

EJE SINESIO DELGADO-PUERTA DE HIERRO

Paso inferior del cruce de la c/ Antonio Machado

Pd. Fernando Calala Moreno
Director de Servicios de Sistemas Generales
Ayuntamiento de Madrid



Glorieta de c/ Antonio Machado y boca Norte del Paso Inferior.

1. Antecedentes y descripción general

El Eje Sinesio Delgado-Puerta de Hierro constituye, junto con la carretera de la Playa y la Avda. de la Ilustración, el cierre previsto por el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid de 1985 para el tercer cinturón, M-30, en su sector noroeste.

Vía "ex novo", de casi seis kilómetros de longitud,

que une el Paseo de la Castellana con el enlace de Puerta de Hierro, dispone de una sección transversal de catorce metros de calzada, mediana de un metro y aceras de tres. El proyecto contemplaba la ejecución de un viaducto para el cruce de la calle Villanueva y un túnel para atravesar la Dehesa de la Villa que se ha configurado constructivamente en dos túneles gemelos para cada sentido de circulación.

Esta importante actuación se incluyó en el Convenio MOPT-Comunidad Au-

tónoma de Madrid-Ayuntamiento de Madrid para la ejecución de viario, encargándose de la redacción del proyecto y de la gestión del suelo, el Ayuntamiento de Madrid y de la financiación y ejecución de las obras, la Comunidad Autónoma de Madrid.

En el desarrollo de los trabajos, la Comisión de Seguimiento del Convenio acordó incluir en la actuación, un paso inferior en el cruce del eje con la calle de Antonio Machado próxima a la boca norte del túnel de la Dehesa de la Villa y en

prolongación de éste. El Ayuntamiento de Madrid se haría cargo de la redacción del proyecto y de la ejecución de la obra.

El coste total de la actuación ha sido de 4 920 millones de pesetas de los que la Comunidad Autónoma de Madrid ha aportado 4 141 millones de pesetas y el Ayuntamiento de Madrid 778 millones de pesetas, de esta cifra 115 millones corresponden a la gestión de suelo y 663 a las obras del paso inferior del cruce de la calle de Antonio Machado, cuyo coste total, incluyen-

do la urbanización de superficie y pasarelas peatonales, ha ascendido a la cifra de 1 300 millones de pesetas.

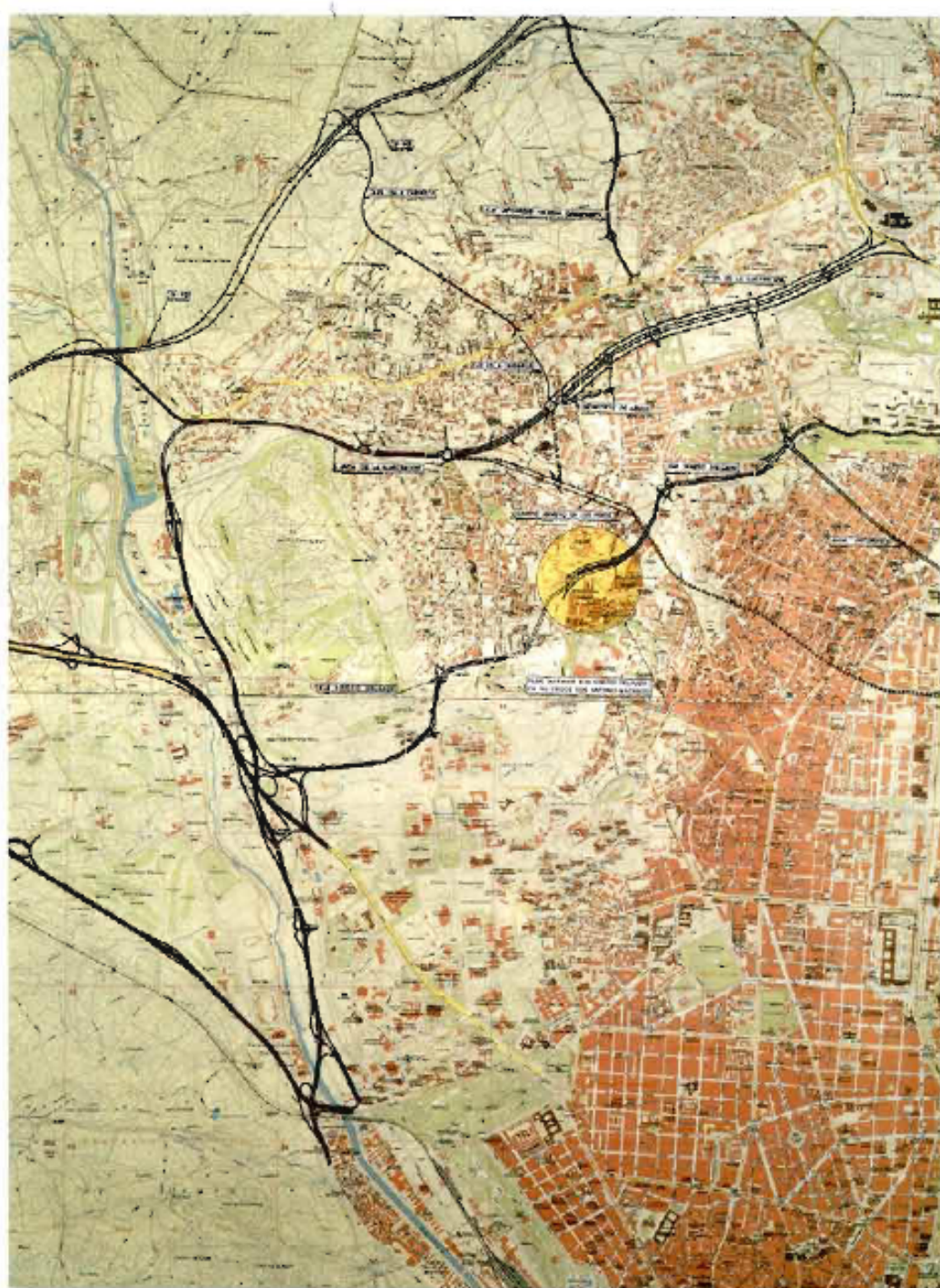
El proyecto municipal cuyas obras han sido inauguradas el pasado 12 de mayo incluye, con carácter fundamental, las obras de construcción de un paso inferior en forma de falso túnel, de anchura y altura variables, cuya calzada inferior o vía principal, se encuentra sobre el trazado del propio Eje Puerta de Hierro-Sinesio Delgado y en cuya parte superior se localiza el cruce con la calle Antonio Machado y una zona peatonal destinada a equipamiento deportivo.

La longitud total del Paso es de 617 metros de los cuales 280 metros corresponden a la parte subterránea.

A ambos lados de la calzada inferior, y una vez rebasada la calle Antonio Machado en el sentido de avance del Eje, discurren dos ramales de acceso a dicha calle situados a distinto nivel de la vía principal y separados de ella por medio de muros pantalla. Asimismo junto a uno de estos ramales ha sido necesario construir también muros pantalla para delimitar las zonas pública y privada que se localizan a distinta altura.

El paso inferior tiene anchura variable, oscilando desde 25 metros en el origen, es decir junto a los túneles gemelos, hasta 17 metros a 105 de distancia, y a partir de ahí se mantiene constante hasta el final de la estructura en la embocadura Norte. La altura es aproximadamente igual a 6 metros en los 60 metros iniciales y aumenta gradualmente hasta 7,5 metros a una distancia de 150 metros del origen. Desde este punto se inicia un descenso paulatino hasta llegar a ser de 4,80 metros al final del falso túnel.

A lo largo de la estructura pueden distinguirse tres tramos claramente diferenciados:



Situación del Paso inferior del Eje Sinesio Delgado en relación con el resto de vías y nudos más importantes.

- **Tramo A:** Comprende los 75 primeros metros y en él se han proyectado dos filas de pilares en la zona intermedia que separa las vías de ambas direcciones. Las calzadas están aisladas de la mediana central por medio de dos barreras rígidas de 0,80 metros de altura y constan de dos carriles de circulación de 3,50 metros en el mismo sentido. Junto a cada una de las paredes laterales existen aceras de 0,50 metros.

Las dos hileras de pilares distan 1 metro del borde de cada calzada, siendo el diámetro de los mismos de 0,50 metros y la separación entre ellos de 4 metros.

- **Tramo B:** Se localiza entre 75 y 105 metros en el sentido de avance y en él las dos filas anteriores de pilares se transforman en una única, situada sobre el eje del paso inferior, entre las barreras rígidas. El diámetro de los pilares es de 0,60 metros y su separación

es la misma que en el tramo anterior.

- **Tramo C:** Abarca desde la terminación de la zona B hasta el final del falso túnel. En él no existen pilares intermedios y la sección, que es constante e igual a 17 metros, está constituida por dos aceras de 0,50 metros y dos calzadas de dos carriles de 3,50 metros cada una, separadas por una mediana de 2 metros en cuyos bordes junto a las vías de circulación es-

tán instaladas las barreras rígidas.

Para mantener un gálibo uniforme en este tramo se ha instalado un falso techo constituido por piezas rectangulares de rejilla metálica, con remates apropiados para albergar los ventiladores.

En los 334 metros restantes, el Eje discurre en superficie con sección variable compuesta por la vía principal, que consta de dos calzadas de 7 metros separadas por una barrera rígida—continuación de la existente en el paso inferior—situada a ambos lados de una mediana de ancho variable entre 2 metros y 1 metro, y de dos ramales laterales constituidos por calzadas de 4,50 metros y 4,15 metros y aceras de ancho medio igual a 3 metros.

línea de pantallas y lo más próximo a ella posible, teniendo en cuenta las limitaciones que suponen las redes de servicios y conducciones subterráneas existentes en la zona y la dificultad adicional de la circulación viaria.

Los resultados del estudio geotécnico confirmaron la presencia en el subsuelo de materiales arenosarcillosos de gran compacidad con sucesiones de toscos arenosos y arenas tosquizas. Asimismo se detectaron rellenos, fundamentalmente de carácter superficial y niveles de agua que en algunos casos, como se ha puesto de manifiesto durante la ejecución de las obras, han sido interceptados por las excavaciones.

En concreto, en la zona próxima al origen de la



Interior del falso túnel. Tramo A.

obra (conexión con los túneles gemelos) y en una longitud de unos 40 metros se ha podido comprobar la presencia de un nivel freático situado a 1 metro de al-

tura por encima de la explanada, lo cual ha significado la aparición de blandones localizados al estar compuesto el terreno natural por un material con gran

Cuadro N° 1

Paso inferior eje Sinesio Delgado-Puerta de Hierro
bajo Antonio Machado
Resumen datos técnicos

unidades de obra	medición
movimiento de tierras	50 929 m³
excavación en vaciado túnel	15 859 m³
cimbrado	19 361 m³
calzadas	16 215 m²
aceras	5 666 m²
bordillos	6 575 ml
muros pantalla	7 431 m³
forjado de hormigón	6 322 m²
acero en estructura	1 327 800 kg
hormigón en firmes	6 435 m³
mezcla bituminosa	4 572 t
red de riego	1 130 ml 30 bocas
alcantarillado	2 054 ml
alumbrado túnel	329 puntos de luz
alumbrado exterior	26 puntos de luz
ventilación	497 kW

En el Cuadro 1 se resumen los datos más significativos de la obra.

2. Características geológicas y geotécnicas

Para proceder a la redacción del proyecto se realizó un reconocimiento del terreno mediante la ejecución de 8 sondeos mecánicos distribuidos a lo largo de la

“**E**l paso inferior tiene anchura variable, oscilando desde 25 m en el origen, es decir junto a los túneles gemelos, hasta 17 metros a 105 m de distancia, y a partir de ahí se mantiene constante hasta el final de la estructura en la embocadura Norte.”



Interior del falso túnel. Tramo B.

proporción de finos.

Las medidas que han sido preciso adoptar para resolver este problema han sido las siguientes:

- Disposición de una red de drenaje constituida por tubos de PVC ranurado de $\varnothing = 300$ mm envueltos en geotextil que conectan con el alcantarillado.

- Sustitución del terreno existente, en una profundidad media de 20 cm,

por un material filtrante (grava natural) debidamente compactada sobre el que se ha extendido una subbase de zahorra tipo Z-2. Entre ambos materiales se ha colocado un geotextil anti-contaminante.

- Realización de perforaciones de Ø 80 mm en el muro pantalla derecho para asegurar un correcto drenaje del trasdós, revestidas con un tubo de PVC provisto de una alcachofa recubierta de geotextil, en el extremo en contacto con el terreno a fin de garantizar la efectividad del drenaje a largo plazo.

3. Estructura

La solución estructural está definida de la forma siguiente:

- a) **Muros pantalla:** Se construyen en sentido longitudinal al paso inferior con 70 cm de espesor y profundidad variable.

- b) **Losa de hormigón armado:** Se ha proyectado con 80 cm de canto, empujada en los muros pantalla y disponiendo parte del encofrado sobre una cimbra en una longitud de 150 metros, desde el origen de la obra y el resto sobre el terreno.

- c) **Pilas:** Las pilas de la zona A, están formadas por fustes cilíndricos de 0,50 metros de diámetro de hormigón armado con cimentación directa. Las de la zona B son del mismo tipo con diámetro de 0,60 metros y también cimentación directa. El forjado de cubierta transmite las acciones a las pilas a través de los correspondientes apoyos de neopreno.

Las características de los materiales son las siguientes:

- Hormigones de losa, pilas y zapatas: H-250
- Hormigones de muros pantallas: H-200
- Acero pasivo: AEH-500 N.

El resto de las actividades, tales como excavación de tierras, revestimientos, construcción del firme, etc.

se han realizado desde el interior del falso túnel, permitiendo el paso sobre el mismo del tráfico de la calle Antonio Machado.

4. Urbanización

El firme proyectado está integrado por una subbase de 15 cm de arena de miga compactada, 25 cm de homigón H-125 y 12 cm de mezcla bituminosa en caliente, extendida en dos capas de 8 y 4 cm de espesor, la primera tipo C-20 y la de rodadura tipo D-12. Sobre la base de homigón se ha aplicado un riego de imprimación y entre las dos capas de aglomerado asfáltico un riego de adherencia.

La red de alcantarillado prevista es tubular con diámetro máximo igual a 60 cm y puntos de vertido situados en el colector visitable de la C/Villaamil y en el colector de la C/Federico Carlos Sainz de Robles. Ha sido necesario desviar el saneamiento de la C/Antonio Machado en la zona ocupada por el paso inferior así como atravesar con un ramal, las pantallas perimetrales al mismo en el tramo adyacente a los túneles gemelos. También se han proyectado las obras complementarias de la red tales como pozos de registro, absorbedores y pozos de resalto.

A lo largo de las aceras que se han pavimentado con loseta hidráulica de 15x15 cm, se han instalado redes de riego con tuberías de fundición, bocas de riego e hidrantes de acuerdo con la normativa municipal.

Finalmente, cabe mencionar el tratamiento de la cubierta superficial del forjado del paso inferior, en el tramo comprendido desde el origen de la obra hasta el cruce con la C/Antonio Machado, consistente en la construcción de dos pistas deportivas en los primeros 70 metros y en el resto, de una zona destinada a paseos en bicicleta y patinaje.

5. Alumbrado

La instalación de alumbrado interior del túnel, se ha diseñado para un nivel medio de iluminación de 1 500 lux en las bocas de entrada al paso subterráneo, de forma que a partir de este nivel y de modo paulatino se disminuya la iluminación hasta llegar a los 70 lux del alumbrado permanente. Esta iluminación, llamada también nocturna, será constante en toda la longitud del paso durante la noche, es decir cuando las otras dos regulaciones, correspondientes a los circuitos de días claros y nublados, hayan cesado su servicio.

Las luminarias proyectadas corresponden a modelos municipales homologados de 250 vatios y 150 vatios de vapor de sodio de alta presión.

El alumbrado exterior se ha proyectado para alcanzar una iluminancia media en servicio de 30 lux y un coeficiente de uniformidad media superior a 0,4, estando previstas luminarias de 400 vatios y 250 vatios de vapor de sodio de alta presión, también correspon-



“**E**l alumbrado exterior se ha proyectado para alcanzar una iluminancia media en servicio de 30 lux y un coeficiente de uniformidad media superior a 0,4, estando previstas luminarias de 400 vatios y 250 vatios de vapor de sodio de alta presión.”



Interior del falso túnel. Tramo C.



Pasarela para peatones. Emplazamiento.

dientes a modelos homologados por el Ayuntamiento de Madrid.

6. Ventilación

a) Descripción del circuito aerodinámico

El circuito aerodinámico consta en primer término de los dos túneles gemelos de Sinesio Delgado, bajo la Dehesa de la Villa, cada uno de los cuales tiene dos vías de circulación con tráfico en una sola dirección, la cual es opuesta a la existente en el otro túnel. La sección tipo de cada uno de los dos túneles tiene forma abovedada con radio interior de 4,70 m, cuyo centro está situado a 1,90 m sobre el pavimento de la calzada. Funcionalmente, en cada túnel están dispuestas dos vías de circulación de 3,50 m y dos aceras de 1,00 m, el gálibo fijado es de 4,80 m y la altura hasta la clave es de 6,60 m.

A continuación de los dos túneles gemelos está situado el paso inferior bajo la calle de Antonio Machado, cuya descripción se ha realizado con anterioridad.

b) Sistema de ventilación elegido

El sistema de ventilación que teóricamente sería más idóneo para el conjunto túneles gemelos-paso inferior, consistiría en independizar mediante un tabique central las dos direcciones de circulación del paso inferior, de forma que se consiguieran dos túneles separados en toda su longitud. Como sistema de ventilación alternativo en el supuesto de no separar totalmente las dos vías de circulación, podría optarse por la toma de aire en la zona de unión de los túneles gemelos y el paso inferior, para impulsarlo hacia cada una de las tres bocas, con el auxilio de ventiladores interiores.

No obstante, por razones estéticas y de seguridad, no se ha estimado oportuno construir la separación cen-

tral de forma continua y hasta el forjado de cubierta, a lo largo del paso inferior. Asimismo, no es aconsejable la instalación de impulsión en la zona de unión de los túneles gemelos con el paso inferior, no sólo por razones estéticas sino también a causa de los ruidos que se producirían durante el funcionamiento.

La única solución que aparecía como posible era la de ventilación unidireccional en todo el conjunto: paso inferior-túneles gemelos. Esta solución, sin embargo supondría un gran costo de explotación, pues continuamente habrían de estar algunos ventiladores en funcionamiento.

Para reducir lo más posible los gastos de explotación, se han suavizado las restricciones anteriormente señaladas, y aunque no han desaparecido totalmente, han permitido poder diseñar un sistema de ventilación eficaz, según cálculos más económicos en cuanto a instalación y explotación que el unidireccional.

El sistema de ventilación que se ha desarrollado en este proyecto es bidireccional, creando sendas corrientes de aire coincidentes en dirección con la de los vehículos. Para paliar los problemas de funcionamiento en la zona del paso inferior se ha previsto la instalación de 6 ventiladores de 7,5 kW en cada dirección, separados 50 metros entre sí.

Asimismo, se ha reforzado la potencia instalada en el interior de los túneles gemelos donde se han previsto 10 ventiladores de 18,5 kW, en cada túnel, colocados en grupos de dos ventiladores instalados cada 84 metros.

Todos los ventiladores son reversibles y están conectados en grupos a efectos de arranque, lo cual permite realizar un ajuste perfecto de las condiciones de trabajo en consonancia con los parámetros de contaminación existentes.

c) Control de ventilación

La ventilación se controla de forma automática, mediante aparatos que miden en las ubicaciones preferenciales los niveles de CO y el nivel de turbiedad existente en la atmósfera, en cuanto afecta a la visibilidad de los conductores. Estos aparatos están conectados a una unidad central, de forma que cuando sobrepasan niveles máximos admitidos, se pone automáticamente en funcionamiento la parte correspondiente del sistema general de ventilación, de modo gradual y teniendo en cuenta todos los factores medioambientales y meteorológicos existentes.

Los aparatos de control que pueden ser también manejados manualmente, están instalados en nichos a lo largo de los túneles gemelos y del paso inferior. La unidad central está situada en una sala de control existente entre los dos túneles gemelos en su zona final, junto al comienzo del paso inferior. Esta ubicación es muy favorable, pues está casi equidistante de las embocaduras, y presenta la ventaja de tener el acceso para personas directamente desde el exterior, sin que se necesite utilizar el túnel para llegar al centro de control.

d) Detección de incendios

Según los conocimientos actuales, al presentarse un incendio en un túnel con la ventilación desconectada, el humo se estratifica durante los primeros 7 minutos a partir de la iniciación del incendio, extendiéndose a lo largo del techo en ambos sentidos a razón de 1 a 2 metros/seg y manteniéndose una capa de unos 2 a 3 metros de espesor por encima de la calzada con un nivel de visibilidad aceptable.

Es a partir de una distancia aproximada de 600 m cuando se produce, a causa del enfriamiento, una mezcla del humo con la ca-



Pasarela para peatones. Vista inferior.

pa inferior del aire, desapareciendo la estratificación de la columna de avance.

Este mismo comportamiento se observa también con corrientes de aire uniformes y velocidades del orden de 2 metros/seg con la particularidad de que la lámina de humo sólo crece en sentido de la corriente de aire. Sin embargo, si los ventiladores de chorro situados dentro de la capa de humos se ponen en marcha, la estratificación desaparece y se llena de humo toda la sección del túnel.

A la vista de lo anteriormente expuesto, la secuencia prevista en nuestro caso es la siguiente: al detectarse un incendio se desconecta toda la ventilación, se determina la zona en que se encuentra situado el foco del incendio y se activan aquellos ventiladores que,

encontrándose suficientemente distantes de la zona del fuego, proporcionan una corriente homogénea en dicha zona y permiten evacuar el humo del túnel por el camino más corto posible.

Dado que el comportamiento descrito se presenta sólo en el caso de que el túnel sea comparable en su forma con un conducto cerrado, a partir de la zona de transición a sección rectangular no estaríamos en este supuesto, por lo que se ha instalado una extracción de humos que aspira en dos puntos situados en la zona de unión de los dos túneles gemelos con el paso inferior. La potencia de estos ventiladores es de 18,5 kW cada uno.

El sistema de detección está basado en un cable sensor (detector lineal) si-

tuado a poca distancia de las bóvedas de los túneles y del forjado del paso inferior. Este cable, debidamente suspendido y tensado, es termosensible y al alcanzarse una temperatura

proyectada cruza sobre la calle Sinesio Delgado a la altura de la calle Valdeverdeja y Doroteo Benache.

La situación topográfica del punto de paso de la pasarela en su estribo norte per-

Cuadro Nº2

Paso inferior eje Sinesio Delgado-Puerta de Hierro
bajo Antonio Machado

Resumen de control de calidad

Materiales	Muestras tomadas	Ensayos realizados
Acero estructuras	89	Tracción, doblado simple, doblado desdoblado, características geométricas del corrugado.
Hormigón de losas de estructuras	169 (4 probetas cada toma)	Resistencia a compresión a 7 y 28 días.
Hormigón de muros y parrillas	350 (4 probetas cada toma)	Resistencia a compresión a 7 y 28 días.
Hormigón en pavimentaciones	82 (4 probetas cada toma)	Resistencia a compresión a 7 y 28 días.
Bordillos	4	Densidad aparente, absorción de agua, helabilidad, desgaste por rozamiento, resistencia de flexión y a compresión.
Tubos de hormigón	13	Características geométricas, absorción y resistencia a flexión.
Baldosas hidráulicas	3	Densidad aparente, absorción de agua, helabilidad, desgaste por rozamiento, resistencia a flexión en cara y dorso, resistencia al impacto y características geométricas.
Tierras	19	Proctor normal, C.B.R., análisis granulométrico, límites de Atterberg, contenido de materia orgánica, humedad y densidad (162 determinaciones).
Mezclas bituminosas	13	Estabilidad Marshall, deformación, densidad, contenido de ligante, porcentaje de huecos, análisis granulométrico.

de 180°C se produce un cortocircuito que origina la detección del incendio.

Las medidas de seguridad en caso de incendio se completan además con la instalación de hidrantes, extintores de uso individual, una línea telefónica que permite la transmisión de alarmas y dos señales luminosas situadas a unos 100 m de cada una de las bocas de entrada.

7. Pasarela de peatones sobre la calle Sinesio Delgado

La pasarela de peatones

mite acceder al tablero de la misma a través de una rampa apoyada en el propio terreno de la zona ajardinada.

En el estribo del lado de la 4ª Fase de la Urbanización de Ciudad de los Poetas, la rampa de bajada del tablero de la pasarela se desarrolla en torno a un conjunto de seis apoyos verticales unidos por un dintel horizontal que con un voladizo transversal a la dirección de alineación de los seis pilares recibe la carga vertical del tablero del tramo mayor de la pasarela.

El gálibo libre mínimo sobre la calle Sinesio Del-

“**A** demás del control de materiales, que se resume en el Cuadro nº 2, se ha efectuado el control de ejecución de los muros pantalla, la comprobación de las soldaduras, la realización de una prueba de carga de la estructura y el control de ejecución y de recepción de las instalaciones.”

gado es de 4,80 m y se produce sobre los bordes exteriores de las calzadas de servicio. Dada la curvatura de la directriz de la rasante, el gálibo en el centro de la calle es sensiblemente mayor.

La anchura libre entre barandillas de la pasarela en su tramo principal es de 2,00 m. Los accesos son de 2,00 m de anchura en lado de la zona verde y de 1,50 m en la rampa del lado de la 4ª Fase Ciudad de los Poesías. Esta última dimensión ha sido impuesta por la necesidad de no sobrepasar la anchura de acera disponible y dejar 0,80 m de resguardo en el lado del bordillo de la calzada de servicio.

La estructura está compuesta por perfiles y chapas de acero laminado y tipológicamente se ha planteado como una sección de tablero inferior. Está apoyada en los extremos y en una pila también metálica en situación asimétrica y desde la



Cubierta pasu Interior. Zona Deportiva.

que, además, se atrinanta el punto central del tablero.

El pavimento, en todo el tramo de estructura metálica, está formado por elementos transversales de madera de iroco de 6,5 cm de espesor y en ningún punto de la pasarela los peato-

nes tendrán que ascender por una rampa de pendiente mayor del 10%.

En el lado de la zona verde se han previsto dos trayectos de bajada, uno desemboca directamente debajo del punto de cruce de la estructura en la calle

Sinesio Delgado y el otro se orienta en dirección noroeste hacia la zona de equipamientos escolares y cívicos.

8. Control de calidad

El control de calidad de la obra se ha llevado a cabo a través de una de las empresas adjudicatarias de este servicio. Además del control de materiales, que se resume en el Cuadro nº 2, se ha efectuado el control de ejecución de los muros pantalla, la comprobación de las soldaduras, la realización de una prueba de carga de la estructura y el control de ejecución y de recepción de las instalaciones.

Por lo que respecta al control de la homogeneidad de los muros pantalla, cabe señalar que se han obtenido 236 diagrafías lo que ha supuesto verificar el 50% de los bataches.