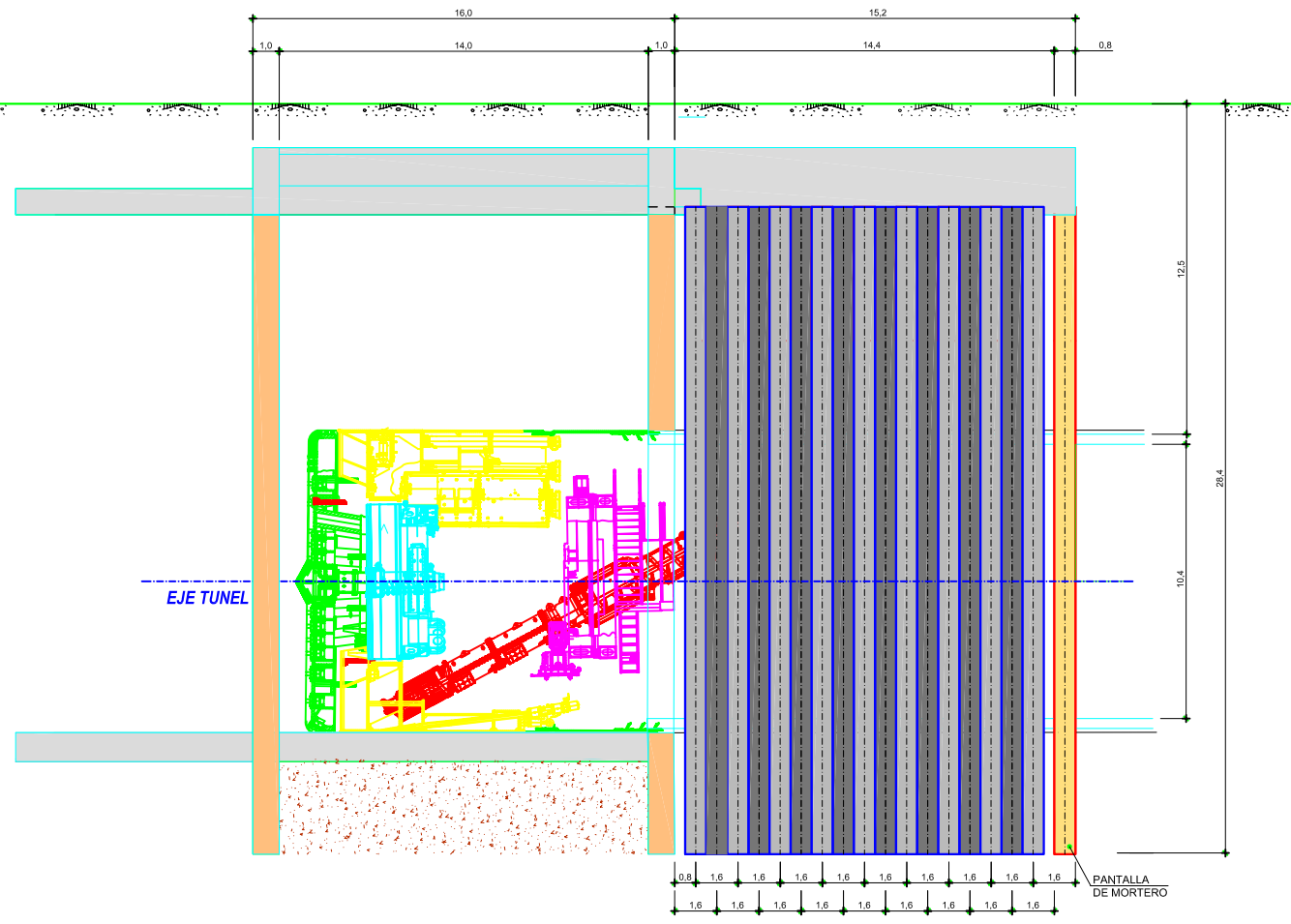
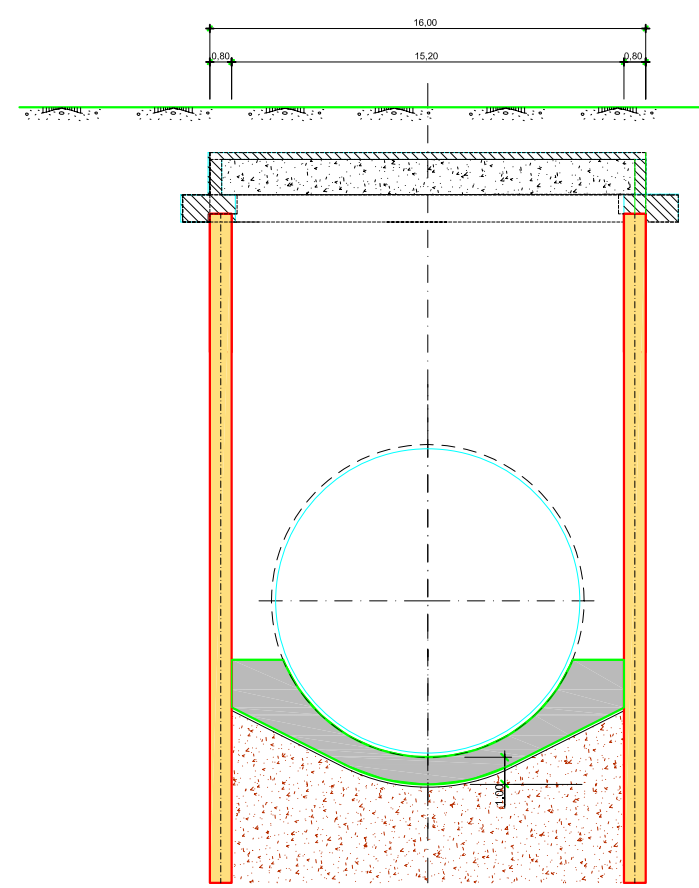
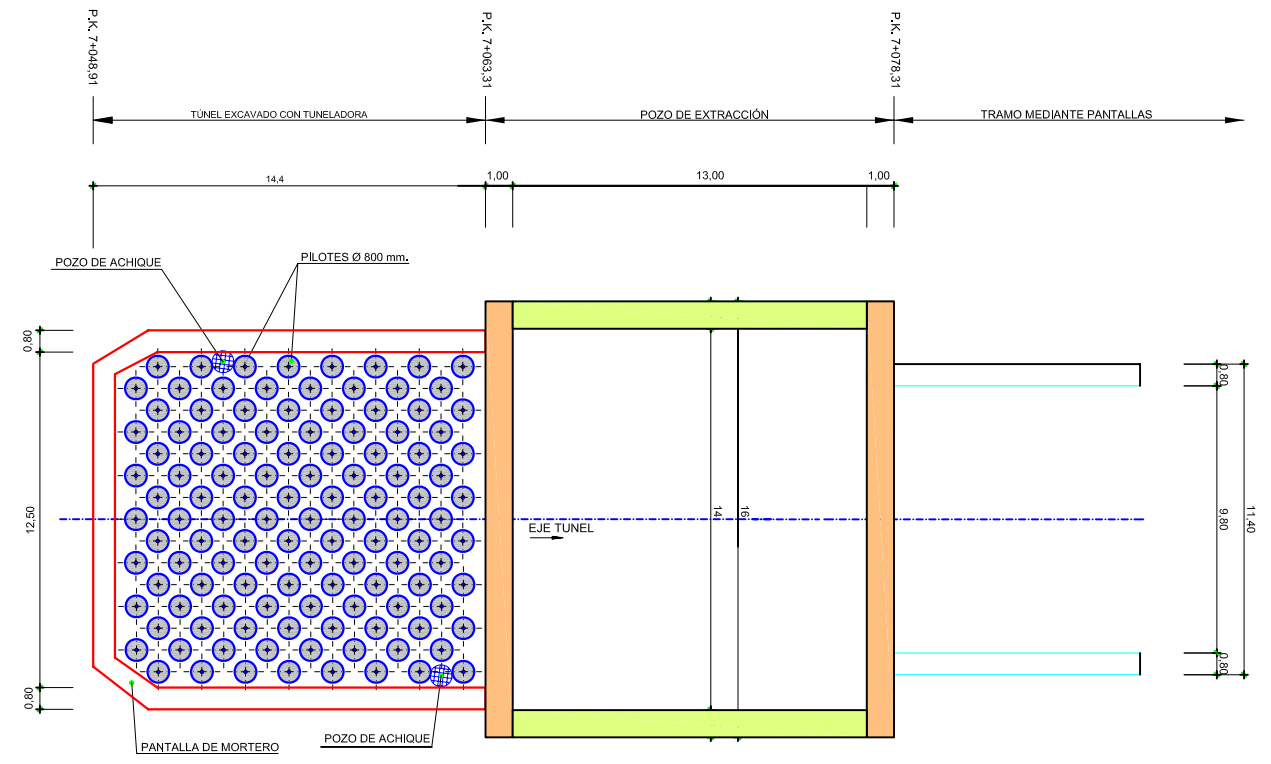
DEFINICIÓN DE ANILLO
ESCALA 1:2
(COTAS EN mm)

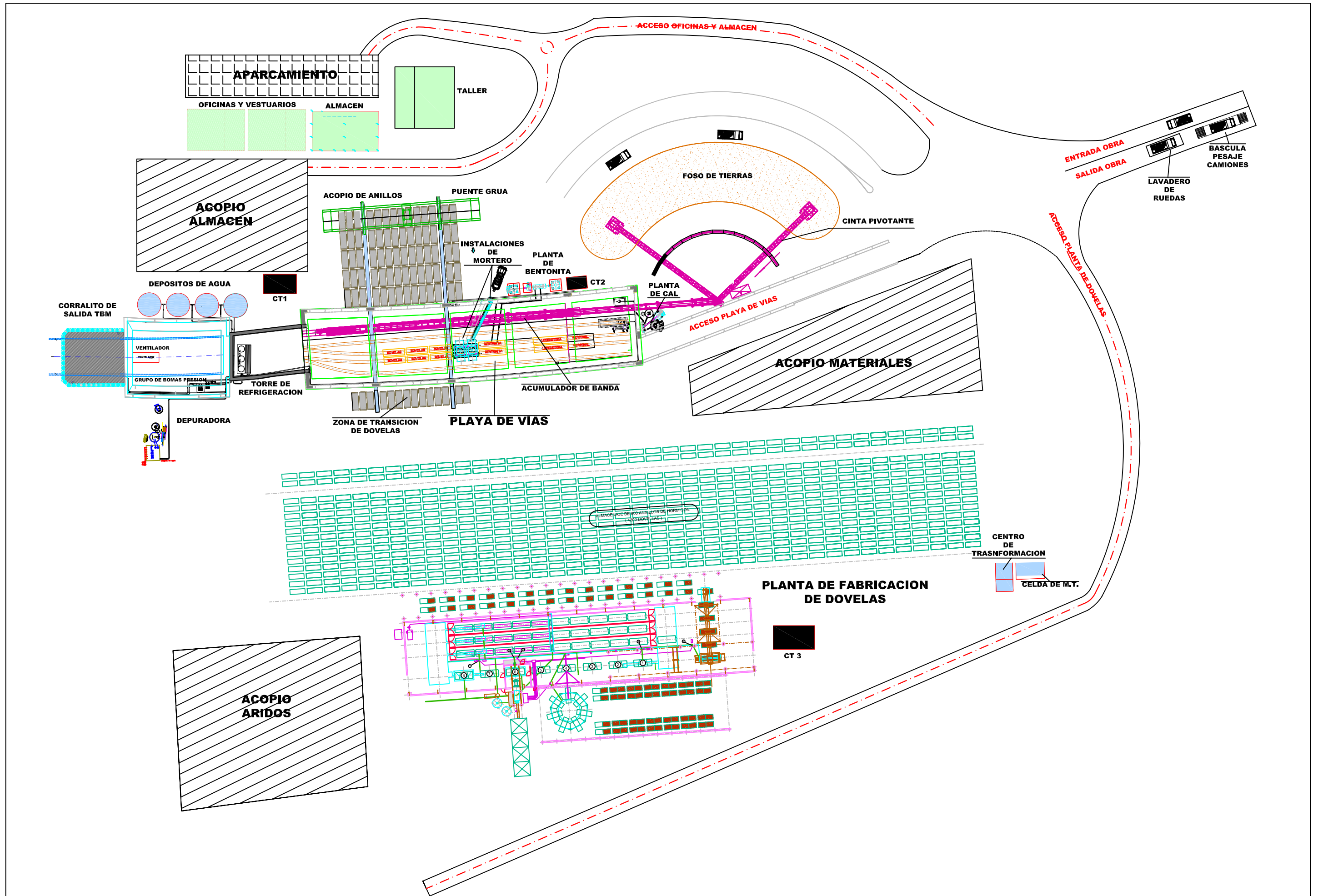


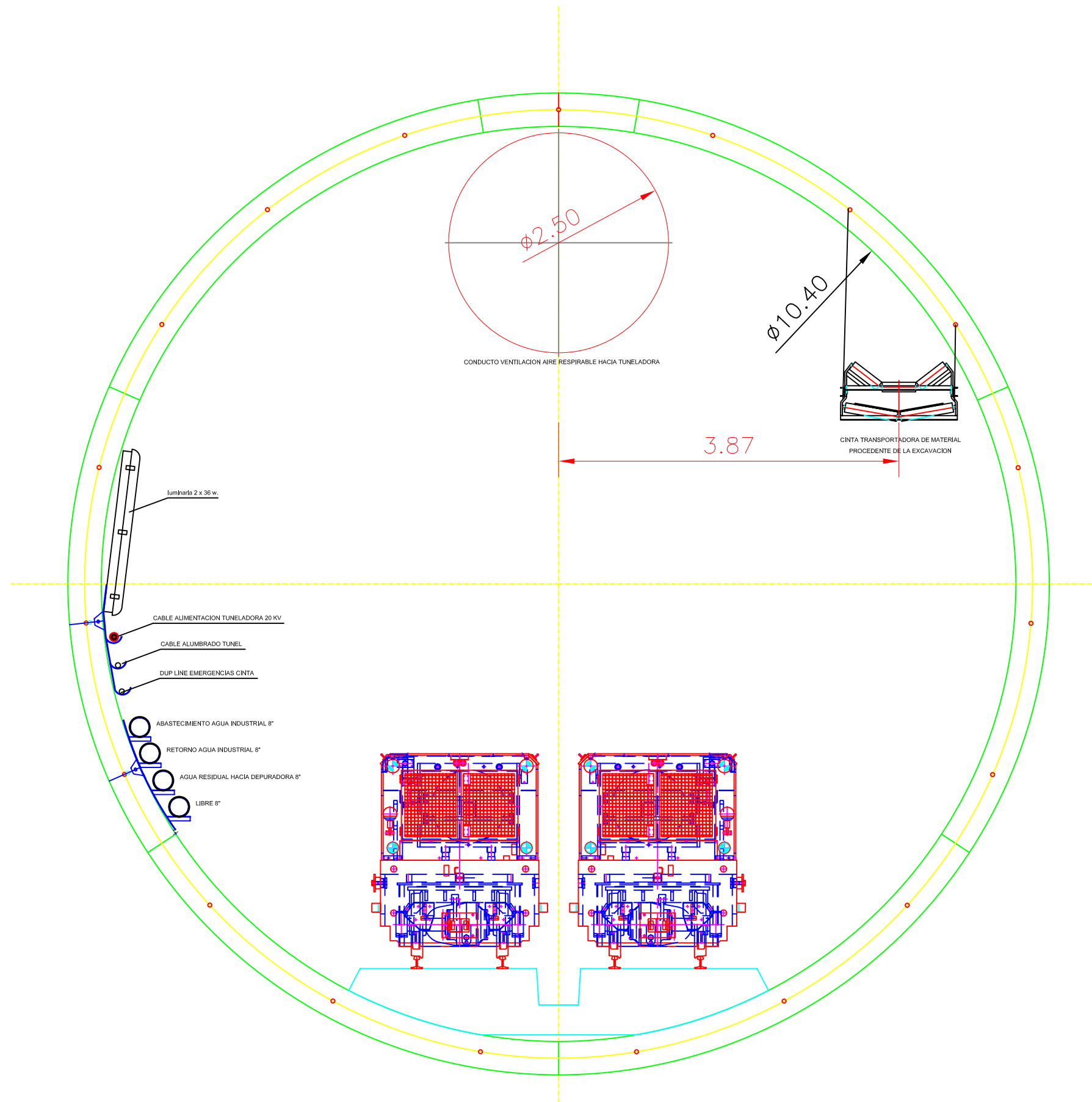
DOVELA "K"
(COTAS EN mm)

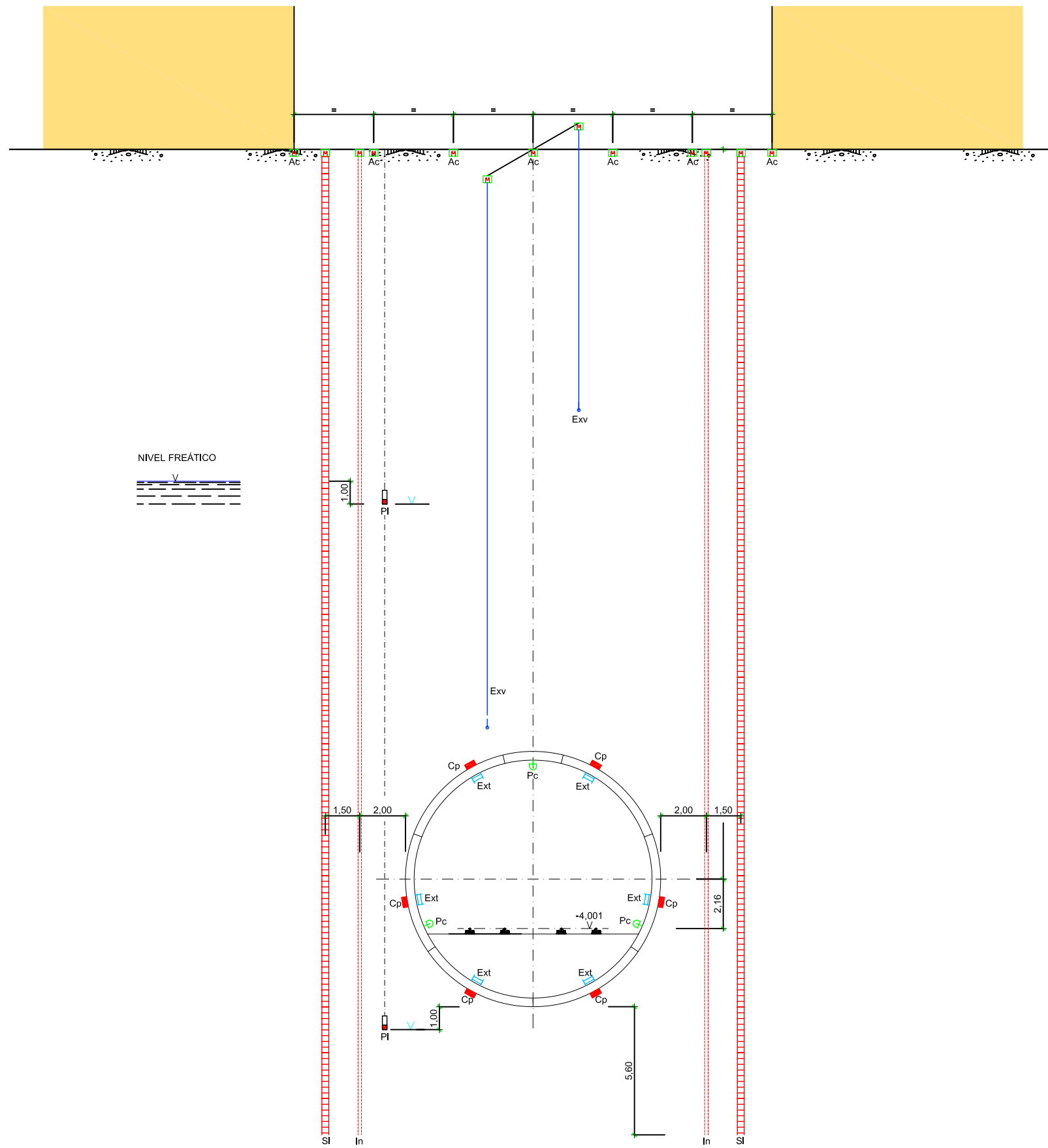












SECCION TIPO DE AUSCULTACION
 LAS MEDIDAS Y EL NUMERO DE
 HITOS SON VARIABLES
 DEPENDIENDO DEL PK DE LA
 TRAZA DONDE SE ENCUENTRE LA
 SECCION DE AUSCULTACION

SIMBOLOGÍA		Nº UDS.	
Cp		CELULA DE PRESIÓN TOTAL DE CUERDA VIBRANTE	6
Ac		ARQUETA DE SUBSIDENCIA COMBINADA	7
Ext		EXTENSÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE	12
Exv		EXTENSÓMETRO DE VARILLA	2
Pc		PERNO DE ANCLAJE PARA CONVERGENCIAS	3
SI		EXTENSÓMETRO INCREMENTAL	2
In		INCLINÓMETRO	2
PI		PIEZÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE	2

BIBLIOGRAFIA

- **ABYO S.A. “Características Técnicas de Locomotora Schöma Modelo CHL-350 BB. Estudio de Tracción y Frenado”.** Realizado para UTE SAGRERA (Cavosa, Sacyr y Scrimser).
- **ABYO S.A.** Documentaciones Técnicas. Pajares 3 UTE (Planta de Fabricación de Dovelas).
- **Aceros para Hormigón.** http://apta.com.es/prontuario/Capitulo_6.htm
- **ADIF. Especificaciones Funcionales y Técnicas. SEGURIDAD EN TÚNELES FERROVIARIOS.** Abril, 2006.
- **ADIF. “Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo: Túnel de conexión Sant’s – La Sagrera”** (Barcelona). Anejo nº12. Túneles.
- **AEME.** Observatorio Meteorológico del Cristo de las Cadenas 1972-2000.
- **M. Arnaiz; M. Melis y F. Mendaña: “Tuneladoras de presión de tierra para el Plan 1999-2003 de Ampliación del Metro de Madrid”** (1ª Parte: Maquinas del Plan 1995-1999)”. Revista Obras Públicas, Madrid, Diciembre 2000 (pag.131-138).
- **B. González Fernández, E. Menéndez Casares, M. Gutiérrez Claverol y J. C. García-Ramos. “Litoestratigrafía del sector occidental de la cuenca cretácica de Asturias”.** Trabajos de Geología 2004. Departamentos de Explotación y Prospección de Minas y de geología. Universidad de Oviedo.
- **BALTIMORE AIRCOIL COMPANY. “Características Técnicas Torre de Refrigeración Baltimore (Torre de Refrigeración de Circuito Cerrado). Modelo FXV 562-N”.** <http://www.baltimoreaircoil.com>.
- **BASF The Chemical Company. “Estudio del tratamiento del Terreno. Tunel Sant’s-Sagrera. Barcelona (UTE La Sagrera)”.** Barcelona, 2008.
- **BASF The Chemical Company.** Prontuario 2010.
- **BOE de 25 de octubre.** (Modificado por el RD 604/2006).
- **BOE nº. 27 de 31 de enero.** Corrección de errores en el BOE nº 60, de 10 de marzo de 2004.
- **C.Oteo, F.Mendaña: “Diseño del anillo prefabricado para el revestimiento del Metro de Madrid”.** Revista de Obras Públicas, Madrid, Octubre 1997 (pág. 37 a 47).
- **Cartografía geológica MAGNA E 1:50.000** (hoja 29 Oviedo).
- **Cavosa (Grupo Sacyr-Vallhermoso). Dossier de Túneles con Tuneladora.** Departamento de contratación, 2010.
- **CONDAT Lubricantes Hispania S.A. “Estudio del tratamiento del Terreno de una EPB. Tunel Sant’s-Sagrera. Barcelona (UTE La Sagrera)”.** Barcelona, 2008.
- **CONDAT Lubricantes Hispania S.A.** Prontuario 2010.
- **Convenio Colectivo de la Construcción y Obra Pública Asturias 2010.**

- **Convenio Colectivo de la Siderurgia Asturias 2010.**
- D. Orihuela. **"El Coso de la Memoria"** (Citación sobre el estado Plaza de Toros de Oviedo). La Nueva España. Julio 2010. <http://www.lne.es/oviedo/2010/07/29/coso-memoria/948313.html>
- Degussa. **"Estudio del tratamiento de Terreno con EPB (Espumas y Polímeros)"**. Madrid, 2004.
- **Estadísticas de Transito de Viajeros en la Ciudad de Oviedo.** (ALSA, T.U.A., Radio Taxi Principado, Circulación de Vehículos en la Ciudad de Oviedo). 2010.
- F. Mendaña y M. Arnaiz. **"Tuneladoras"**. Madrid, Diciembre 2001.
- Ferrovial - Agroman S.A. **"Proyecto Constructivo. Planta de Fabricación de Dovelas"**.
- **G.H. S.A. (Polipasto – grúas).** Manual de Descripción Puente Grúa 32 Tn.
- **G.H. S.A. (Polipasto – grúas).** Manual de Instrucciones Puente Grúa 32 Tn.
- GRUNDFOS. **Características Técnicas Bomba Grundfos. Modelo NK 65-315 – A BAQE.** <http://www.grundfos.com>.
- H+E Logistik GmbH. **"Características Técnicas Cintas Transportadoras"**. Realizado para U.T.E. SAGRERA (Cavosa, Sacyr y Scrinser). Barcelona, 2008.
- HERRENKNECHT AG. **"Características Técnicas Tuneladora EPB Herrenknecht AG S-450 - La Barcino"**.
- HERRENKNECHT AG. **Manual TBM-EPB, Proyecto: S-450.**
- HERRENKNECHT AG. **Plan de Trabajos Bajo Presión. Trabajos Hiperbáricos en Avance de Túneles.** Proyecto: S-255. Enero 2005.
- IGME (1995), Mapa hidrogeológico de España a escala 1:200.000 (Hoja 3 Oviedo).
- **Instituto Geográfico Nacional.** Servicios de Programas geodésicos – Reseña de Señal de Nivelación N°97, nombre NP1997* (Oviedo).
- **Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-98)** aprobada en 1998 por la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes.
- **Introducción de Hormigón estructural (EHE-08).**
- J. A. Pulgar, M. Gutiérrez Claverol y M. Torres Alonso. **"Constitución geológica y características geotécnicas del subsuelo urbano de La Tenderina-Ventanielles (Oviedo)"**. Manuscrito (1998). Departamentos de Explotación y Prospección de Minas y de geología. Universidad de Oviedo.
- J. Lezana Orcastegui/F. Lorenzo Martín. **"TÚNELES. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS"**. Jornadas Técnicas de Obra Civil de Ferrovial-Agroman, Madrid, noviembre 2005.
- J. Toraño, R. Rodríguez, A. Cuesta, I. Diego Álvarez: **"A computer program for calculating ventilation in tunneling works based on an explicit method"**. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2002 (pag. 227 a 236).

- **LEBLAN.** “**Proyecto de Instalación de Planta de Producción de Lodo Bentonítico, Dosificación de Cal y Descarga de Mortero Húmedo**”. Realizado para U.T.E. SAGRERA (Cavosa, Sacyr y Scrinser).
- **L. Torrejón.** “**Estudio sobre las presiones de Trabajo de la Tuneladora**”. Intecsa – Inarsa. Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo: Túnel de conexión Sant’s – La Sagrera (Barcelona). Junio 2009.
- **M. Gutiérrez Claverol, L. Pando y B. González.** “**Problemática de las Calizas del Cretácico Superior en la cimentaciones de Oviedo**” (Departamentos de Explotación y Prospección de Minas y de geología. Universidad de Oviedo). Revista Geogaceta, vol. 36, 2004 (pág. 99 a 101).
- **Manual de Túneles y Obras Subterráneas.** “**Excavación con Maquinas Integrales: Topos y Escudos**”. Cap. 8. Edición 2003.
- **Manual de Costes de Maquinaria (1994)**, elaborado por la Asociación de Empresas de Obras Públicas de Ámbito Nacional (SEOPAN) y la Asociación Española de Técnicos de Maquinaria para la Construcción y Obras Públicas (ATEMCOP) cuya última edición es de enero de 2005.
- **M. Gutiérrez Claverol/M. Torres Alonso.** **GEOLOGIA DE OVIEDO, descripción, recursos y aplicaciones.** Ediciones Paraíso, 1995.
- **M. González Fabre.** “**Procedimiento de Auscultación y control**”. Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía Línea de Alta Velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – Frontera Francesa. Tramo: Túnel de conexión Sant’s – La Sagrera (Barcelona).
- **MINTRA.** “**Proyecto Variante de Construcción de la Infraestructura de la Prolongación de la Línea 5 del Metro de Madrid a la Alameda Osuna**”. Ampliación Metro de Madrid.
- **Normas UNE-EN 14931** de abril de 2.007, sobre cámaras hiperbáricas para ocupación humana y requisitos.
- **Orden de 20 de enero de 1956** por la cual se aprueba el reglamento de higiene y de seguridad social en trabajos realizados en cajones con aire comprimido.
- **Orden de 12 de junio de 1968** por la que se dictan normas complementarias de aplicación al Ministerio de Obras Públicas de los artículo 67 y 68 del Reglamento General de Contratación del Estado. Artículos 1 y 12.
- **Orden de 21 de Mayo de 1979** que modifica parcialmente la de 14 de Marzo de 1969 sobre Normas Complementarias del Reglamento General de Contratación de Estado.
- **Orden de 13 de septiembre de 1985** por la que se aprueba determinadas Instrucciones técnicas complementarias de los capítulos III y IV del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. **ITC 04.07.01.**
- **Orden de 14 de octubre de 1997.** Normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas. BOE de 22 de noviembre.

- **Orden de 20 de julio de 2000** por la cual se modifican las normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas, aprobadas por la orden de 14 de octubre de 1997. BOE de 7 de agosto.
- **Plan general de Ordenación de Oviedo.** <http://www.oviedo.es/elayuntamiento/urbanismo/plan-general-de-ordenacion-urbana>.
- **Planos. Diagnostico y Ordenación.** (Siero y Llanera). http://www.asturias.es/Asturias/descargas/nudos_metropolitanos_llanera_siero_planos.pdf. Abril 2010.
- **Real decreto 863/1985**, de 2 de abril, por el que se aprueba el REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BASICAS DE SEGURIDAD MINERA. Capítulo 4. Labores Subterráneas.
- **Real decreto 863/1985** de 2 de abril. Reglamento general de normas básicas de seguridad minera. BOE de 12 de junio
- **Real decreto 485/1997** de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE de 23 de abril.
- **Real decreto 773/1997**, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización para los trabajadores de equipos de protección individual. BOE de 12 de junio.
- **Real decreto 1215/1997**, de 18 de julio. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización para los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE de 7 de agosto. Modificado por el Real decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, BOE de 13 de noviembre.
- **Real decreto 1627/1997**, de 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- **Real decreto 171/2004**, de 30 de enero, por el cual se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de Prevención de riesgos laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- **Red GNSS del Principado de Asturias.** Servicios GNSS de Posicionamientos Autonómicos.
- **Resolución, de 20 de enero de 1999.** Actualiza determinadas tablas de la Orden de 14 de octubre de 1997. BOE de 18 de febrero.
- **Sika Innovation & Consistency.** Prontuario 2010.
- Sika Group. “**Estudio de Espumas y varios para la Obra de la Prolongación de la Línea 1 de Metro Madrid (Ferrovia-Agroman)**”. Madrid, 2004.
- U.T.E. SAGRERA. “**HOJA DE RUTA. Procedimiento Constructivo del Tunel con Escudo EPB. Tramo Sant’s – Sagrera. (L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa)**”. Barcelona, marzo 2010.
- VMT GmbH Gesellschaft für Vermessungstechnik. “**Manual SLS-T ADP, Sistema de Guiado de una Tuneladora**”.
- VMT GmbH Gesellschaft für Vermessungstechnik. “**Method Statement CBP Tunnel Construction Information System**”.

-
- **ZITRON.** *Curvas Características para Ventiladores de \varnothing 1200 a \varnothing 1800 mm.*