

INFORME DE LA ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS SOBRE EL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO GUADALMEDINA-MALAGUETA

El Proyecto de Infraestructura y urbanización fue redactado en marzo de 2010 por el Ente Ferrocarriles de la Junta de Andalucía y presentado a los Académicos de la ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS en Sesión Científica celebrada el 22 de junio de 2011, presidida por los Excmos. Srs. D. Alfredo Asensi Marfil y D. José Ángel Carrera Morales.

La presentación general fue realizada por D. Enrique Salvo Tierra, Director del Proyecto del Metro de Málaga, Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, correspondiendo las presentaciones técnicas a D. Miguel Ángel García Cañizares, Gerente de Proyectos y Obras, Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía; D. Manuel Barrios Martínez de Salinas, Delegado de TYPSA, Andalucía oriental; D. Gabriel Iguñiz Agesta, experto en Arboricultura, Asesores Arboristas, S.L. y D^a. Laura Mendiburu-Eliçabe y Ure, técnico de Arboricultura, Tecnigral

CONSIDERACIONES EN MATERIA DE GEOLOGÍA, GEOTECNIA, HIDROGEOLOGÍA Y PROTECCIÓN DEL ARBOLADO

1. SÍNTESIS GENERAL

A lo largo del trazado Guadalmedina-Malagueta, se pueden reconocer dos tramos, al oeste y al este de la Aduana. El elemento de frontera entre ambos tramos lo constituye un paleocauce correspondiente al arroyo Alcazabilla cuyos sedimentos cuaternarios alcanzan la cota -12, mientras que en el resto del tramo, el Cuaternario sólo alcanza la cota -7, aproximadamente. En el tramo oeste, los estratos de roca filitas alteradas tienen un notable espesor hasta la Plaza de la Marina donde aparece un significativo acantilado soterrado al hundirse notablemente la roca. En la Alameda, no se detecta la presencia de roca, alcanzando el Cuaternario y el Terciario (arenas y limos) profundidades superiores a los 40 m. Al este de la Aduana, la roca sana es más superficial alcanzando la cota -7 y el resto hasta la superficie, son rellenos de origen antrópico, siendo de muy poco espesor las capas cuaternarias.

El nivel freático es algo superior en el tramo oeste pudiendo alcanzar en este tramo la cota +1. En el tramo este, el nivel freático es prácticamente el nivel del mar pudiendo alcanzar la cota + 0,25.

Las aguas subterráneas se alimentan fundamentalmente del arroyo Alcazabilla y de otros pequeños aportes de la zona de la Coracha. Se puede estimar que el caudal medio en el cauce citado pudiera alcanzar 1 l/seg. Este valor es el remanente del que se pudiera generar en esa cuenca (2,3 l/seg.) descontando el que se retiene y desvía por el aparcamiento de la Alcazaba y los grandes colectores de las calles Álamos y Carretería hacia el Guadalmedina.

Se considera que la aportación del caudal anterior es totalmente insuficiente para garantizar la supervivencia de la abundante masa arbórea del Parque y los Jardines de Pedro Luis Alonso. La única justificación de su presencia se basa en un continuo y abundante riego procedente de otras fuentes añadidas a las aguas del subálveo. Siendo reducido el caudal de aportación natural, su embalsamiento continuo, produciría una sobre-elevación del nivel freático excesiva. Para evitarlo, el trazado de la línea del Metro por el eje del Parque, ha previsto realizar en su dintel, almenados (20 m de anchura por cada 100 m de traza) para dar continuidad hidrológica al agua subterránea.

A la vista de las conclusiones del estudio hidrogeológico realizado, habría que

considerar la realización de una rebaja continua al menos en el tramo oeste, análoga a la que se ha planteado en la Alameda que consiste en una rebaja continua del tramo superior del muro pantalla.

Los proyectos analizan de forma suficiente los impactos y consecuencias que pudieran tener los periodos de estiaje y sequía en el caudal de las aguas subterráneas y las variaciones correspondientes del nivel freático. Esto pudiera incidir sobre una tendencia a la intrusión marina que no sería aconsejable. También se han considerado los efectos sobre el nivel freático, flujo de aguas subterráneas y medidas correctoras a implantar durante la construcción del dintel superior de los túneles soterrados. En este caso, el agotamiento y bombeos para su construcción afectaría al arbolado más próximo a su traza. En cualquier caso hay que considerar que la aportación exterior mediante riego es un elemento esencial no sólo durante las obras, sino también en su mantenimiento habitual y cotidiano.

El efecto de intrusión marina y salinización se considera reducido incluso en época de estiaje. Buena prueba de ello es la potente masa vegetal existente, la cual no sería posible de existir una clara salinización. Se considera que el efecto barrera más destacado lo constituye el muelle 2 del Puerto, el cual con un calado de 10,5 m en su base alcanzaría en el tramo este, aproximadamente los estratos de roca más impermeables.

En la zona de la Plaza de la Marina y Parque, existen dos pozos con las siguientes características :

1.- Sistema de recogidas de aguas del freático y su remisión hacia un aljibe situado en el aparcamiento de la Plaza de la Marina. Se ha llegado a alcanzar un volumen de extracción de 5.000 m³/mes que se utiliza para el riego de la masa de vegetación del Parque.

2.- Pozo situado en el tramo inicial del Parque con 3m de diámetro y 7 m de profundidad. Los volúmenes de extracción máximos son del orden de 2.000 m³/mes. Los índices de salinidad son bajos y compatibles con el riego.

La obra del Metro plantea un cajón soterrado en cuyo dintel se proyectan 6 puntos de almenado para permitir el paso del agua freática hacia el mar y así evitar

su embalsamiento aguas arriba. La cota del dintel es siempre inferior a la cota +0,0 por lo que teóricamente no ejercerá efecto barrera. En el resto del trazado, la altura del dintel y muros pantalla sí es superior por lo que el agua subterránea se desvía y concentra en los almenados. Los más eficaces son los situados al oeste de la Aduana, coincidiendo con el cruce transversal del paleocauce. En caso de sequía, habría que comprobar que en efecto y tal cual parece probable, el cajón soterrado no es perjudicial sino al contrario pudiera ayudar a retardar el efecto barrera de cara a una hipotética intrusión marina.

Con respecto a las medidas de protección de los sistemas de raíces de los *Ficus microcarpa* de la Alameda, el Proyecto del Metro plantea un amplio conjunto de actuaciones con el fin de preservar, proteger y hacer compatible ambientalmente la propia construcción con el mantenimiento de este arbolado catalogado. Las actuaciones son:

- a. Análisis y diagnóstico exhaustivo de la situación actual del arbolado, sus sistemas radiculares y las fuentes de alimentación tanto del freático como de los riegos.
- b. Clasificación y jerarquización de la diversa tipología del arbolado.
- c. Estudio y determinación de las distancias de afección y protección de excavaciones respecto de los sistemas de raíces.
- d. Evaluación de los diferentes sistemas constructivos.
- e. Metodologías para la construcción de las pantallas.
- f. Determinación del grado de impacto sobre las raíces.
- g. Medidas de protección específica en función de la tipología del arbolado.

2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

2.1. Tramo A: Alameda Principal y río Guadalmedina

El aluvial del río Guadalmedina es un acuífero detrítico libre que conduce un caudal medio aproximado de $Q= 38$ l/s, que descarga al mar.

Con la ejecución del tramo Renfe-Guadalmedina y los pasos de agua previstos en el proyecto correspondiente, se ha estimado que este caudal bajará a unos $Q= 33$ l/s. La diferencia pasará al acuífero del arroyo del Cuarto o bien circulará en superficie por el cauce del Guadalmedina, sin influencia apreciable en el entorno.

Para el paso del freático en el tramo Guadalmedina-Malagueta se ha previsto un almenado continuo bajo el cauce del río y en la zona de la Alameda Principal, de forma que se dejará pasar al agua freática por encima de la losa superior del túnel. Con ese diseño el caudal total que transmite el acuífero apenas sufre variación con respecto al caudal de $Q= 33$ l/s, resultante de la fase anterior.

Aguas abajo del túnel no hay descenso apreciable del freático, por lo que la arboleda de la Alameda no sufre alteraciones por esta causa.

Aguas arriba del túnel se observa una elevación del nivel freático de unos 30 cm en la Alameda Principal y de unos 50 cm en la zona de calle Larios, calle Martínez y calle Sancha de Lara. Las elevaciones del terreno correspondientes son del orden de 1 mm, prácticamente inapreciables. El caudal que atraviesa el almenado de la Alameda Principal está comprendido entre 0.032 y 0.040 l/s, lo que totaliza un caudal global de $Q= 10.2$ l/s. Ese caudal requiere un gradiente máximo en el terreno natural de $i= 0.075$, muy inferior al gradiente crítico. No son de esperar arrastres de material.

Las necesidades de humedad para la evapotranspiración de la arboleda de la Alameda Principal se han estimado en 0.23 l/s. Así pues, el agua que atraviesa el almenado alcanza un caudal 40 veces superior a las necesidades de los árboles.

En conclusión, con la solución proyectada no hay afecciones apreciables al entorno en el tramo considerado.

2.2. Tramo B: Paseo del Parque

La geología del Paseo del Parque se caracteriza por la presencia de tres capas-estratos diferenciados, si bien dentro de cada estrato existen diversas variaciones más específicas:

a) Rellenos antrópicos producidos por la propia formación del Parque a principios

del siglo XX y de actuaciones portuarias fundamentalmente de escolleras.

b) Cuaternario de origen aluvial y marino formado por gravas, arenas, limos, cantos de diversos tamaños y arcillas.

c) Paleozoico formado por filitas, grauwacas y, eventualmente, calizas donde se distingue una primera capa alterada con mayor grado de meteorización y fractura y una segunda capa más sana y más impermeable.

El modelo hidrogeológico muestra que existe un pequeño caudal que circula desde el antiguo arroyo de la calle Alcazabilla hacia el mar, desde la esquina de la Aduana hasta el muelle del puerto, por toda la zona del Parque. Este caudal crea una ligera corriente de agua dulce hacia el mar que impide la entrada de agua marina al subálveo del Parque y, por tanto, su salinización.

No obstante, este caudal natural es muy reducido y no parece intervenir en los procesos de transpiración de la vegetación del Parque, cuyo volumen es muy superior. Se ha encontrado que en los 7 meses de invierno las lluvias proporcionan suficiente humedad para las necesidades de la vegetación, existiendo un excedente que se suma al flujo del arroyo aumentando la corriente de agua dulce hacia el mar. En los 5 meses estivales el déficit de humedad se suple con riegos artificiales, equilibrando más o menos las necesidades de las plantas.

La construcción del túnel corta el flujo del arroyo de la calle Alcazabilla, por lo que se ha decidido dejar unos pasos de agua freática sobre la losa del túnel (almenados), cada 100 m a lo largo del trazado. El no hacer estos pasos parece que podría tener escasa influencia sobre la vegetación del Parque al sur del túnel (que no se nutre de los recursos del arroyo) o la salinización del subálveo, pero produciría un aumento importante del freático al norte del túnel, ya que el agua carecería de salida hacia el mar.

El cálculo realizado en las condiciones proyectadas muestra unos flujos de agua pequeños por los tres primeros pasos del freático, y casi despreciables en los tres últimos. El flujo es pequeño y puede transitar perfectamente por los pasos rellenos de grava limpia, con las dimensiones previstas de 20 m de longitud y 1 m de calado.

Se produce una ligera elevación del nivel freático al norte del túnel, en orden de 10 cm, que no tiene efectos significativos sobre la vegetación o los edificios próximos. Al sur del túnel el nivel freático no sufre apenas ninguna modificación.

2.3. Conclusiones generales

A lo largo del Estudio Hidrogeológico se han estudiado las afecciones del túnel a los flujos de agua freática, proponiendo y justificando las medidas necesarias para evitar afecciones a los edificios cercanos o a la vegetación ornamental de la ciudad.

Tramo A: Río Guadalmedina a Plaza de la Marina. Se propone realizar un rebaje de la losa superior del túnel hasta 1 m por debajo del nivel freático, de forma que el agua freática pueda pasar por encima (almenado). El rebaje se realizará de forma continua por debajo del cauce del río y en la Alameda Principal, que es todo el tramo adyacente a los *Ficus* centenarios.

Tramo B: Paseo del Parque. Pese a la escasa magnitud de los caudales existentes en esta zona, del lado de la seguridad se propone realizar seis almenados de 20 m de longitud, separados en general 100 m entre ejes, hasta 1 m por debajo del nivel freático, de forma que el agua freática pueda pasar por encima de la losa del túnel. Estos almenados permiten comunicar las dos zonas ajardinadas entre sí.

3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE LA AFECCIÓN A LA ARBOLEDA

3.1. RESUMEN

Conclusiones basadas en el *Informe de Valoración del Proceso Constructivo* previo a las obras de la Línea del Metro, sobre la arboleda de la Alameda, incluido en el Proyecto, y en el que han intervenido el profesor de Botánica de la Universidad Politécnica de Madrid, Juan Ignacio García Viñas y el experto en arboricultura, Gabriel Iguñiz.

Sobre la importancia cultural y natural de la arboleda

Esta arboleda es un conjunto de un enorme valor botánico-histórico, tanto por su

edad, como por su magnífico porte y desarrollo y por lo que a la historia de la ciudad de Málaga representa, así como su presencia en el sentir ciudadano.

Sobre el estado actual de la arboleda

La arboleda actual está compuesta por 47 árboles, de los que 24 son los grandes *Ficus* que constituyen el valor de la arboleda. La mayoría de los grandes *Ficus* de la Alameda se pueden considerar como árboles viejos, que avanzan hacia las últimas fases de su ciclo vital, en un entorno que fue más amable para ellos en el pasado, pero que es francamente limitante en la actualidad (pavimentación estricta, compactación debida al tráfico rodado, limitado espacio aéreo y subterráneo, etc.).

El estudio de estos 24 grandes *Ficus*, analizando copas, troncos y sistema radicular, muestra que cuatro de los ejemplares (nº 14, 18, 20 y 21) están en franca decadencia y su pronóstico a corto plazo es malo. El resto muestra distintos grados de vitalidad, y diversos problemas puntuales, normales para su edad, pero que no llegan a comprometer, a día de hoy, su supervivencia.

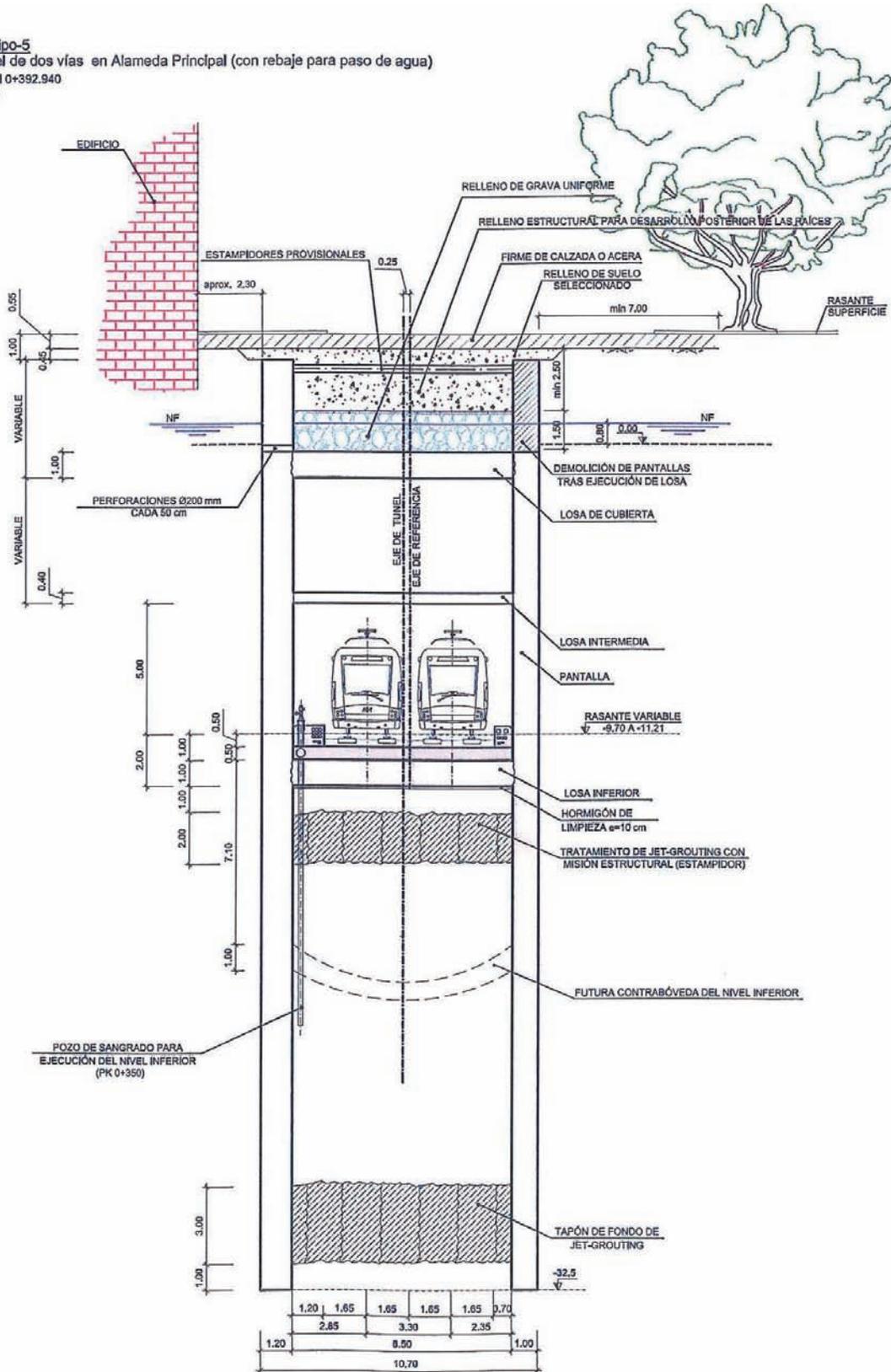
El estudio de los sistemas radiculares muestra un estado y distribución de las raíces normal, tanto en superficie como en profundidad.

El grupo de los *Ficus* jóvenes presenta un estado fitosanitario correcto, aunque su conformación estructural es inadecuada para alcanzar grandes desarrollos. Los plátanos, decrépitos, son árboles residuales y no aportan nada al conjunto.

Sobre la definición de los terrenos de protección

Una propuesta de "conservación a ultranza" de los *Ficus* de la Alameda dictaría la protección total del suelo de la Alameda, imposibilitando todo tipo de obra. Pero es posible que se pueda avanzar en una propuesta que admita un cierto nivel de afección sobre el arbolado, siempre que se valore que tales afecciones van a ser recuperables. Dado que esta es una parte muy delicada, se ha hecho una búsqueda exhaustiva de estándares internacionales sobre el tema.

Sección Tipo-5
 Falso túnel de dos vías en Alameda Principal (con rebaje para paso de agua)
 PK 0+130 al 0+392.940
 ESCALA 1:100

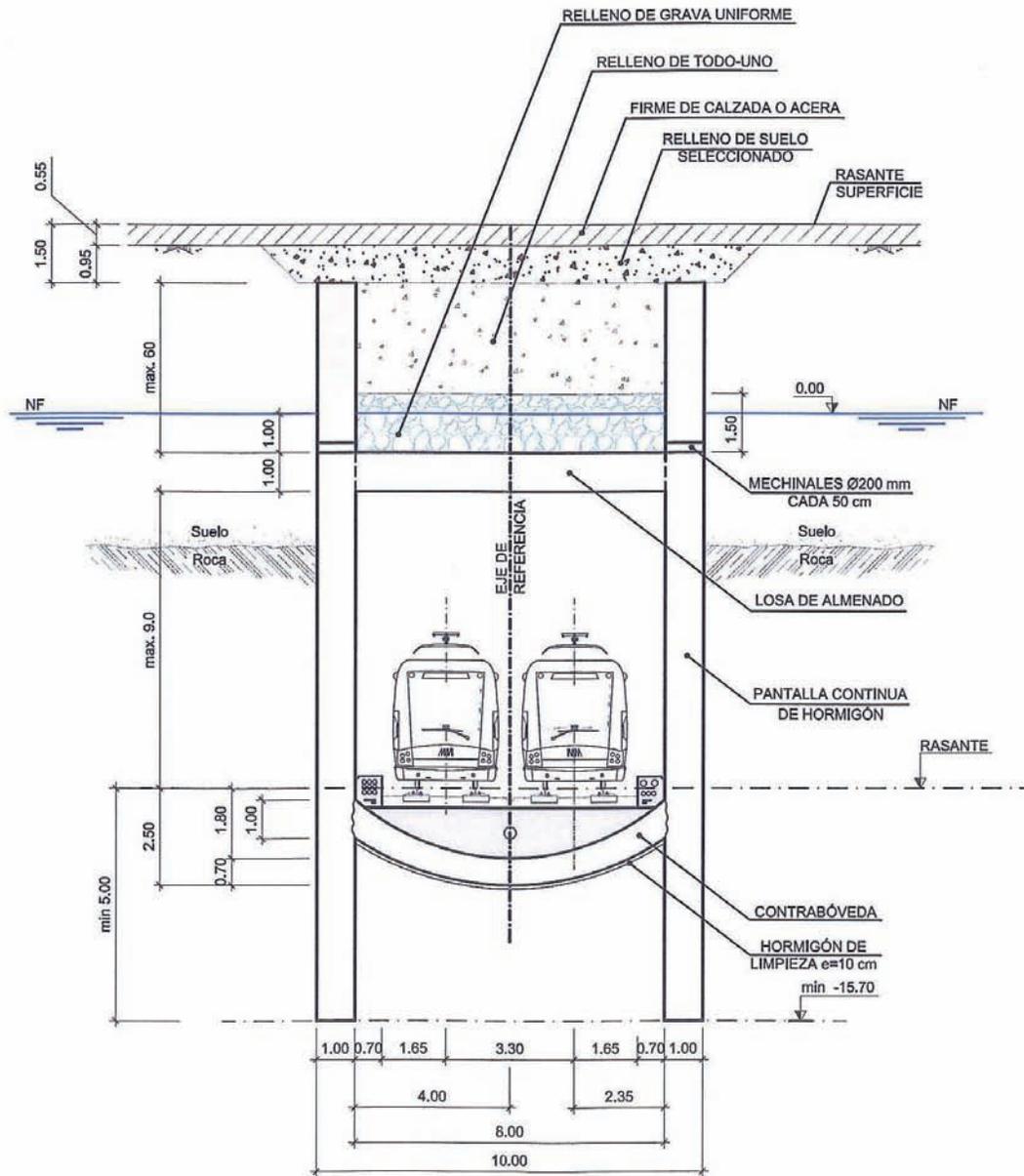


Documento incluido en el Proyecto de infraestructura y urbanización de las líneas 1 y 2 del metro de Málaga. Ferrocarriles de la Junta de Andalucía

Sección Tipo-14

Falso túnel de dos vías en Paseo del Parque (rebaje de losa para paso de agua)
Almenados entre PK 0+689.000 al 1+231.000

ESCALA 1:100



Obviamente, los árboles más exigentes en cuanto a distancias de protección son los grandes *Ficus*. Por ello, se ha realizado una propuesta particularizada de distancia de protección para cada uno de ellos. Estas distancias varían entre 7 m para los árboles de menor dimensión y 12 m para los *Ficus* más grandes. También se determinan para cada uno de estos grandes *Ficus*, cuál es el radio que define su área de anclaje.

Dentro del área de protección definida, se admiten ciertas pérdidas radiculares, entendiéndose que el árbol podrá recuperarse, según su vitalidad. Por ello, se han definido, para cada uno de los *Ficus* las pérdidas radiculares asumibles, según su estado y vitalidad individuales.

Sobre la valoración de los procesos constructivos y de las alternativas de trazado de la obra

El estudio analiza las diferentes alternativas de trazado, y las dos opciones constructivas en cada una de ellas, y concluye que:

1. El sistema constructivo de falso túnel (*cut and cover*) conlleva una serie de afecciones sobre el arbolado, relacionadas, principalmente, con la pérdida de raíces fisiológicas y de anclaje. De las tres alternativas planteadas con distintos trazados, se concluye que la opción más compatible con el correcto mantenimiento de la arboleda es la que plantea un trazado del túnel por la calzada norte de la Alameda. Con esta alternativa, las afecciones sobre los árboles de la Alameda, se producirían sobre 13 de los 24 grandes *Ficus*, y tan solo en uno de ellos el impacto sería de importancia.

2. El sistema constructivo de la tuneladora parece ser que plantea menos impactos directos sobre los sistemas radiculares, o indirectos mediante alteraciones en las características del terreno.

Sobre la propuesta constructiva y medidas correctoras

En la opción del falso túnel, el estudio especifica el modelo constructivo y las medidas correctoras, antes, durante y después de la ejecución para minimizar los daños sobre los árboles y procurar su más pronta recuperación.

3.2. MEDIDAS CORRECTORAS

En este proyecto reviste especial importancia la afección al arbolado urbano que flanquea la traza, principalmente la magnífica alineación de *Ficus* bicentenarios (*Ficus microcarpa* L.f.) localizados en la Alameda Principal. Por ello, debido a la especial relevancia de este proyecto, además de disponer de todos los medios técnicos y humanos de la empresa TECNOMA, filial medioambiental del grupo TYPSA, con una dilatada experiencia en el campo de la consultoría medioambiental, se ha contado con una serie de colaboradores externos de reconocido prestigio nacional e internacional especializados en arboricultura urbana, entre los que se incluye a la empresa Tecnigral (habitual colaboradora del Servicio de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Madrid), la Universidad Politécnica de Madrid a través de la Cátedra de Botánica de la E.U.I.T. Forestal y D. Gabriel Iguíñiz, experto arborista y miembro fundador de la Asociación española de Arboricultura.

Se ha elaborado un completo estudio del arbolado ornamental de la Alameda Principal de Málaga utilizando una metodología basada en afectar lo mínimo posible a los árboles, empleando para ello las técnicas más modernas disponibles en el mundo de la arboricultura urbana. Las medidas preventivas, protectoras y correctoras propuestas en el mencionado estudio, y que quedan recogidas en el proyecto son las siguientes:

a) Definición del “área de protección” de los árboles

Las posibles afecciones al suelo y a las raíces no sólo son de temer en la dirección del corte de la excavación del falso túnel, sino en cualquier dirección. Por tanto definiremos aquí, las “áreas de protección” bajo las copas de los árboles, necesarias para salvaguardar intacto el suelo bajo y alrededor del árbol, dado que contienen la mayor parte del sistema radicular de los árboles. Ya que se ha definido la distancia de protección aceptando grados de pérdida radicular, se debe velar para que no haya más pérdidas por otras causas y en otras direcciones.

Se definen dos áreas de protección, un área general de protección del suelo y, dentro de ella, y únicamente en el caso de que la zona de obras ocupe el área general de protección

del suelo o parte de ella, una protección física del tronco de cada uno de los árboles. El área general de protección del suelo tiene por objeto definir la zona de suelo libre de alteraciones, y queda definida por las siguientes distancias:

- Unas distancias marcadas por la línea de obra que son variables entre 4,8 y 9 m desde la base de los *Ficus* de la mediana norte hasta la excavación en la calzada norte de la Alameda.
- Un radio definido por las distancias de protección marcadas para cada uno de los *Ficus* grandes (que varían desde 8 hasta 12 m) y de 5 para los pequeños en el resto de las direcciones. El área definitiva será la línea de solape de las áreas individuales.

Dentro del área de protección del suelo, que no podrá modificarse, no se podrán realizar excavaciones, ni eliminar infraestructuras o servicios que en el momento de inicio de la obra pudiera contener, ni realizar ningún otro tipo de alteración relacionada con el suelo. Se permiten dentro de esta área las actividades normales en superficie (tráfico rodado y peatonal, etc.). En este caso, no se considera necesario delimitar físicamente ni vallar estas áreas, que quedan libres al uso normal, y que sólo deben considerarse a efectos de posibles alteraciones del suelo.

La protección física del tronco y de las ramas bajas de cada uno de los árboles se instalará cuando las áreas de protección, o parte de ellas, quedasen incluidas dentro de la zona acotada de obras. Seguiría vigente la prohibición de alteración del suelo, tal y como se ha expuesto, y, además, se procederá obligatoriamente a la protección física del tronco y de las ramas bajas de cada uno de los árboles.

Las medidas generales de protección, en todo caso deben ser confirmadas o modificadas en la propia obra por el técnico especialista que realice la labor de dirección de obra especializada a la que se hace referencia más abajo.

Para la protección de los troncos en el caso de los *Ficus*, grandes y pequeños, se procederá a la instalación de un vallado sólido y fijo de 2,5 m de altura y 6 m de diámetro (o un cuadrado de 6x6 m). En el caso de los plátanos existentes en la Alameda, el vallado tendrá unas dimensiones

de 2,5 m de altura y 4 m de diámetro, o un cuadrado de 4x4 m. Estas protecciones deben ser autoportantes y no sujetas de ninguna manera al propio árbol, deben mantenerse y ser operativas durante todo el transcurso de la obra, y deben repararse inmediatamente en caso de ser alteradas en algún punto.

Se considera igualmente correcto englobar varias áreas de protección dentro de un único vallado, siempre que se respete la altura definida, y que las áreas de protección individuales sean respetadas. El área dentro del vallado no será accesible, ni se podrán realizar actividades relacionadas con la obra, tales como acopio de material, lavado de maquinaria, vertidos, etc.

Se realizará una protección mediante chapas metálicas de las grandes ramas bajas. Las ramas a proteger serán definidas en la propia obra por el técnico especialista que realice la labor de dirección de obra especializada. Igualmente, la dirección de obra especializada podrá definir otros puntos y elementos de protección.

b) Espacio de trabajo necesario para la maquinaria bajo las copas de los árboles.

Numerosos ejemplares de la Alameda tienen una conformación de ramas principales horizontales que en ocasiones dejan un limitado espacio libre bajo copa. Para salvaguardar los árboles con su actual conformación y sin causar daños a las estructuras, se contempla:

- Utilización de maquinaria de pequeño tamaño (y especialmente de poca altura) allá donde la altura libre bajo copa así lo exija.
- Y/o el rebaje previo del terreno a excavar hasta una cota tal que permita el movimiento y trabajo de la maquinaria excavadora sin riesgo para las estructuras de las copas.

c) Corte de las raíces en el zanjeo y su tratamiento.

Durante los trabajos de zanjeo y rebaje del terreno aparecerán raíces que, inevitablemente, van a ser destruidas. El tratamiento a seguir para las raíces y sus cortes será el siguiente:

- En todos los taludes de la excavación, todas las raíces rotas de más de 5 cm de

diámetro se recortarán con motosierra con un corte perpendicular a su eje.

- Se tapanán todos los cortes realizados, bien individualmente (con plástico negro) o bien colectivamente mediante la colocación de láminas de plástico negro o toldos sobre el propio talud, inmediatamente después de la realización de los cortes, y durante todo el tiempo entre la excavación y el rellenado final de la trinchera.

d) Profundidad de terreno útil para las raíces del arbolado, bajo la rasante de la calle

Se garantizará el restablecimiento de una cantidad de suelo suficiente para la posterior regeneración de las raíces y su desarrollo. Este espacio debe de tener un mínimo 1,5 m de profundidad por debajo de la parte inferior de las capas de pavimentación y rodadura.

Obligadamente, este “espacio libre” de 1,5 m deberá ser continuo, en la sección transversal, desde la propia “área general de protección del suelo” de los árboles hasta el espacio útil para las raíces bajo el pavimento de la calle, pues la recuperación del arbolado tras las afecciones de las obras precisa esa continuidad.

Idealmente, la continuidad debe ser total, sin ningún tipo de obstáculo, barrera o estrechamiento. Si ello no fuese técnicamente posible, por haberse utilizado algún sistema de micropilotes, se evitará la ejecución de una viga de cabecera de unión de micropilotes entre sí, pues ello supondría una ocupación e interrupción muy importante de este espacio libre en la sección transversal, especialmente en su parte posterior.

El material de relleno de este “espacio libre” será un “suelo reconstituido” que permita la penetración de raíces a pesar de sufrir la compactación técnica obligatoria.

e) Calidad y características del terreno útil para las raíces del arbolado bajo la rasante de la calle

La compactación técnica obligada convierte a los suelos bajo pavimento de rodadura en espacios inútiles para el desarrollo radicular. Para ello, el proyecto debe contemplar la instalación de un “suelo estructural”, que

permita un desarrollo radicular razonable a pesar de haber soportado la compactación técnica exigida.

Descripción y características del suelo estructural:

1. El principio consiste en mezclar piedras con tierra vegetal. Las piedras yuxtapuestas crean un esqueleto rígido y resistente a la compactación; las piedras se bloquean una contra otra, alcanzando los niveles de compactación técnica requeridos, pero dejando espacios entre ellas en los cuales se localiza la tierra. Las raíces de las plantas pueden así contornear las piedras y colonizar la tierra.
2. La composición de la mezcla será, en volumen: 35% de tierra vegetal y 65% de piedras.
3. La mezcla debe ser completamente uniforme. Para ello, la mezcla se realizará fuera del espacio a rellenar, aportándose posteriormente a su emplazamiento definitivo.
4. Las piedras serán de machaqueo y, por lo tanto, angulosas, siendo su composición:
 - 100% de piedra con granulometría de 40-80 mm, no admitiéndose más de un 10% en volumen de piedras con granulometrías menores de la reseñada y en ningún caso con elementos menores de 19 mm. Por tanto, la mezcla de piedras debe presentarse completamente limpia.
 - Preferentemente, las piedras deben ser de composición silícea, admitiéndose composición caliza cuando se encuentre clara dificultad, a juicio de la Dirección de la Obra, en el suministro de piedra silícea.
5. La tierra vegetal utilizada en el sistema “tierra-piedras” debe reunir las siguientes características: Contenidos de metales pesados, elementos patógenos y otros contaminantes limitados conforme a la legislación del Real Decreto 824/2005 para la Clase A.

3.3. Medidas propuestas sobre la ejecución

Las obras contarán con la presencia de un técnico especialista en arboricultura, en

los tramos definidos de ejecución de proyecto de especial conservación de los árboles a salvaguardar, y mientras duren dichos trabajos. Dicho técnico habrá de tener la autoridad necesaria y suficiente para detener los trabajos que él considere que no se estén ejecutando según proyecto.

Entendiendo que el objetivo común es la conservación en las mejores condiciones de estos árboles incluidos en las zonas de obras, se atenderá con toda atención las sugerencias que la dirección de obra especializada realice a lo largo de la ejecución de las obras, sobre aspectos que no pudieron contemplarse en el proyecto, pero que vayan surgiendo sobre la marcha.

3.4. Medidas propuestas tras las obras.

Se entiende que estas operaciones no van a resultar inocuas para los árboles implicados (se están admitiendo pérdidas radiculares de hasta el 37% estimado) y que, en mayor o menor grado, pueden aparecer afecciones y caídas de vitalidad.

De cara a paliar dichas afecciones y a recuperar lo antes posible la vitalidad de los árboles afectados, se adoptarán las siguientes medidas:

- El establecimiento de puntos de agua en las inmediaciones de los árboles a salvaguardar, y la instalación de riego subterráneo por goteo en toda el área bajo la copa, especialmente sobre la trinchera del muro continuo. Por ello se ha proyectado la instalación de una red de riego por goteo, la cual se abastecerá del aljibe existente en la Plaza de la Marina.
- La limpieza de la copa (mediante mano de obra especializada), inmediatamente después de terminada la obra, de todas las ramas muertas o rotas, originadas o no por las obras. Esta operación no solamente mejorará la estética del árbol, si no que permitirá observar en la copa la posible afección de las obras en la vitalidad posterior de los árboles, a lo largo del tiempo.

INFORME DE LA ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS

Los Académicos Numerarios de la ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS fueron convocados a la Sesión Científica celebrada el 22 de junio de 2011. En ella recibieron las ponencias y explicaciones de los técnicos indicados al inicio y tras un turno de preguntas se dieron por informados y expresaron su opinión favorable al PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA Y URBANIZACIÓN DE LAS LÍNEAS 1 Y 2 DEL METRO DE MÁLAGA. TRAMO GUADALMEDINA-MALAGUETA.

La Memoria del Proyecto (facilitada por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía) quedó a disposición de los Ilmos. Srs. Académicos en la sede de la ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS (C/Moratín 4, 1º A) durante los meses de julio y agosto.

A finales de este mes, se envió una circular, que incluía el Proyecto, a todos los Académicos (de Honor, Numerarios, de Mérito y Correspondientes), en total a los 108 Académicos que conforman actualmente

la Corporación, instándoles a que hicieran las alegaciones pertinentes antes del 15 de septiembre de 2011.

El 19 de septiembre se reunió la Junta de Gobierno de la Academia para armonizar las alegaciones recibidas.

Conclusiones:

El Proyecto está meticulosamente estudiado y redactado para remediar, en lo posible, el impacto que pueda tener en la Alameda y Parque de Málaga.

Con carácter general se estima que, de acuerdo con lo expuesto en el proyecto, tanto el diseño de la obra como el proceso constructivo, se ha planteado bajo la condición de la máxima protección del arbolado en la Alameda, y de los movimientos del nivel freático en la Alameda y Parque de Málaga.

No obstante se estima:

1. Parece evidente que la obra cortará transversalmente la totalidad del aluvial del río Guadalmedina, provocando un efecto de “represamiento” del acuífero, que alterará el funcionamiento hidrodinámico que actualmente presenta. Es muy probable que esta alteración provoque un ascenso de la superficie piezométrica (en el sector situado aguas arriba de la obra) que, en determinadas circunstancias hidrológicas, podría ser significativa a pesar del sistema de “almenado”. Se debería estar advertido de estos posibles efectos negativos en los edificios cercanos con sótanos y otras dependencias o estructuras bajo el nivel actual del suelo. Y, en cualquier caso, tener previstos dispositivos para paliar los posibles efectos adversos. Al parecer estos problemas existen en la actualidad en algunos edificios, próximos al río Guadalmedina, que tienen que bombear agua de manera casi continua para evitar inundaciones en las dependencias más bajas.

2. Los datos y cálculos en relación a los caudales subterráneos se refieren a caudales medios. No obstante, se registrarán, en el transcurso del tiempo, años muy secos y otros muy húmedos. Es opinión de la Academia que, tras la terminación de las obras e incluso durante las mismas, se deben establecer pozos de control del nivel freático en los puntos más críticos (cauce del Guadalmedina, Alameda, Plaza de La Marina, centro del Parque de Málaga y Plaza de Torrijos) para prever eventuales subidas y bajadas de nivel, y, si llegaran a ser peligrosas, tomar las medidas oportunas antes de que la vegetación muestre síntomas adversos. En estos mismos pozos se podrían medir también las variaciones de salinidad.

3. Se estima necesario hacer hincapié en la necesidad de extremar los controles (no sólo durante la ejecución de la obra, sino también durante la explotación de la misma) de parámetros referidos a los niveles freáticos, calidad de las aguas, comportamiento radicular de los árboles, etc., que permitan conocer la situación real de la posible afección. En esta línea deben considerarse dos aspectos:

a) Con respecto a la intrusión marina. Sería útil conocer hasta qué punto el propio muelle nº 2 del Puerto supone un efecto barrera para la misma.

b) En relación con los almenados de la pantalla norte del Parque de Málaga. Debería

estudiarse el aumento de longitud en el primer tramo, donde los aportes de caudales subterráneos son mayores, tal como se refleja en el modelo hidrológico que figura en el proyecto.

4. Se considera necesario, junto a las mallas negras, el empleo de cicatrizantes en las raíces que se vean afectadas en el proceso de construcción.

5. La Academia Malagueña de Ciencias, dada la envergadura de la obra y su importancia para la Ciudad de Málaga, estima conveniente la presencia de técnicos (ya sea contratados, municipales o de la Academia Malagueña de Ciencias) que actúen como supervisores externos de la obra en cuestión.

6. Integración Metro-Ferrocarril. Aunque no era objetivo del presente Informe, es de destacar el interés que tienen las obras a realizar en la Alameda Principal para la conexión de las líneas de Metro con el centro histórico de la Ciudad.

Asimismo, la conexión con el Corredor Ferroviario Costero Mediterráneo se considera una infraestructura clave para consolidar el futuro desarrollo sostenible de la actividad económica de Málaga y la Costa de Sol.

Las características geográficas y territoriales de esta franja litoral la hacen especialmente adecuada para las potencialidades que oferta un corredor ferroviario con las estaciones ubicadas en los principales núcleos de población.

Hay que destacar también, en ese sentido, la necesaria integración de las líneas de Cercanías en este nuevo corredor ferroviario así como su integración en el trazado por el interior urbano consolidado con el objetivo de reducir el coste económico y optimizar la demanda de viajeros.

El esfuerzo económico de hacer las dos infraestructuras (metro y ferrocarril) en dos actuaciones separadas, en el tiempo y en el espacio, es mucho mayor que el que supone la implementación de ambos pasillos ferroviarios aprovechando la misma infraestructura, aunque ampliada.

7. Finalmente, unas reflexiones sobre la “reurbanización de la Alameda Principal”. Por motivos, que no hacen al caso, es evidente que la Alameda Principal ha sufrido un progresivo deterioro, en lo que respecta a sus condiciones

urbanísticas y ambientales, alejándose de ser en un espacio para las relaciones y convivencia humana.

Las obras del Metro suponen un levantamiento de la actual urbanización así como la posterior reposición de la misma. La Academia Malagueña de Ciencias estima que debería aprovecharse esta ocasión para elaborar

un "Proyecto de reurbanización integral de la Alameda Principal y Plaza de la Marina" en la línea de incrementar la vida peatonal y recuperar el centro de relaciones humanas que fue en su día.

Sería una nueva imagen urbana de esta zona tan sensible de la Ciudad de Málaga.