Nuevos edificios para la Universidad del Ulster, Belfast

New expansion of the University of Ulster, Belfast

Luis Montero Clemente [a], Ángel Sánchez De Dios [b] y Ramón Sánchez Fernández [c]

[a] MSc. Civil Engineer. Structural Engineer. Sacyr. Structural Department. lmonteroc@sacyr.com

[b] MSc. Civil Engineer. Structural Engineer. Sacyr. Structural Department. asanchezd@sacyr.com

[c] MSc. Civil Engineer. Structural Engineer. Sacyr. Chair of Structural and Architectural Department. rsfernandez@sacyr.com

RESUMEN

La obra consiste en la construcción de unos nuevos edificios para la ampliación de la Universidad del Ulster en la ciudad de Belfast, en Irlanda del Norte. Los nuevos edificios albergarán nuevas zonas de laboratorios para todo tipo de disciplinas científicas, tanto de ingeniería civil e industrial, como bioquímicas y biomédicas, así como nuevas zonas de aulas, auditorio y zonas de uso polivalente. La combinación de todos estos tipos de usos, y su gran diversidad, despierta la necesidad de un nuevo edificio singular, de importante repercusión para la ciudad.

ABSTRACT

This project means the expansion of the University of Ulster in Belfast (UK). The new buildings will include new laboratories for a wide range of different disciplines as civil engineering, mechanical engineering or biotechnology. New class&study rooms, workshop rooms, lecture theatre and multiple-use rooms will be also included in the new buildings. The necessity of this variable and diverse range of different uses means the necessity of this new singular expansion, that will have an important impact on the architecture of the city.

PALABRAS CLAVE: Construcción-estructuras, postesado, vibración, híbrida, fast-track, BIM.
KEYWORDS: Structures´construction, post-tension, vibrations, hybrid-structure, fast-track, BIM

1. Introducción

En el presente artículo se pretende recorrer tanto los retos técnicos que se han tenido que asumir, en la ejecución de esta singular obra, como los retos asociados a la internacionalización y al desarrollo de esta actividad, en un país como el Reino Unido.

Por un lado, la solución estructural ha requerido la combinación de diferentes tecnologías, como son el uso de estructuras postesadas, o el empleo de estructuras híbridas, fruto de la combinación de elementos metálicos de grandes luces integrados en la estructura de hormigón.

Por otro lado, el edificio albergará equipos electrónicos de máxima precisión en los laboratorios biológicos. La exigencia en el control de vibraciones en el edificio es máxima, por lo que dichos equipos requieren ser aislados pasivamente respecto de fuentes de vibración directa, como el propio tránsito humano. Además, otras fuentes de vibración externa, como puedan ser otro tipo de laboratorios con maquinaria pesada, tanto rotativa como de impacto, requieren también ser mitigadas mediante sistemas de aislación activos.

También, por último, se trata de un proyecto tipo fast-track, contemplando el diseño y la construcción simultáneamente, siendo Sacyr igualmente responsable tanto de la construcción como del desarrollo del proyecto. Tanto en la ejecución del diseño, como en la ejecución de la obra, se ha utilizado metodología BIM.

2. Descripción del edificio.

Las obras principales corresponden a la ejecución de dos bloques nuevos, para el uso de la Universidad, el edificio BC (60.000 m^2 aproximadamente) y el edificio BD (13.000 m^2 aproximadamente). Además, el proyecto incluye una reorganización de los edificios existentes BA y BB, y una pasarela de conexión entre ambos.

El bloque BC tiene dos niveles bajo rasante, niveles B2 y B1, y hasta 13 niveles sobre rasante, de L00 a L13. Realmente cada planta de este edificio es diferente a las demás, aunque se puede considerar que el edificio conserva sensiblemente la superficie completa en planta hasta el nivel L06. A partir del nivel L07 comienzan a subir, parcialmente, solamente los peines centrales entre núcleos de comunicación, llegando al último nivel L13 solamente la zona entre los núcleos A4 y A7. Es decir, a partir del nivel L07, las plantas van reduciendo sucesivamente su superficie.

A continuación, se adjunta un alzado representativo, y la planta correspondiente al nivel L03 que es una de las plantas completas más representativas del edificio:

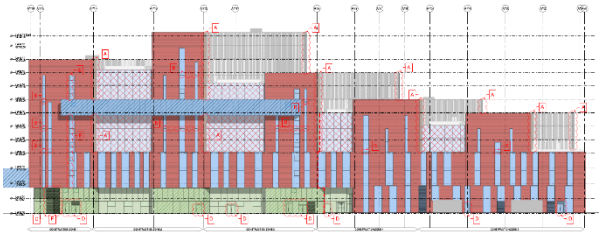
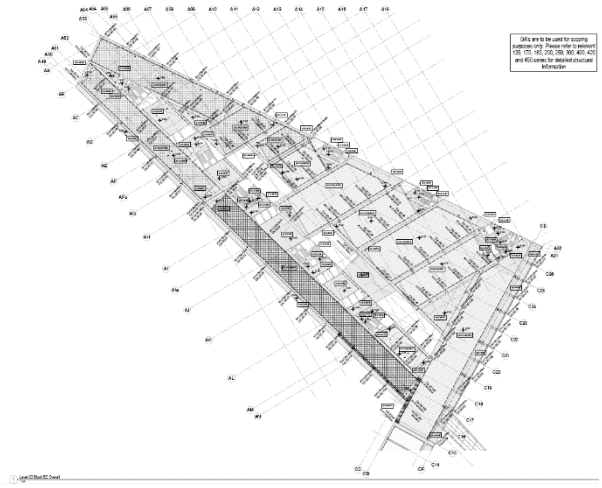


Figura 1. Alzado del edificio BC.



El edificio BD no tiene sótanos, arrancando directamente hasta 9 forjados del nivel de rasante, niveles de L0 a L9. Al igual que en el edificio BC, no todas las plantas mantienen la superficie total, pudiéndose decir que las plantas son completas hasta el nivel L06, y a partir del nivel L07 la superficie por planta se va reduciendo.

Figura 3. Imagen que muestra el frente volado del edifico BD.

3. Descripción de las soluciones estructurales contempladas.

La solución original de los forjados del proyecto era una combinación de placas alveolares prefabricadas, sobre vigas descolgadas de hormigón in situ, como solución generalizada, salvo determinadas zonas que eran solucionadas con losas macizas de hormigón in situ.

Figura 4. Detalle de ejecución de forjados de placa alveolar de hasta 16 m de luz.

Esta solución no presentaba las posibles ventajas de una solución prefabricada, en parte por la geometría irregular y singular del edificio, y también por la combinación de las diferentes fases de construcción en la combinación de partes in situ y partes en placa. Por requerimientos de la programación de la obra, el departamento de ingeniería de Sacyr propuso una solución de forjados de losa postesada, para aquellos forjados que todavía no habían sido construidos.

Figura 5. Detalle de ejecución de forjados postesados entre núcleos verticales.

Según las luces, se realizaron tres tipologías diferentes de solución postesada.

Por otro lado, para luces en el rango de los 8.0 m, se realizaron losas macizas, con postesado bidireccional, de 25 cm de espesor.

Por último, en casos especiales de supresión de pilares, se proyectaron vigas postesadas en la dirección de doble luz, hasta los 17.0 m aproximadamente, como refuerzo local de las losas postesas de 25cm de espesor.

Esta solución fue aceptada por las ventajas que lleva asociadas, a pesar de ser una solución que inicialmente no correspondía con las costumbres constructivas locales.

La razón para la ejecución de una sección tipo sándwich, en lugar de una solución tipo "T", o maciza rectangular, fue encontrar una solución en hormigón visto y aparentemente plana, pero que no superase en peso la solución de placa alveolar, puesto que la cimentación ya estaba construida, y que tampoco supusiese una reducción de inercia de la sección, para no afectar al comportamiento frente al efecto de las vibraciones del edificio.

Con esta solución se consiguió, por un lado, lograr una construcción más rápida que la anterior. También, reducir los cantos totales de la estructura para facilitar la coordinación con los conductos de instalaciones. Además, aportar una solución, técnicamente más apropiada, en la solución de grandes vanos de más de 16.0 m. Por último, homogeneizar el proceso constructivo y evitar tener que movilizar elementos de importante tonelaje.

Una gran parte del contorno de los forjados se apoya directamente en la estructura de muros de los núcleos de comunicación. El resto de la estructura se sostiene sobre pilares de hormigón armado de sección rectangular.

El proyecto dispone de un total de 8 núcleos de comunicación vertical en el edificio

BC, y otros 2 núcleos en el edificio BD, donde quedan agrupados todos los ascensores, las escaleras y los patinillos de instalaciones. Estos núcleos se proyectaron como núcleos celulares compartimentados, a base de muros de hormigón armado de 25cm de espesor. Estos núcleos se pueden definir como unas cajas de hormigón de sección trapezoidal con diferentes compartimentaciones interiores.

Figura 6. Detalle de entrada principal y estructura de núcleos verticales

La cimentación es pilotada, en el fondo del edificio BC se proyectó una losa de subpresión de 45 cm de espesor, entre encepados. Perimetralmente se ejecutó una contención preliminar a base de pantalla de pilotes, a la que posteriormente se le adicionó un muro convencional continuo interior, que cerró el vaso estanco proyectado en el sótano.

Figura 7. Estructura mixta de los forjados junto a atrios.

Existen otras estructuras metálicas interiores para solucionar espacios singulares de mayores luces. Así, los forjados junto a los atrios están solucionados mediante una estructura mixta de 18.00 m de luz.

También, existe una estructura metálica singular, conformada por una celosía tipo Warren de 30m de luz, apoyada en una estructura de cuatro niveles tipo vierendeel, con acción mixta, de 15m de luz. Sobre esta estructura metálica se apoya el mismo sistema de placas alveolares.

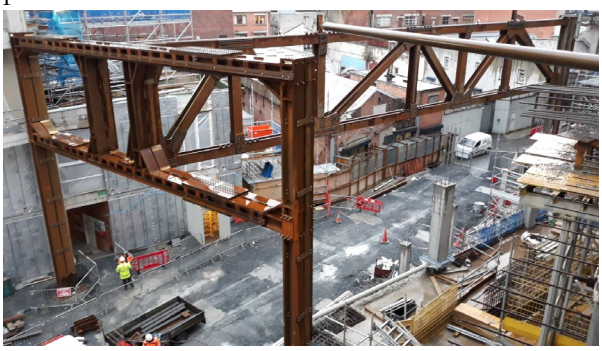
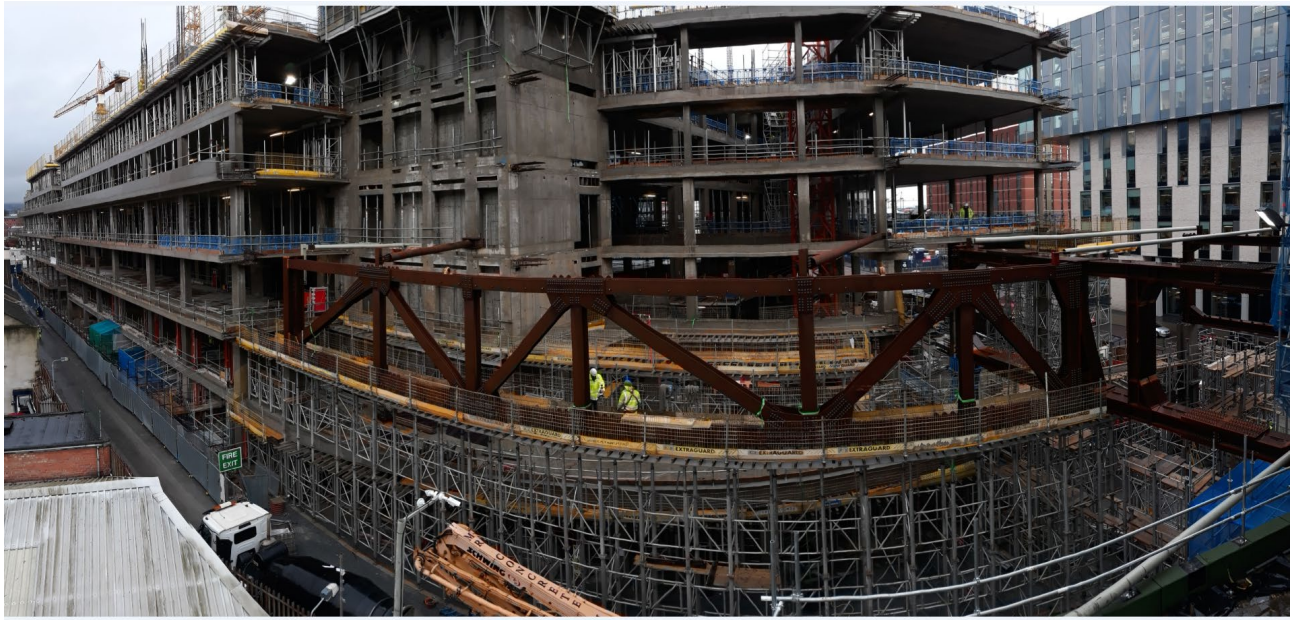


Figura 8. Estructura metálica de 30 m de luz.

Por encima del último nivel con dintel metálico, de la estructura tipo vierendeel, se le dio continuidad al edificio con estructura de hormigón armado. De la misma forma, por encima del cordón superior de la estructura metálica tipo Warren, se le dio continuidad hacia arriba al edificio con estructura de hormigón.

Este supone uno de los ejemplos de integración de una tipología hibrida en la estructura de este edificio.

Figura 9. Detalle de estructura metálica integrada.



Por petición del cliente, las cubiertas de los atrios principales no se proyectaron en estructura metálica, sino que se proyectó una estructura de vigas prefabricadas de hormigón de gran luz, sobre las que apoyaba una cubierta de vidrío para la formación de un gran lucernario, en unos vanos, y cubierta plana con forjado de placas de hormigón en el resto de vanos.

Estas vigas se apoyan sobre las vigas de borde de los forjados postesados medianeros.

Las cubiertas de instalaciones son estructuras metálicas tipo pórtico, que recibía en origen el apoyo directo de las placas alveolares de cubierta, siendo esta última solución sustituida posteriormente por forjados de chapa colaborante.

Figura 11. Detalle de vigas prefabricadas de cubierta.

Por último, también existen unas pasarelas de conexión metálicas, que comunican con el edificio BC, y que son apoyadas sobre la estructura metálica tipo vierendeel de fachada.

4. Análisis de vibraciones.

Como ya se ha introducido al comienzo de este artículo, uno de los requisitos más exigentes en este proyecto es en lo referente al límite de transmisión de vibraciones permitido.

Los laboratorios de tipo bioquímico y biomédico, situados en la tercera planta del edificio BC, están equipados con microscopios electrónicos que requieren un umbral de vibración muy bajo para poder trabajar correctamente, el límite fijado fue el correspondiente a una categoría "D" (VC-D), que corresponde a una velocidad límite RMS de 6.25µm/s.

Las fuentes de vibración predominante son las máquinas instaladas en laboratorios de ingeniería civil e industrial, fundamentalmente máquinas rotativas y de impacto. Parte de estas máquinas transmisoras de vibraciones están actualmente instaladas en el edificio de la universidad existente.

Curve criterion	Amplitude (µm/s)	Description of use
Operating theatre (ISO)	100	Vibration not perceptible. Suitable in most instances for surgical suites, microscopes to 100X and for other equipment of low sensitivity.
VC-A	50	Adequate in most instances for optical microscopes to 400X, microbalances, optical balances, proximity and projection aligners, etc.
VC-B	25	Appropriate for inspection and lithography (including steppers) to 3 µm line widths.
VC-C	12.5	Appropriate standard for optical microscopes to 1000X, inspection and lithography inspection equipment (including moderately sensitive electron microscopes) to 1 µm detail size, TFT-LCD stepper/scanner processes.
VC-D	6.25	Suitable in most instances for the most demanding equipment including electron microscopes (TEMs and SEMs) and E-Beam systems.

Figura 12. Definición de los niveles de vibración permitidos.

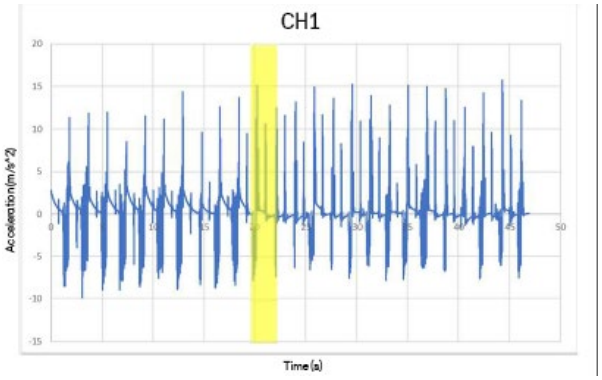


Figura 13. Curva de vibración medida in situ.

Aprovechando el hecho de que estas máquinas están en funcionamiento, se ha realizado una medición de las vibraciones transmitidas, efectuando para cada máquina tres mediciones, la primera sobre la propia máquina, la segunda sobre la estructura junto a su base de apoyo, y la tercera sobre la estructura a 1.00 m de la máquina.

Con estas mediciones se realizó un primer análisis de las vibraciones transmitidas y una estimación de las vibraciones que podrían llegar a la tercera planta, determinando que los límites serían superados, y que la estructura por sí sola no sería capaz de mitigar la transmisión de vibración de unas plantas a otras. En este sentido se determinó que sería necesario un sistema de aislación activa en la base de apoyo de aquellas máquinas cuyos límites parecían superarse.

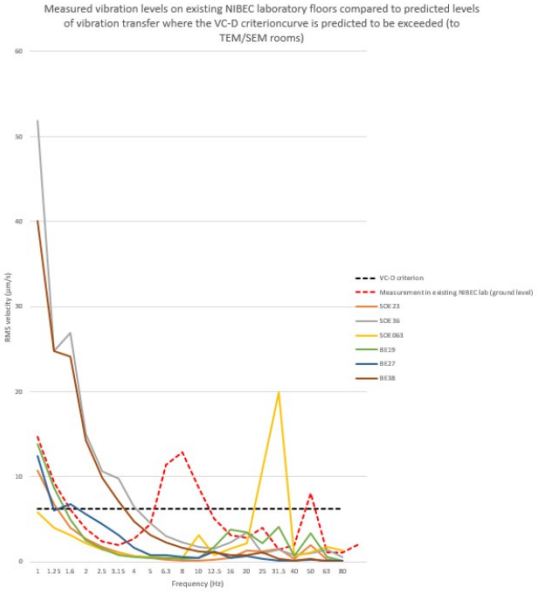


Figure 2 Comparison of vibration transfer to TEM/SEM and benchmark conditions

En este sentido, se prevé la necesidad de aislar las bases de las máquinas rotativas, y el soldado de los laboratorios de equipos sensibles mediante la disposición de una distribución de

pads, o una lámina, de material aislante a base de poliuretano, bajo el pavimento.

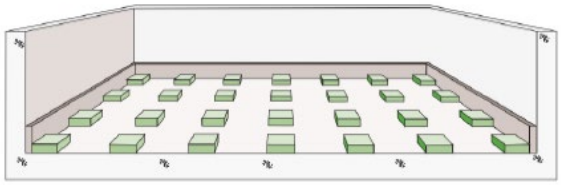


Figura 15. Esquema de la disposición de pads bajo el pavimento.

Se está realizando un modelo numérico específico para el cálculo dinámico.

Por un lado, se pretende utilizar el modelo para determinar la función de transferencia de transmisión de vibraciones desde las diferentes fuentes de excitación hasta las zonas de los laboratorios más sensibles.

En paralelo, se pretenden convertir las curvas de aceleración medidas in situ, junto a las bases de las maquinas, en espectros de respuesta en el dominio de la frecuencia, mediante transformada de Fourier, habiéndose previamente integrado las curvas de aceleración para convertirlas en curvas de velocidad.

Adicionalmente, se pretende hacer un análisis dinámico utilizando como input los espectros de vibración obtenidos de las curvas de vibración medidas in situ, para poder comparar el espectro de salida con los obtenidos mediante las funciones de transferencia. Con este análisis dinámico se pretende validar las curvas de transferencia obtenidas.

Con los resultados de este análisis se analizará la idoneidad de la aislación pasiva y activa prevista, previamente a su colocación.

5. Aspectos relativos a la construcción. Proyecto BIM.

Tanto la realización del proyecto en fase de diseño, como el avance de la obra y el diseño de detalle durante la construcción, fueron desarrollados con metodología BIM.

Más allá de las ventajas, en cuanto a la coordinación de las diferentes especialidades que intervienen en un proyecto en fase de diseño, como son las instalaciones y la arquitectura con la estructura, en la construcción de un edificio tan complejo como este también es ventajoso recurrir a esta metodología para el análisis del proceso constructivo, y la programación de la obra.

En las siguientes imágenes se muestra un ejemplo de superposición entre la simulación realizada en BIM, con la imagen real de su consecución en obra, del detalle de los sostenimientos provisionales de la estructura metálica, y su coordinación con la estructura en construcción.

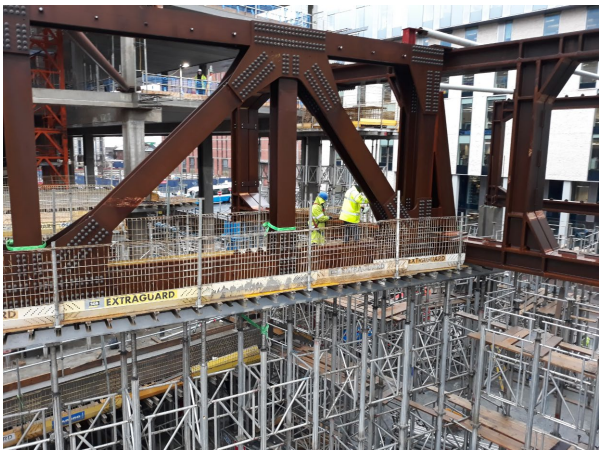


Figura 16. Detalle según definición en modelo BIM.

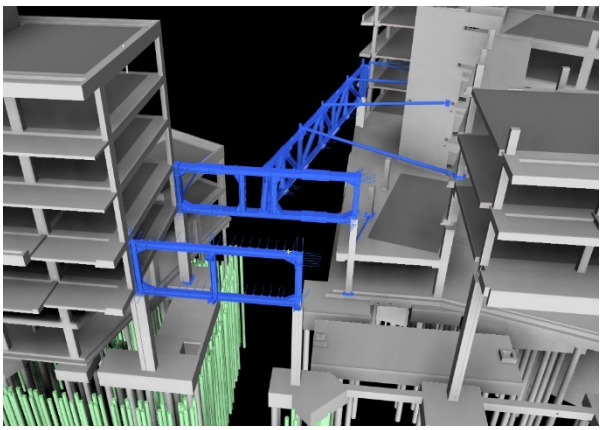


Figura 17. Modelo BIM del proceso constructivo.

Figura 18. Imagen durante la construcción.

La obra se encuentra en una zona completamente edificada del centro de la ciudad. El espacio físico para realizar acopios o implantar maquinaria es muy reducido.

En la primera imagen que se adjunta a continuación, se observa el detalle de integración de los medios para el apuntalamiento provisional de las contenciones, atravesando en ese caso los grandes vacíos del interior de sótano, que albergan los futuros auditorios.

En la segunda imagen se muestra otra etapa del proceso constructivo, donde se observa que una vez se ha superado la estructura bajo rasante del edificio, se han aprovechado los huecos interiores para la instalación de las grúas-torre necesarias para la elevación de las placas alveolares de 16.0 m de luz.

Figura 19. Imagen durante la construcción de los sótanos y la pantalla perimetral.

Figura 20. Imagen durante la construcción por encima de la rasante.

En una fase posterior, se observa la ejecución de los núcleos de comunicación con compartimentaciones de muros de hormigón.

Al mismo tiempo, se está colocando encofrado para el siguiente forjado, y se están ejecutando las vigas in situ, en otras zonas de la obra, o incluso se observa la colocación de placa alveolar.

Figura 21. Imagen durante la construcción. Diferentes fases en ejecución

En fases más avanzadas se observa la ejecución de los forjados postesados, e incluso los distribuidores de hormigonado interiores en operación.

Figura 22. Bomba-Torre de hormigonado.

En la siguiente imagen se observa la ejecución de diferentes tipologías de forjado postesado. En una parte se observa el forjado nervado tipo sándwich y los paneles de poliestireno interiores. En la otra se observa el trazado bidireccional de los tendones de las losas macizas, adaptadas en este caso al hueco necesario para alojar los distribuidores de hormigonado.

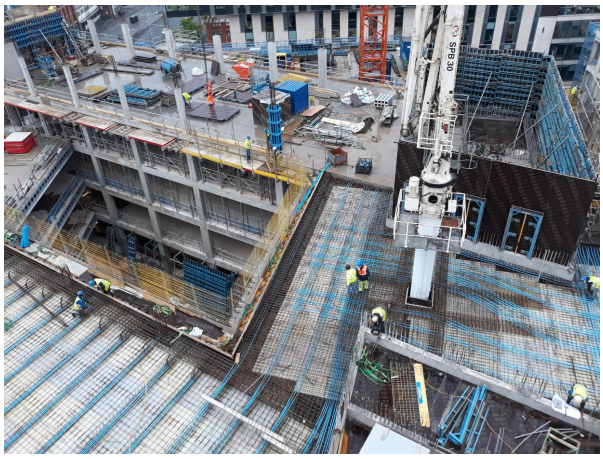


Figura 23. Detalle de ejecución de forjados postesados.

Por último, en esta última imagen se observa una grúa móvil trabajando en la calle abierta a la circulación, durante el izado e instalación de una de las estructuras metálicas tipo vierendeel del proyecto.

Figura 24. Izado de estructura metálica (vierendeel).

6. Conclusiones.

Sacyr ha llevado a cabo el proyecto y construcción de esta singular obra.

Uno de los hechos más destacados son las particulares o dificultades asociadas a trabajar en un país como el Reino Unido, donde la forma de gestionarse los contratos, los proyectos y las obras, es muy diferente a como funciona en otros países. Aun así, se ha conseguido también dirigir e introducir soluciones y procedimientos diferentes a los locales, que están ayudando en la consecución del proyecto.

Esta obra, es una aportación más al gran peso y relevancia que las empresas españolas del sector de la construcción están jugando a nivel internacional.

Se agradece toda la colaboración prestada de todos los que han intervenido en esta obra, y muy especialmente a:
Cliente: Ulster University

Project management: WYG Engineering.
Ejecución postesado: VSL

Arquitectura: STW
Estudio Vibraciones: Design ID
Medición de Vibraciones: Sandy Brown.
Equipo de obra: Sacyr UK & Sacyr Somague.