

TERMINAL “HELIOSFLORA” DEL METRO DE GRANADA

HELIOSFLORA Terminal Building for Granada's Metropolitan Tramway

Manuel Escamilla García-Galán^a, Tomás García Píriz^b, José Antonio Agudelo Zapata^c, Triana Serrano Jiménez^d, Ainhoa Marín Camero^e, Héctor Bernardo^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Director General. mescamilla@pontem.es

^b Dr. Arquitecto. Universidad de Granada. Profesor Titular. info@tomasgarcipiriz.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Director Técnico. agudelo@pontem.es

^d Arquitecta. Pontem Engineering Services S.L. Directora de Arquitectura y Urbanismo. tserrano@pontem.es

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Directora de Calidad. amarin@pontem.es

^f Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pontem Engineering Services S.L. Director de Operaciones. hbernardo@pontem.es

RESUMEN

La Terminal “Heliosflora” del Metro de Granada es una edificación de nueva planta en el recinto de cocheras y talleres del metropolitano que, con sus nueve mil metros cuadrados de superficie cubierta, se diseña para proteger el material móvil y su zona de mantenimiento, configurándose a su vez como una cubierta fotovoltaica que suministra el 10% de la energía consumida por la Línea 1 del Metro y una cubierta verde con especies autóctonas de bajo mantenimiento que la integran en el paisaje de la Vega de Granada y sirven para capturar CO₂. Con un diseño arquitectónico vanguardista, se persigue la restitución (en altura) y reinterpretación del tan característico paisaje de La Vega granadina.

ABSTRACT

The Granada Metro's "Heliosflora" Terminal is a new building in the metro's garage and workshop area. With its nine thousand square metres of covered surface area, it is designed to protect the rolling stock and its maintenance area, while also being configured as a photovoltaic roof that supplies 10% of the energy consumed by Metro's Line 1 and a green roof with low-maintenance native species that contribute to its integration into the peri-urban landscape of the Vega de Granada and serves to capture carbon. With an avant-garde architectural design, the aim is to restore (in height) and reinterpret the characteristic landscape of the Vega de Granada.

PALABRAS CLAVE: Diseño, Arquitectura vernácula, Sostenibilidad, Paisaje, Captura de Carbono, Ingeniería.

KEYWORDS: Design, Vernacular architecture, Sustainability, Landscape, Carbon Capture, Engineering.

1. Introducción

El proyecto aquí presentado se corresponde con la “REDACCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA DEL RECINTO DE TALLERES Y COCHERAS DEL METRO DE GRANADA”, adjudicado

por la Agencia de Obra Pública de la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de La Junta de Andalucía a la U.T.E. Pontem Engineering Services-INAVIS, y que



Figura 1. Vista aérea de la Terminal Heliosflora construida, en su entorno.

posteriormente fue construido por la empresa Eiffage Infraestructuras, tras recibir el proyecto fondos del programa REACT-EU de financiación de la Unión Europea (Recovery assistance for cohesion and the territories of Europe), programa que “apoya proyectos de inversión que fomenten las capacidades de reparación de crisis y contribuyan a una recuperación verde, digital y resiliente de la economía.”. La Terminal Heliosflora fue inaugurada en abril de 2024.

Los terrenos se encuentran ubicados en el término municipal de Granada, limitados por el sureste por la autovía de circunvalación N-323, por el sudoeste por la vía de ferrocarril Granada-Moreda y por el Noroeste con un polígono industrial de Maracena. El recinto de cocheras y talleres es preexistente a la intervención y se encontraba en operación desde 2017, y si bien en el proyecto original del recinto se preveía la ejecución de una cubierta ligera en la zona de cocheras, tan solo se ejecutaron

algunas de las cimentaciones de sus pilares perimetrales, no llevándose a cabo la cubierta como tal.

Con la zona de cocheras a la intemperie, el material móvil se exponía a las considerables variaciones de temperatura consustanciales a la climatología granadina, potenciadas por el efecto de la insolación en las estaciones cálidas; la playa de vías se constituía en una superficie dura de hormigón muy visible desde la alledaña autovía de circunvalación, cuya IMD se acerca a los ciento cincuenta mil vehículos diarios, en lo que otrora fuera una parcela agrícola característica de la Vega de Granada, y las horas e intensidad de insolación anual hacían del sitio un marco idóneo para la instalación de una planta de generación fotovoltaica con la que satisfacer parcialmente la demanda eléctrica de la Línea 1 del Metropolitano.

Las anteriores razones impulsaron a la Agencia de Obra Pública a convocar una licitación para la redacción de un proyecto que,

de forma holística, supiera dar respuesta a todas las necesidades y potencialidades, con un énfasis especial en la construcción de un nuevo paisaje periurbano que sirviera de escaparate de los principios de movilidad sostenible y urbanismo consciente que el Metropolitano ha tomado como bandera, en un área que precisa soluciones para sus problemas de calidad del aire, que han situado a Granada en la cola de las ciudades españolas en los últimos años [1], principalmente debido a las emisiones provenientes de los vehículos con motor de combustión.

2. Situación preexistente.

La autovía de circunvalación de Granada rodea la ciudad por su contorno sur, y sirve de frontera entre el núcleo urbano y la zona de La Vega, tradicional e histórico vergel agrícola de la ciudad.



Figura 2. Ubicación de la actuación en el contexto urbano y paisajes de referencia cercanos.

El conjunto de Cocheras y Talleres del Metro Granada conforma un sistema de edificaciones y espacios abiertos ideado para que funcione como centro neurálgico de todo el metro, tanto de la línea



Figura 3. Vista aérea de los Talleres y Cocheras previamente a la actuación.

actual, como de las futuras ampliaciones. Es en esta zona donde se aglutinan todas las actividades principales de explotación y control.

Dentro del conjunto de talleres y cocheras pueden distinguirse tres unidades funcionales básicas interconectadas e interdependientes: oficinas, talleres y zona de estacionamiento de trenes. En esta última área una parte de la explanada destinada al estacionamiento se encuentra ejecutada y en funcionamiento, formando la actual playa de vías, mientras que la otra parte permanece acabada en grava, prevista para una futura ampliación.

La actual playa de vías, al margen de los recorridos perimetrales de acceso y circulación, cuenta con cuatro líneas en activo integradas con la red general de recorridos. Esta superficie de estacionamiento tiene en la actualidad capacidad para 24 trenes. Sin protección alguna, tanto el estacionamiento como los trabajos de mantenimiento de los vehículos se realizan a la intemperie.

Existía una cimentación ya ejecutada para los pilares de una cubierta ligera, definida en el Proyecto complementario nº1 Obras complementarias, accesos a talleres y cocheras, en la zona perimetral de la playa de vías. Una de las premisas del nuevo proyecto fue la de tratar de aprovechar, en la medida de lo posible, dicha cimentación. Sobre algunos encepados se apoyaban los postes metálicos que soportaban el tendido de catenaria, que estaba en servicio. A su vez, sobre este tendido estaba dispuesto el cableado de iluminación, y las correspondientes luminarias. Existía adicionalmente un complejo sistema de servicios enterrados en la zona, que se tuvieron muy en cuenta en el diseño. Como primera actuación, se realizó un levantamiento del estado preexistente, que se materializó por medio de un completo modelo BIM.

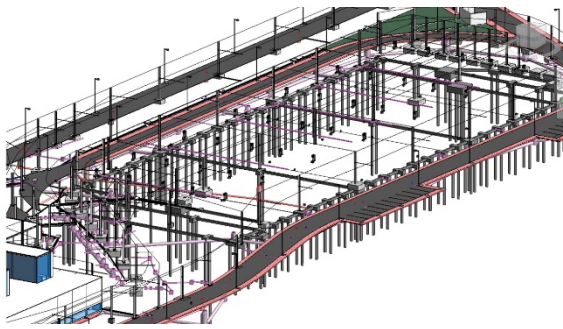


Figura 4. Detalle del modelo BIM de la situación preexistente, mostrando los servicios enterrados y las cimentaciones existentes en el perímetro de la playa de vías.

3. Concepción arquitectónica y paisajística.

El trabajo con una lectura expresa del contexto permite desarrollar una propuesta enraizada en su lugar y emplazamiento. Se entiende por tanto el lugar de trabajo no de forma exclusiva asociada a la parcela objeto del encargo, sino también a su relación con su situación en un territorio más amplio. Dos son las principales referencias que determinan la parcela de cocheras y talleres del Metro de Granada: la autovía A-44 y la Vega de Granada.

En lo que respecta a la autovía, la presencia de esta importante red de transporte adyacente a la playa de vías obliga a entender la imagen que se construye de un paisaje en movimiento. La visión que de este lugar se va a tener no es la de un peatón andando sino la de una mirada a 100 km/h, lo que abre un amplio abanico de posibilidades a considerar en el diseño desde el punto de vista formal y material. Entender como un objeto se aprecia a la velocidad y a la distancia de un punto de vista dinámico implica unas consideraciones de proyecto muy diferentes a otras más convencionales.

Un recorrido por la A-44 descubre un paisaje marcado por la presencia de la Vega en su contacto con la periferia periurbana, así como por pequeños polígonos de naves industriales

salpicadas por el territorio. Con la presencia lejana de Sierra Elvira (en el tramo cercano a la parcela de actuación), la marcada horizontalidad del entorno más cercano a la autovía, ciertos elementos verticales (carteles de publicidad, información de carretera, etc.) reclaman la atención a distancia asegurando que la velocidad del desplazamiento no interfiera su lectura.

En este sentido, estos elementos actúan como Tótems, objetos de referencia que pautan y puntúan un paisaje marcado por la velocidad de la visión desde la autovía. La idea del tótem tendrá una importante presencia en la propuesta para la definición de aquellos elementos arquitectónicos destinados a emerger o contrastar sobre la topografía de la cubierta. Necesidades como la de crear superficies adecuadas para la captación solar o la inclusión de dispositivos para la iluminación y ventilación natural del espacio bajo cubierta, pueden encontrar en estos objetos una referencia formal para constituirse en piezas singulares de por sí. Igualmente, la incorporación de la imagen corporativa dentro de la propuesta encontraría en estos elementos un espacio adecuado dada su visibilidad a corta, media y larga distancia.



Figura 5. Elementos paisajísticos de referencia, tomados en recorrido por la autovía de circunvalación.

La segunda de las referencias determinantes para la propuesta aquí presentada deriva de la fundamental decisión de la generar una cubierta ajardinada a modo de paisaje artificial elevado sobre la playa de vías. Se estudian en este sentido modelos de estructuras agrícolas locales que puedan servir de modelo para la propuesta. Desde paisajes productivos

patrimoniales procedentes del conjunto monumental Alhambra y Generalife (por poner dos ejemplos clave) a otros extraídos de distintas zonas de la Vega, estas referencias ayudan a establecer un patrón de organización, de escala, de textura y, muy importante, de identidad con la que dotar al edificio de un relato local y cercano capaz de ser fácilmente comunicable.

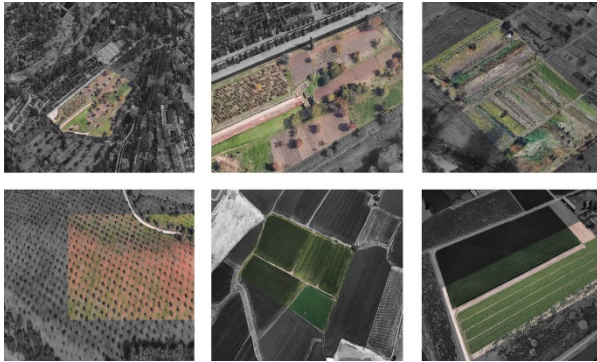


Figura 6. Texturas paisajísticas de la Vega de Granada utilizadas como referencia.

La referencia de estos entornos agrícolas potencia la idea de un objeto que se presenta en la autovía como paisaje, más que cómo una arquitectura más. En sintonía con la filosofía que acompaña al Metro de Granada, la apuesta por una imagen naturalizada traslada a la propia arquitectura de los Talleres y Cocheras la imagen de una ciudad limpia, verde y sostenible.

4. Estudio de alternativas.

En esta fase de análisis de alternativas, seis son las seleccionadas para proceder a un filtrado

final. Cada una de estas opciones representa un camino abierto en la fase precedente introduciendo así factores formales, estructurales, energéticos y paisajísticos diferentes. Todas las alternativas se someten a un análisis de eficiencia energética en lo que al rendimiento de la instalación de generación eléctrica fotovoltaica se refiere, analizando la producción de energía de cada una en función del programa de distribución y orientación de las placas fotovoltaicas, contando para ello con el asesoramiento de la Agencia Andaluza de la Energía. Dado que el eje longitudinal de la playa de vías a cubrir tiene una orientación hacia el Suroeste, se busca con las alternativas dar relieve a la cubierta y generar superficies con exposición hacia el Sur e inclinación óptima para obtener el máximo rendimiento energético.

Las seis propuestas descritas anteriormente serían sometidas a un análisis multicriterio del que resultaría un orden de idoneidad o interés para las distintas opciones planteadas. Al análisis efectuado se le añadiría también una séptima opción, Opción 0, que presentaba una situación de cubierta industrializada convencional con lo que se introducía así un escenario de mínimos.

Los criterios bajo los que se analizan las alternativas son: Coste durante la vida útil, ejecutabilidad y plazo (teniendo en cuenta como condicionante que la infraestructura de la playa de vías y zonas anexas ha de permanecer en servicio durante la obra), sostenibilidad y paisaje

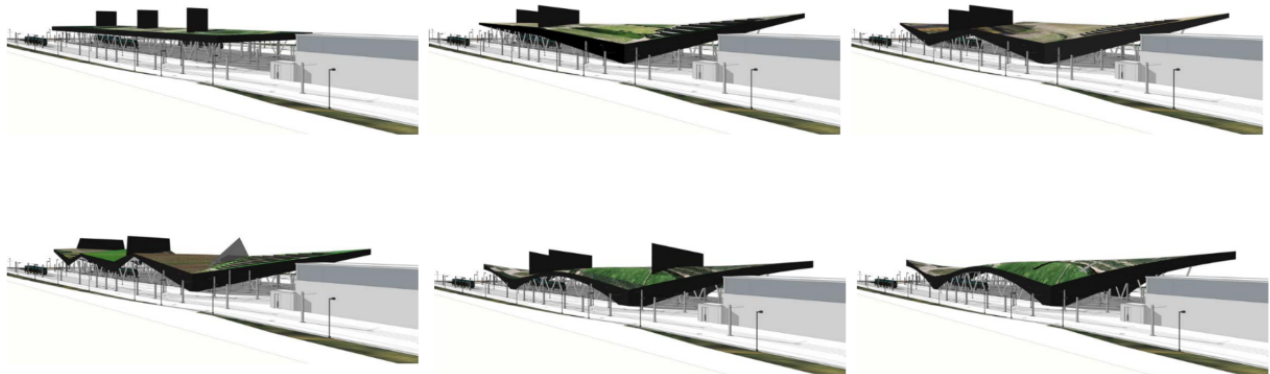


Figura 7. Renders de las 6 alternativas planteadas en la fase inicial, con vista desde la A-44

y diseño e innovación. La instalación fotovoltaica se somete a un análisis de rentabilidad económica tras el que se verifica que el periodo de retorno de la inversión es inferior a los 10 años para el escenario más conservador. Siendo la eficiencia energética un factor además clave para la obtención de financiación europea, no hay duda de que se trata de un aspecto clave a integrar en el diseño definitivo.

5. Diseño final.

5.1 Arquitectura y paisajismo

Seleccionada la alternativa denominada en la fase de estudio como “Torres Bermejas” como la idónea, se comienza con el desarrollo de esta, en un trabajo multidisciplinar en el que la metodología BIM posibilita la necesaria coordinación entre áreas.

Manteniendo los principios de diseño generales avanzados en el estudio de opciones, la cubierta comienza a definirse de forma más precisa salvando las exigentes condiciones de contorno especialmente las relativas al gálibo libre de interferencias estructurales fijo a 8,20 m de altura, por un lado, como las necesidades de cubrición ante el soleamiento e inclemencias de tiempo, por otro.

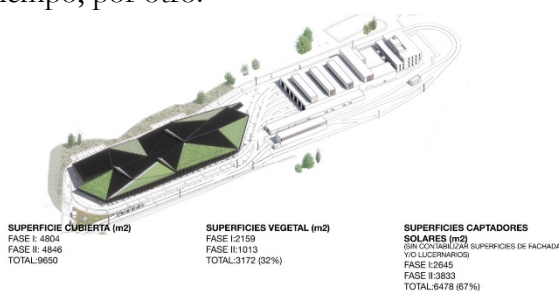


Figura 8. Distribución de programa de cubierta

La geometría planteada parte de una superficie marcadamente triangulada que organiza sus distintos planos según cambios suaves en las pendientes. La cubierta se define a partir de un plano triangulado que permite plegar la cubierta y ofrecer varias caras expuestas a la autovía. La topografía desarrollada, al igual que

en los casos precedentes, viene reforzada por su espesor a través de un peto quebrado que tiene un importante papel en la protección de la playa de vías. El canto de este elemento es variable permitiendo una mayor flexibilidad en la definición formal de las fachadas.

La cubierta contactaba en la fase más temprana del diseño final con el suelo en un único punto, en este caso en la fachada norte, en la zona de la playa de vías menos afectada y más próxima al edificio de talleres. Este punto genera un acceso peatonal (escalonado y en rampa) sirviendo además como elemento de rigidización de la estructura con el que la cual queda fijada al suelo. Caracterizada por la rotundidad formal, la propuesta amortigua el contraste entre el desarrollo geométrico de la plataforma y la verticalidad de los tótems, elementos que adquieren, al igual que en soluciones anteriores, una importancia manifiesta. Sin embargo, los tótems (disminuyendo sus dimensiones en altura) en la propuesta se acerca más a las pendientes y geometrías de la cubierta emergiendo como un plegado más de la misma. De planta triangular, estos elementos presentan una composición dinámica de cara a la autovía, más estrechos en la parte más cercana a la A-44 y más anchos conforme avanzan en sentido transversal.

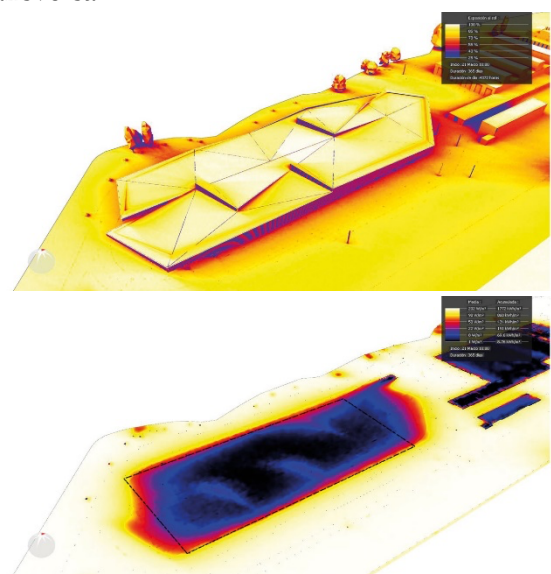


Figura 9. Análisis de radiación solar anual en la cubierta y en la playa de vías inferior.

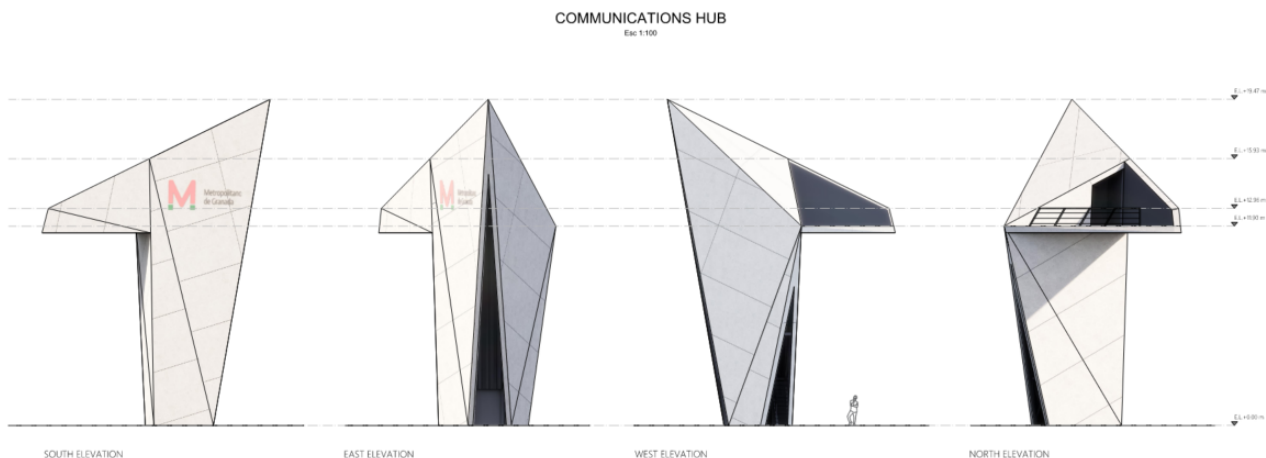


Figura 10. Vistas del núcleo de comunicaciones para acceso a la cubierta.

Al igual que en las soluciones anteriores, la plataforma asegura la correcta cubrición del material móvil mientras que los tótems actúan como pantalla para la captación solar y lucernario con el que dotar de luz indirecta (orientado a norte) a las zonas más deprimidas lumínicamente, así como asegurar una ventilación natural complementaria aprovechando el efecto chimenea en el interior del espacio. La sección del nuevo edificio para las cubiertas se adapta a las cotas máximas en altura del edificio de talleres adyacente determinadas por la cara superior de los lucernarios.

En las fases finales del diseño, se decide sustituir la rampa de conexión con tierra, por un núcleo vertical de acceso que permita implantar un montacargas, en la parte más cercana al edificio de talleres, de forma que se minimice la ocupación de superficie fuera de la playa de vías. En la zona donde se ubica el montacargas se imbrica también el conjunto de escalera de servicio, que formalizan juntos el núcleo de comunicaciones. Esta estructura se materializa gracias a un potente tótem que recibirá la imagen corporativa del Metro. La estructura de la torre del núcleo de comunicaciones es completamente independiente de la estructura de la cubierta.

Se realiza un pormenorizado análisis de la integración paisajística del diseño, desde todos los puntos de vista posibles, buscando una

armonía visual sin renunciar al planteamiento de un diseño de vanguardia.

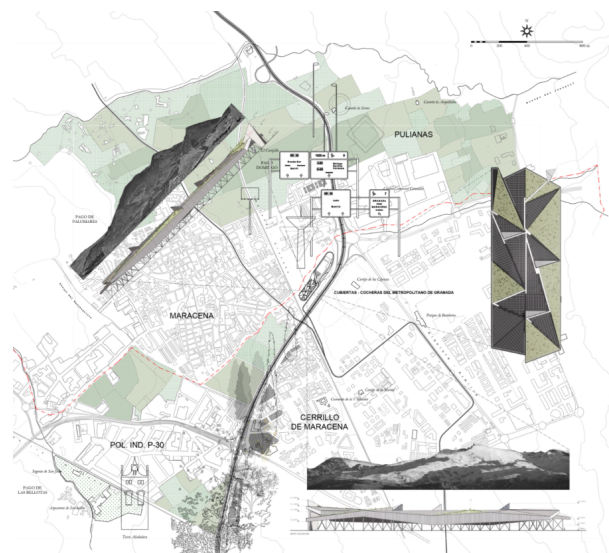


Figura 11. Análisis de integración paisajística del diseño desde diferentes puntos de vista.

Un aspecto fundamental en el desarrollo de la propuesta ha sido la búsqueda y definición de un espacio interior acorde con la función a desarrollar tanto a nivel de la protección del material móvil como del trabajo de mantenimiento de vehículos y plataforma. A este respecto, la propuesta ha apostado por una generosa espacialidad caracterizada por su luminosidad y transparencia.

Para ello, tanto elementos estructurales verticales como horizontales, así como la superficie de techo son lacados en blanco asegurando así la esbeltez de los elementos portantes.

Los tres lucernarios dispuestos aseguran la iluminación en las zonas más interiores de la playa de vías. Orientados marcadamente a norte, la luz incidente que atraviesa estos elementos es la mayor parte del día indirecta, más que adecuada para las tareas que se desarrollan bajo la cubierta (ver Fig. 16 para mayor detalle).

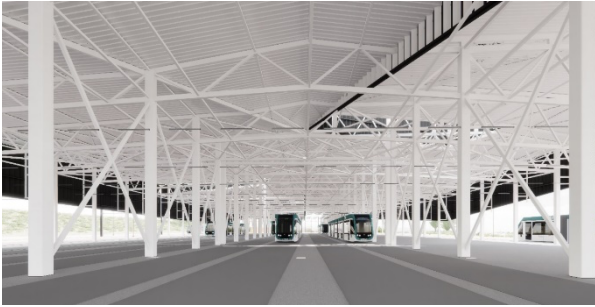


Figura 12. Análisis de espacialidad interior.

5.2 Ingeniería estructural

El proceso seguido por el equipo redactor del proyecto para la definición de la solución estructural se basó en un enfoque paramétrico para lograr una solución optimizada desde el punto de vista del aprovechamiento de los materiales, prefabricación, facilidad de ejecución e integración en el diseño global. Las circunstancias específicas y singularidades del proyecto fueron un reto en este sentido: la cubierta se articula como un volumen ubicado a gran altura (por la necesidad de respetar un gálibo vertical general de 8.20 m libres sobre las vías), con gran masa (solo la cubierta vegetal supone 2 kN/m^2 , si bien la solución finalmente empleada es más ligera), que ha de ser diseñado teniendo en cuenta tanto la situación de cerramiento parcial como total del perímetro (lo que tiene una importante repercusión en el comportamiento del edificio frente al viento) y que se ubica en la zona con mayor sismicidad de la Península Ibérica. Los condicionantes funcionales requieren, además del respeto de los gálibos dinámicos del material móvil y del gálibo vertical por presencia de catenaria, dotar a la estructura de la máxima diafanidad y esbeltez posible, de manera que se facilite el tránsito de personas, vehículos y maquinaria de

mantenimiento y operación en los pasillos existentes entre las unidades de material móvil estacionadas. Obviamente, ello ha de ser compatible con el estricto cumplimiento de los requisitos resistentes, que se determinan además de conformidad con el por entonces recién publicado Código Estructural, que establece exigencias novedosas, y que se aplicó no solo a los elementos estructurales de nueva planta, sino también a los elementos existentes (cimentaciones en las alineaciones exteriores de pilares), que por razones obvias no fueron en su día diseñados con dichos criterios. Por último, aunque no menos importante, es muy reseñable que este proyecto fue el primer proyecto que la Junta de Andalucía desarrolló con requerimientos BIM, y esa circunstancia guio todos los procesos de diseño estructural desarrollados, para los que se han empleado las más avanzadas herramientas de modelización estructural y cálculo en entorno BIM.

Se barajaron una gran cantidad de posibilidades, tanto en lo que se refiere a la estructura soporte de la cubierta como para la subestructura, pilares, arriostramientos y cimentaciones. En lo que a la cubierta respecta, se barajaron y predimensionaron soluciones espaciales tipo “tridilosa”, pero la necesidad de minimizar la afección a la playa de vías durante la construcción, la mayor demanda en las cimentaciones existentes y el escaso espacio disponible para premontajes inclinó la balanza hacia un sistema tipo chapa-deck soportado por vigas celosía espaciales moduladas en tramos cortos con unión atornillada entre los mismos.

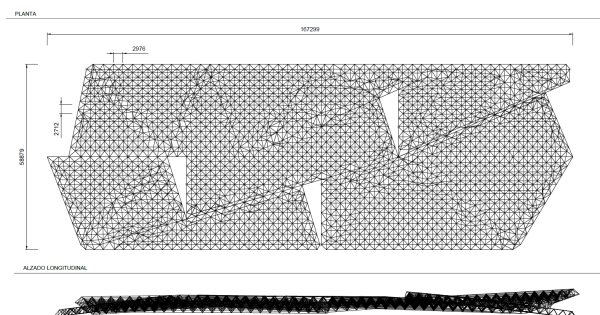


Figura 13. Cubierta espacial predimensionada.

Apoyándose en un sistema paramétrico coordinado con el modelo BIM global, se

desarrollaron más de cien modelos estructurales de cálculo con posibles soluciones, para valorar la alternativa óptima.



Figura 14. Algunos ejemplos de modelos estructurales predimensionados.

Finalmente, tras evaluar todas las posibilidades con un análisis multicriterio, ponderando las cuantías de materiales, la afección sobre las cimentaciones existentes, la facilidad de ejecución y las posibilidades de prefabricación y segmentación para montaje, se establece como configuración más viable la de pilares metálicos de sección variable con los que se configuran pórticos transversales con celosías en el plano superior, debidamente arriostrados para hacer frente a las acciones horizontales. Si bien la opción de pilares en “V” es factible, se prefiere optar por pilares verticales con arriostramientos en cruces de San Andrés, por lograrse una notable economía en los materiales, al optimizar la geometría y lograr una rigidez menor que redundaría en una reducción de la acción sísmica.

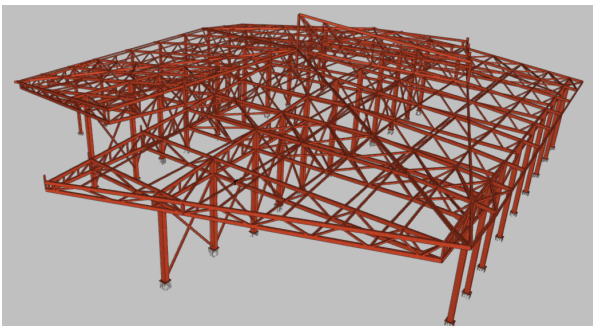


Figura 15. Detalle de modelo estructural BIM de uno de los tres módulos en los que se configura la estructura final.

En sentido transversal ya se ha definido el esquema estructural de pórtico de 3 vanos de luces similares, aprovechando el espacio entre vías, con nudo rígido en cabeza de pilar y con

mucha menor rigidez al giro en la base del pilar. En sentido longitudinal, además de las correas, deben incluirse una serie de barras longitudinales que arriostran los cordones superior e inferior de la celosía, evitando flexiones excesivas en el plano horizontal debidas básicamente al sismo. Estas barras se complementan con las necesarias para limatesas y limahoyas y lucernarios, también resueltos con celosías.

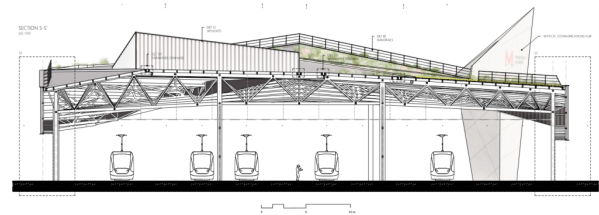


Figura 16. Sección transversal constructiva.

La solución seleccionada para la estructura del núcleo de comunicaciones está también altamente condicionada por los efectos sísmicos. Al tratarse de una torre con un gran voladizo superior, se recurrió a una estructura liviana de celosía metálica, que minimiza las masas involucradas en la estructura, sobre todo en la parte superior del voladizo. Con un esquema metálico y arriostrado en ambos sentidos, se consigue minimizar los esfuerzos y reacciones sísmicas y sus movimientos asociados.

Dado el pequeño espacio para ubicar la cimentación, debido a proximidad de numerosos servicios afectados, y debido a baja capacidad portante del terreno, se adoptó la solución de un encepado de pilotes.

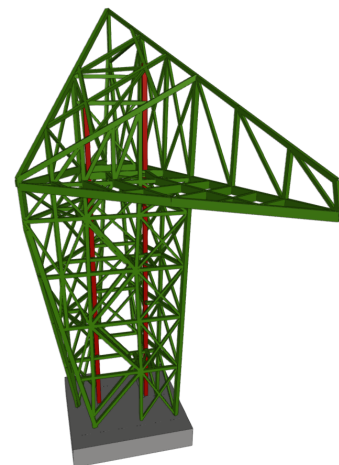


Figura 17. Modelo estructural BIM del núcleo de comunicaciones.

5.3 Planteamiento constructivo

El completo modelo BIM obtenido al final del proceso de diseño posibilitó el análisis detallado de la secuencia constructiva, con el reto de garantizar en todo momento el mantenimiento del servicio prestado por el Metro, minimizar la ocupación de espacios y garantizar un programa de trabajos realista que se ajustase a los doce meses de límite del plazo de ejecución.

La construcción de la infraestructura, adjudicada a Eiffage Infraestructuras por 5.263.150,63 Euros + IVA, cumplió con el ajustado plazo de ejecución y logró no provocar ninguna interrupción del servicio durante todo el proceso.



Figura 18. Fotografía de la estructura en construcción.



Figura 19. Fotografía de la estructura construida.

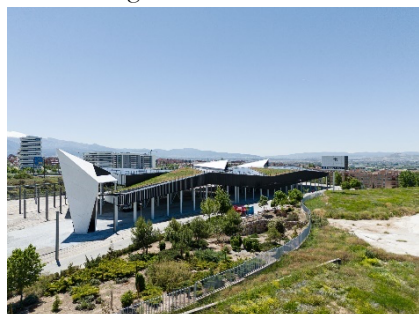


Figura 20. Fotografía de la estructura construida.

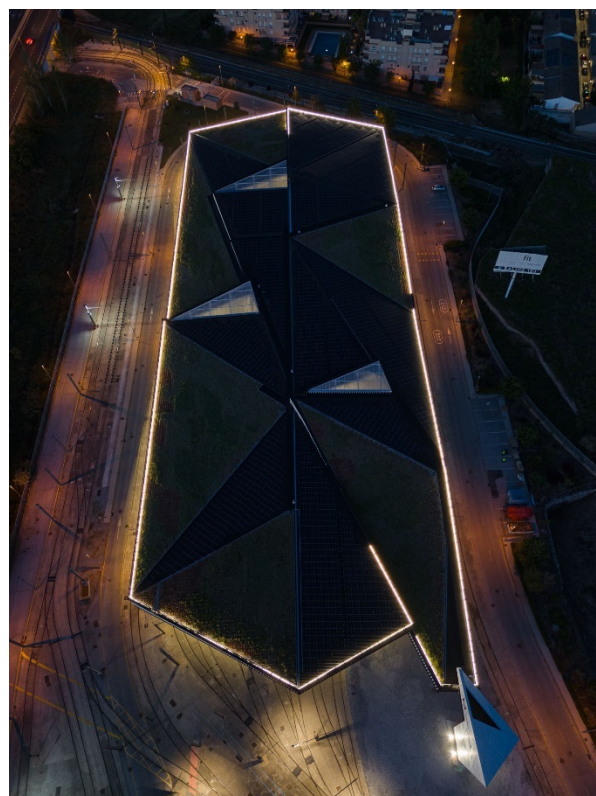


Figura 21. Fotografía de la estructura construida.

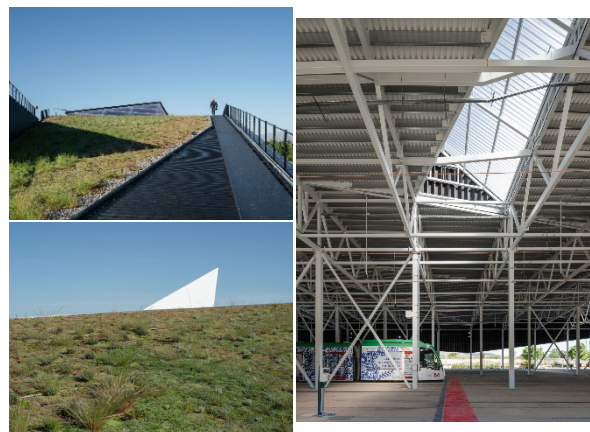


Figura 22. Fotografías de la estructura construida.

Agradecimientos

A la AOPJA de la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, por su impulso y apuesta por el diseño de calidad en las infraestructuras. A Granada, por ser Granada. A Luis Miguel Salazar, coautor del Proyecto Constructivo.

Referencias

- [1] European Environmental Agency. European city air quality viewer. (página web)