Diseño estructural de la nueva estación de tren de Atotxa (San Sebastián)

Structural design of the new Atotxa train station (San Sebastián, Spain)

Luis Frías Cerdá[a], M. Alejandro Nicolás Pazo[b], Amaya Hernando Martín[c], Miguel Ángel Higuera Antón[d], David Nogueira Abal[e], Antonio J. Madrid Ramos[f]

[a] Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Eptisa. Director del Área Técnica. lfrias@eptisa.com

[b] Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Director de Proyectos. anicolas@proes.es

[c] Máster Ingeniera de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Directora de Proyectos. ahernando@proes.es

[d] Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Director de Proyectos. mhiguera@proes.es

[e] Arquitecto Técnico. Ingeniero de Edificación. Proes Consultores. Responsable de BIM. dnogueira@proes.es

[f] Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. Proes Consultores. Jefe del Área de Infraestructuras Terrestres. amadrid@proes.es

RESUMEN

El presente documento define las actuaciones de la nueva estación de ferrocarril de Atotxa (San Sebastián) cuyo objeto principal consiste en el incremento de la capacidad de la misma y la adaptación a la futura línea de alta velocidad.

Dentro del conjunto de la estación se diferencian distintos elementos, como son una zona común soterrada, un edificio Norte de la estación que emerge de la zona bajo rasante donde se alojarán las futuras oficinas y un edificio Sur donde se situarán las zonas de andenes y una cubierta transitable que se cede al espacio público a modo de plaza.

ABSTRACT

This document defines the actions for design of the Atotxa train station (San Sebastián) whose main target is the increase of its capacity and the adaptation to the future high-speed train line.

The new station building is composed by different elements, as a broad underground area, a North station building that emerges from this lower area where the future offices will be housed and a South building where the platforms will be located. The roof of the platform will become a public space for a future square.

PALABRAS CLAVE: estación, ferrocarril, edificación, fases constructivas, pantallas continuas.
KEYWORDS: station, railway, building, construction stages, diaphragm wall.

1. Introducción

El objeto de la actuación se resume en la realización del proyecto de ejecución de la nueva estación de Atotxa en San Sebastián. Los trabajos incluyen tanto la actuación arquitectónica sobre el actual edificio de viajeros y su entorno, incluyendo la creación de una nueva plaza sobre vías a cota del edificio de Tabakalera, como la remodelación y adecuación de la playa de vías de la estación de Atotxa con

el objeto de incrementar la capacidad de la estación en su conjunto y permitir alojar la futura estación de alta velocidad.

2. Condicionantes de diseño

Como consecuencia de su estratégica situación en el entorno urbano, el proyecto de adecuación de la estación a los nuevos servicios de la alta velocidad y sus correspondientes criterios de diseño, han tenido que resolver las siguientes problemáticas:

- Conexiones con el espacio público e intermodalidad.
- Presencia de elementos arquitectónicos con limitaciones patrimoniales.
- Presencia de la estación actual.
- Relación con el renovado edificio de la nueva Tabakalera.
- Necesidad de mantener el tránsito de trenes de cercanías.

El proyecto resuelve, en términos de intermodalidad, las comunicaciones entre los distintos elementos vecinos como son la nueva estación terminal de autobuses, el edificio de la Tabakalera y la zona urbana de Egia tanto mediante la reurbanización de un paso inferior existente como por medio de la creación de una gran plaza de uso público conectada directamente con el edificio de Tabakalera. De esta manera, la nueva estación de alta velocidad conjuga sus funciones propias con las de accesos y comunicación entre este conjunto de edificios, dando continuidad y conexión a los mismos.

El proyecto correspondiente a las nuevas instalaciones recoge dos aspectos condicionados por la propia normativa municipal: de un lado la conservación de la actual marquesina metálica, obra del ingeniero francés Jean Biarez, colaborador de Alexandre Gustave Eiffel y, de otro lado, la columnata enfrentada con el puente de María Cristina. A su vez se impone la condición de respetar, en la medida de lo posible, la arquitectura de la actual estación de cercanías.

Figura 1. Vista general de la zona central de la Estación de Atotxa (estado actual).

Figura 2. Vista general de la zona central de la Estación de Atotxa (actuación proyectada).

Las obras correspondientes a la citada estación terminal de autobuses condicionaron en su momento el desmontaje y traslado de los elementos que formaban parte de la citada columnata a un almacén municipal, con el objeto de facilitar su posterior recolocación. La nueva ubicación de esta columnata, en función de las nuevas accesibilidades y de su necesaria recolocación con frente a la perspectiva del puente de María Cristina, tal y como está condicionado por el propio Plan Especial de Protección del Patrimonio Urbanístico del Municipio de Donostia-San Sebastián, constituye uno de los principales retos de este proyecto de adecuación de la estación de Atotxa a los nuevos servicios de alta velocidad.

Los condicionantes comentados con anterioridad imposibilitan como opción la colocación de la nueva estación del tren de alta velocidad, a modo de paralelepípedo ortogonal, sobre la ya citada plataforma, por lo que su ubicación ha de situarse necesariamente en los niveles de planta baja y planta sótano. Esta solución obliga a realizar el acceso a los andenes a través de la citada planta sótano, es decir, bajo las actuales trazas ferroviarias.

La situación de la nueva estación en planta baja, ha de permitir su conexión directa, a través de los correspondientes vestíbulos, con la actual estación de cercanías, con lo que prácticamente se duplicará la superficie destinada al hall de la estación.

Como ya se ha comentado, las limitaciones espaciales existentes como consecuencia de la situación de la nueva estación en la planta baja, provocan la necesidad de situar el control de escáneres en la planta sótano. Con la finalidad de eliminar en lo posible el "efecto sótano" se ha proyectado un doble espacio o "mezzanina" que permitirá la entrada de la luz natural, así como la conexión visual directa entre las dos plantas.

Esta planta de doble altura, permitirá así mismo la conexión directa con el actual paso subterráneo existente entre el puente de María Cristina y la nueva plaza de Néstor Basterretxea, acceso a las instalaciones de Tabakalera, que ha sido rediseñado con el objetivo de mejorar sus condiciones espaciales,

facilitando la conexión intermodal entre las dos estaciones, alta velocidad y cercanías y la nueva estación de autobuses, a través del citado paso subterráneo.

Por lo que se refiere a la actuación prevista en el sector de la actual estación de cercanías, se propone una primera ampliación en planta baja del vestíbulo, ocupando el espacio situado actualmente bajo la marquesina de acceso a la vía pública. De esta forma se amplía el hall y se dispone una nueva marquesina longitudinal, que unirá exteriormente las dos estaciones, protegiendo sus respectivos accesos de la lluvia.

Con el objetivo de utilizar el actual paso subterráneo como posible acceso, tanto de la estación de alta velocidad como de la de cercanías, se modifica el actual paso bajo las vías del tren, para concentrar los dos espacios de planta sótano junto a un paso subterráneo que, de esta forma, se convierte en un nuevo espacio público de características próximas a las ya comentadas de la nueva plaza de Néstor Basterretxea.

La dificultad de situar en planta baja la totalidad de las superficies exigidas por el programa funcional, condiciona la necesidad de llevar a cabo una ampliación en altura de la actual estación de cercanías.

Con el objetivo de respetar al máximo la tipología del edificio actual, a pesar de que este no aparece como catalogado por la Normativa Municipal, se propone añadir un edificio de planta baja y dos plantas de altura y características longitudinales, situado a modo de telón de fondo de la actual volumetría. Este telón de fondo, construido con un muro cortina y protegido del sol por una malla metálica deployé, pondrá en valor el actual edificio unificando la imagen arquitectónica de las dos estaciones.

Por lo que se refiere a la relación con el vecino edificio de la nueva Tabakalera, hay que tener en consideración que la situación topográfica, tanto de los niveles del edificio como de las propias vías del ferrocarril, permiten situar una nueva plataforma que, a la vez que actúa como cobertura del espacio interior formado por los nuevos andenes, permite la habilitación de una nueva plaza pública, situada en la misma cota del acceso a la primera planta del edificio de Tabakalera, con las ventajas que, en términos de usos y accesibilidad, ello supone tanto para la ciudad como para la propia estación.

El diseño de la citada plataforma, que se extiende a lo largo de toda la fachada del edificio de Tabakalera y con el objeto de reconocer la proximidad y valor patrimonial de la actual marquesina de la estación, adopta en su lado norte una geometría de características orgánicas.

La intención, en la actual etapa del proyecto y sin la existencia de datos relativos a los posibles usos finalistas de este gran espacio público, ha sido la de mantener su conjunto lo más despejado posible, facilitando al órgano de gestión del Centro Internacional de Cultura Contemporánea (CICC) la programación en su día de eventos y/o eventuales exposiciones, en función de sus necesidades y previsiones.

3. Descripción de las estructuras

3.1 Estructuras bajo rasante

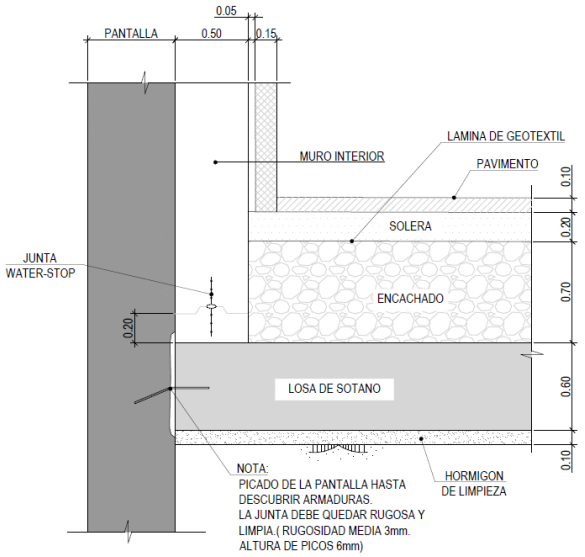
La ejecución de un gran volumen urbanístico bajo la rasante supone un reto debido a la presencia de un nivel freático casi somero debido a la proximidad del río Urumea. La cota natural de este nivel freático se encuentra especialmente elevada en el entorno de la playa de vías debido al efecto barrera que supone la presencia de la nueva estación de autobuses anexa a la futura estación.

La presencia de este nivel freático, además de imponer un nivel elevado de solicitaciones sobre las estructuras presenta una serie de inconvenientes reales de estanqueidad de las estructuras latente en los actuales

problemas de la estación de autobuses donde los caudales de bombeo diarios son elevados.

Por este motivo la concepción estructural del espacio subterráneo de la estación presenta una serie de elementos redundantes que permitan la creación de un vaso perfectamente estanco.

Estas actuaciones se resumen en la creación de un sistema de contención por medio de módulos de pantallas que se empotran en el nivel flysch impermeable de manera que se corte el flujo del freático hacia el interior (véase Figura 3). Los módulos de los bataches se ejecutarán incorporando bandas de water-stop enlazadas entre ellos a modo de conexión impermeable de los mismos. A su vez, se prevé la ejecución de una losa de cimentación de gran calibre con 0.60 m de espesor empotrada en estas pantallas. La conexión entre estos elementos incorpora una banda hidroexpansiva. Como elementos redundantes de este sistema constructivo impermeable se considera la ejecución de un muro de forro interior ejecutado contra los muros pantalla, sin la presencia de cámara bufa, apoyado directamente sobre la losa de cimentación. Por último, se distribuye una capa de grava drenante sobre la losa de cimentación a modo de impermeabilización final de los solados que se ejecutarán sobre esta capa. Tanto la presencia de una losa de hormigón maciza como la capa de grava ayudan en gran medida a resistir las fuertes presiones verticales debidas al freático.



El nivel de los estratos sobre los que se apoya la losa de cimentación se compone principalmente de terrenos aluviales cuaternarios altamente compresibles por lo que la opción de considerar una cimentación superficial no era posible. De esta manera, la cimentación de toda la estación es profunda por medio de los apoyos de la losa en la pantalla perimetral y en un sistema de encepados pilotados con 1 a 4 pilotes por encepado, integrados en esta losa de cimentación por medio de banqueos locales. Estos encepados integrados se distribuyen siguiendo la distribución de pilares de la estación norte y la zona de andenes. Se puede decir que se trata de una losa pilotada con capiteles inferiores.

Debido a la necesidad de mantener en servicio el tránsito de circulación de los trenes de cercanías durante la ejecución de las obras y la problemática de trabajar en un terreno con el freático agotado se decidió ejecutar el pilotaje de cimentación desde la actual cota de la plataforma ferroviaria por medio de una perforación protegida por medio de una entubación recuperable, hormigonándose únicamente la parte estructural de los mismos.

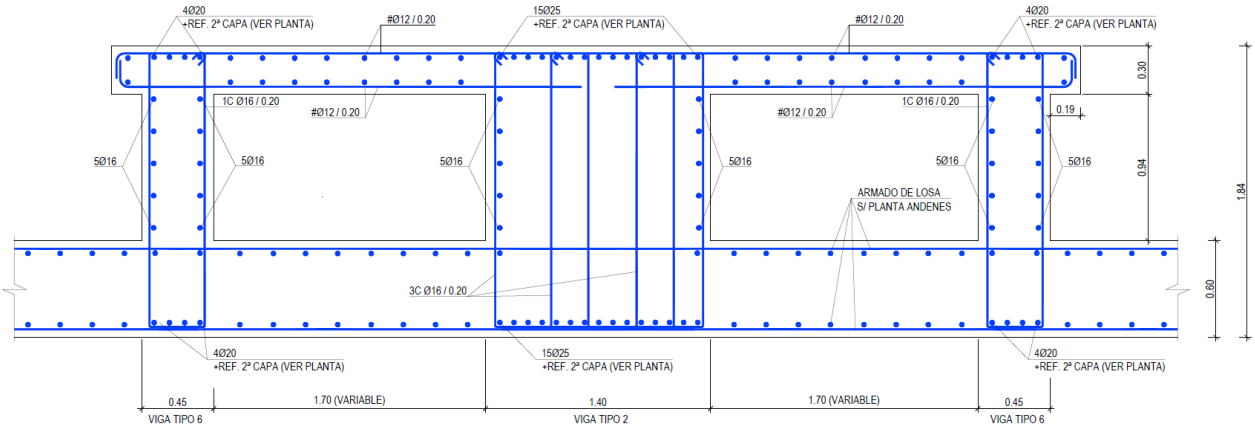


Figura 4. Detalle del empleo de los andenes como elemento estructural.

La estructura del nivel de planta baja se compone de una losa maciza de hormigón a dos niveles. Por un lado la losa de andenes se encuentra localizada al nivel de la plataforma mientras que la zona de planta baja de la estación norte se configura en el nivel de los andenes. El acuerdo entre estos dos niveles se realiza por medio de un banqueo vertical que hace las funciones de viga rigidizadora longitudinal.

Por otro lado, el nivel superior de la losa de vías y la necesidad de enterrar la estación bajo rasante en la justa medida impone en la concepción la realización de una losa de canto mínimo fijada por los condicionantes geométricos en 0.50 m.

Los soportes de esta losa se ejecutan por medio de pilares circulares de 1.00 m de diámetro en la zona de andenes dispuestos mediante una cuadricula de 15 m de lado lo que implica una relación directa canto/luz de 1/30. Esta relación, junto con la enorme carga de los convoyes que circulan sobre la losa se ha podido resistir por medio de la incorporación de las estructuras de los andenes, inicialmente elementos secundarios, en la configuración resistente de la losa. De esta manera, la losa de andenes se compone de una losa maciza nervada con nervios superiores (Figura 4). Estos nervios se intensifican sobre las posiciones de los pilares de apoyo, de manera que se haga posible la transmisión de las grandes cargas puntuales que reciben los pilares.

Se tuvo un especial cuidado durante la fase de diseño para permitir la integración de este sistema de andenes estructurales. Estos elementos que aportan gran rigidez al conjunto se ven afectados por el sistema de comunicaciones verticales entre la estación bajo rasante y los andenes. La gran cantidad de orificios de ascensores y escaleras, todos ellos sobre línea de pilares, hacía especialmente complica su colaboración a la vez que la hacía necesaria.

3.3 Edificio de oficinas

La estructura del edificio de oficinas o estación norte se caracteriza por presentar un esquema estructural de losa maciza con 0.30 m de espesor sobre pilares rectangulares de hormigón.

El soporte de la losa se realiza por medio de dos alineaciones perimetrales dispuestas con un intereje de 10 m. De esta manera se consigue un espacio diáfano modulable que permite una óptima adaptación a los distintos usos del edificio.

Sobre el nivel de segunda planta se proporciona apoyo a la marquesina metálica histórica tal y como ocurría en la antigua estación.

Debido a la baja altura de este elemento y la presencia de una plaza pública de nueva construcción se decidió alojar todas las

equipaciones del edificio dentro del volumen principal del mismo. De esta manera, la estructura presenta un juego de grandes huecos y patios interiores que posibilitan la instalación de estos equipos.

3.4 Losa de cubierta/plaza pública

El elemento de cubierta de la zona de andenes se compone de una losa de planta sensiblemente rectangular sobre la que se prevé la formación de un nuevo espacio público (véase Figura 5). Esta losa se dispone horizontal en gran parte de su superficie, integrando en ella un acceso directo al primer nivel del edificio de la nueva Tabakalera. A su vez, y debido al carácter público y de nuevos usos del elemento, un tercio de la superficie de este elemento se proyecta con una inclinación constante a modo de formación de graderíos naturales que promuevan la realización de eventos públicos culturales.

La losa de cubierta posee unas grandes dimensiones en planta llegando a una longitud total sin juntas de 130 m. Las exigencias de impermeabilidad por confort de los usuarios de andenes y los criterios de seguridad frente a humedades en el sistema eléctrico de las catenarias son los responsables de la presencia de esta gran longitud monolítica. Esta longitud sin juntas supone una fuerte solicitación de los pilares extremos debido al arrastre por efectos térmicos y reológicos. Un primer método para resolver este problema consiste en desconectar los pilares más afectados por dicho arrastre por medio de elementos elastoméricos que permitan un desplazamiento relativo entre la coronación de los pilares perimetrales y la losa de cubierta. No obstante y de igual manera que ocurría con la losa de forjado de andenes, el espesor de la losa de cubierta se encontraba limitado inferiormente por las exigencias de gálibo de las vías de alta velocidad mientras que el paramento superior quedaba condicionado por el futuro acceso al edificio de la nueva Tabakalera en su nivel de primera planta. El canto permitido para este elemento es de 0.50 m, por lo que la relación canto/luz es nuevamente estricta frente a unas sobrecargas de gran intensidad. Estas exigencias de esbeltez y de resistencia de cargas combinadas con la limitación por confort de viandantes presentan una fuerte restricción estructural en lo referente a la limitación de las flechas y vibraciones de la estructura. Estas deformaciones estáticas y dinámicas se satisficieron finalmente por medio del empleo de elementos verticales de gran calibre fuertemente empotrados en la losa de cubierta por medio de ábacos cilíndricos.

Los efectos de arrastre en pilares se analizaron con gran nivel de detalle considerando la flexibilización de los mismos debidos a la fisuración por curvaturas, pero limitando la misma para evitar problemas estéticos a nivel de andenes.

Figura 5. Fotomontaje de la plaza de cubierta y el espacio público ganado.

4. Modelo BIM

A tal efecto la UTE desarrolló un documento para la implementación de esta metodología denominado BEP (siglas de Plan de Ejecución BIM en inglés), recogiendo los requerimientos del cliente. En el documento BEP se describen los procedimientos específicos necesarios para cumplir con los requerimientos BIM específicos del proyecto para todas las disciplinas involucradas.

En el BEP se establecía que la herramienta de modelado sería Revit, de Autodesk, y que los usos principales que iba a tener eran los de coordinación de geometría, generación de documentación 2D y extracción de mediciones, hasta un 75% del PEM.

En el caso de la estructura, se requería un nivel de detalle del modelo LOD300, excluyendo las piezas metálicas de uniones, o de forma genérica todo aquel elemento menor de 150 mm. Tampoco era necesario incluir las armaduras de los elementos de hormigón armado.

En la figura 6 se puede apreciar una vista general del modelo y en la figura 7 se incluye un ejemplo de extracción de cantidades.

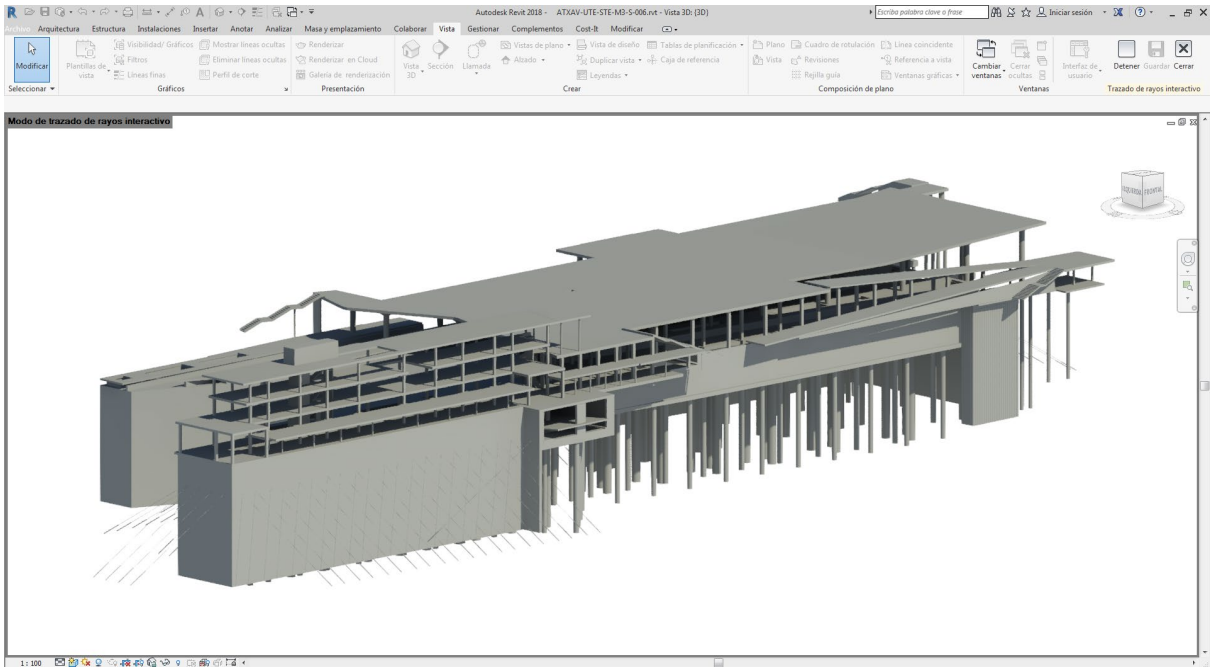


Figura 6. Modelo Revit de la estructura.

Para la coordinación entre los distintos participantes del proyecto se usó la plataforma BIM360 DOC que permitía, además de compartir archivos, el uso de herramientas como la visualización de modelos o la de revisión con comentarios. La figura 8 muestra un ejemplo de marcas de revisión usadas durante el desarrollo del proyecto.

Se requería también que el modelo estuviera localizado en un sistema de coordenadas específico, ya que uno de los objetivos que se requerían era el uso de los modelos BIM para la coordinación entre disciplinas. Por lo tanto, el modelo de la estructura iba a formar parte de un modelo general federado para la coordinación geométrica de todo el proyecto.

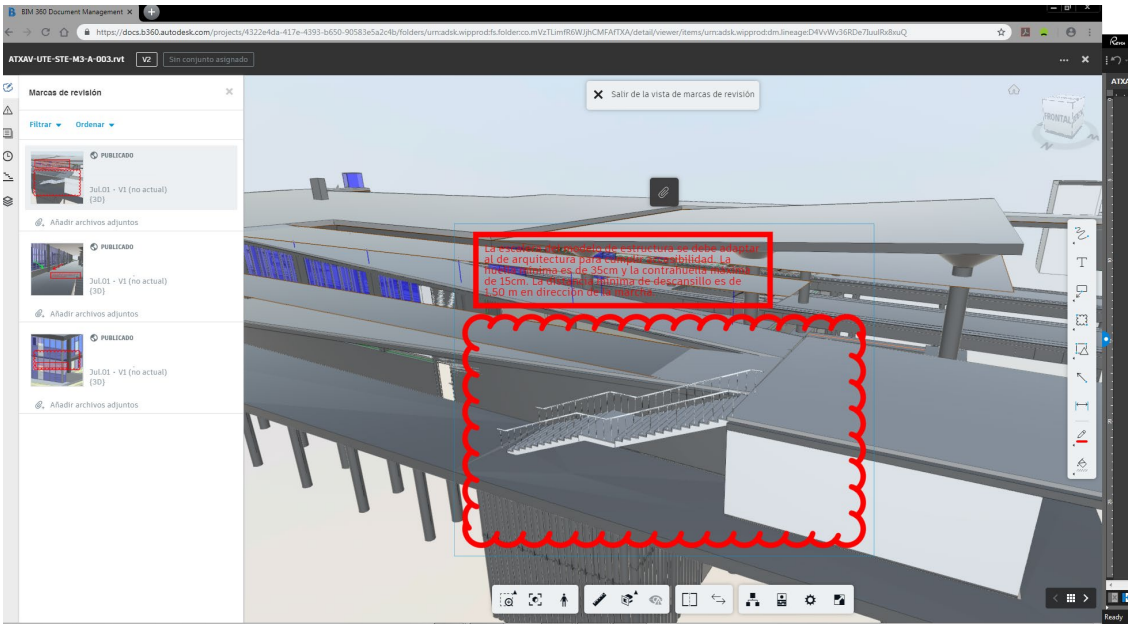


Figura 7. Plataforma de trabajo BIM 360 DOC.

Conclusiones

El proyecto de construcción de la nueva estación de Atotxa ha supuesto un gran reto tanto desde el punto de vista de la coordinación entre los distintos actores implicados como por su integración en un entramado urbano complejo y asentado. A nivel estructural, poder satisfacer las estrictas necesidades geométricas de los nuevos edificios ha sido una aventura que consideramos ha sido completada satisfactoriamente.

Agradecimientos

Se quiere agradecer la labor de Marcelo Lafuente Molinero y Miguel Ángel Herrera Cossio, ingenieros de proyecto, todos de Eptisa, que han coordinado los trabajos, proporcionando todos los datos precisos para el proyecto de las estructuras y resolviendo las cuestiones que han ido surgiendo en el día a día de los trabajos.

En el momento de redacción de la presente ponencia, el proyecto de las estructuras ha superado todas las supervisiones técnicas y administrativas y está en marcha el proceso de licitación de las obras. Se espera que en las fechas de celebración del Congreso de ACHE ya hayan comenzado los trabajos de construcción y se puedan mostrar fotografías de las estructuras presentadas.

Referencias

[1] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.

[2] Dirección General de Ferrocarriles, Instrucción de Acciones a considerar en Puentes de Ferrocarril IAPF, Ministerio de Fomento, Madrid, 2007.

[3] Comité Europeo de Normalización. Eurocódigo 2. Proyecto de Estructuras de Hormigón. Parte 2. Puentes de Hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas. UNE-EN 1992-2. 2010.

[4] Proyecto de estructuras de hormigón frente a los efectos de las deformaciones impuestas. Monografía M-22, ACHE.