

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS**

**Titulación: INGENIERÍA SUPERIOR DE MINAS, ESPECIALIDAD EN  
INGENIERÍA DE MATERIALES**

## **PROYECTO FIN DE CARRERA**

**DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS  
MINERALES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS**

**PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL POR EL  
SISTEMA “CUT AND COVER” PARA EL ACCESO  
FERROVIARIO DEL CERCANÍAS A MARBELLA**

**MARÍA HEREDIA NAVARRO**

**JUNIO 2015**

TITULACIÓN: INGENIERO SUPERIOR DE MINAS      PLAN: 1996

Autorizo la presentación del proyecto

**Proyecto de construcción de túnel por el sistema “Cut and Cover” para  
el acceso ferroviario del cercanías a Marbella**

Realizado por

**María Heredia Navarro**

Dirigido por

**Juan Pous de la Flor**

Firmado: **Prof. Juan Pous de la Flor**

Fecha: Junio 2015

**PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL  
POR EL SISTEMA “CUT AND COVER” PARA  
EL ACCESO FERROVIARIO DEL  
CERCANÍAS A MARBELLA**

**DOCUMENTO N° 1: MEMORIA**

**PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL  
POR EL SISTEMA “CUT AND COVER” PARA  
EL ACCESO FERROVIARIO DEL  
CERCANÍAS A MARBELLA**

**DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO**

# ÍNDICE

RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VII
DOCUMENTO N°1: MEMORIA.....	1
1. OBJETIVO Y ALCANCE.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1. Antecedentes Administrativos.....	2
2.2. Antecedentes Técnicos.....	4
2.2.1. Soterramiento de la Línea de Alta Velocidad y Cercanías Málaga.....	4
2.2.2. Incremento del túnel de Cercanías Málaga.....	5
2.2.3. Duplicación vías Málaga-Aeropuerto.....	6
2.2.4. Remodelación de la estación de San Andrés, Guadalhorce y Aeropuerto.....	7
2.3. Situación previa de las obras.....	8
2.3.1. Territorio.....	8
2.3.2. La red ferroviaria actual.....	8
3. OBJETIVO DEL PROYECTO Y SOLUCIÓN ADOPTADA.....	9
3.1. Objetivo del proyecto.....	9
3.2. Solución alternativas y solución adoptada.....	10
3.2.1. Análisis estructural.....	10
3.2.1.1. Condicionantes del proceso constructivo.....	10
3.2.1.2. Condicionantes geométricos y del terreno.....	12
3.2.1.3. Afección y criterios de cálculo.....	13

3.2.1.4.	Análisis y criterios de cálculo.....	13
3.2.1.5.	Conclusión desde el punto de vista estructural se presentan las siguientes conclusiones.....	17
3.2.2.	Análisis ferroviario.....	19
3.3.	Descripción de la alternativa seleccionada.....	20
3.3.1.	Descripción general.....	20
4.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECRO.....	20
4.1.	Descripción.....	20
4.1.1.	Justificación y análisis del proyecto constructivo.....	22
4.2.	Geología.....	23
4.2.1.	Regional.....	23
4.2.2.	Geología.....	23
4.2.3.	Estratigrafía.....	24
4.2.4.	Hidrogeología.....	24
4.3.	Estudio de materiales.....	25
4.3.1.	Plataforma ferroviaria.....	25
4.3.2.	Viabes anexos y reposición de firmes.....	25
4.3.3.	Rellenos localizados.....	25
4.3.4.	Hormigones.....	25
4.3.5.	Mexcla bituminosa.....	25
4.4.	Climatología e hidrogeología.....	25
4.5.	Sismicidad.....	25
4.6.	Drenaje.....	26
4.6.1.	Drenaje transversal.....	27
4.6.2.	Hidrogeología. Síntesis del problema.....	27
4.6.3.	Drenaje longitudinal.....	30

4.7. Trazado.....	30
4.8. Movimiento de tierras.....	30
4.8.1. Excavaciones.....	31
4.8.2. Terraplenes y rellenos.....	31
4.8.3. Capas en plataforma ferroviarias.....	32
4.9. Túneles.....	33
4.10. Auscultación.....	33
4.10.1. Medidas de subsidencias y movimientos.....	34
4.10.2. Escala graduada.....	34
4.10.3. Platos de inserción .....	34
4.10.4. Inclínómetro.....	35
5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	36
5.1. Fases constructivas. Ejecución túnel de línea. Método “cut and cover”.....	36
5.2. Proceso constructivo.....	37
5.2.1. Pantallas. Fases.....	37
5.2.1.1. Montaje e instalación de la maquinaria de excavación.....	37
5.2.1.2. Construcción murete-guía.....	38
5.2.1.3. Excavación de pantallas.....	39
5.2.1.4. Colocación de armaduras.....	40
5.2.1.5. Colocación de los encofrados de las juntas laterales.....	41
5.2.1.6. Hormigonado.....	41

5.2.1.7.	Extracción de los tubos para las juntas entre paneles.....	42
5.2.2.	Especificaciones.....	42
5.3	Condiciones del proceso de ejecución .....	44
5.4	Perforación de paneles.....	45
5.3.	Viga de atado de paneles.....	46
5.4.	Control de hormigón.....	47
5.5.	Lodos bentoníticos.....	48
5.6.	Tratamiento del terreno de jet-grouting.....	49
5.6.1.	Definición y condiciones generales.....	49
5.6.1.1.	Definición .....	49
5.6.1.2.	Condiciones generales.....	49
5.6.1.3.	Condiciones del proceso de ejecución.....	50
5.7.	Construcción dintel.....	51
5.8.	Excavación de tierras entre pantallas.....	52
5.9.	Construcción de contrabóvedas.....	52
5.10.	Impermeabilización de las losas.....	53
5.10.1.	Impermeabilización.....	53
5.10.2.	Geotextil con separador anticontaminante.....	54



5.10.2.1.	Definición .....	54
5.10.2.2.	Condiciones generales.....	54
5.10.2.3.	Condiciones del proceso de ejecución.....	54
5.11.	Salidas de emergencia y obras complementarias.....	56
5.11.1.	Cerramiento metálico.....	56
5.11.1.1.	Definición.....	57
5.11.1.2.	Condiciones generales.....	57
5.11.1.3.	Condiciones del proceso de ejecución.....	57
5.11.2.	Cerramiento mixto.....	57
5.11.2.1.	Definición.....	57
5.11.2.2.	Condiciones generales.....	57
5.11.2.3.	Condiciones del proceso de ejecución.....	58
5.11.3.	Salidas de emergencia.....	58

## DOCUMENTO N°2: ESTUDIO ECONÓMICO

PRESUPUESTO.....	61
------------------	----

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1. Trazado Corredor de la Costa del Sol .....	4
Figura 3.1 Sección tipo.....	18
Figura 4.1 Materiales de la traza.....	20
Figura 5.1 Pantalladora de cuchara.....	40
Figura 5.2 Excavación de batache.....	41
Figura 5.3 Colocación de armadura.....	42
Figura 5.4 Hormigonado .....	43
Figura 5.5 Planta tratamiento de lodos.....	51
Figura 5.6 Impermeabilización del dintel.....	56

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 4.9 Servicios afectados por las obras.....	59
--	----

## **Resumen**

El proyecto describe el diseño de un túnel ferroviario en la zona sur de España, entre las localidades de Fuengirola y Marbella en la provincia de Málaga. La ejecución de las obras incluidas en este proyecto permitirá conectar mediante una nueva línea ferroviaria dicha Estación con la población de Marbella y en un futuro con más poblaciones del Corredor Ferroviario de la Costa del Sol que en este momento no cuenta con ninguna conexión ferroviaria. En la geometría se concreta la sección del túnel que se va a ejecutar. Se utiliza como referencia el estudio geológico y geotécnico con el fin de caracterizar los materiales que se van a encontrar en la excavación del túnel. Una vez concluida esta fase se determinan los sostenimientos de acuerdo con las clasificaciones geomecánicas. Realizando el tramo elegido por el Método “Cut and Cover”, y siendo objeto de este proyecto todo el proceso constructivo del mismo así como otras obras complementarias que se tendrán que llevar a cabo debido al paso de dicho túnel por zonas transitadas o habitadas actualmente.

## **Abstract**

Project describes the design of a high speed railway tunnel in the sur of Spain, between the villages of Fuengirola and Marbella (Málaga). The execution of the constructions included in this project will allow the conection, by a neww railway line, this station with Marbella and, in the future, with more village of the “Corredor Ferroviario of Costa del Sol”, wicth al presente hasn´t gotany rail connection. It be can observed in the section of the tunnel that is going to be performed. Geological and geotechnical studies are taken into account in order to classify the rock mass materials involved in the construction process. Afterwards, supports are defined according to geomechanical classifications, specifying four different sections. Making the stretch chosen by “Cut and Cover” method and being the main goal of this proyect all the constructive process of this, as well as other complementary works that will be executed of the crossing of this tunnel by accessible or inhabited areas currently.

# **CAPÍTULO 1 OBJETIVO Y ALCANCE**

El objeto del presente Proyecto de construcción es la definición de la infraestructura ferroviaria que conectará la Estación de Fuengirola con la población de Marbella. La ejecución de las obras incluidas en este proyecto permitirá conectar mediante una nueva línea ferroviaria dicha Estación con la población de Marbella y en un futuro con más poblaciones del Corredor Ferroviario de la Costa del Sol que en este momento no cuenta con ninguna conexión ferroviaria.

No forma parte de este proyecto la definición de la superestructura (vía, electrificación, instalaciones de seguridad y comunicaciones, señalización) ni las diferentes instalaciones asociadas al túnel ni a las estaciones (iluminación, instalaciones antiincendio, etc.).

El Corredor Ferroviario de la Costa del Sol se dividirá en tres proyectos diferentes, siendo la primera parte competencia de la Junta de Andalucía, comprendida entre la Estación de Fuengirola y los Monteros (Marbella) que es la que nos ocupa, la segunda parte, comprendida entre los Monteros (Marbella) y San Pedro de Alcántara y la tercera, comprendida entre San Pedro de Alcántara y Estepona.

El tramo objeto de estudio transcurrirá soterrado, siendo el método de construcción de dicho túnel diferente dependiendo del tramo, una parte del túnel se construirán por el método “tuneladora” y otra parte que se construirán por el método “cut and cover”.

El alcance de este Proyecto es la parte de túnel el tramo Fuengirola-Las Lagunas construida por el método “cut and cover”, como otras obras complementarias que se tendrán que llevar a cabo debido al paso de dicho túnel por zonas transitadas o habitadas actualmente.

## **CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES**

### **2.1 ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS**

En mayo de 2004 se llegó a un acuerdo entre la Junta de Andalucía y el Ministerio de Fomento, la Junta asumía el desarrollo del proyecto y ejecución del tramo Estepona-Fuengirola, mientras que el Ministerio de Fomento se hacía cargo de la adecuación de la línea de cercanías entre Fuengirola y Málaga para prestación de servicios de alta velocidad.

Durante este periodo, la Junta de Andalucía licitó, adjudicó y aprobó los proyectos entre San Pedro de Alcántara-Los Monteros y Los Monteros-Fuengirola, mientras que el tramo entre Estepona y San Pedro de Alcántara se encontraba en fase de redacción de proyecto. El tramo responsabilidad de la Junta de Andalucía (Estepona-Fuengirola) tenía una longitud total de 56,6 kilómetros, con un trazado que en su mayoría discurría de forma subterránea, dado el intenso desarrollo urbanístico del zona.

Por su parte, el Ministerio de Fomento había logrado duplicar dos tercios de la línea de ferrocarril existente entre Fuengirola y Málaga, de 30,4 kilómetros de longitud total.

La Junta de Andalucía adjudicó Octubre 2007 el contrato de consultoría y asistencia técnica para la redacción del proyecto constructivo de este trazado San Pedro Alcantara-Estepona por cinco millones de euros. Una UTE formada por Euroestudios, Paymacotas, Proser y Typsa se encargará de la elaboración de este documento, que estará terminado en un plazo de dos años. El Gobierno andaluz asumirá la responsabilidad del desarrollo de esta franja del corredor, que medirá casi 18 kilómetros. Su trazado discurrirá casi en su totalidad de forma subterránea, salvo en unos 500 metros localizados en las inmediaciones del río Guadalmanza.

El 20 de febrero de 2008, la Consejería de Obras Públicas y Transportes, a través de la empresa pública Ferrocarriles de la Junta de Andalucía, sacó a licitación las primeras obras del Corredor Ferroviario de la Costa del Sol, una infraestructura ferroviaria de altas prestaciones que daría servicio al conjunto los municipios del litoral occidental de la

provincia de Málaga. En concreto, las obras licitadas correspondían al tramo Las Lagunas-Calas de Mijas, y consisten en la ejecución de un doble túnel de unos 4 kilómetros de longitud.

En marzo 2009 adjudicación por un importe de 164,7 millones de euros del tramo del Corredor Ferroviario de la Costa del Sol que discurre entre las localidades malagueñas de Las Lagunas y Cala de Mijas. El trazado, de 4 kilómetros de longitud, se divide en dos túneles, que serán construidos por sendas UTE (Uniones Temporales de Empresas).

El primer lote de la adjudicación, correspondiente al túnel izquierdo, se encargará a la UTE formada por Detea, Obras Subterráneas, Rafael Morales y Vías, y tiene un presupuesto de 81,7 millones de euros. Además de la ejecución del túnel y el montaje de la vía, en este lote se incluye la conexión entre ambos tubos, el pozo de ventilación y la acometida eléctrica para las tuneladoras.

En cuanto al túnel derecho, será construido por la UTE formada por Azvi y Ferrovial, que también deberá realizar las obras de la estación subterránea de Cala de Mijas. Este lote se ha adjudicado por 81,9 millones de euros.

En principio, el corredor ferroviario se incluyó en el Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte de Andalucía (PISTA), que comenzó en 2007 y finaliza en 2013, pero Ferrocarriles Andaluces indica que no se puede dar una fecha porque todo depende de la financiación.

El corredor ferroviario de la Costa del Sol occidental, uno de los proyectos estrella de la Junta de Andalucía, sigue estancado y sin horizonte claro después de que se licitasen los primeros 4 kilómetros del recorrido, entre Las Lagunas y La Cala de Mijas (221 millones), y casi ocho años después de que fuese puesto sobre la mesa por vez primera por el presidente autonómico en esa época, Manuel Chaves. Fuentes cercanas al proyecto relacionaron la demora con los problemas económicos que lastran la gestión del Gobierno regional, lo que le lleva a afrontar con "prudencia" una infraestructura que requerirá unos 4500 millones de euros.

## 2.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS



**Fig.2.1. Corredor de la Costa del Sol**

Los antecedentes técnicos directos del presente Proyecto son los siguientes:

Según lo acordado el Ministerio de Fomento tiene terminado el soterramiento y la duplicación de las vías entre el centro de Málaga y el aeropuerto, así como la remodelación de las estaciones de San Andrés, Guadalhorce y Aeropuerto.

### 2.2.1. Soterramiento Línea alta velocidad y Cercanías Málaga

La estación María Zambrano:

El servicio de Cercanías se realiza desde los andenes subterráneos 10 y 11, cuyo acceso se encuentra dentro del vestíbulo de la estación principal. Antes de 2007, esta estación subterránea sólo daba servicio a la línea C-1 y recibía el nombre de estación de Málaga-Renfe. A finales de 2009 fue reinaugurada tras unas obras de ampliación y mejora de los servicios. En la actualidad da servicio a la Línea C-1, la referida a este proyecto Málaga-

Fuengirola, con una frecuencia de 20 min y a la Línea C-2 , línea Málaga-Alora, cada 1:30-2:00 h.

### **2.2.2. Incremento del tunel de Cercanías desde Maria-Zambrano hasta Málaga-Alameda, Calle Cuarteles.**

Los trabajos han consistido en la ampliación del túnel existente, de vía única, a un túnel de mayor sección que ha permitido la implantación de vía doble de ancho convencional. Este nuevo túnel da continuidad al túnel de doble vía de ancho convencional construido dentro de las obras de integración del ferrocarril en Málaga, en el que se encuentra ubicada la nueva estación Victoria Kent.

Este proyecto es independiente en su totalidad, no sólo responde a la ejecución de una nueva estructura de sostenimiento del tunel, que duplica su sección sino también la infraestructura, superestructura y armamento de la vía, instalaciones para la señalización y las comunicaciones de la misma, electrificación e implantación de las intalaciones ferroviarias precisas,....que tanto atañen al tunel de línea como a la propia Estación de Cercanías,de andenes de longitud de 160 m en lugar de 100 m, así como la reposición de la zona afectada en superficie, se aprovechará para su posterior reacondicionamiento e integración en el planteamiento vigente.

A mediados de febrero 2009 concluyeron las obras del túnel de integración ferroviaria de Málaga en ancho convencional, con la incorporación de la doble vía en todo su recorrido de 1932 m. Con anterioridad, el 13 de junio del año anterior, este túnel había entrado en servicio en vía única junto con la nueva estación subterránea Victoria Kent.

Con la finalización de las obras de la estación de Málaga Centro-Alameda entró en servicio, en toda su longitud, el túnel ferroviario urbano de Málaga y concluyendo una serie de trabajos que inciden en la mejora de accesibilidad y permiten también dotar a las infraestructuras de una mayor capacidad, que redundarán en el aumento de las circulaciones ferroviarias en ancho convencional y en especial de los servicios de cercanías de las líneas C1 y C2.

Obra complementaria a la del túnel urbano de cercanías es la rehabilitación de la Estación.



La obra de rehabilitación de la estación de Málaga Centro-Alameda es una actuación que completa la desarrollada para el incremento de la sección del túnel urbano de cercanías, incluida la nueva estación subterránea María Zambrano, en servicio desde el pasado 19 de diciembre.

De manera global, las obras desarrolladas han incluido las siguientes actuaciones:

- El incremento de sección en el túnel en una longitud aproximada de 1060 m.
- La duplicación de las vías en el interior del túnel en una longitud de 700 m, denominadas como vías 10 y 11.
- La remodelación de los andenes y equipamientos de la zona subterránea de Málaga María Zambrano y la ampliación a 160 m de longitud de los andenes.

El túnel ferroviario urbano de Málaga, que discurre entre las estaciones de Málaga Centro-Alameda y Málaga María Zambrano tiene una longitud total de 1076 m. El incremento de su sección se ha realizado en una longitud de 700 m que se extiende otros 360 m en superficie en la rampa de entrada lado Fuengirola.

De manera complementaria, y en 1060 m de longitud lineal, se ha instalado doble vía electrificada en ancho convencional. Esta doble vía se extiende desde los andenes subterráneos de Málaga María Zambrano (lado Málaga Centro-Alameda) hasta la rampa exterior de acceso (lado Fuengirola).

Esta duplicación de vías, que pasan a denominarse vías 10 y 11, permite una mayor capacidad de gestión del tráfico ferroviario. Ambas vías se integran en el haz general de vías de la estación Málaga María Zambrano.

### **2.2.3.Duplicación de las vías Málaga-Aeropuerto.**

Originalmente la línea férrea en torno al aeropuerto era una vía única en superficie que cruzaba el río Guadalhorce a través de un puente. Disponía de dos apeaderos que se componían tan sólo de andenes, Aeropuerto (que disponía de dos vías para que se cruzaran los trenes que viajaban en distinto sentido) y Terminal de Carga.

El diseño de la segunda pista del aeropuerto de Málaga, Costa del Sol, en paralelo al Guadalhorce, dejaba a la línea férrea en mitad de la nueva plataforma del aeropuerto, por lo que la línea tuvo que ser soterrada. El soterramiento se realizó con tuneladora y tiene una longitud de 4 kilómetros de vía doble, aunque en sus primeras semanas de vida fue explotada en vía única, mientras terminaban los trabajos de conexión de la segunda vía. El nuevo recorrido fue inaugurado en septiembre de 2010 sustituyendo la estación de Aeropuerto a los dos apeaderos anteriores.

#### **2.2.4. Remodelación de las estaciones de San Andrés, Guadalhorce y Aeropuerto.**

San Andrés era un apeadero de ferrocarril de la línea Málaga-Fuengirola, P.K. 4+200, con parada de trenes de la línea C-1 de Cercanías Málaga. Este apeadero se encontraba en la barriada de San Andrés.

Tras las obras de soterramiento de las líneas de ferrocarril en Málaga, el apeadero dejó de prestar servicio siendo sustituido por la estación subterránea Victoria Kent para aprovechar el espacio en superficie para la construcción de un bulvar.

**Guadalhorce** es una estación ferroviaria situada en el Polígono Industrial Guadalhorce, dentro del distrito de Churriana de la ciudad española de Málaga, comunidad autónoma de Andalucía. Forma parte de la línea C-1 de Cercanías Málaga.

Esta estación se encuentra dentro de lo que originalmente era un apeadero que tan sólo se componía de un andén. Tras el soterramiento de parte de la línea debido a la construcción de la segunda pista del aeropuerto de Málaga se construyó la actual estación subterránea, que fue inaugurada en septiembre de 2010.

**Aeropuerto** eran dos apeaderos, como se explica anteriormente, el diseño de la segunda pista del aeropuerto de Málaga, Costa del Sol, dejaba a la línea férrea en mitad de la nueva plataforma del aeropuerto, por lo que la línea tuvo que ser soterrada y se construyó nueva la estación del Aeropuerto, con doble vía.

La estación se utiliza en la actualidad exclusivamente para los Cercanías Málaga, aunque puede recibir cualquier tipo de tren de ancho de vía 1668 mm. Está previsto que en ella paren los trenes de alta velocidad del futuro corredor de la Costa del Sol.

## **2.3 SITUACIÓN PREVIA A LAS OBRAS**

### **2.3.1 El territorio.**

La línea de Cercanías en este instante termina en la estación de Fuengirola, con lo que la situación actual de la zona es urbano. Se aprovechará para la ejecución de la línea nueva la ya existente Avda. Juan Gómez Juanito hacia el río de Fuengirola y este nuevo túnel da continuidad al túnel de doble vía de ancho convencional construido. Después se seguirá por la Avd. Camilo José Cela hasta llegar al río, que ya pertenecerá a otro tramo.

### **2.3.2 La red ferroviaria actual.**

La línea férrea actual del Cercanías en la provincia de Málaga, como hemos estado explicando anteriormente, comprende desde la estación Málaga-Alameda hasta la estación de Fuengirola, donde acaba soterrada la misma en la estación. Ya no hay más tramo realizada de la misma.

El objeto de este proyecto es la conbtinuación de la misma en sentido Marbella.

# **CAPITULO 3 OBJETO DEL PROYECTO Y SOLUCIÓN ADOPTADA**

## **3.1 OBJETO DEL PROYECTO**

De todo lo anteriormente comentado se puede extraer como conclusión final que considerando todos los aspectos anteriormente mencionados parece que la alternativa más viable es la ejecución de una pantalla continua de hormigón armado. Dichas pantallas irán acompañadas de la ejecución de inyecciones armadas con el objeto de controlar posibles procesos de asentamientos diferenciales sobre la estructura. Además, las cimentaciones superficiales de los dos tableros laterales irán reforzadas con micropilotes para mayor seguridad, tanto del propio túnel como de la estructura existente.

En el presente documento se han revisado los condicionantes para el paso del túnel ferroviario bajo la avenida. Asimismo se ha descrito la obra a ejecutar mediante un túnel bicelular, y el proceso constructivo para la ejecución del mismo. La solución adoptada afecta a la avenida existente, por lo que afectará considerablemente al importante tráfico viario de la misma, obligando a la necesidad de desvíos provisionales.

Asimismo se establecen las situaciones ferroviarias provisionales para poder ejecutar las obras manteniendo al menos una vía en servicio para atender al tráfico ferroviario hasta la estación de Fuengirola.

### **Proceso constructivo sección tipo**

En el presente documento se pretende realizar un análisis cualitativo del proceso constructivo de las pantallas previstas en la ejecución del proyecto de integración del ferrocarril en Málaga.

Se han planteado dos alternativas, en función del criterio elegido para la ubicación del dintel del túnel, intentándose mantener en ambas opciones la esencia del proceso constructivo denominado cut&cover o “Método del Metro de Milán”, es decir, realizar una excavación a cielo abierto arriostrada por las pantallas laterales hasta el nivel del dintel superior y ejecutar el resto de la excavación bajo dicho elemento estructural, con el objeto de limitar las deformaciones en cabeza de las pantallas y no interferir en los procesos que

se estuvieran desarrollando a nivel superficial, además de afectar lo menos posible al tráfico ferroviario durante las obras.

## **3.2 SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SELECCION JUSTIFICADA.**

En la **primera alternativa** el criterio es mantener un recubrimiento mínimo (y en la medida de lo posible fijo), entre el dintel y el terreno natural con objeto de que la excavación a realizar para la ejecución del dintel sea mínima. Dicho recubrimiento mínimo está condicionado por la necesidad de garantizar un espacio mínimo para el paso de los diferentes servicios afectados y por otro lado para facilitar el reparto de las posibles cargas de tráfico sobre el dintel de la pantalla. El recubrimiento mínimo va a estar también condicionado por el proceso constructivo, según se comenta en los párrafos siguientes. En esta alternativa la distancia entre el paramento inferior del dintel y la vía, que está relacionada con el gálibo vertical del túnel, será variable en función del trazado de la vía y de la cota del terreno natural.

La **segunda alternativa** consiste en fijar como parámetro de diseño la distancia entre la parte inferior del dintel y la cota de cabeza de carril, de manera que se satisfaga la condición del gálibo ferroviario vertical, manteniendo constante los elementos de fijación de la catenaria. El espesor de tierras sobre el dintel en esta alternativa será variable a lo largo del trazado de la vía, existiendo en el presente proyecto un recubrimiento medio de unos 2,50 m, llegándose en algunas secciones a valores de unos 3,50 m.

El presente análisis se va a realizar desde el punto de vista estructural y desde el punto de vista ferroviario.

### **3.2.1. Análisis estructural**

#### **3.2.1.1. Condicionantes del proceso constructivo**

El proceso constructivo de ambas alternativas va a estar condicionado por la distancia de excavación mínima entre la parte inferior del dintel y el fondo de la excavación (parte

inferior de la solera). Dicha distancia se ha fijado para el proyecto en estudio en aproximadamente unos 10 m. Para esta sección tipo, dadas las características del terreno existente y los criterios habituales de diseño de este elemento estructural parece razonable la colocación de un puntal provisional o definitivo que haga posible la excavación. Las limitaciones geométricas que la maquinaria de excavación introducen en el proceso constructivo hacen que dicho puntal haya de estar situado a más 5,00 m de la parte inferior del dintel (lo que permite el trabajo de una pala giratoria con unos rendimientos adecuados) y a unos 3,00 m de la parte inferior de la solera (lo que permite una adecuada circulación de los caminos). Según este esquema la excavación del recinto interior se realizaría en dos fases. Una primera fase mediante un ataque directo de una pala giratoria contra el terreno y un vaciado por medio de camiones al terreno correspondiente a los 5,00 m de tierra bajo el dintel, y una segunda fase, en la que la pala giratoria colocándose encima de cada estampidor realizaría una excavación piramidal del nivel inferior.

Según el criterio anterior el proceso constructivo de cada una de las alternativas es el siguiente:

#### **•Alternativa 1**

- Se realiza un saneo previo, se prepara una plataforma de trabajo, se ejecutan los muretes guía y por último se ejecutan las pantallas.
- Se realiza una excavación del recubrimiento mínimo considerado (aproximadamente un metro) más el canto del dintel (unos 0,85 m según el proyecto de trazado) dentro del recinto de pantallas.
- Se ejecuta el dintel (ferrallado, hormigonado, ...).
- Se eliminan las pantallas superiores y se procede a realizar el relleno del terreno por encima del dintel. En estos momentos se pueden reiniciar las actividades por encima de la excavación.
  
- Se realiza la excavación bajo el dintel hasta la altura del puntal provisional.
- Se ejecuta el puntal provisional.
- Se realiza la excavación hasta el fondo de la solera.
- Se ejecuta la solera.

## •Alternativa 2

- Se realiza un saneo previo, se prepara una plataforma de trabajo, se ejecutan los muretes guía y por último se ejecutan las pantallas.

-Se realiza una excavación de medio metro dentro del recinto de pantallas. Excavación correspondiente al canto del puntal provisional a utilizar. Dicho puntal va a estar muy poco solicitado por encontrarse muy próximo a la superficie del terreno, y ser los empujes del terreno directamente proporcionales a la profundidad.

- Se realiza la excavación bajo este puntal hasta la cota inferior del dintel.

- Se realiza la ejecución del dintel (ferrallado, hormigonado,...).

-Se quita el puntal provisional de cabeza y se realiza de forma simultanea el relleno y la compactación del terreno sobre el dintel. Se elimina el metro superior de las pantallas ejecutadas. En estos momentos se pueden reiniciar las actividades por encima de la excavación.

-Se realiza la excavación bajo el dintel hasta la altura del puntal provisional.

-Se coloca el puntal provisional.

-Se realiza la excavación hasta el fondo de la solera.

-Se ejecuta la solera.

### 3.2.1.2. Condicionantes geométricos y del terreno

Al efecto de la redacción del presente documento se hace notar que las características del terreno no constituyen un elemento diferenciador en sí mismo, ya que será el mismo para las dos alternativas. Como parámetro destacable va a ser la presencia de sulfatos lo que va a condicionar que el dimensionamiento de la armadura de todos los elementos estructurales este dominada por el cumplimiento del ELS de fisuración en la cara que esta en contacto con el terreno.

A lo largo de la traza de la vía se detectan una gran cantidad de edificios (más de 50) de altura variable (comprendida entre 2 y 10 plantas), de uso también variable (industrial, ocio y residencial) que se encuentran a menos de 15 m de las pantallas y que por lo tanto se verán afectados por la construcción de las mismas. La cimentación de todos los edificios es superficial (independientemente el número de plantas) y el grado de

conservación de los edificios es en términos generales bueno.

### **3.2.1.3. Afección y criterios de cálculo**

Las diferencias en el proceso constructivo de cada una de las alternativas van a tener una afección sobre los parámetros que a continuación se recogen. El objeto del presente análisis es realizar una cuantificación del efecto tanto relativo como absoluto que cada una de las variantes presentadas suponen sobre el proyecto total con objeto de optimizar el proceso constructivo a ejecutar. Los parámetros afectados son:

Dimensiones y armado del dintel. Coste relativo. Dimensiones y armado de las pantallas. Coste relativo. Afección a los edificios colindantes. Asientos. Plazos de ejecución.

Para el mismo tipo de cargas exteriores (edificios colindantes, características del terreno, nivel freático, cargas de tráfico), la principal variable que se va a ver afectada por el proceso constructivo es el espesor de la pantalla.

### **3.2.1.4. Análisis de las alternativas**

La comparación entre ambas alternativas se va a realizar desde un punto de vista cualitativo, tomándose como línea de desarrollo el proceso constructivo de las mismas.

1) En la alternativa 1 según el proceso constructivo descrito resultan secciones (suponiendo un recubrimiento sobre el dintel de 1 m) con un gálibo vertical entre la parte inferior del dintel y la cota inferior de la solera (los determinantes desde el punto de vista constructivo) entre 11,5 y 12,5 m. Para la alternativa 2 el gálibo resultante para esta misma sección es de 10 m (parámetro que se ha fijado en la correspondiente alternativa).

La diferencia de este parámetro entre las dos alternativas tiene los siguientes efectos significativos.

1.a) Dimensionamiento y armado del dintel. Coste relativo

La diferencia de alturas del pórtico equivalente que forman el dintel y las dos pantallas va a presentar una mayor flexibilidad en la alternativa 1 que en la 2, lo que unido a un nivel



de carga que se va a mantener más o menos constante (ya que para las variaciones de altura de tierra considerada, el aumento de dicha magnitud se va a compensar con la capacidad de reparto de las cargas puntuales ferroviarias que dicha capa de tierra lleva consigo) se presenta como un aumento de los momentos flectores positivos y una disminución de los negativos. Dadas las condiciones del terreno (agresivo por presencia de sulfatos) la alternativa 1 resulta más favorable ya que disminuye los esfuerzos en aquellas zonas donde las condiciones de fisuración son más severas (en medios agresivos y para estados normales de carga el estado límite de fisuración prevalece sobre el estado límite de rotura a flexión).

#### 1.b) Dimensionamiento y armado de la pantalla. Coste relativo

En primer lugar podría parecer que el aumento de luces de la alternativa 1 frente a la alternativa 2 podría suponer un aumento de los armados de carácter importante, pero con un análisis un poco más profundo del comportamiento de esta sección, se observa que no.

La cota inferior de excavación es la misma en las dos alternativas, y como se conoce, los empujes de terreno en estado límite son proporcionales a la profundidad, es decir, la resultante de tensiones del terreno sobre la pantalla tiene una forma parecida a un triángulo, concentrado la base del mismo junto a la cota de excavación. Esta distribución de esfuerzos y la escasa diferencia de luz de los vanos conduce a que los esfuerzos en la pantalla no supongan diferencias de más del 10 %.

Este aspecto contrasta con el momento de empotramiento entre el dintel y la pantalla que va a ser mayor en la alternativa 2 debido a su mayor rigidez como consecuencia de los estados de carga considerados sobre el mismo. Véanse las consideraciones del punto 1.a) de este apartado que son extrapolables.

#### 1.c) Edificios colindantes. Asientos.

Según el criterio de estimación de asientos, el asiento que se produce en el terreno horizontal colindante a una pantalla es proporcional a la distancia entre puntos de arriostamiento vertical. En este caso, y dada la igualdad del resto de variables parece que la alternativa 1 está en desventaja sobre la alternativa 2. Por otra parte dicha diferencia es

muy reducida en términos relativos dada la diferencia de magnitudes consideradas (10 a 12,5 m aproximadamente) y que la cota final de excavación es la misma (recuérdese por otro lado que antiguos criterios establecían de manera simplificada la superficie de afección detrás de una pantalla como la resultante a la intersección con el terreno natural de una recta trazada desde la cota del fondo de excavación con un ángulo de inclinación de 45°).

#### 1.d) Plazos de ejecución.

Aunque los volúmenes de excavación debajo de dintel son mayores en la alternativa 1 que en la 2, estos no supone un aumento considerable del plazo, ya que los espacios para el trabajo de la maquinaria son suficientes y el mayor volumen de material no supone un aumento del plazo considerable (realmente sí supone un mayor plazo, pero el mismo queda compensado como veremos posteriormente por la dificultad que presenta la alternativa 2 de excavar bajo un puntal provisional).

La posición de los puntales no penaliza a una alternativa sobre la otra desde el punto de vista del plazo de ejecución ya que ambas cumplen las limitaciones establecidas anteriormente.

2) En la alternativa 1 la altura de tierras sobre el dintel va a ser de 1 m mientras que en la alternativa 2 puede variar entre 2,5 y 3,5 m.

La diferencia de este parámetro entre las dos alternativas tiene los siguientes efectos significativos.

2.a) Dimensionamiento y armado del dintel. Coste relativo Véase apartado 1.a).

2.b) Dimensionamiento y armado de la pantalla. Coste relativo Véase apartado 1.b).

2.c) Edificios colindantes. Asientos

No se considera que la mayor o menor altura de tierra sobre el dintel vaya a tener efectos sobre los asientos de los edificios por sí misma.

#### 2.d) Plazos de ejecución.

En condiciones normales la excavación a cielo abierto es más favorable que la realizada

bajo el dintel, pero la presencia del puntal provisional de la alternativa 2 dificulta la ejecución de la misma. Resultando la alternativa 1 más favorable.

3) En la alternativa 2 se necesita colocar un puntal provisional más. Dicho puntal provisional se sitúa en cabeza.

La diferencia de este parámetro entre las dos alternativas tiene los siguientes efectos significativos.

3.a) Dimensionamiento y armado del dintel. Coste relativo

No se considera que este parámetro afecte la dimensión y coste del dintel de manera directa.

3.b) Dimensionamiento y armado de la pantalla. Coste relativo

No se considera que este parámetro afecte la dimensión y coste de la pantalla de manera directa.

3.c) Edificios colindantes. Asientos

No se considera que este parámetro afecte de manera diferencial al asiento de los edificios colindantes ya que el mismo se coloca para controlar dicha acción.

3.d) Plazos de ejecución.

La utilización de un puntal provisional en cabeza de pantalla (alternativa 2) va a suponer un sobrecosto económico, tanto desde el punto de vista material (un elemento que no aparece en la alternativa 1), como de mano de obra (se aumenta el número de fases de excavación y el precio de excavación bajo puntal es más caro que bajo dintel dada la configuración geométrica del proyecto).

4) En la alternativa 2 puede quedar una altura en voladizo del primer tramo de pantalla tras la construcción del dintel de cerca de 3,5 m frente a 1 m de la alternativa 1.

La diferencia de este parámetro entre las dos alternativas tiene los siguientes efectos significativos.

4.a) Dimensionamiento y armado del dintel. Coste relativo

No se considera que este parámetro afecte la dimensión y coste del dintel de manera directa.

4.b) Dimensionamiento y armado de la pantalla. Coste relativo Véase el apartado 4.c).

4.c) Edificios colindantes. Asientos

Una vez ejecutado el dintel en la alternativa 2, se procederá a realizar la eliminación del puntal provisional colocado en cabeza, ya que el mismo impediría la compactación adecuada del relleno a colocar encima del mismo (se han dado numerosos casos en los que siguiendo este proceso constructivo de túnel entre pantallas, y no quitando el puntal provisional en cabeza, los asientos del terreno de relleno causados por una mala compactación han sido muy importantes, con los consiguientes efectos recreativos sobre el futuro vial). La eliminación del mismo supone, sobre todo para las secciones de 3,50 m de altura, la presencia de un voladizo que puede poner en peligro la estabilidad del terreno colindante. Dicha situación puede llevar a dos opciones para controlar el problema.

Por un lado a un sobredimensionamiento del espesor de las pantallas con objeto de limitar el desplazamiento en cabeza (recuérdese que la flecha es inversamente proporcional a la inercia), ya que el asiento de los edificios es proporcional al mismo; y por el otro al empleo de inyecciones de compensación. Ambas opciones suponen un sobrecoste de la alternativa 2 sobre la 1.

4.d) Plazos de ejecución. No se considera que este parámetro afecte a los plazos de ejecución entre una y otra alternativas.

### **3.2.1.5. Conclusiones Desde el punto de vista estructural se presentan las siguientes conclusiones:**

a) Dimensionamiento y armado del dintel. Coste relativo

Desde el punto de vista de afección del dintel no parece que una alternativa se imponga claramente sobre la otra. Dada la interacción entre la pantalla y el dintel, dada su vinculación de empotramiento de carácter hiperestático, y dada la escasa variación de las condiciones de rigidez y carga entre ambas opciones no se considera que de forma

conjunta se produzca una clara mejora de la una frente a la otra. La armadura que se pone por un lado se quita por el otro, quedando el conjunto compensado.

b) Dimensionamiento y armado de la pantalla. Coste relativo Véase lo que se ha comentado en el apartado anterior.

c) Edificios colindantes. Asientos

En relación con los asientos y su afección a los edificios colindantes parece razonable que la como quedo explicado en los apartados 1.c) y 4.c) la condición limitante va a ser la presencia del voladizo en cabeza perteneciente a la alternativa 2, teniendo la alternativa 2 peor comportamiento que la 1.

d) Plazos de ejecución.

En el plazo de ejecución si que parece que la primera alternativa se encuentra en clara ventaja sobre la segunda, ya que aunque el volumen de excavación bajo dintel es mayor en el primer caso, esta mayor producción queda compensada por el retraso que supone en aumentar el número de fases de ejecución de la alternativa 2, con la colocación de un puntal provisional más y la dificultad de excavar bajo el mismo, sobre todo cuando las condiciones geométricas son mas restrictivas (la distancia entre ese puntal provisional en cabeza y la parte inferior del dintel se estima en unos 3 m y entre la parte inferior del dintel y el puntal inferior es superior siempre a 5 m). Este plazo de ejecución lleva asociado también un mayor coste tanto de mano de obra como de materiales (un puntal provisional extra).

Tras un análisis de las ventajas e inconvenientes de ambas alternativas parece que lo más razonable sería adoptar el criterio constructivo de la alternativa 1, es decir, ejecutar el dintel en cabeza sin necesidad de tener que emplear un puntal provisional auxiliar para la excavación de dicho dintel.

Esta disposición por otra parte favorece una menor distribución de los esfuerzos del terreno sobre la pantalla, disminuye las distancias entre elementos apuntalados y con ellos los asientos detrás de la pantalla y compensa mejor la distribución de esfuerzos sobre la pantalla, los negativos en cabeza (mayor rigidez del pórtico equivalente y mayor altura de tierra) y menores positivos por una menor altura de vano (entre dintel, puntal provisional y solera) y la compensación que crea el negativo en cabeza.

Como efecto negativo se podría destacar un aumento posible de la armadura del dintel (aunque se ha considerado escaso, ya que el aumento de tierras queda compensado en parte por el efecto que las mismas originan sobre las cargas puntales ferroviarias) y local sobre la pantalla como consecuencia de las condiciones de durabilidad del terreno (fisuración en la parte exterior del dintel).

De todas formas se propone realizar un estudio de sensibilidad económico para, una vez fijado el proceso constructivo, alcanzar la sección que cumpliendo todas las limitaciones anteriores presente el menor coste por metro cuadrado.

### **3.2.2. Análisis ferroviario Desde el punto de vista ferroviario la alternativa 2 presenta ventajas sobre la alternativa 1, a saber:**

Al estar fijado el gálibo vertical entre la cabeza de carril y el dintel, los elementos de sustentación de la catenaria son iguales en todo el túnel, facilitándose el proceso constructivo y abaratándose los costes.

Por otro lado, el volumen de aire es constante también en toda la sección y menor que en la alternativa 1, disminuyéndose la necesidad de ventilación.

Desde el punto de vista cuantitativo, los sobrecostes que originan la necesidad de tener que incluir elementos auxiliares para fijar la catenaria en la alternativa 1, y los sobrecostes del incremento de los equipamientos, necesarios para la ventilación del mayor volumen de aire de la primera alternativa, estarán comprendidos con la disminución de costes de obra civil de la infraestructura.

Una vez establecidas todas las conclusiones anteriormente enumeradas se establece que desde un punto de vista estructura no hay muchas diferencias entre una u otra alternativa por lo que el elemento clave para la elección del sistema de construcción definitivo va a ser las condiciones ferroviarias. En tal sentido parece que la alternativa 2 es la más adecuada.

Se establece por lo tanto como criterio de diseño mantener fija a la altura entre la parte inferior del dintel y la cara superior del carril, y el proceso constructivo asociado al

mismo.

### 3.3 DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

La **segunda alternativa**, recordamos, consistía en fijar como parámetro de diseño la distancia entre la parte inferior del dintel y la cota de cabeza de carril, de manera que se satisfaga la condición del gálibo ferroviario vertical, manteniendo constante los elementos de fijación de la catenaria. El espesor de tierras sobre el dintel en esta alternativa será variable a lo largo del trazado de la vía.

El túnel queda provisto de todo tipo de instalaciones tendentes no sólo a cumplir con los requerimientos de la circulación ferroviaria, sino en pos de conseguir un elemento seguro y con todos los medios preventivos al alcance, para favorecer la rápida y efectiva resolución de cualquier incidencia surgida en el interior del mismo.

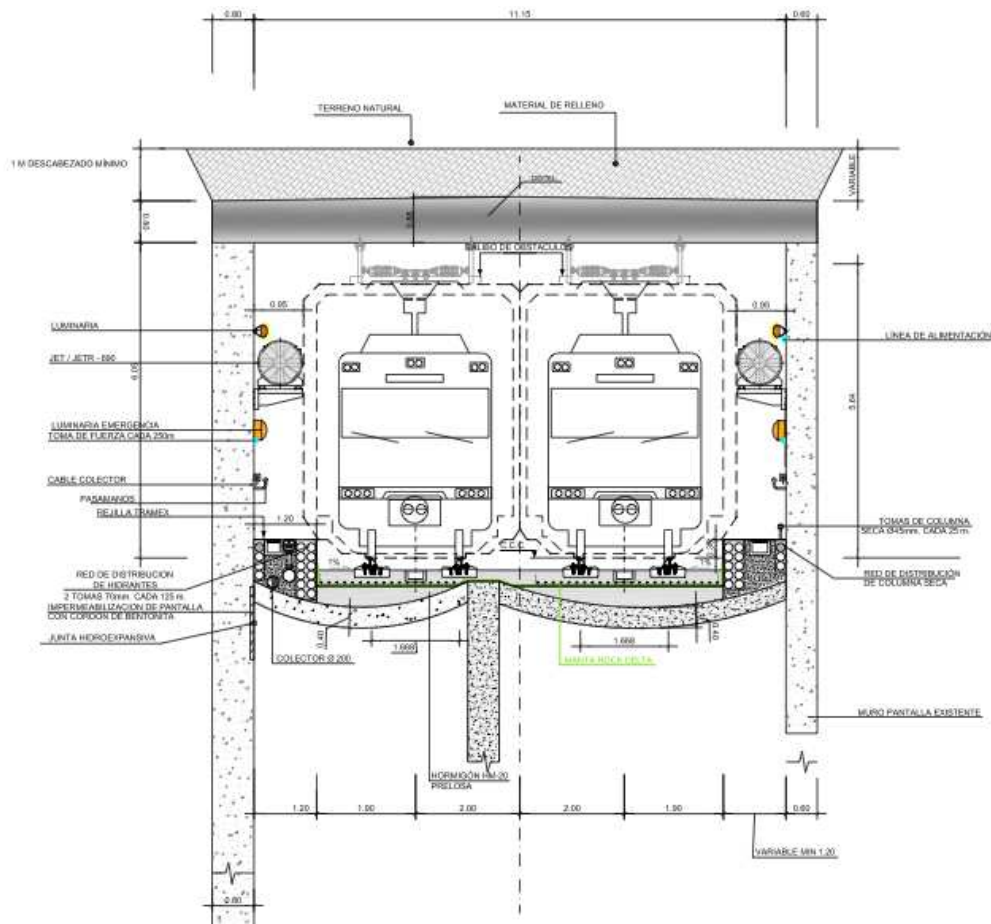


Figura 3.1 Sección tipo

### **3.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.**

El proyecto en sí contempla la ejecución de una estructura soterrada en túnel, capaz de canalizar el acceso en la estación de Fuengirola, para el tráfico ferroviario existente con vía de ancho Ibérico y en el futuro, con vía de ancho U.I.C., permitiendo la llegada a término de las circulaciones de Alta Velocidad.

Así queda dotado, tal y como se especifica en los apartados correspondientes que se adjuntan a éste en el presente documento, de:

- Red de protección contra incendios.
- Paseos dimensionados para evacuación de personas.
- Protección interior de los paramentos del túnel, contra el fuego.
- Elementos de ventilación forzada.
- Salidas de emergencia.
- Puertas de seguridad.
- Red de canalización de vertidos tóxicos.
- Red de detección de gases tóxicos.
- Iluminación general interior a dos niveles.
- Iluminación de emergencia.
- Pantallas acústicas externas y fonoabsorbentes en el interior en ubicaciones.

El proyecto se sitúa por tanto, en el propio Término Municipal de Fuengirola Centro, y más concretamente en su extrarradio, definido por el actual corredor ferroviario.

Dicha estructura enterrada, y sus instalaciones adicionales, pozos de ventilación, pozos de bombeo, salidas de emergencia, etc., quedarán totalmente integrados en el planeamiento urbanístico previsto para la franja de terreno prevista.

El túnel previsto, consta de una sección tipo bicelular para posibilitar el paso bajo el tramo del centro y su salida al exterior, con una boca al final del mismo ya que se contempla la construcción de un paso superior sobre el tramo del río y su correspondiente reposición final en superficie.



Con lo que el túnel queda diseñado con un cajón exclusivo para esta tipología de circulación, adaptando sus anchos a las condiciones externas e internas impuestas en el proceso de diseño.

La actuación prevista en la Estación Término, se ciñe a la demolición de los andenes actuales y el levante total de la playa de vías, con la construcción posterior de nuevos andenes y remodelación y redistribución de la playa de vías, que quedará dispuesta con dos andenes denominados de sur y norte.

Como prolongación de las actuaciones proyectadas para el acceso soterrado a la Estación Término se describen y valoran las actuaciones relativas a la duplicación del túnel de Cercanías actualmente en servicio, incluso el montaje de la vía que proporciona el servicio ferroviario correspondiente.

# **CAPITULO 4 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

## **4.1 DESCRIPCIÓN**

### **ESTUDIO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO**

#### **4.1.1. Justificación y análisis del proceso constructivo**

##### **PROBLEMÁTICA DEL ENTORNO**

Como prólogo a los condicionantes existentes en el entorno en que se ubican las obras concernientes, correspondiente al tramo Fuengirola-Cala de Mijas, es obligado mencionar la existencia en las proximidades del origen previsto para el trayecto, del río Fuengirola, cauce de considerables dimensiones, que experimenta crecidas puntuales en épocas lluviosas de una aunque suele estar más épocas seco, habiendo presentado en ocasiones desbordamientos estacionales, y que recientemente ha sido motivo de actuaciones para dirigir y proteger su cauce, mediante encauzamiento artificial y recrecido de márgenes para protección ante inundaciones.

La presencia de este cauce, y la nueva estructura sobre él realizada, condiciona sobremanera el inicio de la pendiente descendente del nuevo tendido ferroviario, que debe, a continuación, salvar otros obstáculos dispuestos en su transcurso, y que, igualmente condicionarán la misma.

## **4.2 GEOLOGÍA**

### **4.2.1. Regional**

A nivel regional la zona de estudio se encuentra situado en el sector costero de la provincia de Málaga, coincidiendo con la población de su mismo nombre, a unos 40 km al Oeste de Málaga capital.

### **4.2.2. Geología.**

Se encuentra enclavado en el ámbito de las zonas internas de las Cordilleras Béticas, que se caracterizan por su compleja tectónica con varios mantos de corrimientos superpuestos.

En el Terciario predominan los sedimentos terrígenos con granulometrías finas. En su parte superior se ha identificado alguna gravilla y algún nódulo calcáreo. Asimismo, muy ocasionalmente se han encontrado algunos cristales de yeso diseminados en la matriz arcillosa.

En el Cuaternario predominan los sedimentos terrígenos con granulometrías generalmente gruesas, predominando la arena gruesa con gravas y gravillas, localmente cementadas, e intercalando algunos niveles de bloques decimétricos y otros con suelos más finos. En superficie, se identifican arcillas rojizas con gravillas y nódulos calcáreos.

#### **4.2.3.Estratigrafía.**

A continuación se presenta la descripción litológica de los materiales cartográficos en la zona ordenada de más antiguo a más reciente.

##### TERCIARIO

###### Arcillas de color gris verdoso.

En este nivel se han agrupado las arcillas de color gris verdoso, que en su parte más superficial pueden presentar algún bandeo de tonos amarillentos, ya que su contacto con las arcillas limosas no es nítido. Se trata de sedimentos finos asociados a cuencas marinas profundas.

##### PLIOCUATERNARIO

###### Arcillas finas limosas.

En esta unidad se han incluido las arenas fina y los limos arenosos de color marrón amarillento.

##### CUATERNARIO

###### Arenas y gravas.

Los materiales de esta unidad afloran en la zona del estudio, salvo en las zonas donde las actuaciones urbanísticas los han descubierto con rellenos antrópicos.

En esta unidad se han agrupado las arenas y las gravas de origen aluvial, del río de Fuengirola, y las areniscas y microconglomerados que se pueden encontrar intercalados en

las proximidades de la base de las arenas y gravas cuaternarias. Localmente, estas arenas y gravas pueden tener influencia marina.

#### Rellenos antrópicos.

Los rellenos antrópicos en la zona de estudio son frecuentes debido a que la actuación se encuentra en una zona urbana. Se reconocen rellenos compactados en los viales y otros suelos vinculados a movimientos de tierra en edificaciones.

#### **4.2.4. Hidrogeología.**

Los acuíferos de la zona se alojan en las formaciones postorogénicas descritas antes, Plioceno y el Cuaternario, entre las cuales existe una evidente relación hidrogeológica. El acuífero pliocénico ocupa una extensión de unos 7,5 Km<sup>2</sup>, con una potencia media situada en torno a los 100 m.

Sus características hidráulicas son de inferior calidad a las del acuífero Cuaternario, lo que condiciona una alimentación hacia este y ocasionalmente el confinamiento del Plioceno.

Su porosidad eficaz se estima comprendida entre el 1 % y el 5 %. Mediante bombeos de corta duración se han podido obtener el valor del coeficiente de almacenamiento.

### **4.3 ESTUDIO DE LOS MATERIALES**

El trazado del proyecto comprende mayoritariamente la construcción de un túnel entre pantallas.

Los materiales necesarios para la construcción de las obras del presente proyecto son las siguientes:

#### Para la plataforma ferroviaria

Material para balasto, subbalasto, como apoyo de la losa de hormigón de la vía en placa o el subbalasto a partir del inicio de la programación del andén.

#### Para rellenos localizados y sobre dintel del túnel

Rellenos sobre dintel del túnel.

Rellenos en zanjas de reposición de servicios afectados.

Para la fabricación de hormigones

Áridos y ligantes hidráulicos.

Para aglomerados.

Mezclas bituminosas.

Estos materiales podrían provenir en parte de la excavación, de la explanación, en parte de zonas de préstamo y en parte de canteras cercanas a la obra, todo ello en función de la calidad geotécnica y de las condiciones exigibles a cada tipo de material.

Respecto al aprovechamiento de los materiales procedentes de la excavación de la traza cabe citarse lo siguiente:

De las excavaciones de la obra principalmente de las arenas y gravas podrán obtenerse los materiales que pudieran resultar necesarios para eventuales rellenos.

A continuación se muestra un cuadro resumen de la propuesta de utilidad de materiales de la traza.

**Tabla 4.1 Materiales de la traza**

Unidad, Litología	Propuesta utilización
Unidad 1, Arcillas grises	Llevar al vertedero
Unidad 2, Arenas limosas	Llevar al vertedero, solo aparece en la excavación de pantallas.
Unidad 3, Arenas y gravas	Relleno sobre el dintel y rellenos localizados.
Unidad 4, Rellenos antrópicos	Llevar a vertedero

En general, el resto de materiales tales como el gravacemento, subalastos y balasto deberán de provenir de préstamos o canteras que acumulan con las especificaciones requeridas para estos materiales según la normativa vigente.

Las distintas unidades de obra en cuanto a materiales quedan de la siguiente forma:

#### **4.3.1. Plataforma ferroviarias**

Material para eventuales rellenos ferroviarios procedentes de la traza de la unidad geotécnica 3 ARENAS Y GRAVAS.

Material para subbalasto y balasto procedente de cantera, la más cerca (70km) es la cantera de Ofitas del Páramo en Loja (Granada).

Material para el suelo-cemento, idéntico al de la capa de forma por lo que vendrá de cantera, en particular la aconsejada por su proximidad en el Sillero a 25 km de la obra.

#### **4.3.2. Viales anexos, y reposición de firmes.**

Rellenos en desvíos de carreteras, suelo tolerable procedente de la excavación unidad de geotécnica 3 ARENAS Y GRAVAS.

Zahorra artificial, procedentes de cantera de cualquiera de la inventariadas.

Suelo seleccionado, procedente de cantera de cualquiera de las que se ha inventariadas.

#### **4.3.3. Rellenos localizados** (zanjas de servicios afectados, tuberías de drenaje y sobre el dintel del túnel)

Material procedente de la traza de la unidad geotécnica 3 ARENAS Y GRAVAS.

#### **4.3.4. Hormigones**

Hay inventariadas una serie de planta próximas.

#### **4.3.5. Mezclas Bituminosas**

Se podrá traer de las distintas plantas próximas de Mijas por si se opta en traer el hormigón de planta.

## **4.4 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA**

El tipo de clima dominante en la provincia de Málaga es templado cálido mediterráneo, y se caracteriza fundamentalmente por la estación marcadamente seca, calor estival y temperaturas invernales generalmente suaves y un clima mediterráneo oceánico, de inviernos suaves y lluviosos, veranos largos y no muy calurosos.

El régimen de precipitaciones de la provincia de Málaga, presenta una distribución de las mismas a lo largo del año con valores medios anuales que oscilan entre los 600 y los 800 litros por metro cuadrado, lo que no presenta importantes limitaciones para el desarrollo de la actividad turística, ya que las lluvias suelen concentrarse en periodos muy concretos y los cielos tienden a despejarse con facilidad.

La insolación total, con más de 300 días al año, y la temperatura media del mes de enero a los 13°C y diurnas que rebasan con frecuencia los 18°C, hacen de este clima una de las características destacables de la zona.

Además, durante el verano las temperaturas son sensiblemente más suaves que las del interior de la Península, con una media del mes de agosto que rara vez supera los 25°C, establecidos por los especialistas como barrera de calor.

El mar, que mediante las brisas regula a modo de termostato la temperatura de la costa. La cadena montañosa litoral que actúa a modo de barrera respecto a los vientos fríos de interior.

## **4.5 SISMICIDAD**

En la zona de estudio, la aceleración sísmica básica es de 0,11 g por lo que es necesario considerar la acción sísmica en el Proyecto de Construcción de las obras en esta zona.

El Coeficiente de terreno C se puede calcular con la Expresión

$$C = \text{SUM}(C_i * e_i) / 30$$

siendo  $e_i$  el espesor de cada unidad en los primeros 30 m de profundidad y siendo  $C_i$ :

Unidad 1 y 2  $C_i = 1,3$

Unidad 3 a 6  $C_i = 1,6$

## **4.6 DRENAJE**

Las distintas zonas que invierten como aportantes a los distintos elementos de la red de drenaje contemplados en el presente documento son:

- La rampa de acceso lado Cala de Mijas, que es la única receptora de las aportaciones de pluviometría vertidas al interior del túnel.
- Las rejillas de ventilación previstas para el túnel, que captan directamente los aportes pluviométricos, a través de la propia rejilla.
- Interior del túnel, el cual recogerá las infiltraciones de las pantallas y éstas se evacuarán mediante bombeo.
- Las superficies exteriores del viario afectado, que dispondrán de sus elementos independientes de evacuación.

Todas estas zonas se han diseñado de forma que el agua drene al alcantarillado urbano.

Independientemente se distingue un drenaje en superficie y otro en túnel, así como se acomete el estudio de las redes longitudinales y transversales que afectan a la obra aquí presentada.

### **4.6.1. Drenaje transversal.**

El pueblo de Fuengirola está ubicada en la desembocadura del río de Fuengirola que constituye un acuífero libre de carácter detrítico y que se ve afectado por la construcción del túnel del presente proyecto.

Las líneas isopiezas son sensiblemente paralelas a la línea de costa y por tanto las líneas de



flujo, que son ortogonales a ellas, marcan la dirección del flujo del mar.

La obra proyectada tiene una dirección pseudo paralela a la línea de costa, y por lo tanto constituye, a partir del PK 3+959 un elemento barrera al flujo subterráneo, ya que las pantallas se profundizarán hasta el estrato impermeable de margas.

#### **4.6.2. Hidrogeología. Síntesis del problema.**

La población de Fuengirola está ubicada en la confluencia de la desembocadura del río de Fuengirola que constituye un acuífero libre de carácter detrítico y que se ve afectado por a construcción del túnel del presente proyecto.

Las líneas isopiezas son sensiblemente paralelas a la línea de costa y por tanto las líneas, que son ortogonales a ellas, marcan la dirección del flujo hacia el mar.

La obra proyectada tiene una dirección pseudoparalela a la línea de costa, y por lo tanto constituye un elemento barrera al flujo subterráneo.

La obra proyectada se encuentra en el entorno de la estación de Cercanías de Fuengirola y se basa en la construcción de un túnel entre pantallas, constituirán una barrera al paso del agua del acuífero.

El subsuelo de la zona está constituido de forma general por una primera capa de material aluvial de naturaleza arcillosa en unos casos y arenosa en otros. Esta primera capa tiene una potencia aproximada de entre 8 y 20 metros y es la que constituyen el acuífero libre.

Se han modelizado las siguientes situaciones.

- Situación actual. Cabe destacar la presencia de determinadas infraestructuras existentes que afectan al flujo que de forma natural se dirige hacia el mar de la que más importante es el tunel actual túnel de cercanías existente, que se ha supuesto construido con pantallas de 18-22 m completamente penetrantes hasta el estrato impermeable. El caudal estimado ue circula en la zona interrumpida por el túnel del proyecto de integración del Ferrocarril de Málaga es de 54 l/s.

- Situación barrera total. Como si se construyeran todos los túneles previstos sin ningún tipo de medida adicional para asegurar la continuidad del flujo freático.

- Situación permeabilizada. Para evitar ascensos aguas arriba se ha llegado a la conclusión de que se necesita disponer un paso de agua freática cada 50 metros dentro del tunel. Con esa solución y sin disposición de drenaje transversal en la zona de estudio, resulta una elevación del nivel freático inferior a 10 cm.

Sin embargo, dado que los 40 cm se encuentran en el límite de lo admisible, se ha optado por construir dos sifones que hacen la función de drenaje transversal en las que las pantallas a ejecutar constituyen un muro de paso del agua freática.

El sistema de sifones ideado está formado por dos pozos ubicados en los pk 3+500 y 3+700, de diámetro interior de 1400 mm de anillos de hormión en masa perforados y una tubería de conexión horizontal de modo que el sistema sea perfectamente visitable para su posterior mantenimiento.

La obra tipo proyectada de drenaje transversal consiste en un sifón formad por dos pozos verticales de captación (aguas arriba) y de absorción (aguas abajo) y una tubería horizontal de conexión de ambos pozos bajo la contrabóveda del túnel.

#### Pozos verticales

Los pozos verticales tienen un diámetro interior de 1500 mm y están formados a partir de anillos de hormigón en masa en módulos de 1 metro de longitud.

Para poder captar, en el caso de los pozos de lado Norte del túnel, y de permitir su paso al terreno en el caso de los pozos del lado Sur, estarán debidamente agujerados en la zona que quede dentro del acífero de arenas y gravas.

#### Tubería horizontal

La tubería horizontal de conexión de los pozos estarán permeantemente en condiciones de presión de valores del orden de la altura de agua sobre su cota, es decir, dentro del rango 6

a 7 metros de columna de agua, esto obliga a no utilizar tuberías habituales de saneamiento de hormigón armado, es decir, es necesario utilizar tuberías de hormigón armado con chapa de acero o de poliéster reforzado con fibra de vidrio por su mayor ligereza.

El caudal de diseño no supera en ningún caso los 5 l/s, partiendo de una diferencia de carga hidráulica casi nula, por ejemplo 2 cm, el cálculo hidráulico demanda una tubería de diámetro del orden de 200-300 mm.

Sin embargo, dada la incertidumbre en el valor del caudal de diseño y el planteamiento de un requisito de viabilidad del sistema se ha adoptado un diámetro nominal de la tubería de 1400 mm.

#### Conexión pozos-tubería horizontal

La conexión pozos-tubería horizontal deberá estar impermeabilizada mediante un sellado con masilla elástica o similar de modo que no existan aportes de agua al interior del túnel ni el terreno existente bajo la contrabóveda, dado que en última instancia se traducirán en infiltraciones del túnel.

#### Relleno material filtrante

El hueco existente entre la perforación o las tablestacas y los anillos de hormigón en masa se rellenará con material filtrante tipo grava de modo que la granulometría utilizada cumpla como función de filtro entre el terreno natural y ese material, evitando así el aterramiento del pozo.

En caso de que el espacio existente entre la perforación y los anillos sea reducido o que no se capte agua de forma sustancial se pondrá a mejorar el sistema de captación con drenes horizontales realizados desde el interior del pozo.

#### Tapa de los pozos

Se ha previsto la colocación de una tapa pesada con cierre de seguimiento en la boca de los pozos de modo que, al tratarse de pozos profundos no quepa la posibilidad de que pueda sufrir una caída al interior de los mismos.

## Procedimientos constructivos

En función del recubrimiento existente entre el nivel de arcillas y el fondo de excavación se recomienda un determinado tipo de construcción de los pozos verticales de captación. Se recomienda este procedimiento siempre que se cuente con una potencia inferior a 2 metros en arcillas.

La operación de conexión tubería horizontal-pozo se realiza al abrigo de un recinto de tablestacas adosado al túnel que se retira posteriormente.

Las fases en las que se ha dividido el procedimiento constructivo son las siguientes:

- Operaciones previas. Construcción de pantallas. En los paneles de pantalla que atravesará el sistema se colocará un aligeramiento de tipo cilíndrico a la cota de conexión de la tubería horizontal de modo que se facilite su posterior demolición.
- Construcción de losa y vaciado del túnel.
- Excavación en zanja en el interior del túnel con o sin entibación. Colocación de tubería en túnel.
- Construcción de contrabóveda en túnel.
- Recinto de tablestacas de 3x3 adosados al túnel. Excavación en recinto de tablestacas hasta cota de conexión. Demolición de huecos laterales.
- Construcción de anillos inferiores de los pozos y conexión con tubería horizontal.
- Construcción del resto de los pozos. Relleno de material filtrante en el espacio entre pozos y tablestacas.
- Retirada de tablestancas. Posibilidad de realizar red de drenes horizontales de captación. Comprobación de estanqueidad y funcionamiento del sistema.

Se recomienda antes de acometer estos pozos realizar una prueba de hinca de tablestacas en la zona dado que estas requerirán penetrar varios metros en el sustrato de arcillas y puede que para ello se requiera algún medio auxiliar como lanzas de agua en la punta de las tablestancas.

### **4.6.3. Drenaje longitudinal.**

La red de drenaje prevista para la evacuación de los aportes de diferencia procedencia

considerados previamente, está condicionada en origen por la continuidad en los elementos componentes de la misma, con la que es preciso dotar a la misma función del mantenimiento de un servicio adecuado a las necesidades.

La red subterránea de drenaje, se ciñe exclusivamente a una red longitudinal en el interior del túnel compuesta por:

### **Sector A (desde el inicio de la rampa hasta pk 0+570)**

- Pozo de bombeo n°1, con capacidad para captar los aportes externos de pluviometría en rampa de acceso e infiltración laterales reconducidas por las cunetas de paseo elevado.
- Arquetas de fin de canalización, para dirigir mediante los colectores apropiados estos volúmenes al punto de vertido y recogida.

### **Sector B**

- Cunetas prefabricadas con rejilla, en sendos paseos laterales, para captación de los aportes de infiltración.
- Cuneta prefabricada con rejilla y colector inferior de 300 mm de diámetro, en el eje de la vía, para recoger derrames aportes de paseos laterales.
- Cunetas transversales con colectores de 200/300 mm de diámetro inferiores, y arquetas, insertados en la vía en placa, para conducir los aportes al pozo de bombeo.
- Pozo de bombeo n° 2, con capacidad para captar los aportes externos.
- Cunetas con rejilla bajo el vuelo del andén existente y en el centro de la plataforma, para recoger posibles vertidos ocasionales en los mismos.

### **Sector C**

- Cunetas y colectores de 200 mm de diámetro prefabricada con rejilla, en sendos paseos laterales, para captación de los aportes de infiltración.
- Drenes colectores de 300 mm de diámetro, de borde de plataforma, para recoger posibles aportes ocasionales y central para recoger posibles infiltraciones por las juntas de contrabóveda.
- Arquetas de conexión y colectores de 300mm de diámetro, para conectar

transversalmente estos aportes y favorecer su evacuación al pozo de bombeo.

- Colectores de 500 mm para evacuación de los aportes de la rejila de ventilación, con sus correspondientes arquetas de conexión.
- Pozo de bombeo n° 3.

## **4.7 TRAZADO**

Este trazado responde al resultado final del análisis de las distintas soluciones estudiadas, y a la materialización de los requerimientos geométricos nacidos a raíz de la consideración de los diversos condicionantes existentes en el entorno, y en general del conjunto de variables que definen la realidad del medio en que se asienta la vía actual, conjuntamente con los requisitos exigibles a la futura plataforma y superestructura de vía a definir.

Los puntos kilométricos adoptados para tal fin, han sido adoptados tomando como punto de inicio del trazado, el final del andén oeste de la estación existente.

El punto final del mismo, se fija sobre la alineación única existente, que debe prolongar la alineación recta final para conseguir el contacto previsto.

## **4.8 MOVIMIENTO DE TIERRAS**

La geometría de las obras de tierra (excavaciones, rellenos, etc...) responde a los criterios definidos correspondientes de Geología, Estudio de Materiales y Geotecnia.

Las unidades principales que se registran son la correspondiente a excavación en vaciado entre pantallas a cielo abierto y bajo el dintel del túnel hasta la cota inferior de la contrabóveda a disponer.

### **4.8.1. Excavaciones**

Se distingue dentro de excavaciones la excavación de vaciado entre pantallas a cielo abierto y la excavación interior del túnel del túnel bajo vigas o dintel.

Corresponde a excavación entre pantallas a cielo abierto, a aquella que se realiza hasta la cota

inferior de las vigas que se colocarán en la parte superior del túnel. Así mismo, se proyectan unas rampas provisionales para acceso al interior del túnel que se disponen entre pantalla nueva y pantalla existente a demoler. Estas rampas se retirarán posteriormente, incluyendo esta partida dentro de la excavación entre pantallas.

Una vez ejecutadas las pantallas y colocadas las vigas en la parte superior del túnel, se procederá al vaciado de éste hasta cota inferior de contrabóveda incrementándola en 10 cm que se corresponde con la capa granular a disponer bajo contrabóveda. Ésta excavación será la correspondientes a vaciado entre pantallas bajo dintel.

#### **4.8.2. Terraplenes y rellenos**

Dado el carácter de la obra y que en toda su longitud discurre en túnel, este apartado no registra volúmenes, salvo la parte correspondiente a rellenos entre pantallas para configurar las rampas provisionales de acceso al túnel, donde sí se registra mayor movimiento de tierras y que se ejecutarán con materiales procedentes de la excavación.

Sobre la parte superior del túnel y bajo ña capa de firme a disponer como reposición de la existente, se dispondrá una capa de suelo seleccionado así como el relleno bajo nla ampliación de andenes.

Bajo la contrabóveda a ejecutar se dispondrá una capa de relleno granular (grava) de 10 cm de espesor como capa drenante.

#### **4.8.3. Capas en plataforma ferroviaria**

Se han considerado en este apartado aquellas capas que configuran la plataforma ferroviaria propiamente dicha tanto en vía sobre balasto como vía en placa.

Las unidades correspondientes a este apartado son el suelo cemento a disponer tanto en vía en placa como en vía sobre balastro

### **4.9 TUNELES**

Para la ampliación del túnel se disponen de pantallas de 0.8 m y 1.00 de canto, utilizando pantallas de mayor espesor en los túneles de salida, con mayor profundidad de excavación y existencia de edificación cercana.

El dintel del túnel se realiza con vigas prefabricadas I100 e I120 y losa superior de 0,25m en toda su longitud salvo en puntos de cruce con marcos y tuberías de servicios y una zona a principio de túnel que se proyecta como losa maciza. El canto de las vigas se define en función del espesor de terreno que presenta cada zona y la luz a salvar. La losa maciza es de 0,70 m de espesor de terreno que representa cada zona y la luz a salvar. La losa maciza es de 0,70 m de espesor y en los puntos de cruce con instalaciones de saneamiento se proyectan vigas con sección en U de 0,30 m de espesor tanto en alas como en alma.

Los recintos adyacentes al túnel, correspondientes a las tres salidas de emergencia, pozo de bombeo, tanque de almacenamiento de residuos tóxicos y recinto de instalaciones, se proyectan igualmente con pantallas. Los forjados tanto superior como intermedios se definen como losas macizas, de espesor variable en función de las dimensiones de cada uno de los recintos.

#### **4.10 AUSCULTACIÓN**

El sistema de auscultación se ha dividido en dos tipos de auscultación:

- Control en pantallas y edificios aledaños al túnel.
- Control piezométrico para seguimiento de la evolución del nivel freático y posible formación de efecto barrera.

Para cada uno de estos tipos de auscultación se indica:

- Instrumentación: características y distribución.
- Organización de las medidas.

En función de la experiencia acumulada durante la ejecución de la propia obra, se modificarán, si es conveniente y con el consentimiento de la Dirección de Obra, la composición del sistema de auscultación o las características y localización de los instrumentos.



#### **4.10.1. Medidas de subsidencias y movimientos transversales**

Su objeto es conocer los movimientos que se produzcan en la superficie del terreno debidos a la realización de las excavaciones. Para ello se construirán en los puntos indicados "arquetas de nivelación".

Las arquetas para medida de asientos verticales consistirán en un pozo cilíndrico de 40 cm de diámetro y 30 cm de profundidad que se recubrirá con un cilindro de chapa metálica de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura que descansará directamente sobre el terreno natural. El espacio entre el cilindro y el terreno se rellenará con arena fina y media. En el fondo del pozo se colocará, previa excavación, un clavo metálico y cabeza avellanada que se recubrirá, salvo en sus 3 a 5 cm superiores, con una capa de mortero aislada de la arqueta metálica. Si el punto de medida se sitúa sobre calzada, se atravesarán completamente el hormigón o pavimento, anclándose siempre, el clavo, en el terreno natural.

#### **4.10.2. Escala graduada**

Para el control de asientos en la pared de edificios se utilizará una escala graduada con mira de nivelación protegida mediante un armario metálico de protección. La escala deberá estar graduada en mm y ser de acero inoxidable de rango 20 cm y serigrafía en dos colores (blanco/negro).

#### **4.10.3. Puntos de inserción**

Para el control de movimientos de juntas, grietas o fisuras en edificios y estructuras se utilizarán bases de inserción fijadas a ambos lados de la grieta. Serán de acero inoxidable con un apoyo troncocónico en el centro y llevarán un tapón roscado con junta de neopreno.

#### **4.10.4. Inclínómetros**

Con el objeto de tener una información más detallada de las deformaciones de las pantallas, se dejarán embebidos en el terreno o en los módulos de pantallas en secciones de control tubos inclinométricos. Estos tubos superarán en 5 m la profundidad de la pantalla en su sección y en 10 m la profundidad de la contrabóveda en cavernas de estación subterránea.

Para instalar el tubo carril en las pantallas se dejará previamente instalada junto a las armaduras un tubo rígido vertical de PVC, de longitud la profundidad de las pantallas con su extremo inferior obturado con un tapón de madera. Una vez endurecido el hormigón del panel se perforará el terreno natural y se colocará la tubería inclinométrica, rellenando el anillo entre tubos con lechada de cemento. El tubo carril deberá estar instalado antes de comenzar la excavación de la sección correspondiente.

Podrán emplearse indiferentemente, salvo indicación expresa de la Dirección de Obra, tubos ranurados de material plástico o de aluminio extrusionado.

## **CAPÍTULO 5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

### **DEFINICIÓN:**

Se definen como pantallas continuas de hormigón armado las paredes moldeadas “in situ” construidas mediante la perforación en el terreno de zanjas profundas y alargadas, sin necesidad de entibaciones, y su relleno posterior de hormigón, constituyendo una estructura continua capaz de resistir empujes y cargas verticales.

### **5.1 FASES CONSTRUCTIVAS EJECUCIÓN TUNEL EN LINEA.**

#### **METODO "CUT&COVER" :**

El proceso constructivo es el siguiente:

- La primera medida será desviar todos los servivios que se encuentran afectados a lo largo de la traza de este tramo de túnel.
- Inicialmente se prepara de una plataforma de trabajo, los topógrafos procederán al replanteo y se empezará con la ejecución de los muretes guía. Una vez ejecutados ya se podrá realizar la excavación de las pantalla. Las pantallas tendrán una anchura aproximada de 3 m. a 5 m. en general y se ejecutarán de manera alterna sucesivamente para minimizar los tiempos de espera. Los lodos bentoníticos asegurarán la estabilidad de la excavación hasta llegar a la cota deseada que se dará por terminada la excavación y se procederá a la colocación de las armaduras.
- A continuación se procederá al hormigonado de la pantalla, se introduce el tubo y se

realiza de abajo a arriba, retirando los lodos bentoníticos a la misma vez que pasará a la estación de tratamientos de lodos para poder reutilizarlos.

- Se esperará a que el hormigón este fraguado y en días consecutivos se descabezarán las pantallas y se construirán las vigas de atado, después se excavará el terreno central entre líneas de pantallas para la construcción de la armadura del dintel o losa superior empotrándolo en la viga de atado y se procederá hormigonando el mismo contra el terreno.

- Una vez terminada la losa superior se rellenará con tierras por encima hasta alcanzar el nivel de la calle, reponer servicios afectados y apertura al tráfico.

- Terminada la superficie, se excava las tierras del interior del túnel hasta alcanzar la cota inferior de la losa inferior o contrabóveda, la cuál también se construye contra el terreno y se hormigona, después ya se podrán realizar los acabados del túnel.

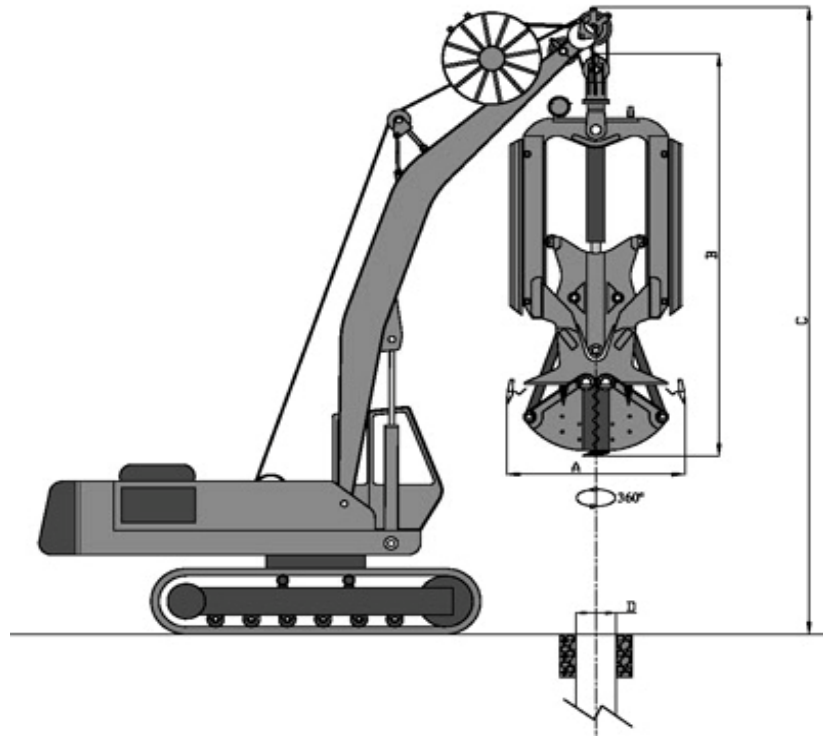
## **5.2 PROCESO CONSTRUCTIVO**

### **5.2.1. Pantallas. Fases:**

#### **5.2.1.1. Montaje e instalación de la maquinaria de excavación.**

El transporte de la maquinaria de excavación se hace con transporte especial y por piezas debido a las dimensiones de la misma, se colocará en la zona preparada para comenzar el trabajo de la línea de pantallas.

La pantalladora es una grúa que soporta un equipo de perforación que realiza la excavación mediante la cuchara sustentada por el mástil, la pantalladora será montada con gruas auxiliares.



**Figura 5.1 Pantalladora de cuchara**

### **5.2.1.2. Construcción de los muretes-guía.**

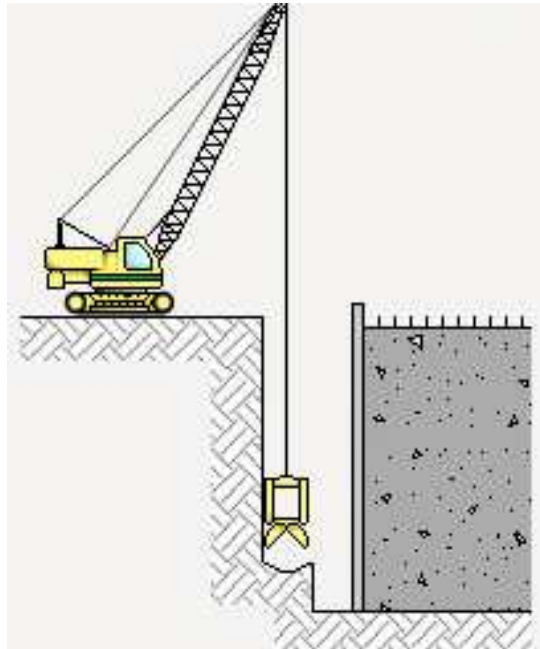
Estos muretes suelen ejecutarse en hormigón en masa o mejor en hormigón ligeramente armado y tienen un espesor del orden de 25 cm y profundidad de 0,70 a 1,00 m. Su separación es ligeramente superior al ancho teórico de la pantalla. La misión de estos muretes-guías es precisamente, guiar a la máquina correspondiente en la excavación de la pantalla.

Se realiza un saneo previo, se prepara una plataforma de trabajo, se ejecutan los muretes guía y por último se ejecutan las pantallas.

### **5.2.1.3. Excavación de pantallas.**

Se realiza con máquinas especiales, provistas de cuchara y para mantener el equilibrio de las paredes de la excavación se reemplaza el suelo extraído por lodo bentonítico, que debe mantenerse siempre al nivel de los muretes-guía. La excavación se realiza por paneles, ya

sea de forma continua ya sea de forma alterna. La longitud de los paneles suele oscilar de 3 a 5 m. El proceso de ejecución de un panel se resumen, en excavación de un panel, relleno con lodo y colocación de las juntas del panel.



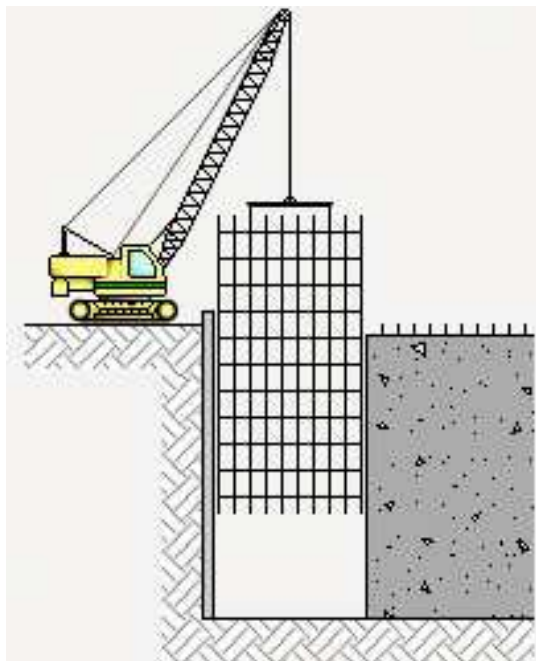
**Figura 5.2 Excavación de batache**

#### **5.2.1.4. Colocación de las armaduras.**

A continuación se introduce la jaula de armadura que deberá ir convenientemente rigidizada y usualmente se realiza con barras corrugadas. La jaula deberá proyectarse de forma que mantenga los recubrimientos normativos dadas las posibles irregularidades de las paredes de la excavación. La separación mínima entre barras verticales debe ser de 15 cm y entre barras horizontales 20 cm. Dado que la jaula de armaduras se sumerge en el lodo bentonítico es esencial el empleo de barras corrugadas para no reducir excesivamente la adherencia.

Si la pantalla ha de quedar con huecos, las reservas correspondientes pueden materializarse con poliestireno expandido o un material similar inerte. La tendencia a flotar de estos materiales hace que su fijación a la armadura de la jaula debe ser especialmente cuidadosa. Para garantizar la correcta posición de las mismas se dispondrá

rigidizadores en la jaula de armaduras.



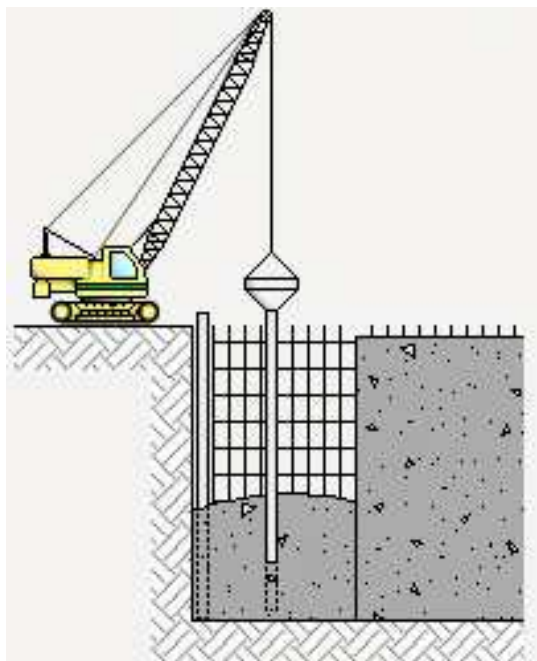
**Figura 5.3 Colocación de armadura**

#### **5.2.1.5. Colocación de los encofrados de las juntas laterales**

Antes de proceder al hormigonado, se colocarán en la zanja los elementos que vayan a moldear las juntas laterales, cuya misión es asegurar la continuidad geométrica de la excavación y de la futura pantalla y servir de guía al útil empleado en la perforación de la zanja. Los elementos se colocarán en posición vertical y debidamente fijados o empotrados en el fondo, y tendrán una anchura igual al espesor de la pantalla.

#### **5.2.1.6. Hormigonado**

Se realiza mediante tubería que debe estar en todo momento introducida de 3 a 5 m en la masa de hormigón para evitar se produzca el corte de la pantalla por interposición de capas de lodo. A medida que se coloca hormigón en el fondo, el lodo es desplazado y recogido para su recuperación.



**Figura 5.4 Hormigonado**

#### **5.2.1.7. Extracción de los tubos para las juntas entre paneles**

El batache que se excava siempre más grande que el módulo de pantalla que se va a realizar. Finalizada la excavación del batache se introducen los tubos mediante una grúa, la misma que realiza el hormigonado y baja la armadura.

Los tubos de junta permiten crear el efecto machihembrado que necesitan las pantallas, una vez hormigonado el módulo de pantalla, y habiendo esperado el tiempo necesario, pero no demasiado para el hormigón este muy fraguado, se extrae el tubo de junta con la grúa auxiliar.

#### **5.2.2. Especificaciones.**

Desde el comienzo de la perforación de cada panel hasta el final de período de endurecimiento del hormigón, no se permitirá apilar, en las proximidades de la pantalla, materiales cuyo peso ponga en peligro la estabilidad del terreno.

Las armaduras se construirán en taller formando un conjunto solidario, llamado jaula, de la misma longitud en horizontal que el panel.

Tampoco se podrá comenzar la perforación de un panel hasta pasadas cuarenta y ocho horas como mínimo desde el hormigonado del panel adyacente.

Si la zanja fuese muy profunda, se podrán descomponer las armaduras verticalmente en dos o más tramos, los cuales se soldarán en obra para formar un conjunto continuo.

Dicho conjunto deberá tener las dimensiones y disposiciones indicadas en los planos, con independencia de la profundidad real alcanzada en la perforación de la zanja.

Si durante la perforación se encontraran puntos duros (bolos, etc.) se eliminarán estos a golpes de trepano, sometiendo, antes esta decisión a la confirmación por el Director de Obra. La pérdida de rendimiento experimentado no será de abono.

Las jaulas deberán llevar rigidizadores y estar soldadas en los puntos precisos para evitar su deformación durante el transporte, izado y colocación en la zanja.

Previamente a la colocación de encofrados laterales y armaduras, se efectuará una limpieza del fondo de la perforación, extrayendo los elementos sueltos que hayan podido desprenderse de las paredes de la zanja, así como el detritus sedimentado. Si el tiempo transcurrido entre la limpieza del fondo y el comienzo del hormigonado del panel es superior a una hora, será necesario repetir la operación de limpieza.

En la soldadura de acero especial se utilizarán los electrodos adecuados, así como el voltaje y condiciones especiales de soldadura al arco, de forma que no resulten afectadas las propiedades del acero. Los ganchos de suspensión de las jaulas serán de acero ordinario.

Se efectuará un control de profundidad de la perforación, mediante plomada en un mínimo de 4 puntos por panel.

La separación mínima entre barras verticales u horizontales será de diez centímetros, y el



recubrimiento de cinco centímetros. Las formas cerradas o nudos de armaduras deberán evitarse en lo posible, de manera que no impidan la buena circulación del hormigón y pueda garantizarse el perfecto recubrimiento de las barras.

Para garantizar el centrado de las jaulas en la zanja y conseguir el recubrimiento de las barras, deberán disponerse separadores o calas de mortero en ambas caras de las jaulas, a razón de un separador cada 2 m<sup>2</sup> de pantalla, por lo menos.

Usualmente el hormigón es de alto contenido en cemento pero también la relación A/C debe ser alta para poder realizar la colocación con razonable facilidad. Es frecuente utilizar hormigones con tamaño máximo de árido 30 mm y con descenso de cono de Abrams de 15 a 20 cm, lo que estrictamente de acuerdo con EHE, rebasa la consistencia fluida. Sin embargo esta técnica especial requiere realmente esas consistencias.

Se comprobará que la superficie final del hormigón sano esté libre de restos de demolición, y que no tiene agrietamiento u otro tipo de defectos.

El hormigonado se efectuará siempre mediante tubería. Esta deberá tener un diámetro comprendido entre quince y treinta centímetros, estará en el panel y se introducirá a través del lodo hasta el fondo de la excavación. Llevará en cabeza una tolva para la recepción del hormigón.

El hormigonado de restitución se realizará siguiendo los procedimientos establecidos para juntas de hormigón de distintas edades.

El hormigonado se hará de forma continua, con un ritmo no inferior a 25 m<sup>3</sup>/h. Si durante el proceso hiciera falta levantar la tubería de hormigón, ésta se mantendrá dentro de la masa de hormigón en una longitud mínima de cinco metros, para hormigonado bajo lodo, o de tres metros, para hormigonado en seco.

## **SIGUIENTES PROCESOS**

- Demolición de la cabeza de los paneles y realización de la vga de atado.

- Se ejecuta el dintel (ferrallado, hormigonado, ...).
- Se eliminan las pantallas superiores y se procede a realizar el relleno del terreno por encima del dintel. En estos momentos se pueden reiniciar las actividades por encima de la excavación.
- Se realiza la excavación bajo el dintel hasta la altura del puntal provisional.
- Se ejecuta el puntal provisional (en caso que sea necesario).
- Se realiza la excavación hasta el fondo de la solera.
- Se ejecuta la solera.

### **5.3 CONDICIONES DEL PROCESO DE EJECUCIÓN**

El equipo necesario para la ejecución de las obras deberá ofrecer las máximas garantías en cuanto se refiere a los extremos siguientes:

- Fabricación, almacenamiento y regeneración de lodos
- Mínima perturbación del terreno
- Precisión en la perforación de la zanja
- Continuidad geométrica de la pantalla
- Extracción de juntas. Dicha operación se realizará antes de que endurezca mucho el hormigón.
- Correcta colocación de armaduras
- Fabricación y puesta en obra del hormigón
- Adecuada disposición y ejecución de los apoyos provisionales y definitivos.

Cuando se hormigone un tramo de murete que tenga posterior continuidad, se dejarán previstas armaduras longitudinales de espera y el hormigón con su talud natural de vertido.

No se permitirá, en ningún caso, efectuar rellenos en la base o trasdós de los muretes para reducir el consumo de hormigón de relleno de excavaciones excesivas. Para la construcción de la pantalla se dispondrá una superficie de trabajo sensiblemente horizontal, libre de obstáculos y de anchura suficiente para el trabajo de la maquinaria. El nivel freático deberá quedar a una profundidad del orden de un metro y medio por debajo de la superficie del terreno. Si esta condición no se cumple, se construirá un terraplén, con un grado de compactación no inferior al del terreno natural. La superficie de trabajo estará

convenientemente drenada para evitar encharcamientos en periodos lluviosos.

El desencofrado se realizará después de 24 horas de la puesta en obra del hormigón. Una vez efectuado el desencofrado se procederá a rellenar el espacio comprendido entre muretes, con material adecuado y se compactará ligeramente.

Sobre los muretes guía se acotará la longitud de cada panel y se fijarán las cotas del fondo de la perforación y de las rasantes del hormigón y de las armaduras.

Antes de proceder a la perforación de la pantalla, deberán ser desviadas todas las conducciones aéreas que afecten al área de trabajo. Igualmente, deberán ser eliminados o modificados todos los elementos enterrados, tales como canalizaciones, raíces, restos de cimentaciones, etc., que interfieran directamente los trabajos, y también aquéllos que, por su proximidad, puedan afectar a la estabilidad del terreno durante la perforación de la pantalla. Asimismo, cuando dicha perforación pueda comprometer la estabilidad de estructuras contiguas, se efectuarán los oportunos apuntalamientos o recalces.

En la mezcla del material o materiales secos con el agua deberán emplearse medios energéticos adecuados para la completa dispersión de los mismos y la obtención de una mezcla uniforme. Asimismo, el lodo de perforación deberá ser almacenado veinticuatro horas antes de su empleo, por lo menos, para su completa hidratación, salvo que el empleo de dispersantes permita reducir dicho plazo.

Para garantizar la seguridad y calidad del trabajo frente a posibles pérdidas de lodo debido a filtraciones o fugas en el terreno, se deberá disponer en todo momento de un volumen adicional de lodo, en condiciones de utilización, igual al volumen total de las zanjas perforadas y no hormigonadas. Existirá asimismo en obra una cantidad de material y un suministro de agua suficientes para fabricar inmediatamente un volumen análogo de lodo.

## **5.4 PERFORACIÓN DE PANELES**

En las juntas de los paneles se perforará un taladro, desde el que se inyectará la junta para asegurar su estanqueidad, si es necesario.

La perforación correspondiente a cada panel se efectuará con los medios mecánicos apropiados, según el plan de ejecución dado en el proyecto o, en su defecto, el establecido por el Contratista y aprobado por la Dirección de Obra.

El sellado de juntas se realizará antes de comenzar las excavaciones entre pantallas y seguirá el proceso que se describe a continuación:

Si las características del terreno lo requieren, el material extraído se irá reemplazando por lodo tixotrópico, cuyo nivel deberá permanecer durante todo el proceso por encima de la cota de la cara inferior del murete-guía.

-Limpieza con agua a presión, sin superar los 300 kPa.

-Inyección de lechada de cemento, con un 4 % de bentonita.

La presión máxima será de 200 kPa.

La profundidad de perforación superará en al menos veinte centímetros la que vaya a alcanzar las armaduras. Este exceso de excavación tiene por objeto evitar que las armaduras apoyen sobre el terreno en las esquinas del panel, donde la excavación y la limpieza de detritus es más difícil.

La Dirección de Obra podrá variar los límites establecidos en función de los resultados de las primeras juntas selladas.

## **5.5 VIGA DE ATADO DE PANELES**

Deben preverse armaduras de espera para su hormigonado posterior con la viga de atado.

Una vez terminada la ejecución de los paneles se demolerá la cabeza de los mismos en una profundidad suficiente para eliminar el hormigón contaminado por el lodo tixotrópico, y se construirá la viga de atado prevista en el Proyecto. Previamente se prolongarán las armaduras verticales de la pantalla en todo el canto de la viga de atado, enlazándolas con las barras longitudinales y transversales de ésta.

Las jaulas de armaduras se colocarán en el panel introduciendo y soldando sucesivamente sus diversos tramos y dejándolas bien centradas, mediante los separadores mencionados anteriormente.

La jaula deberá quedar suspendida de forma estable a una distancia mínima de veinte centímetros del fondo de la perforación colgada de los muretes-guía. Durante el izado y la colocación de las jaulas deberá disponerse una sujeción de seguridad, en previsión de la rotura de los ganchos de elevación.

Para la ejecución de la viga se efectuará una excavación por uno o los dos lados de los muretes guía, según los casos, hasta una profundidad no menor de treinta centímetros por debajo de la cota de hormigón sano. Se realizará la demolición del murete-guía (o los dos) y se procederá al descabezado, actuando los elementos rompedores de hormigón lo más perpendicularmente posible al paramento de la pantalla. Se enderezarán las armaduras de prolongación que hayan podido deformarse como consecuencia de la demolición.

## **5.6 CONTROL DE HORMIGÓN**

Se hará de acuerdo con la Instrucción EHE, con el nivel de control que se indica en los Planos o que, en su defecto, señale la Dirección de Obra.

Al menos se tomarán nueve probetas del hormigón de cada panel rompiéndose tres a siete días y seis a veintiocho días.

Al objeto de eliminar parcialmente el material blando intercalado entre estratos de consistencia firme y sustituirlo por la inyección de mortero, que debe constituir el nivel resistente, o rellenar una zona karstificada, se seleccionará una pareja de perforaciones, situadas en una y otra cara de la pantalla y próximas entre sí.

Sucesiva o simultáneamente se inyectará agua a presión (quedando, específicamente, prohibida la inyección de aire) a través de dichas perforaciones, obturando el tubo, a nivel de la cabeza de la pantalla, hasta alcanzar un máximo de cinco atmósferas de presión de agua a nivel de extremo inferior de la pantalla o de tres atmósferas a nivel de rasante,

salvo que antes de alcanzar dicha presión ascendiera agua por los taladros adyacentes. En este caso, deberá mantenerse la presión, hasta que el agua salga prácticamente limpia.

A continuación se comenzará la inyección de mortero por uno de los tubos, previamente obturados con tubos roscados dotados de llave de paso. Si se produjera ascensión de mortero por alguno de los restantes taladros se cerrará la llave correspondiente al mismo, continuándose la inyección. Deberá alcanzarse una presión de dos atmósferas en la boca superior del tubo de inyección a nivel de rasante y mantener dicha presión durante un tiempo mínimo de quince minutos.

Que se garantice la presión correcta y el caudal necesario con el que debe ser suministrada la lechada.

## 5.7 LODOS BENTONÍTICOS

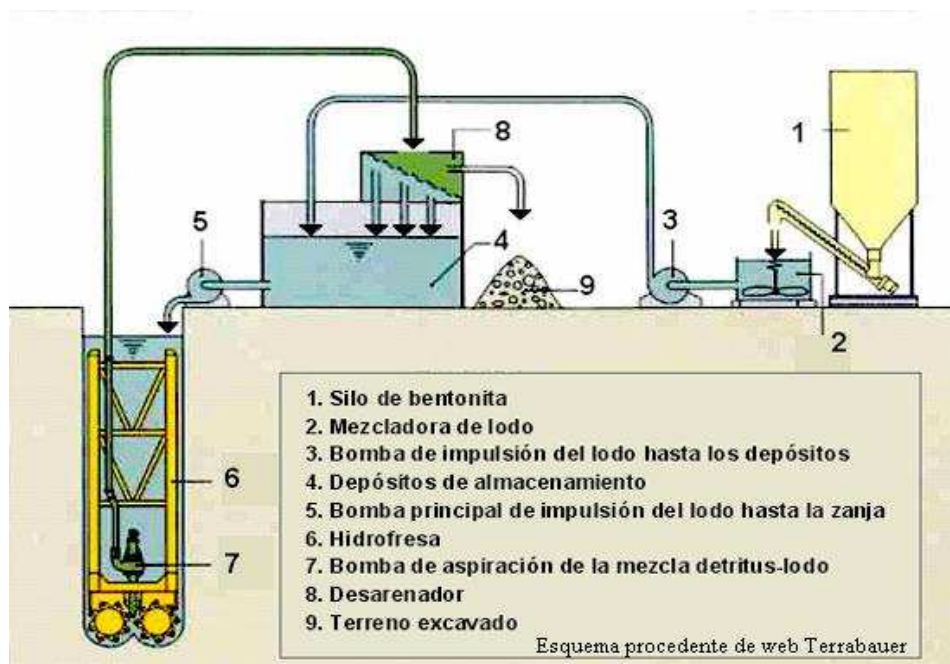


Figura 5.5 Planta de lodos

### Bentonita

La medición de los productos formados por perfiles y chapas de acero se llevará a cabo por unidad o por superficie realmente terminada y colocada.

La bentonita para la fabricación de la mezcla deberá reunir las condiciones físico-químicas que permitan, con una dosificación en peso del orden del 5%, fabricar un lodo de las siguientes características:

- Bentonita del tipo sódica.
- Viscosidad medida en cono Marshall. No superior a 40s.
- pH: Entre 8,5 y 11.
- Peso específico: No superior a 1,06 g/cm<sup>3</sup>
- Nulo contenido de arena.
- Tiempo de hidratación: No menor de doce horas.

Para su fabricación, al mezclar la bentonita con el agua, deberán emplearse medios energéticos adecuados para la completa dispersión de aquella y la obtención de una mezcla uniforme.

Antes de la mezcla con el cemento se deberán comprobar, al menos una vez al día, que se cumplen:

- Viscosidad medida en cono Marsh. No superior a 40 s.
- pH: Entre 8,5 y 11.
- Densidad: No mayor de 1,06 g/cm<sup>3</sup>.

## **5.8 TRATAMIENTO DEL TERRENO CON JET GROUTING.**

### **5.8.1. Definición y condiciones generales.**

#### **5.8.1.1. Definición.**

Los parámetros de trabajo normalmente utilizados para los distintos sistemas de jet-grouting se encuentran comprendidos en los siguientes intervalos:

El jet-grouting es un proceso que consiste en la disgregación del suelo (o roca poco

compacta), mezclándolo con cemento. La disgregación se consigue mediante la inyección con alta energía de un chorro de lechada de cemento (sistema de fluido único). Esta inyección puede ayudarse con un chorro de aire o agua a presión (sistema de doble fluido) o de ambos a la vez (sistema de triple fluido).

#### **5.8.1.2. Condiciones generales.**

Con respecto a los materiales se regirá, en todo caso, en lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Los materiales a utilizar en el tratamiento del terreno serán mezclas de agua y cemento. Esta mezcla tendrá una relación agua-cemento (a/c) comprendida entre 0,5 y 1,5 y se podrán utilizar aditivos con el fin de reducir el contenido de agua, variar la viscosidad, así como para estabilizar o aumentar la impermeabilidad de la mezcla.

Los elementos de limpieza durante la perforación se podrán utilizar, dependiendo de las necesidades de aire, agua, lodo o espuma, y en los casos que sea necesario se empleará revestimiento.

Además de estos materiales se podrán utilizar como aditivos otros como son la bentonita, el filler y las cenizas volantes. En el caso del empleo de bentonita en la mezcla se ha de tomar la precaución de prepararse e hidratarse totalmente dicha mezcla antes de añadir el cemento.

El agua que se utilice deberá analizarse en caso de existir dudas de que pueda presentar efectos negativos sobre el fraguado, el endurecimiento, la durabilidad de la mezcla, y en su caso, en las armaduras.

El espacio anular entre la perforación y el varillaje de jet-grouting deberá ser suficiente para permitir la salida de los rechazos sin ningún tipo de obstrucción.

#### **5.8.1.3. Condiciones del proceso de ejecución.**

La ejecución del jet-grouting en el cimientado de un terraplén debe detenerse a una pro-



fundidad del orden de 2 metros bajo la plataforma de trabajo, a fin de evitar fugas de lechada por la superficie. En consecuencia, debe preverse un relleno provisional que posteriormente eliminará sustituyéndolo por material seleccionado que actúe como elemento de reparto sobre las columnas.

La ejecución del procedimiento de jet-grouting se realizará con el fin de obtener una malla triangular de columnas, respetando las dimensiones fijadas en planos, en cuanto a: separación, diámetro de columnas, así como su longitud para atravesar el espesor del suelo blando y empotrarse en el substrato. Los equipos que se vayan a utilizar deberán cumplir las especificaciones indicadas posteriormente, con relación a la metodología de jet-grouting a emplear, garantizando:

Que la velocidad de extracción y la velocidad de rotación del varillaje de jet-grouting establecidas como velocidades de diseño sean las optimas.

## **5.9 CONSTRUCCIÓN DINTEL**

Debido al proceso constructivo que finalmente se ha elegido, en el que se prima mantener una distancia fija entre la cara inferior del dintel y la parte superior del carril de la vía de unos 6,70 m, la principal ventaja de la ejecución de la losa frente a la alternativa de vigas se ha perdido, ya que el arriostramiento en cabeza de las pantallas se ha conseguir por medio de un puntal provisional. Como desde el punto de vista de la ejecución de obra, parece claro que los rendimientos en la ejecución de tablero con vigas prefabricadas son superiores a los alcanzados con dinteles hormigonados “in situ” y que dado el carácter casi rectilíneo del trazado presentado.

Losa aligerada de hormigón armado de 0,85 m de canto con aligeramientos de 0,60 m de diámetro. Se excavará en fases primero hasta la altura de la losa superior. A continuación se procede a construir la losa mediante la disposición de encofrados, posterior colocación de armadura y hormigonado mediante camión hormigonera. A su vez, en las estaciones existirán losas intermedias y escaleras que requerirán el uso de andamios y cimbras.

La vinculación de la losa con la pantalla va a estar claramente influenciada por la altura de

tierra por encima del dintel. De esta forma en las secciones donde la altura de tierra sea inferior a 1,00 m, es realizar el empotramiento de la losa con la pantalla, recurriéndose a un detalle de rotula en el resto de los casos.

## **5.10 EXCAVACIÓN DE TIERRAS ENTRE PANTALLAS**

Se procede al vaciado del terreno comprendido entre las pantallas mediante una retroexcavadora hasta la altura de la losa superior. Después de ejecutar ésta, se excava por debajo hasta la altura de la losa inferior.

## **5.11 CONSTRUCCIÓN DE CONTRABÓVEDAS**

En relación con este elemento el primer factor a determinar es la elección entre solera y contrabóveda.

Se ha realizado un repaso de la traza en perfil del proyecto y de posición del nivel freático sobre la línea de excavación. De las alturas de columna de agua obtenidas (que nunca llegan a pasar los 12 m) y considerando las luces existentes (inferiores a 11 m), proponer de forma general la ejecución de contrabóvedas en lugar de soleras. Debido a los momentos resultantes cercanos a los 1200 kN/m y tras un tanteo económico entre el coste de las contrabóvedas y de unas soleras de canto suficiente parece razonable la búsqueda del antifunicular de la subpresión. Por otro lado dicha disposición garantiza la transmisión de dicho a esfuerzos a la pantalla de una forma directa, no confiando su transmisión a unas barras de acero (por cortante) en el caso de la solución en solera.

Para el rango de esfuerzos a los que la misma se ve sometida parece razonable la elección de un canto variable entre 0,70-0.80 m y unas flechas de 0,65 m a 0,90 m (exceptuando una zona puntual del triple túnel donde se ha recurrido a una flecha muy alta 1,60 m debido a una elevación del nivel freático.

## **5.12 IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS LOSAS**

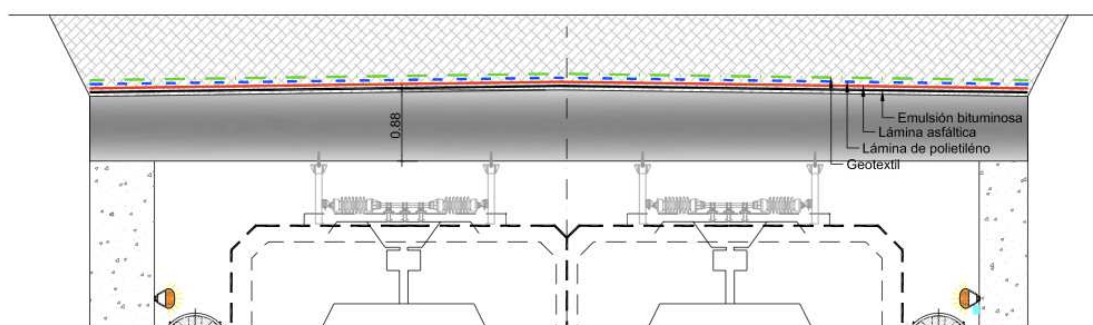
### **5.12.1. Impermeabilización.**

La impermeabilización se realiza con láminas de polietileno y láminas asfáltica, las láminas se extienden de forma que cada una solape con la contigua unos 8 cm.

La unión se efectúa con un soplete de gas que funde el plástico del acabado superficial y reblandece la pasta asfáltica, y basta una ligera presión sobre la zona de solape para que queden adheridas las láminas, en el caso de láminas de oxiasfalto se puede hacer con asfalto fundido.

La preparación de la superficie con pintura de imprimación :

Debe ser lo más lisa posible, sin resaltes, huecos ni elementos salientes y completamente limpia. Si la lámina debe ir adherida, es preciso dar una capa de imprimación asfáltica y dejarla secar.



**Fig. 5.6. Impermeabilización del dintel**

### **5.12.2. Geotextil como separador anticontaminante.**

#### **5.12.2.1. Definición.**

Este artículo comprende la aplicación de geotextiles como elemento separador interpuesto entre un relleno y el terreno, a fin de evitar la contaminación o la pérdida de finos, permitiendo al mismo tiempo el paso del agua.

#### **5.12.2.2. Condiciones generales.**

Las características del material deberán permitirle cumplir su función resistente (sin sufrir

desgarros durante la puesta en obra del relleno sobre él) así como su función de filtro.

El material se acopiará en lugares a cubierto y, una vez puesto en obra, se procederá a cubrirlo con el relleno antes de transcurridos dos días.

### **5.12.2.3. Condiciones del proceso de ejecución.**

El geotextil se extenderá sobre una superficie lisa, previamente perfilada y libre de elementos cortantes y punzantes. Los solapes entre las láminas no serán inferiores a 50 cm, salvo que las uniones entre ellas se hagan mediante cosido o soldado, en cuyo caso se podrá reducir el solape a 10 cm.

El vertido de la capa superior, generalmente de material granular, se realizará con especial cuidado para no dañar el geotextil, no permitiéndose la circulación de camiones directamente sobre el tejido. La primera tongada a extender, de espesor mínimo 40 cm, no contendrá elementos de tamaño superior a 200 mm.

## **5.13 SALIDAS DE EMERGENCIAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS**

### **5.13.1. Cerramiento metálico**

#### **5.13.1.1. Definición.**

Sistema de vallado de obra para el cierre perimetral de obras en ejecución con paneles fonoabsorbentes y con malla metálica.

#### **5.13.1.2. Condiciones generales.**

Cerramiento metálico fonoabsorbente. El cerramiento estará formado por un perfil metálico HA-EA03 en combinación con unas placas nervadas perforadas de acero galvanizado de 0,6 mm de espesor, lacadas en su cara exterior según norma EN 10119, con alma de lana de roca de 50 mm de espesor y 90 Kg/m<sup>3</sup> de densidad.

La puerta de acceso será del mismo material. Cerramiento de malla metálica.

El cerramiento estará formado por una malla metálica galvanizada simple torsión, según detalles en planos. Irá fijada a postes móviles de sustentación.

## **5.13.2. Cerramientos mixtos.**

### **5.13.2.1. Definición**

Cerramiento urbano para impedir el acceso no controlado de vehículos, peatones y animales en los lugares definidos en los planos, así como las puertas para los accesos al recinto.

### **5.13.2.2. Condiciones generales**

Los cerramientos estarán formados por muros de hormigón armado de 1,70 m y 4,00 m de altura y verja metálica de 1,6 m de altura aprox.

La verja estará formada por perfiles rectangulares y módulos de malla electrosoldada de unos 5 mm de espesor enmarcada horizontalmente y verticalmente con perfiles cuadrados. Las puertas de acceso estarán formadas por dos hojas de barrotes cuadrados de unos 30 mm enmarcados por perfiles rectangulares, abisagrados a un perfil cuadrado.

### **5.13.2.3. Condiciones del proceso de ejecución**

El cerramiento tendrá una cimentación por zapata corrida de dimensiones especificadas en planos sobre la cual se ejecutará el muro de hormigón en el que se sustenta la verja.

Bajo la zapata se dispondrá una capa de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor.

En aquellas zonas en que el terreno sea muy blando, se profundizará más la cimentación.

Se dispondrán pasatubos de material poroso a cota del terreno para el drenaje superficial.

En los pasatubos se colocarán mallas electrosoldadas para evitar la entrada de animales.

## **5.13.3. Salidas de emergencia.**

El proyecto incluye tres salidas de emergencia, una al principio y dos al final del túnel, un pozo de bombeo, un tanque de almacenamiento de residuo tóxico, y finalmente un recinto que alberga una serie de instalaciones, como son los ventiladores de emergencia,

grupo electrógeno y aljibe de agua contra incendios. En todos los casos se trata de recintos rectangulares, delimitados por pantallas, y ejecutados de forma anexa al trazado del túnel principal. Cada pozo costa de uno o dos forjados (superior o intermedio) y de una solera de fondo.

Para los forjados tanto superior como intermedio se plantea en todos los casos losa maciza vinculada a las pantallas perimetrales. Se han optado por esa tipología estructural y no por la definida para el túnel, de viga prefabricada y losa in situ, por la complejidad que supondría utilizar vigas prefabricadas para una superficie que presenta huecos.

El diseño de todos los elementos va a estar condicionado por la exigencia de independizar.

#### **5.13.4. Servicios afectados por las obras.**

El proyecto de la reposición de los servicios afectados se ha llevado a cabo siguiendo la siguiente metodología:

- Visita de campo.
- Identificación en planos de la ubicación de los posibles servicios afectados.
- Solicitud por escrito a las compañías titulares de la situación actual de sus servicios y previstas en el futuro. Estos escritos iban acompañados de planos del área del proyecto y de los datos recogidos en la visita de campo.
- Contactos posteriores (correos, reuniones, etc.) con los titulares para coordinar el proyecto de la reposición.

En resumen, el número de servicios afectados por las obras definidas en este proyecto distribuidas por servicio son:

**Tabla 4.9 Servicios afectados por las obras.**

<b>Servicio</b>	<b>Afecciones</b>
Abastecimiento	2
Líneas de teléfono	2
Líneas eléctricas	5
Red de gas	1

Saneamiento	4
Telefonía móvil	0
Operadores de cable	6
Alumbrado público	3
<b>Total</b>	<b>23</b>

La reposición prevista es la convencional para cada tipo de servicio. En la mayoría de los casos consiste en desplazamientos en planta de la conducción afectada, proyectándose la nueva conducción con características similares a la existente.

Destaca por su magnitud y complejidad técnica la reposición perteneciente a EMASA, empresa de aguas de la provincia de Málaga. Se trata de dos tuberías de 1000 mm de diámetro de hormigón armado con camisa de chapa. Se proyecta la construcción de una nueva caseta de válvulas, ya que ha sido necesario desplazar la existente para evitar un ángulo agudo a la entrada de esta y así suavizar el trazado, minimizando en lo posible las pérdidas de carga. Además, se repone el camino de acceso a la caseta de válvulas. Se han proyectado 2 ventosas por tubería.





## PRESUPUESTOS

	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
<b>1.DEMOLICIONES Y LEVANTES</b>				
Demolición de fabrica de hormigón en masa o armado	m <sup>3</sup>	39 914,88	32,05	1 279 271,9
Demoliciones firme existente	m <sup>3</sup>	80 328	3,12	250 623,36
Demolición de cerramiento existente incluso transporte de escombros a vertedero. Terminado	m <sup>3</sup>	14 646	4,93	72 204,78
			<b>TOTAL</b>	<b>1 602 100,04</b>
<b>2. MOVIMIENTOS DE TIERRA</b>				
Excavación en vaciado entre pantallas en cualquier tipo de terreno en zonas cubiertas	m <sup>3</sup>	75 498	3,75	283 117,5
Excavación en vaciado entre pantallas de cualquier tipo de terreno en zonas cubiertas	m <sup>3</sup>	98043,15	6,6	647 084,79
Explanada con suelo seleccionado	m <sup>3</sup>	44 085	9,76	430 269,96
Relleno especial tratado de cemento	m <sup>3</sup>	2 806,02	16,62	46 636,05
Relleno material granular	m <sup>3</sup>	1119	16,56	18 530,64
Subbalasto con material procedente de cantera	m <sup>3</sup>	1 341,88	14,55	19 524,35
			<b>TOTAL</b>	<b>1 445 163,29</b>
<b>3. ESTRUCTURAS</b>				
Excavación de zanjas, pozos y cimientos por medios mecánicos	m <sup>3</sup>	283,5	10	2 835
Relleno localizado con material de traza	m <sup>3</sup>	53,55	3,45	187,74
Hormigón en masa HM-15 para rellenos, capas de nivelación y limpieza	m <sup>3</sup>	34,55	62,18	2 154,54
Hormigón para armar HA-25/B/20/IIa, puesto en obra, vibrado curado y terminado	m <sup>3</sup>	195,3	77,56	15 147,47
Encofrado en parámetros vistos	m <sup>2</sup>	948,15	28,92	27 420,50
Acero en barras para armar	Kg	9119,25	0,68	6 201,09
Acero en chapas y perfiles incluido pintura de protección, elaboración y montaje terminado	Kg	180 896,7	1,3	235 165,67

Cubierta completa realizada con chapa prelacada fijada a la estructura	m <sup>2</sup>	71225	19,65	140 006,25
			<b>TOTAL</b>	<b>429 118,26</b>
<b>4. TUNELES</b>				
Excavación en vaciado entre pantallas de cualquier tipo de terreno en zonas cubiertas	m <sup>3</sup>	201,72	6,6	1 331,35
Vifga prefabricada pretensadas I-120 colocada	m	3606	400,36	1 443 698,16
Viga prefabricada pretensada I-100 colocada	m	3993	379,43	1 515 063,9
Hormigones en masa HM-15 para rellenos, capas de nivelación y limpieza	m <sup>3</sup>	1284	62,18	79 839,12
Hormigones para armar HA-25/B/20/IIa, puesto en obra, vibrado, curado y terminado	m <sup>3</sup>	532,95	77,56	41 335,60
Hormigón para armar HA-30/B/20/IIa-Qa, puesto en obra, vibrado, curado y terminado	m <sup>3</sup>	15 008,25	85,55	1 283 955,78
Encofrado de paramentos vistos	m <sup>2</sup>	11 789,28	29,3	345 425,9
Cimbra	m <sup>3</sup>	32 456,1	8,52	276 525,97
Acero en barras para armar	Kg	5 497 037,4	0,68	3 737 985,41
Apoyo de neopreno zunchado	dm <sup>3</sup>	4404	21,27	93 673,08
Impermeabilización asfáltica	m <sup>2</sup>	19 440,3	7,27	147 163,3
Lámina drenante fijada al trasdos de muros y estribos	m <sup>2</sup>	2 685,6	10,03	26 936,57
Formación de junta realizada con perfiles bateaguas de colocación central terminada	m	4695,5	11,61	54 508,95
Junta de estanquedad de bentonita de sodio natural y caucho con sellado con mastic asfáltico terminada.	m	45	20,82	936,9
Perforación y hormigonado de pantalla de hormigón armado de 45 mm incluso muretes guás, excavaciones, hormigón, formación de juntas entre módulos de pantalla, descabezado y limpieza de paramentos	m <sup>2</sup>	880,08	114,06	100 381,92
Perforación y hormigonado de pantalla de hormigón armado de 80 mm incluso muretes guás, excavaciones, hormigón, formación de juntas entre módulos de pantalla, descabezado y limpieza de paramentos	m <sup>2</sup>	24 632,61	158,21	3 891 952,4
Perforación y hormigonado de pantalla de hormigón armado de 100 mm incluso muretes guás, excavaciones, hormigón, formación de juntas entre módulos de				

pantalla, descabezado y limpieza de paramentos	m <sup>2</sup>	30 126,42	195,55	5 891 221,43
Anclaje de losa a muro pantalla ejecutado mediante taladro y barra de acero corrugado cada 25cm, terminado	m	4 343,4	24,3	105 545,4
Acero S 275 JR en chapas y perfiles normalizados incluso pintura de protección, elaboración y montaje terminado.	Kg	284 487	1,3	369 833,1
Chapa de refuerzo para conexión de contrabóveda de 20 mm. De espesor, incluso taladro con barra de acero y capa de mortero de 50 mm de espesor, terminada	m	780,78	482,94	377 069,89
Mortero proyectado ignífugo para protección de elementos estructurales	m	31 716,72	38,45	1 219 507,88
Repicado o fresado de paramentos verticales de muros pantalla de hormigón armado con martillo compresor, andamiaje, carga y transporte a vertedero	m <sup>2</sup>	2324,55	17,04	39 610,34
Equipo de auscultación	mes	40	8480	339 200
Inyección de lechada de cemento incluso taladros, terminado	m <sup>2</sup>	8529	106,6	909 191,4
			<b>TOTAL</b>	<b>22 291 897,2</b>
<b>4. DRENAJE</b>				
Colector de 200 mm de diam. De hormigón en masa, incluso excavación cama de asiento HM-15, protección HM-20 con posterior relleno de material procedente de la excavación según detalle terminado.	m	3444	37,93	123 728
Colector de 300 mm de diam. De hormigón en masa, incluso excavación cama de asiento HM-15, protección HM-20 con posterior relleno de material procedente de la excavación según detalle terminado.	m	120	47,62	5 714,4
Colector de 500 mm de diam. De hormigón en masa, incluso excavación cama de asiento HM-15, protección HM-20 con posterior relleno de material procedente de la excavación según detalle terminado.	m	264	74,21	19 591,44
Cuneta prefabricada con rejilla de fundición tipo 1. Montada	m	7 236	66,27	479 529,72
Cuneta prefabricada con rejilla de fundición tipo 2. Montada	m	960	95,34	91 526,4

Arqueta prefabricada 1,60 x 1,60	ud	69	522,75	36 069,75
Arqueta reducida para cuneta-colector, según detalle, terminado	ud	102	423,89	43 236,8
Arqueta para conexión a red general	ud	6	1 737,58	10 425,48
Arqueta de hormigón armado para vertidos tóxicos, terminada	ud	12	3 255,05	39 060,6
Arqueta de hormigón armado para pozo de bombeo, terminada	ud	9	3255,05	29 295,45
Dren-colector 300 diam, según detalles	m	1 016,16	73,94	75 134,87
			<b>TOTAL</b>	<b>953 313,9</b>
<b>4. REPOSICIONES</b>				
Reposición abastecimiento de agua	PA	1		140 697
Reposición de gas	PA	1		51 663
Reposición telefonías	PA	1		106 284
Reposición de tráfico	PA	1		157 983,66
Reposición alumbrado público	PA	1		294 791,28
			<b>TOTAL</b>	<b>751 418,94</b>
<b>4. OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>				
Estudio del terreno	PA	1		39 753,5
Desvío de tráfico	PA	1		52 081,38
Cerramientos	m	10290	36,63	376 922,7
			<b>TOTAL</b>	<b>468 757,58</b>

## **PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL**

1. Demolición y Levantes.....	1 602 100,04
2. Movimientos de Tierra.....	1 445 163,29
3. Estructuras.....	429 118,26
4. Túneles.....	22 291 897,2
5. Drenaje.....	953 313,9
6. Reposición de servicios afectados.....	751 418,94
7. Obras complementarias.....	468 757,58

**TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN.....27 941 769,21**