Diseño y construcción de la nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus en Bilbao

Design and construction of the new Termibus Underground Intermodal Station in Bilbao

Jon Roteta Zugazagasti[*,a], Joanes Goicoechea Montes[b] y Mayra López Lorenzo[c]

[a] Ingeniero Industrial. INAK Ingeniaritza. Director Técnico. San Sebastián, España. jon@inaksl.com.

[b] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. INAK Ingeniaritza. Jefe de Proyectos. San Sebastián, España. joanes@inaksl.com.

[c] Arquitecta. INAK Ingeniaritza. Jefa de Proyectos. San Sebastián, España. mayra@inaksl.com.

RESUMEN

La nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus es un proyecto promovido por el Ayuntamiento de Bilbao, posicionado como proyecto clave en el desarrollo de la ciudad. Constará de un espacio soterrado de 55500 m^2, una plaza pública de 6700 m^2, y dos edificios de 12 plantas y 28300 m^2 sobre rasante. Los condicionantes arquitectónicos y el emplazamiento de la estación han requerido un ejercicio de racionalización y optimización de la estructura basado en concentrar su singularidad en los forjados de la Planta Baja y la Planta Mezzanine (PS1), maximizando así la estandarización del resto de la estructura. El artículo se centra fundamentalmente en la descripción de este proceso.

ABSTRACT

The new Termibus Underground Intermodal Station is a project promoted by the Bilbao City Council, positioned as a crucial project in the city development. It will be made up of a 55500 m^2 underground space, a 6700 m^2 public square, and two buildings of 12 floors and 28300 m^2 above. The architectural conditioning and the location of the station have demanded an exercise of rationalization and optimization of the structure based on concentrating its singularities in the Ground Floor and the Mezzanine Floor, thus maximizing the standardization of the rest of the structure. The article focuses primarily on the description of this process.

PALABRAS CLAVE: Racionalización de estructuras, Forjados colgados, Optimización, Apeos en losas.
KEYWORDS: Structure rationalization, Suspended slabs, Optimization, Transfers in Slab.

1. Introducción

La nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus es un proyecto promovido por el Ayuntamiento de Bilbao, posicionado como proyecto clave en el desarrollo de la ciudad y su intermodalidad, ya que en ella confluirán el tranvía, trenes de cercanías, el metro y principalmente autobuses (Figura 1). Gracias a un servicio centralizado, accesible y homogéneo que dará servicio a aproximadamente 5 millones de viajeros al año, se convertirá en un núcleo central de salida y llegada de autobuses a nivel nacional e internacional. Esta estación de autobuses abarca un espacio soterrado de 13200 m^2 en la planta sótano -2 (PS2) y tiene prevista una futura ampliación de 5000 m^2 en la planta sótano -4 (PS4).

El proyecto fue adjudicado por el ayuntamiento de Bilbao, en febrero de 2016, a

la UTE formada por las empresas Construcciones Amenabar y Excavaciones Viuda de Sainz, aunque esta última no participara finalmente en el proyecto.

Figura 1. Nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus. Infografía.

El diseño del proyecto fue realizado por el estudio de arquitectos bilbaíno IA+B, mientras que el desarrollo del proyecto de estructura y posterior asistencia técnica a la dirección de obra fue realizado por INAK Ingeniaritza.

2. Concepción y diseño de la estación

El edificio consta de dos partes principales diferenciadas: bajo y sobre rasante (Figura 2).

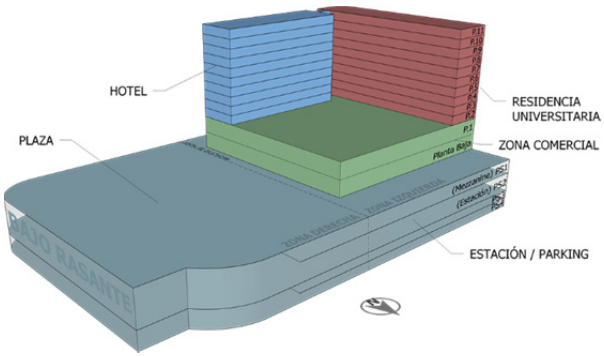

Figura 2. Nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus. Esquema de usos.

El espacio bajo rasante, con una geometría rectangular, contiene los usos públicos distribuidos en dos plantas de parking en los sótanos -4 y -3 (PS4 y PS3), la estación propiamente dicha en el sótano -2 (PS2), y una planta denominada "Mezzanine" (PS-1), donde se ubican los espacios auxiliares y de servicios para la totalidad del edificio. Estas plantas quedan divididas por una junta de dilatación que recorre el edificio en sentido transversal, separándolo en dos partes denominadas "Zona Izquierda" (Oeste) y "Zona Derecha" (Este).

La contención perimetral para realizar la excavación del edificio bajo rasante se ejecutó mediante un muro pantalla anclado.

Las plantas sobre rasante se ubican únicamente en la Zona Izquierda, dejando la Zona Derecha libre de edificaciones, creando una plaza pública a nivel de calle. Estas plantas sobre rasante contienen tres usos diferenciados con distintas geometrías. Las primeras dos plantas ocupan prácticamente toda la Zona Izquierda y albergan las zonas comerciales y el acceso a la estación, mientras que las plantas altas restantes, con una geometría en forma de "L", albergan en cada una de sus alas un hotel y una residencia universitaria.

2.1 Condicionantes Arquitectónicos

2.1.1 Funcionamiento de la estación

Los requerimientos de espacio en la estación para facilitar las maniobras de los autobuses y la necesidad de permitir el acceso a las dársenas por los dos sentidos de circulación, exigían resolver luces generales de 17.5 m y de hasta 25.5 m en la zona de la junta de dilatación.

2.1.2 Limitación de Rasantes

Las cotas de la Planta Baja venían definidas por la rasante de la calle, las de la Planta Mezzanine (PS1) por el acceso directo al metro y las de la Planta Estación (PS2) por el desarrollo de las rampas de acceso de autobuses. Por lo tanto, era fundamental no reducir la altura libre de la estación con elementos descolgados en el forjado de la Planta Mezzanine (PS1).

2.1.3 Disparidad de usos en altura

La disparidad de usos de las diferentes plantas demandaba utilizar distribuciones de pilares discontinuas en altura.

2.1.4 Adjudicatario de edificios sobre rasante

En fase de proyecto de ejecución, no existía adjudicatario de los edificios de sobre rasante, por lo que se tuvo que plantear una solución estructural del edificio bajo rasante que fuera capaz de absorber una redistribución de los pilares superiores en fase de obra.

2.1.5 Cargas en la plaza

La Planta Baja en la zona de la plaza tenía que soportar cargas muertas de 2200 kg/m^2 para el paso de instalaciones y sobrecargas de 2000 kg/m^2 para la realización de eventos.

2.1.6 Edificio futurible

La estructura bajo rasante debía soportar las cargas transmitidas por un posible futuro edificio de 5 plantas ubicado sobre la plaza.

2.2 Condicionantes del emplazamiento para la ejecución de la obra

2.2.1 Acopio de materiales

No existía la opción de trabajar desde el perímetro exterior de la pantalla, por lo que no había espacio para el acopio de materiales ni para trabajar con maquinaria.

2.2.2 Ejecución del muro pantalla

La ejecución del muro pantalla supuso un estudio exhaustivo de las contenciones y cimentaciones colindantes a la estación.

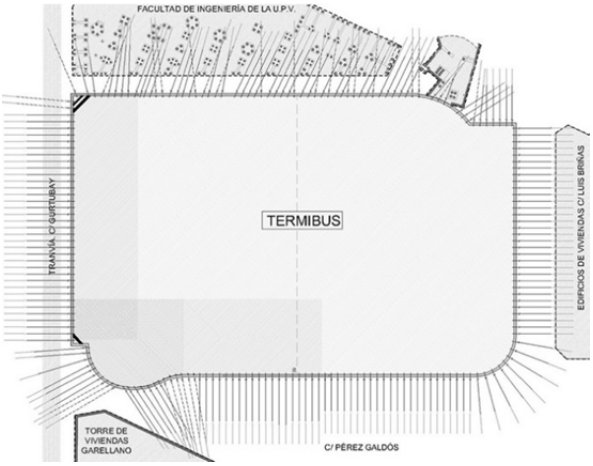

Figura 3. Nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus. Muro pantalla perimetral anclado.

Como se observa en la Figura 3, en uno de los tramos, los anclajes a ejecutar debían atravesar un entramado de pilotes existentes bajo el edificio de la Universidad del País Vasco y la estación de metro, y debían esquivar la pantalla existente de una de las nuevas Torres de Garellano. En ambos casos, los anclajes debían alcanzar dobles inclinaciones de hasta 45º (vertical) y 27º (horizontal).

2.3 Otros condicionantes

2.3.1 Propiedad del edificio

El ayuntamiento de Bilbao será el propietario del edificio bajo rasante, mientras que los edificios sobre rasante serán de propiedad privada. Adaptarse a las necesidades de explotación de ambos y a la vez crear una estructura funcional y optimizada supuso un reto para el proyecto de estructura.

2.3.2 Plazos de ejecución

El plazo de ejecución previsto era de 18 meses desde la demolición de la estación existente.

3. Proyecto estructural

Se estudiaron los ejemplos de la Estación de autobuses soterrada de Pamplona [1], la Estación intermodal Bir Mourad Raïs (Argel) [2] o diferentes soluciones de *hubs* de transporte soterrados en China [3], entre otros, para conocer diferentes soluciones estructurales.

3.1 Proceso de racionalización y optimización de la estructura

El trabajo de racionalización de la estructura en la redacción del proyecto básico fue un punto crítico del proyecto e implicó un cambio profundo del planteamiento de la estructura respecto al anteproyecto, adaptándolo a todos los condicionantes mencionados en el apartado anterior. Ello permitió converger hacia una solución

consensuada y aceptada por todas las partes, que apenas sufrió cambios en la fase de redacción del proyecto de ejecución y en la propia ejecución de la obra. De este proceso se destacan tres actuaciones principales que se exponen a continuación.

3.1.1 Redistribución de pilares

La distribución de pilares de la fase de anteproyecto estaba concebida para ejecutar todos los forjados prefabricados y contemplaba luces singulares en todas las plantas del proyecto, independientemente de su uso, incluso en las plantas sobre rasante. Este criterio de luces condicionaba la ejecución y aumentaba significativamente el coste del proyecto.

Como se observa en la Figura 4, la redistribución de pilares viabilizó la eliminación de las soluciones prefabricadas, que eran difícilmente ejecutables por las limitaciones de espacio en obra. Además, contribuyó a la racionalización de la estructura, concentrando las soluciones singulares sólo donde eran necesarias. Esta necesidad de resolver grandes luces se produjo de forma aislada en la Planta Estación (PS2) y en la Planta Parking (PS4).

El incremento del número de pilares en un 132 % quedó justificado, ya que se mantuvo el número de plazas de parking y se llegó a aumentar la luz libre en los espacios singulares.

3.1.2 Diseño conceptual de los forjados de Planta Baja y Planta Mezzanine (PS1)

Se realizó un estudio de alternativas desde el punto de vista estructural y arquitectónico, obteniendo finalmente una solución en la que se conseguía resolver todos los condicionantes.

Se concluyó que la solución óptima consistía en ejecutar un forjado de losa maciza de hormigón de 140cm de espesor en la Planta Baja. De esta forma, la Planta Mezzanine (PS1) podía colgarse de la Planta Baja mediante un gran número de pilares, consiguiendo resolver las grandes luces en el techo de la Planta Estación (PS2) sin vigas ni elementos de gran canto. También cumplía la función de "losa de cimentación suspendida", apeando los pilares de los edificios superiores y pudiendo absorber la redistribución de éstos en fase de obra. Los pilares en "V" que nacían en la Planta Baja permitieron minimizar la afección de los apeos y aportaron un componente estético (Figura 4).

Por último, se consiguió eliminar los elementos prefabricados de envergadura en toda la obra.

3.1.3 Optimización del forjado de la Planta Baja

A pesar de que el dimensionamiento de la Planta Baja y de la Planta Mezzanine (PS1) se resolvieran en el proyecto de ejecución al aplicar la alternativa escogida, se observó que la Planta Baja suponía en torno a un 40% del volumen de hormigón y un 50% de la cuantía total de acero de la medición de la estructura bajo rasante. Por ello, aprovechando que la Planta Baja debía ser recalculada para la redistribución de los pilares superiores, se procedió a realizar una segunda optimización de la losa en fase de obra, que duró cuatro semanas.

3.2 Solución estructural

El hecho de haber concentrado toda la singularidad de la estructura en los forjados de la Planta Baja y la Planta Mezzanine (PS1), permitió aplicar tipologías de forjado optimizadas de losa maciza de 25-30 cm y luces entre pilares de 7-8 m en la mayoría de la estructura. De esta forma, se consiguió que el 75% de la superficie de la estructura fuera convencional y asumible con costes más cercanos a estructuras residenciales comunes. También simplificó la ejecución de la obra, reduciendo considerablemente los recursos y el tiempo de ejecución.

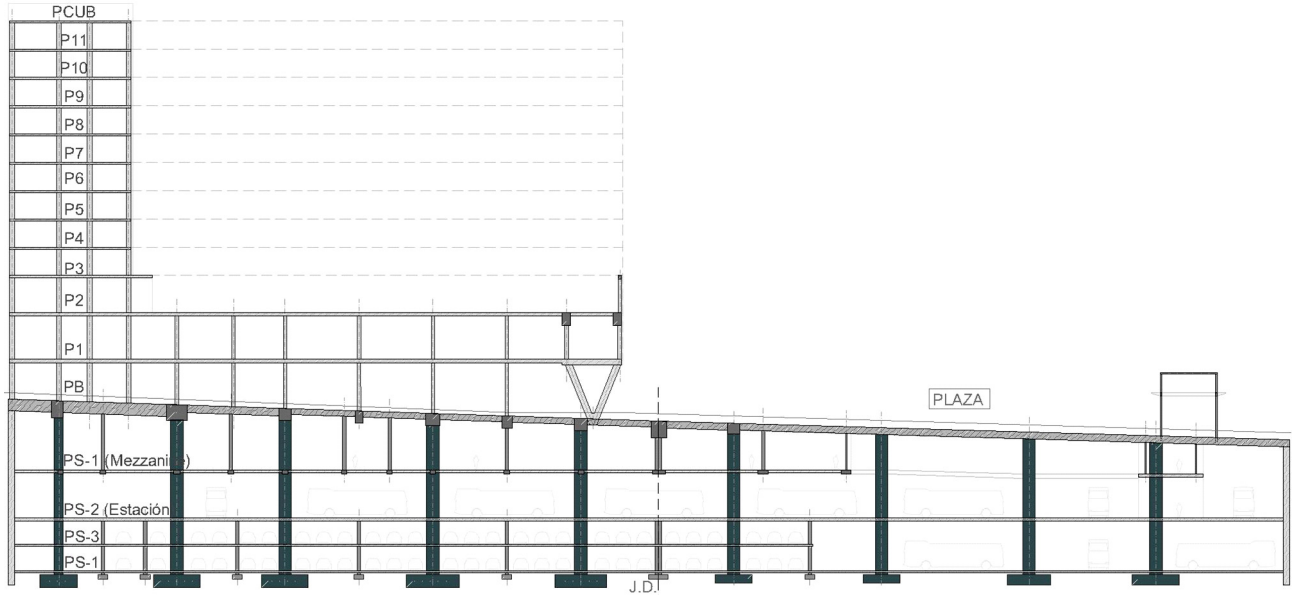

Figura 4. Nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus. Sección transversal del edificio.

Gracias a la redistribución de pilares, se pudieron introducir forjados de losa maciza de 25 cm en la Planta Parking (PS3) y de 30-50 cm en la Planta Estación (PS2). Las losas se ejecutaron sin descuelgues, exceptuando una franja de la estación donde aparecían vigas de 150cm de canto, para habilitar una luz entre pilares de hasta 15 m en la zona de maniobras de los autobuses en la Planta Parking (PS4). La posterior optimización de los refuerzos, partiendo por lo general de mallas de ø8s15 y ø10s15, permitió alcanzar cuantías totales en los forjados de 18 kg/m^2 (PS3) y 32 kg/m^2 (PS2).

La Planta Mezzanine (PS1) colgaba de la Planta Baja, lo que permitía incrementar de forma significativa el número de pilares que nacían sobre ella sin tener que bajarlos a la Planta Estación (PS2). Debido a que el techo de la estación, una vez ejecutado, quedaba completamente visto, y que interesaba evitar la colocación de una cimbra en una superficie de 9500 m^2 por las grandes alturas entre los forjados de PS1 y PS2, se optó por plantear una solución semi-prefabricada mediante prelosas que actuaban a su vez de encofrado perdido. De esta forma, la planta se resolvió mediante una solución de prelosas estándar de 20/30+10 cm con vanos de 7-8 m.

El efecto visual que se deseaba generar sobre los usuarios que observan el techo desde la Planta Estación (PS2) era el ver un forjado que descansaba sobre unas vigas que apenas descolgaban 20 cm y que en algunos tramos abarcaban luces de 25-35 m, y en algún caso hasta de 49 m (Figura 5).

Figura 5. Fase de obra. Mezzanine (PS1) colgada, luz de 25 m sin descuelgues en Estación (PS2).

Este efecto óptico se consiguió colgando las vigas de la Planta Mezzanine (PS1) mediante pilares traccionados. Estos pilares se distribuyeron cada 6-7 m aproximadamente,

siendo ésa la distancia real entre apoyos de vigas en la Planta Mezzanine (PS1). En la Figura 6 se muestra gráficamente como trabajan unas vigas de Mezzanine, mediante un diagrama de momentos flectores.

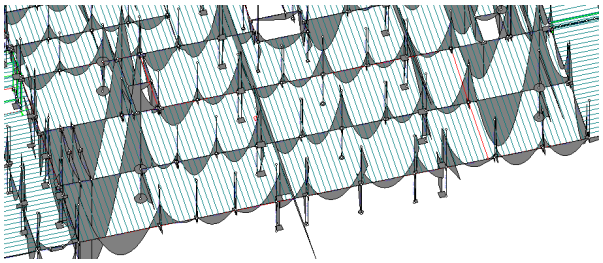

Figura 6. Diagrama de flectores. Planta Mezzanine (PS1).

Los pilares colgados actuaban como cargas puntuales colgadas de la losa de Planta Baja, transmitiendo la carga a través de ésta hasta los pilares principales de la estación, que la bajaban hasta la cimentación. En la Figura 7 se observa este fenómeno a partir de los diagramas de axiles, donde se producen tracciones en los pilares colgados (axiles en azul) y compresiones en los pilares principales de la estación (axiles en rojo).

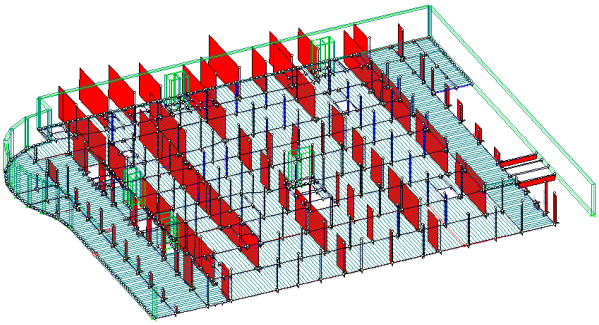

Figura 7. Diagramas axiles. Planta Mezzanine (PS1).

La Planta Baja también tenía la función de ejercer de losa de cimentación "suspendida", absorbiendo los esfuerzos de los pilares apeados de los edificios superiores. Además, habilitaba las grandes luces necesarias en la Planta Estación (PS2). La influencia del peso propio de la losa, las cargas muertas y las sobrecargas también eran factores críticos en las zonas que no estaban bajo la huella de los edificios superiores.

En la fase de anteproyecto, la rigidez en la ubicación de los pilares de los edificios sobre rasante implicaba trabajar con luces de hasta 11.40 m, con soluciones estructurales más costosas, no tan propias de estructuras de edificación convencionales. Desde el proyecto básico, gracias a la flexibilidad que aportaba la nueva solución de la Planta Baja, se pudo redistribuir e incrementar el número de pilares en los edificios superiores, reduciendo las luces máximas a 7 m y facilitando así ir a soluciones de losa maciza de 25 cm sin vigas de canto en la mayoría de las plantas. La optimización de los refuerzos, partiendo por lo general de mallas de ø8s15, permitió alcanzar cuantías de acero por forjado de 26 kg/m^2 en las Plantas Tipo.

Cabe destacar que la Planta Primera (P1) también se dimensionó con dos alineaciones completas colgadas de la Planta Segunda (P2). En este caso, el objetivo era trasladar las vigas de 150 cm de canto y luces de 18.5 m entre los pilares en "V" a la planta superior mediante pilares colgados. De esta forma, se aumentaban las alturas libres en Planta Baja y se aportaba una sensación más diáfana en la entrada de la estación. En estos forjados también se resolvían una serie de apeos de pilares de 11 y 12 plantas de altura, mediante vigas de 150 cm de canto y luces de 10 m.

En cuanto a los elementos verticales, como los empujes de la estructura bajo rasante estaban compensados casi en su totalidad, fue suficiente la aportación de los núcleos de ascensores y los pilares. En los edificios superiores, en cambio, sí fue necesario ejecutar una serie de muros de cortante apeados sobre la losa de Planta Baja. Tenían como objetivo absorber los esfuerzos de cortante generados por el viento en la dirección de menor inercia de los edificios.

Los elementos horizontales se ejecutaron con un hormigón HA-25 y barras corrugadas de acero B500S. La pantalla, en cambio, fue dimensionada con un hormigón HA-30. Finalmente, para los pilares se utilizó un hormigón HA-35 hasta la planta P7 y HA-25 a partir de ésta.

3.4 Modelo de Cálculo

3.4.1 Descripción del modelo

La estructura se analizó de forma global mediante un modelo tridimensional, comprobando el comportamiento y la estabilidad del conjunto, y considerando la interacción entre todos los elementos a través de la compatibilidad de desplazamientos y deformaciones.

El análisis y determinación de esfuerzos y deformaciones se realizó en régimen elástico por el método matricial, mediante un modelo generado con el software de cálculo de estructuras TRICALC de la empresa Arktec (Figura 8)

A lo largo del proceso de cálculo, se realizaron diferentes análisis de sensibilidad para detectar los puntos críticos del modelo. Se observó así cómo afectaban diferentes cambios en la estructura, como variaciones en la tipología de forjados, la rigidez y la distribución de los elementos verticales, en las diferentes calidades del hormigón, en los empujes del terreno, y en la respuesta frente a las diferentes fases constructivas, entre otros.

También se realizaron modelos de contraste en diferentes softwares de cálculo, para validar los esfuerzos y deformaciones obtenidas.

3.4.2 Proceso de optimización de la Planta Baja

En este proceso de optimización se desarrollaron diferentes modelos de Planta Baja, variando los espesores de las losas y utilizando diferentes distribuciones de vigas de canto, para alcanzar la solución óptima desde el punto de vista estructural, económico y de ejecución.

Esta solución permitía aumentar la altura libre, descargar los pilares inferiores y sus cimentaciones, y reducir considerablemente las solicitaciones de la cimbra.

Finalmente, gracias a la colocación de vigas de canto repartidas de forma estratégica, se consiguió reducir los espesores de la losa de planta baja de 140cm a 90-70-60-50-45 y 40cm, dependiendo de las zonas y sus solicitaciones, salvo en la huella de los dos edificios de sobre rasante donde se mantuvo el espesor de 140cm.

En la Figura 9 se muestran las configuraciones de losa definitivas, una vez realizado el proceso de optimización de la losa.

Así, se consiguió reducir un 24% el volumen de hormigón y un 22% la cuantía total de acero respecto a la medición inicial de la Planta Baja de 140cm.

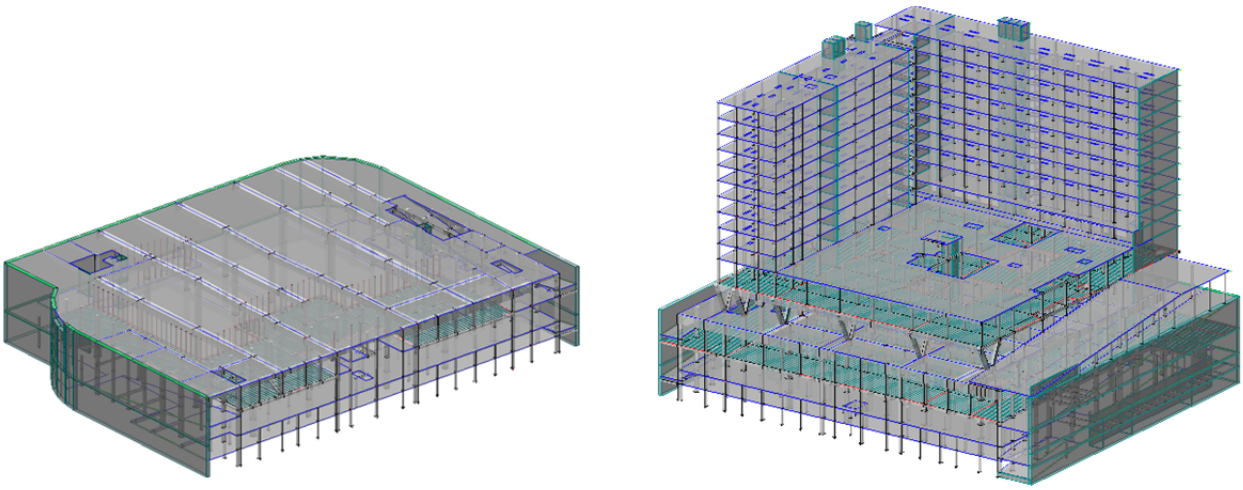

Figura 8. Modelo Estructural completo de la Zona Derecha y de la Zona Izquierda.

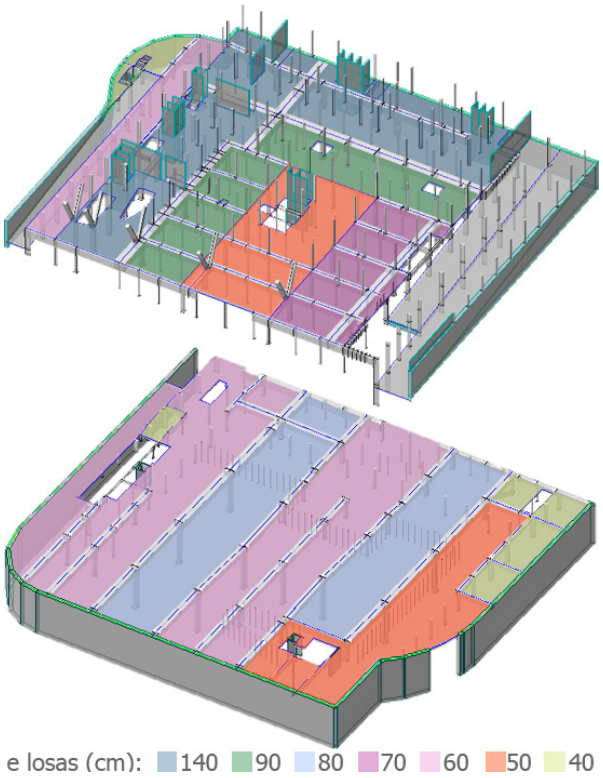

Figura 9. Modelo Estructural de Planta Baja. Zona Izquierda (arriba) y Zona Derecha (abajo).

4. Proceso constructivo

4.1 Proceso constructivo de la pantalla perimetral

Para la ejecución de las pantallas perimetrales de 21 m de profundidad y 9100 m^2 de superficie total, se realizó una excavación con apantalladoras, donde los últimos metros de roca se resolvían mediante trépano. Se utilizaron lodos poliméricos para estabilizar las paredes de la excavación, y esto facilitó su vertido posterior por la red de aguas residuales, sin necesidad de realizar excesivos tratamientos previos por ser materiales biodegradables.

Existía una especial preocupación con los rendimientos que ofrecería la excavación con trépano en los últimos 1.5 m de roca sana Grado-II, pero el poder disponer de cuatro máquinas apatantalladoras trabajando al mismo tiempo y una buena ejecución permitieron terminar esta fase con un rendimiento de hasta 100 m^2 de pantalla por día y por máquina.

Una vez ejecutada la pantalla, se realizó el vaciado de un total de 280000 m^3 de terreno, ejecutando las líneas de anclajes a medida que la excavación avanzaba en profundidad. La solución de los anclajes supuso un reto técnico y de ejecución, ya que alcanzaban dobles inclinaciones de hasta 45º (vertical) y 27º (horizontal).

Figura 10. Fase de obra. Muro pantalla anclado.

Aunque la solución de anclajes implicó una gran complejidad de ejecución, subir la cuantía de cordones y un estudio exhaustivo de la situación de las cimentaciones del entorno, permitió liberar todo el vaso de líneas de codales que habrían dificultado enormemente los trabajos de ejecución de los forjados bajo rasante (Figura 10).

4.2 Proceso constructivo de la estructura bajo rasante

La ejecución de los forjados hasta la Planta Baja pudo realizarse con medios convencionales, sin necesidad de maquinaria especial que hubiera tenido un difícil acceso a la obra. En cuanto a la estrategia de avance de la obra, debido a los plazos de ejecución y a las limitaciones de espacio para el acopio de materiales, era de vital necesidad alcanzar la Planta Baja en la Zona Izquierda de la estación lo antes posible.

Figura 11. Fase de obra. Planteamiento de avance piramidal en bajo rasante zona izquierda.

Para ello, se decidió ejecutar primero la excavación de esta Zona Izquierda de la estación, manteniendo un tramo importante de la Zona Derecha sin excavar para disponer de la rampa de acceso de camiones hasta el fondo de la excavación. De esta forma, en vez de resolver la estructura por plantas completas, se optó por realizar un avance piramidal (Figura 11), que permitió alcanzar la primera pastilla de la Planta Baja en un periodo de 4 meses desde que se alcanzó el fondo de la excavación de la Zona Izquierda. Se recuperó así un espacio importante para el acopio de materiales y se pudo comenzar el edificio sobre rasante (Figura 15) teniendo ejecutado menos de la mitad del bajo rasante.

Figura 12. Fase de obra. Cimbra de Planta Baja

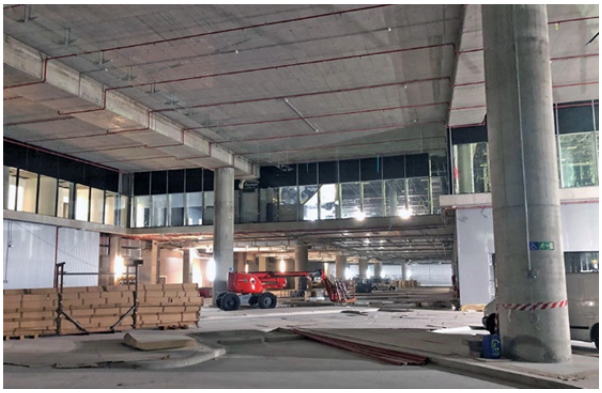

Figura 13. Fase de obra. Planta Estación (PS2).

Otra de las razones que exigía alcanzar la losa de 140cm de la Planta Baja lo antes posible era la imposibilidad de recuperar los puntales y las cimbras de las plantas inferiores hasta que ésta adquiriese la resistencia para soportarse a sí misma y a la Planta Mezzanine (PS1), que colgaba de ella (Figura 12 y Figura 13).

4.3 Proceso constructivo del forjado de planta baja

Alcanzado el nivel de la planta baja, comenzaba un punto crítico del proyecto, ya que el forjado se aproximaba más a una losa de cimentación "suspendida" que a un forjado convencional.

A diferencia de un forjado convencional, cada pastilla de hormigonado de 25x25 m implicaba una colocación compleja de armados y su revisión exhaustiva, dos fases de hormigonado de 440 m^3 cada una y un curado muy exigente para evitar fisuras por retracción en edades tempranas (Figura 14). Se requirió la ejecución de las pastillas en damero, dejando pasar al menos 2 días entre la ejecución de pastillas contiguas.

Figura 14. Fase de obra. Armados losa Planta Baja.

Se definió el orden óptimo de las pastillas de hormigonado para conseguir que los tramos de la estructura que alcanzaban la Planta Baja fueran autoportantes. De este modo, se podía desapuntalar y recuperar material para poder continuar con los edificios superiores y las pastillas contiguas. Con el objetivo de acelerar los plazos de desencofrado, se analizaron probetas de cada pastilla a tracción indirecta a los 7-10 días, calculando para cada pastilla la resistencia a tracción mínima necesaria y en qué plazo se podían desapuntalar.

Figura 15. Fase de obra. Estructura sobre rasante.

5. Conclusiones

La nueva Estación Intermodal Soterrada de Termibus es un proyecto significativo de integración entre arquitectura y estructura, que ha buscado la racionalización de la estructura gracias a un equipo multidisciplinar. De esta forma, se ha conseguido implementar una estructura que ha respetado la expresión arquitectónica, buscando soluciones óptimas desde el punto de vista técnico y constructivo.

Este ejercicio de racionalización y optimización de la estructura se ha basado en concentrar toda la singularidad de la estructura en los forjados de la Planta Baja y la Planta Mezzanine (PS1). De esta forma, se ha conseguido que el 75% de la estructura sea convencional y asimilable con costes más cercanos a estructuras residenciales comunes.

Participantes en el proyecto

Propiedad: Ayuntamiento de Bilbao y Sociedad Concesionaria Intermodal Bilbao.
Diseño arquitectónico y Dirección de obra: IA+B y ArkiGest.
Diseño estructural y Asistencia técnica a la dirección de obra: INAK Ingeniaritza.
Construcción: Construcciones Amenabar.

Referencias

[1] J.V. Valdenebro, F.A. Ramírez, Nueva estación de autobuses de Pamplona: Resultado de la integración de infraestructuras en el paisaje y el patrimonio histórico, I Congreso de Urbanismo y Ordenación del Territorio "Ciudad y Territorio", Bilbao, 2008.

[2] D. Lorenzo Esperante et al., Estructura de la estación intermodal Bir Mourad Raïs (Argel), Hormigón y Acero. 68 (2017) 5–20.

[3] J. Jia, Y. Fang, Underground space development in comprehensive transport hubs in China, Procedia Engineering. 165 (2016) 404–417.