



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Modelización y cálculo de un edificio de hormigón  
con programas del entorno BIM

Modeling and calculation of a concrete building  
with BIM environment programs

Autor

**Javier Bentué Bueno**

Director

**Alberto Ayensa Pardo**

Ponente

**Luis Gracia Villa**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

2016/2017







## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer este proyecto:

A mi familia, que siempre está ahí, por su apoyo constante e incondicional.

A mi tutor, Alberto Ayensa, Dr. ingeniero industrial y calculista de estructuras en la empresa IDOM, por la idea de este trabajo, que ha llevado a mi introducción en el mundo de BIM, por sus recomendaciones y consejos, y por no haber negado nunca una llamada o un correo siempre que lo he necesitado.

Por extensión, al grupo IDOM y a la oficina de IDOM Zaragoza por la increíble oportunidad que me han brindado, y en especial al departamento de Análisis Avanzados y Estructuras, por proporcionar un entorno de trabajo tan agradable y acogedor. Mención aparte me merecen los nombres de Susana Casamayor, y Antonio Pérez, quienes llevaban el proyecto real en la empresa, cuya colaboración e interés han estado presentes en el trabajo desde el comienzo.

A la empresa ARTEPREF, por haber permitido que su diseño geométrico fuese objeto de este trabajo, y por haber colaborado de una manera tan altruista a lo largo de la realización del mismo.

A Luis Gracia, por el seguimiento realizado desde la universidad, por no haber negado tampoco una consulta, y por sus consejos a la hora de dar forma al documento final, tarea que siempre consigue hacer sencilla.

A mis amigos, fuente constante de risas y buenos momentos, porque sin ellos llegar hasta aquí no habría sido posible.

Y por último, y no por ello menos importante, a Beatriz Moya, quien me hace mejor persona cada día simplemente por ser como es. Gracias de corazón.

## DEDICATORIAS

*A mi madre, Eva,  
mi padre, Antonio,  
mi hermano, Daniel,  
y mi alegría, Bea.*

## **Modelización y cálculo de un edificio de hormigón con programas del entorno BIM**

### **RESUMEN**

¿Qué es BIM? BIM son las siglas de Building Information Modeling, una relativamente nueva metodología de trabajo que conlleva el proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida, modelándolo en tres dimensiones y en tiempo real gracias a un software dinámico para disminuir el tiempo dedicado y recursos en el diseño y la construcción. Del proceso deriva la obtención de un modelo de información del edificio (abreviado también BIM), que abarca la geometría del mismo, relaciones espaciales, información geográfica, tablas de cuantificación de componentes, y un largo etc.

El presente trabajo pretende aportar un pequeño ejemplo de cómo funciona este entorno haciendo uso de dos programas afines al mismo: realizando un modelo de un edificio de hormigón con el programa Revit, y haciendo una lectura en tiempo real del mismo desde el programa Robot, que será desde el que se realice el cálculo estructural. Este cálculo cuenta con la complicación extra de tratarse de un edificio con elementos de hormigón pretensado, para cuyo cálculo se ha usado el software Prontuario Informático EHE-08. Se proporcionan en este documento, para la realización de todo ello, una serie de datos del edificio real, que permitieron su modelización, el proceso de creación de modelo en sí, así como el proceso de cálculo. Los resultados de este cálculo y estado final del modelo se han comentado en los apartados finales de la memoria.

## **Modeling and calculation of a concrete building with BIM environment programs**

### **ABSTRACT**

What is BIM? BIM stands for “Building Information Modeling”, a relatively new work methodology that implies the process of creation and data management of a building during its lifecycle, modeling it in 3D and in real time thanks to a dynamic software so that both time spent and resources in design and construction are reduced. From this whole process derives the building information model (called BIM as well) which contains the geometry of the building itself, dimensions, geographic information, properties and materials from every component, etc.

With this project, I hope to provide a small example of how this environment works, by creating a model of a concrete building with the software Revit, and making a real time read of said model from the software Robot, which will be the one to make the structural analysis, both programs related to the BIM environment. An extra difficulty should be considered in this calculation process, given the fact that the building has some elements with prestressed concrete, which will be calculated with the software Prontuario Informático EHE-08. In order to do all this, data from the real building will be provided, as well as the process to create the model and the calculation process. Results derived from this analysis and the final state of the model have been commented in the last sections of this report.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIAS.....	2
RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	4
1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivo y alcance .....	8
1.2 Antecedentes .....	8
1.3 Datos previos.....	9
1.4 Estructuración del documento.....	10
2 ¿QUÉ ES BIM?.....	11
2.1 Contexto histórico .....	12
2.2 De CAD a BIM .....	13
2.3 ¿Para qué sirve BIM?.....	14
2.4 Etapas y áreas abarcadas .....	15
2.5 Ventajas de BIM .....	16
2.6 Contexto internacional y nacional.....	17
3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	19
3.1 Geometría.....	21
3.2 Materiales.....	24
4 MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	25
4.1 ¿Qué es Revit?.....	25
4.2 Primeros pasos: unidades de proyecto, rejilla, y niveles .....	27
4.3 Pilares .....	28
4.4 Estructura de cubierta.....	30
4.5 Estructura interior .....	32
4.6 Materiales.....	33
4.7 Cargas y casos de carga .....	35

5	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA .....	37
5.1	¿Qué es Robot? .....	37
5.1.1	De Revit a Robot.....	39
5.2	Normativa aplicada .....	40
5.3	Lectura y acondicionamiento del modelo .....	41
5.4	Proceso de cálculo .....	43
6	REFINAMIENTO DEL MODELO .....	51
7	CONCLUSIONES .....	55
7.1	Opinión personal .....	56
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXO I.	PLANOS DEL PROYECTO REAL. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA.....	65
ANEXO II.	PROCESO DETALLADO DE CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	67
ANEXO III.	CARGAS Y CASOS DE CARGA .....	125
ANEXO IV.	ACONDICIONAMIENTO DEL MODELO EN ROBOT .....	177
ANEXO V.	RESULTADOS DEL PROCESO DE CÁLCULO EN ROBOT .....	207
ANEXO VI.	CÁLCULO DE ELEMENTOS PRETENSADOS .....	261
ANEXO VII.	REFINAMIENTO DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	327
ANEXO VIII.	INDICE DE FIGURAS .....	439
ANEXO IX.	PDF DINÁMICO 3D.....	461

# 1 INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes, la profesión del ingeniero ha estado siempre íntimamente ligada a los cambios y mejoras en la tecnología que se iban sucediendo. Durante la revolución industrial, las mesas de dibujo hicieron más fácil la tarea de la realización de planos, y pese a ello, la figura del delineante siguió siendo especialmente respetada, dada la increíble destreza que se seguía requiriendo. La aparición de los ordenadores y la informatización de casi todos los documentos que componen un proyecto hicieron que la labor ganase muchísimo en agilidad. Conforme esta tecnología fue mejorando así lo hicieron las labores de ingeniería: las hojas de cálculo y programas de presupuestos permitieron un seguimiento exacto, constante y rápido del coste de proyectos tanto pequeños como millonarios; la aparición de programas de cálculo estructural facilitó la tarea de calculistas e ingenieros de estructuras en todo el mundo; programas de diseño espacial hacían más fácil la labor creativa de los arquitectos; y como último ejemplo, la aparición del diseño asistido por ordenador (CAD) cambió por completo la visión que se tenía de la figura del delineante, así como su metodología de trabajo.

La necesidad constante de seguir de cerca los últimos avances tecnológicos va muy ligada a la creciente complejidad que han adquirido los proyectos de ingeniería con el paso del tiempo, y en estos últimos años, esto no ha sido una excepción. Con todas, o la inmensa mayoría de las partes, informatizadas y agilizadas hasta un límite difícil de seguir superando, lo que se busca hoy en día es mejorar el entendimiento entre todas estas partes. Que un cambio en una viga por parte de los calculistas suponga hacer trabajar a dos-tres delineantes para cambiarla en todos los planos, al responsable de presupuestos para modificar volumen de acero, al Project Manager para notificar el cambio a..., etc. es con lo que la inmensa mayoría de las empresas de ingeniería lidian hoy en día cuando sucede un cambio, un fallo, o un imprevisto en un proyecto.

La reciente aparición de los programas del entorno BIM apuestan por trabajar en esta nueva dirección, con el objetivo final de tener la casi totalidad de un proyecto en un solo archivo. Es una labor muy complicada y que requiere de un seguimiento y una gestión muy detallada, para lo cual ha aparecido, también a la par, la figura del BIM Manager. Con el mismo proyecto mencionado previamente realizado en este entorno de trabajo, la modificación de esa viga se vería directamente reflejada en absolutamente todos y cada uno de los planos que se hubieran generado dentro del programa en que se tuviese el modelo (Revit), de igual forma que, habiendo creado previamente una serie de tablas de cuantificación (presupuestos), éstas se actualizarían automáticamente; y, si además el archivo se tuviese ligado a los que tuvieran entidades como la constructora, la promotora, etc... el propio archivo les notificaría el cambio que se hubiese realizado.

Ésta es la metodología que ofrece el entorno. Una idea compleja de ejecutar, y que gana en complejidad conforme así lo hacen los proyectos que se quieren realizar, pero cuya principal ventaja será el enorme ahorro de tiempo, y por consiguiente de dinero, que se llegará a ahorrar una vez esté completamente implantado.



## 1.1 Objetivo y alcance

El objetivo principal del presente Trabajo de Fin de Máster es la creación de un modelo de estructura de hormigón prefabricado y realización del cálculo estructural de la misma. Para ello, se hará uso de dos software del entorno BIM: Autodesk Revit 2016, para el modelizado, y Autodesk Robot 2016, para el cálculo estructural mediante Método de Elementos Finitos (MEF). Además se hará uso del software Tricalc, también de cálculo estructural, para consultas puntuales a modelos preliminares, así como el Prontuario Informático del Hormigón EHE-08, para el cálculo de los perfiles de hormigón pretensado que escapen a la capacidad de cálculo de ambos programas, tanto Robot como Tricalc.

Como objetivos secundarios quedan que el alumno obtenga soltura en el manejo de ambos programas del entorno BIM, prácticamente desconocidos previo a haber comenzado el trabajo, así como ampliar todo posible conocimiento relacionado con la metodología de trabajo en este entorno. Obviamente y dadas las características del edificio, se busca también que el alumno adquiera y amplíe conocimientos sobre el cálculo de estructuras de hormigón armado y pretensado, con la consecuente dificultad que éste último añade al trabajo a realizar.

El alcance del proyecto termina con el cumplimiento de estos objetivos. Una vez realizado el cálculo de la estructura, y habiendo dejado el modelo tal como imponen los resultados del cálculo en Revit, el trabajo se dará por finalizado con éxito. Quede constancia de que de todas las posibilidades que ofrece el entorno BIM, el presente trabajo se centrará única y exclusivamente en los apartados de modelizado (Revit), y en la lectura directa que se puede hacer del modelo para realizar el análisis estructural (Robot). Asimismo, quede igual constancia de que en el concepto de estructura del edificio no se incluye la cimentación del mismo, y, por ésta y otras razones que se exponen a lo largo de la memoria, el cálculo de la misma no entra dentro del alcance del trabajo, si bien en el apartado 6 de esta memoria sí que se ha modelizado una cimentación aproximada, obtenida de modelos de cálculo preliminares, con el único objetivo de aportar un mayor grado de refinamiento al modelo final en Revit.

## 1.2 Antecedentes

El edificio objeto del presente TFM se ha obtenido de parte de un proyecto de ampliación para Pastas Alimenticias Romero, S.A. cuyo Project Management, incluyendo el análisis inicial de alternativas, definición de proyecto, dirección facultativa y control de planificación de presupuesto se está llevando desde la oficina de IDOM en Zaragoza. El director de encargo es el ingeniero industrial Antonio Pérez, que desarrolla el trabajo en equipo junto con el arquitecto José Ángel Ruiz, y la calculista estructural Susana Casamayor, ingeniera industrial, que fue quien llevó a cabo los cálculos estructurales de modelos previos al que es objeto de este TFM utilizando el software Tricalc.

El proyecto se inició en el año 2015, y todavía está en desarrollo. De hecho aún a día de hoy llegan a la oficina cambios en la geometría que suponen modificaciones en el modelo de cálculo. Es por ello que se tomó como fecha final para el cálculo definitivo del modelo el 15 de noviembre de 2016 para alcanzar con tiempo la fecha deseada de entrega de este TFM.

Con el proyecto se tuvo primer contacto gracias al periodo en prácticas con contrato de colaboración para la realización del TFM que se firmó con la empresa IDOM, en cuyas oficinas de Zaragoza se llevaron a cabo la amplia mayoría de las tareas pertinentes para la finalización del mismo, bajo la tutela del calculista de estructuras Alberto Ayensa, Dr. ingeniero industrial.

### 1.3 Datos previos

Los continuos cambios a los que se ve sometido el edificio se deben a que, como se ha mencionado, es un proyecto todavía en desarrollo, y son varios los casos que se están barajando para la geometría final.

De entre todos los diseños preliminares en fase de ofertas, el que se eligió para realizar este TFM fue el de la empresa de prefabricados ARTEPREF®, cuyo modelo, de geometría especialmente singular por el especial uso que dan al hormigón prefabricado, captó mi interés desde el primer momento. Algunos ejemplos pueden encontrarse en su [página web](#), más concretamente, de estructuras que han realizado con el elemento característico de su diseño, las [vigas Artwind](#)®:



*Figura 1 Ejemplos de cubierta mediante vigas Artwind (ARTEPREF)*

Destacan los nombres de Jesús Casero y Jesús Arrabal como los principales contactos en ARTEPREF con quienes tratan las oficinas de IDOM.

Aparte, mencionar como datos previos los manuales de Revit y Robot, así como las normativas vigentes de hormigón EHE-08, el Código Técnico de la Edificación (CTE), y los Eurocódigos para alguna consulta puntual que escape a la capacidad del CTE.

Se añade a todo esto, además, toda la documentación de la que se pudo disponer en las oficinas de la empresa: memorias de cálculo, planos, etc.

## 1.4 Estructuración del documento

Los apartados que siguen a este primero, que sirve de introducción al proyecto, desarrollarán los siguientes aspectos:

- En el apartado 2 se procede a la explicación de las nociones y aspectos generales en torno a la metodología de trabajo BIM.
- El tercer apartado consiste en una descripción de la estructura real objeto del trabajo.
- En el apartado 4: Modelización de la estructura, se explicará el proceso de creación del modelo en Revit, desde la colocación del mallado y los niveles iniciales hasta la creación de familias personalizadas que proporcionan un increíble acercamiento a la realidad.
- El apartado 5: Cálculo del edificio, recoge el proceso de cálculo que se llevó a cabo, empezando con el acondicionamiento del modelo, y posterior cálculo en Robot, hasta los cálculos de las secciones de los elementos de hormigón pretensado con el Prontuario Informático EHE-08.
- En el apartado 6 se expondrá cómo se terminó de modelar el edificio en Revit, una vez conocidos los resultados finales.
- Un séptimo apartado recogerá las conclusiones que se extrajeron de todo el proceso.
- El último apartado se reserva para colocar las referencias bibliográficas utilizadas durante la realización del trabajo.
- A la parte principal, que supondría esta memoria, se adjuntarán una serie de anexos con el fin de completar la información redactada en los capítulos que componen la misma de la manera más eficiente posible, entrando en el ámbito más técnico, o en las opciones del software de simulación más complicadas:

ANEXO I.	PLANOS DEL PROYECTO REAL. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA.....	65
ANEXO II.	PROCESO DETALLADO DE CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	67
ANEXO III.	CARGAS Y CASOS DE CARGA .....	125
ANEXO IV.	ACONDICIONAMIENTO DEL MODELO EN ROBOT .....	177
ANEXO V.	RESULTADOS DEL PROCESO DE CÁLCULO EN ROBOT .....	207
ANEXO VI.	CÁLCULO DE ELEMENTOS PRETENSADOS .....	261
ANEXO VII.	REFINAMIENTO DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	327
ANEXO VIII.	INDICE DE FIGURAS .....	439
ANEXO IX.	PDF DINÁMICO 3D.....	461

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, aunque podría ser perfectamente Building Information Management, ya que el BIM tiene mucho que ver con la gestión de la información y no sólo con la modelización. Mucha gente piensa aún que el BIM es un software y frecuentemente escuchamos hablar de BIM como si fuera Revit, Archicad, o cualquier otra plataforma de las muchas que hay en el mercado. Es importante aclarar que BIM no es un software, aunque obviamente el software forma parte del BIM. BIM es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión de activos que hemos conocido hasta ahora.

La información concentrada y registrada en este modelo virtual es muy diversa y cada vez más completa. Va desde los agentes intervinientes en el proceso, el propio modelo del edificio, aspectos técnicos, estructurales, de instalaciones, de eficiencia energética, económicos, de materiales, comerciales, fases de ejecución, mantenimiento, administración, etc.

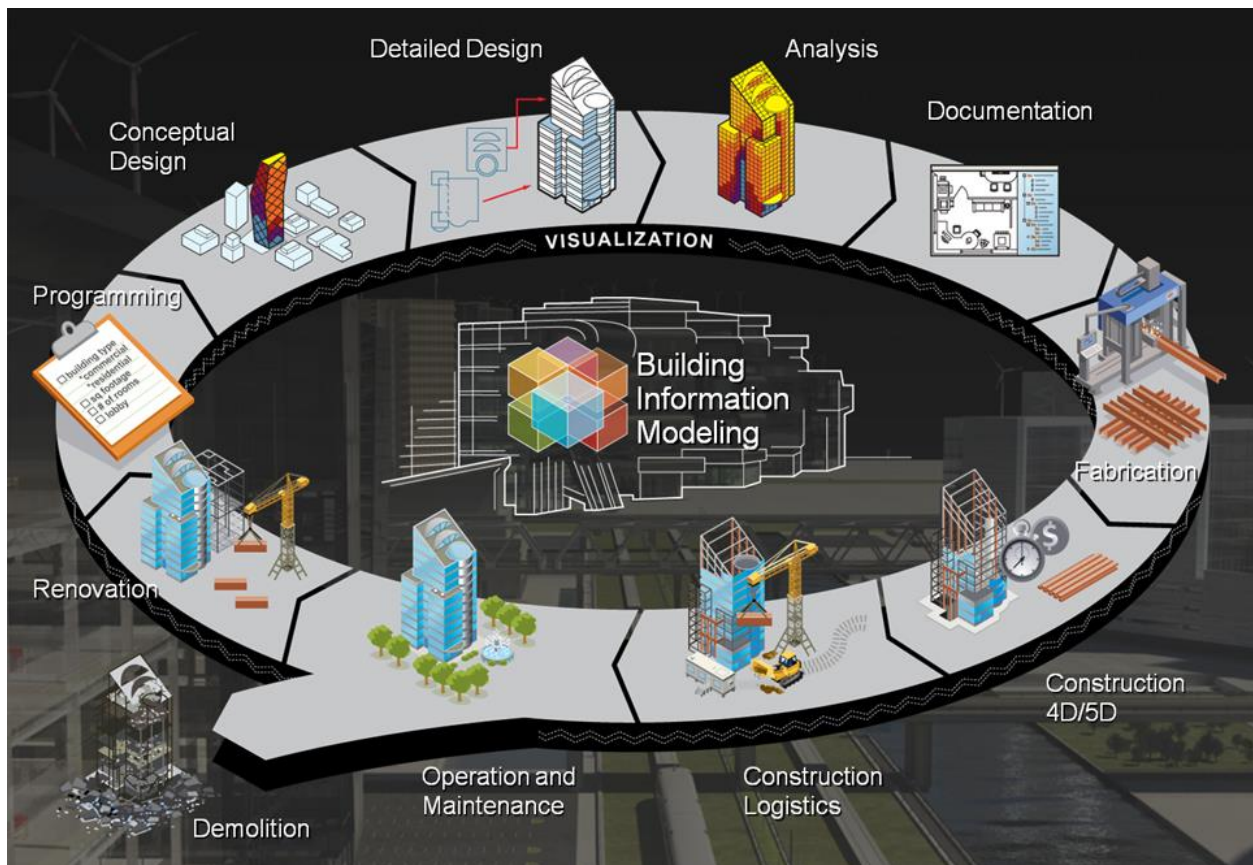


Figura 2 Ciclo de vida de un edificio desde el punto de vista de la metodología BIM

Cada agente que interviene en el proceso de edificación, es parte del método de trabajo BIM, cada uno de ellos tiene unas competencias propias y acceso a la parte de información que le es relevante. Por eso es fundamental que todos ellos conozcan el método BIM y cómo funcionan sus herramientas.

La información que se aporta al modelo BIM, proviene de distintos tipos de software, programas de modelizado, cálculo estructural, “Mechanical, Electrical and Plumbing” (MEP), software de presupuestos, análisis de comportamiento energético, etc. El conocimiento de todas estas herramientas y de la capacidad de interoperabilidad entre ellas, es fundamental para la correcta implantación del BIM.

## 2.1 Contexto histórico

Encontramos varios puntos vista sobre el origen de este concepto. La empresa pionera en la aplicación del concepto BIM fue la empresa húngara Graphisoft, la cual lo implementó bajo el nombre de Virtual Building (Edificio Virtual) desde 1987 en su programa ArchiCAD, reconocido como el primer software de CAD para computadora personal capaz de crear tanto dibujos en 2D como 3D; Autodesk comenzó utilizar el concepto BIM desde 2002 cuando compró la compañía texana Revit Technology Corporation por 133 millones de dólares, mientras que otros postulan que fue el profesor Charles M. Eastman, del Georgia Institute of Technology, el primero en difundir el concepto de modelo de información de edificación, como un sinónimo de BIM, a inicios de los setenta en numerosos libros y artículos académicos.



Sin embargo, parece haber un consenso generalizado acerca de que Jerry Laiserin fue quien lo popularizó como un término común para la representación digital de procesos de construcción, con el objetivo de intercambiar e interoperacionalizar información en formato digital. Esta capacidad hoy es ofrecida por diferentes proveedores tecnológicos como: Nemetschek, Sigma Design, Autodesk, StruCad de AceCad Software, Bentley Systems, Graphisoft, ACCA software, sds/2 por Design Data (líder en ingeniería de detalle), CADDetails, Dlubal Software, entre otros.

Por otra parte, el concepto de BIM, en el área de la arquitectura y la construcción, presenta varias opciones en cuanto a plataformas y software para su implementación.

En 1978 se presentó la primera versión de SigmaGraphics, desarrollado por Sigma Design International, de Alexandria, Louisiana, el cual posteriormente se denominó ARRIS CAD en el año de 1984: un entorno completamente dedicado a la arquitectura y la construcción. Este software originalmente fue desarrollado para entornos multitarea tales como UNIX/XENIX y actualmente trabaja bajo sistemas operativos de Windows.

## 2.2 De CAD a BIM

BIM y CAD representan dos aproximaciones fundamentalmente diferentes al diseño arquitectónico y su documentación. Las aplicaciones de CAD (Computer-Aided Design) imitan el tradicional proceso de "papel y lápiz" con dibujos electrónicos de dos dimensiones creados desde elementos gráficos 2D como líneas, tramas y textos, etc. Los dibujos de CAD, de forma similar a los dibujos en papel, son creados de forma independiente por lo que cada cambio en el diseño debe revisarse y modificarse manualmente en cada uno de ellos.

Las aplicaciones BIM imitan el proceso real de construcción. En lugar de crear dibujos con líneas 2D se construyen los edificios de forma virtual modelándolos con elementos reales de construcción, como muros, ventanas, forjados, cubiertas, etc. Esto permite a los arquitectos diseñar edificios de la misma forma en que son construidos. Como todos los datos están guardados en el modelo virtual central, los cambios en el diseño son automáticamente detectados y realizados en todos los dibujos individuales generados desde el modelo.

Con esta aproximación integrada del modelo, BIM no solo ofrece un significativo incremento en la productividad sino que sirve como base para unos diseños mejor coordinados y para un proceso de construcción basado en el modelo.

Mientras que el cambio desde CAD a BIM está ya justificado con los beneficios obtenidos durante la fase de diseño, BIM todavía ofrece más beneficios durante la construcción y operativa de los edificios.

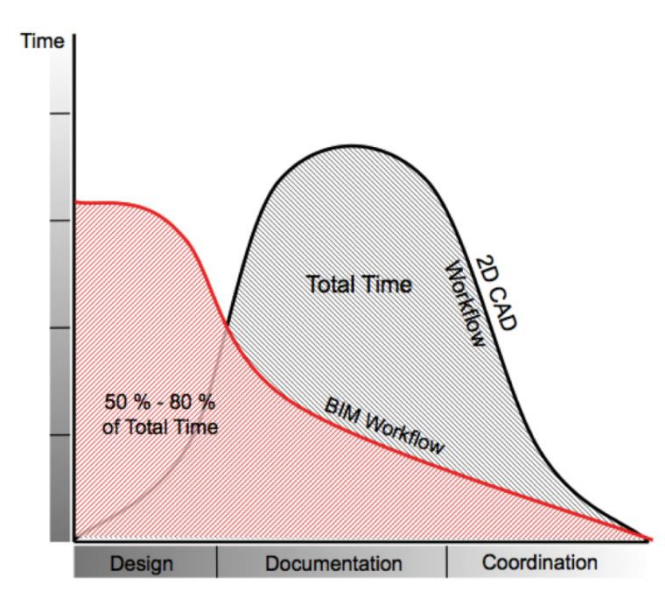


Figura 3 2D CAD workflow vs BIM workflow

## 2.3 ¿Para qué sirve BIM?

**Visualización 3D** - Aunque puede haber varias metas diferentes para la creación de un modelo construido BIM que pueden diferir tanto en su enfoque, alcance, complejidad, nivel de detalle y la profundidad de la información incorporada al modelo 3D, por supuesto, el uso más trivial de un modelo BIM es para realizar bonitas visualizaciones del edificio que se va a construir. Esto es bueno tanto para ayudar a su decisión de diseño mediante la comparación de diferentes alternativas de diseño como para "vender" su diseño a su cliente o incluso a la comunidad local, que podría tener un voto sobre el proyecto del edificio.

**Gestión de Cambios** - Puesto que los datos se almacenan en un lugar central en un modelo BIM cualquier modificación del diseño del edificio se replicará automáticamente en cada vista, tales como planos de planta, secciones y alzados. Esto no sólo ayuda a la creación de la documentación de forma más rápida sino que también proporciona la garantía de calidad rigurosa en la coordinación automática de los diferentes puntos de vista.

**Simulación del Edificio** - los modelos BIM no sólo contienen datos arquitectónicos sino también toda la información interna del edificio, incluyendo todos los datos de ingeniería como las estructuras de carga, todos los conductos y tuberías de los sistemas e incluso la información sobre sostenibilidad, permitiéndonos realizar simulaciones de las características del edificio por adelantado.

**Gestión de Datos** - BIM contiene información que no se ve representada en los planos. La información sobre el calendario, por ejemplo, clarifica los recursos humanos necesarios, la coordinación y todo lo que pueda afectar a la agenda del proyecto. El coste es también la parte del BIM que nos permite saber el presupuesto estimado del proyecto en cada fase del tiempo durante el cual se ejecuta.

**Operativa del Edificio** - No hace falta decir que todos estos datos insertados en el modelo BIM no son útiles solamente durante las fases de diseño y construcción sino que pueden utilizarse durante todo el ciclo de vida del edificio, ayudando a reducir su coste de operación y mantenimiento, la magnitud de los cuales son en definitiva mucho mayores que el coste de su construcción.

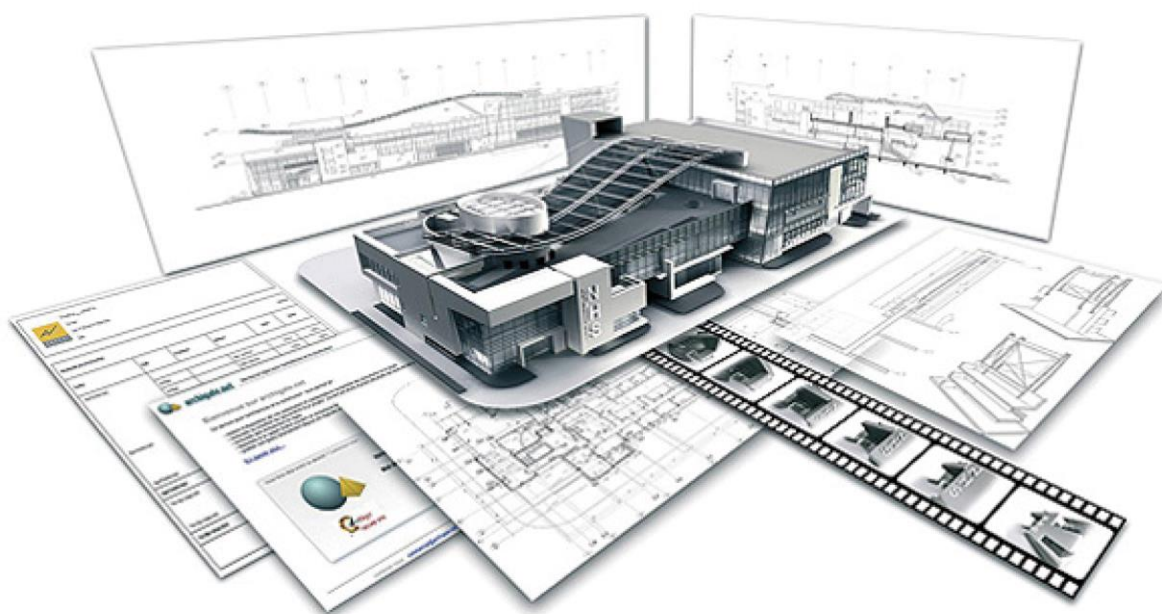


Figura 4 Utilidades BIM

## 2.4 Etapas y áreas abarcadas

Como ya se ha explicado, toda la información del proyecto, incluyendo las áreas de trabajo involucradas, se introduce en un modelo único tridimensional. Además, los materiales y productos tienen asociadas sus características físicas y funcionales, como el peso, la resistencia y el fabricante.

De esta forma los componentes físicos de las distintas disciplinas que participan en el proyecto son visualizados en tres dimensiones, permitiendo el cálculo de materiales y la definición de especificaciones. Algunos ejemplos de áreas y tareas que cubre este modelo son:

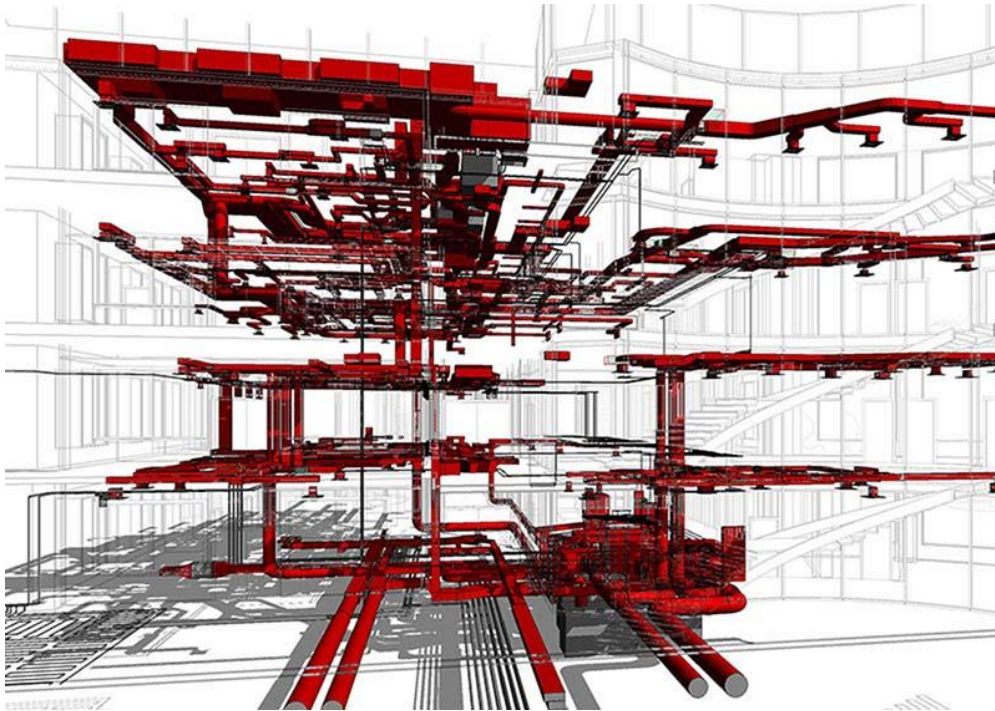
- **Arquitectura:** Plantas de distribución, cortes, planta de localización con terreno, vistas volumétricas, cuadros de puertas y ventanas, cuadro de acabados.
- **Diseño interior:** Carpinterías, cielorrasos, vistas de presentación con materiales, etc.
- **Estructuras:** Plantas de fundaciones, plantas de columnas, plantas de estructura de las losas, estructura de cubierta y elevaciones de cada eje. Análisis estructural.



*Figura 5 Ejemplo estructura vista interior REVIT*

- **Ingeniería mecánica:** Diseño de aire acondicionado, cuadros de volúmenes de aire, etc.
- **Ingeniería eléctrica:** Planta de luminarias, planta cableado de energía y cuadro de cargas.
- **Ingeniería sanitaria:** Planta de red de agua fría, agua caliente, y alcantarillado.
- **Construcción:** Programación de fases de construcción, actualización del modelo según lo construido y coordinación técnica.
- **Instalaciones de seguridad:** Protección al fuego, sistemas de detección, sistemas de extinción y evacuación.





*Figura 6 Ejemplo archivo REVIT MEP (instalaciones)*

## 2.5 Ventajas de BIM

Las ventajas del BIM respecto al método de trabajo tradicional son evidentes, enumeremos brevemente algunas de las más importantes:

- Las plataformas BIM actualizan automáticamente la información que es editada en cualquier parte del modelo. Esto quiere decir que si un elemento es modificado en una planta, se modifica automáticamente en las secciones, alzados y vistas 3D, igual que si se modifica una característica en un listado, cambia automáticamente en todo el proyecto. No hay posibilidad de error humano. La información siempre es coherente.
- Al trabajar todos los agentes sobre un único modelo, no hay posibilidad de pérdidas de información debidas a la descoordinación entre versiones que manejan los distintos profesionales.
- Al establecer este método de trabajo en paralelo, todos los agentes pueden plantear desde el principio las opciones que consideren más convenientes para el proyecto, implicando directamente a toda la organización. El proyecto se desarrolla en tiempo real de forma coordinada en un entorno colaborativo, siempre bajo la supervisión del cliente.
- El BIM permite disponer en todo momento de cualquier información que se requiera, tanto de diseño como técnica, de costes, plazos de ejecución, mantenimiento, etc. También permite hacer modificaciones en tiempo real que actualizarán automáticamente todos estos parámetros, aumentando el grado de personalización y adecuación del proyecto a las necesidades del cliente.

- Las tareas de facility management se vuelven mucho más eficientes, al tener toda la información real del activo bajo demanda.
- Permite la evaluación temprana de conflictos, al cotejar la información desde el comienzo del proyecto y a lo largo de todo el proceso de seguimiento del mismo.
- Permite evaluar la sustentabilidad de la obra, pues facilita el cálculo de la eficiencia energética del edificio y sus instalaciones.

Éstas y otras muchas ventajas tienen como resultado una optimización de todo el proceso de edificación y gestión de activos durante todo el ciclo de vida, que se vuelven infinitamente más eficientes y cuyos costes y plazos de ejecución se reducen considerablemente.

## 2.6 Contexto internacional y nacional

BIM no es el futuro, es el presente. BIM ya es obligatorio en multitud de países como Estados Unidos, Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia, Noruega, Suecia...y pronto lo será en España. La tendencia es que, más a corto que a medio plazo, sea el estándar empleado en la construcción en todo el mundo desarrollado. BIM no es una opción, ha llegado para quedarse.

En la Directiva Europea sobre contratación pública de la Unión Europea (EUPPD) 2014/24/EU (of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014), se recoge que todos los Estados miembros de la UE deben fomentar, precisar o imponer el uso de sistemas digitales en sus procesos de diseño y licitación de proyectos y obras para proyectos de construcción y de edificación financiados con fondos públicos en la Unión Europea para el año 2016.

En España ya se está empezando a avanzar en este sentido con iniciativas como la expresada en el Manifiesto BIMCAT por parte del Gobierno de Generalitat de Cataluña y Ayuntamiento de Barcelona de crear un grupo de trabajo para la implantación del BIM, con objetivos marcados entre 2015 y 2020, anunciada en el European Bim Summit 2015, grupo que, como noticia más reciente, tiene por objetivo e hito para España el uso obligatorio de BIM en Licitaciones públicas a partir de diciembre de 2018.

Así mismo, hay ya numerosas iniciativas aisladas en diversas localizaciones de la geografía española como Madrid, Valladolid, Málaga, Coruña, por nombrar sólo algunas... En cuanto a las iniciativas universitarias, hay multitud de frentes abiertos por parte de distintas universidades, siendo la novedad más reciente la presentación del Manifiesto BIM Académico, por parte de la Universidad Politécnica de Valencia, el pasado 9 de mayo de 2015, en el marco del congreso EUBIM 2015.

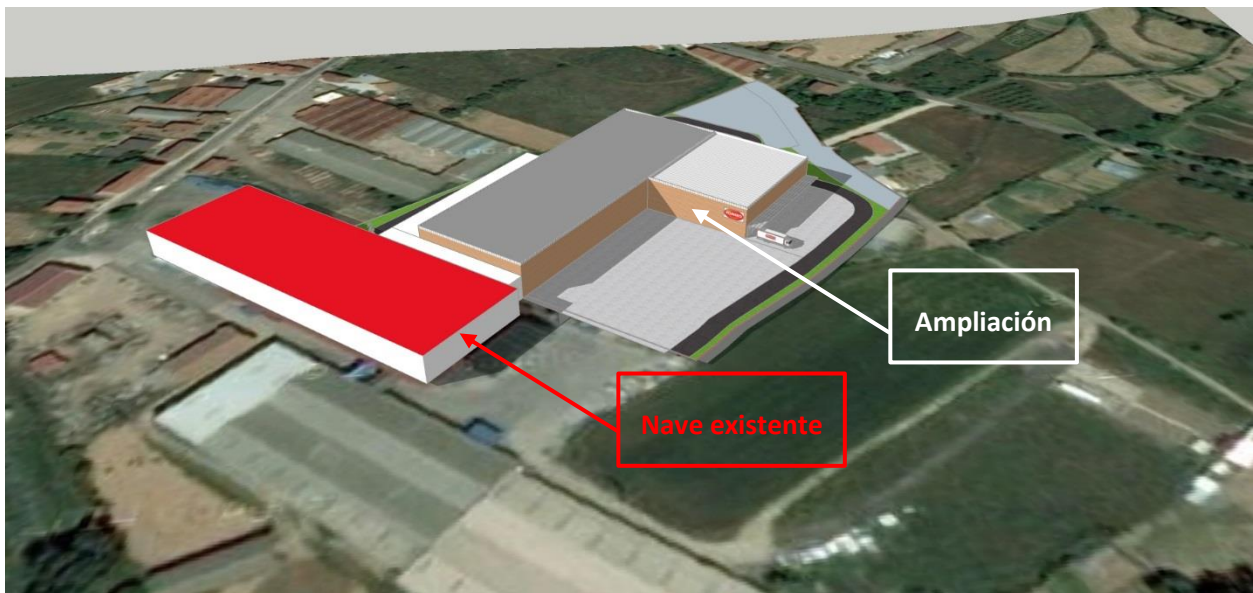
La cuestión ya no es si se va a implantar o no el BIM en España, la implantación es inminente y nos ayudará a tener mayor visibilidad a nivel internacional y a internacionalizar nuestros servicios de una forma mucho más eficiente.

---

### 3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Como se ha mencionado en el apartado de introducción, el modelo responde a la propuesta preliminar que la empresa de prefabricados ARTEPREF tiene como opción para optar a la geometría final del edificio en el proyecto real.

Este proyecto contempla la ampliación de la nave existente de Pastas Alimenticias Romero en Daroca, mediante edificación de una nave, y edificio de servicios anexo como puede verse representado en la siguiente imagen de una simulación muy modesta realizada con el software SketchUp:



*Figura 7 SketchUp proyecto de ampliación Pastas Romero*

Pastas Alimenticias Romero cuenta actualmente con unas instalaciones que ocupan, aproximadamente una superficie de 25.000 m<sup>2</sup>, 15.000 de ellos construidos, con una producción de 50.000 T/año, en la parcela nº 43 de la Avenida de Madrid de Daroca. La nueva nave supondrá una superficie de ocupación de cerca de 8.700 m<sup>2</sup> y el edificio de servicios anexo, de 1500 m<sup>2</sup>, que en términos de edificabilidad se traducen en unos 7.000 m<sup>2</sup> en zona de producción y envasado (contando altillos interiores de aproximadamente 220 m<sup>2</sup> cada uno), 2.000 m<sup>2</sup> en zona de expediciones y almacén, y 2.700 m<sup>2</sup> en el edificio de servicios entre sus dos plantas, un total que roza los 12.000 m<sup>2</sup>.

El diseño inicial por parte de Idom responde a la necesidad prioritaria del cliente de comunicar almacenes de nave existente y de la ampliación. La forma del edificio responde al aprovechamiento máximo de las delimitaciones de la parcela en que se halla y a la obtención de una nave con superficie máxima edificable, así como a la necesidad de una gran superficie sin construir para una proyectar una futura ampliación.

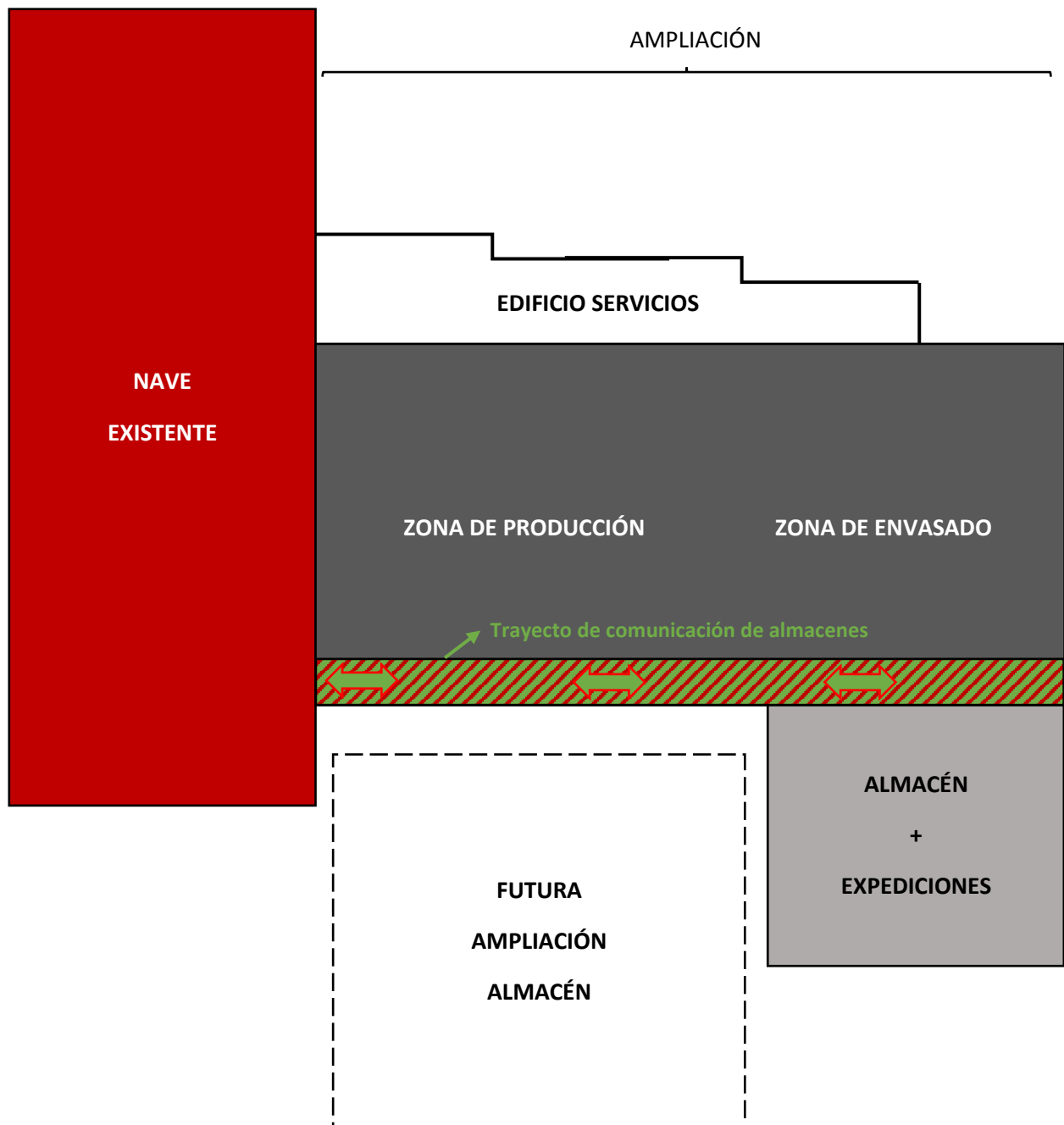
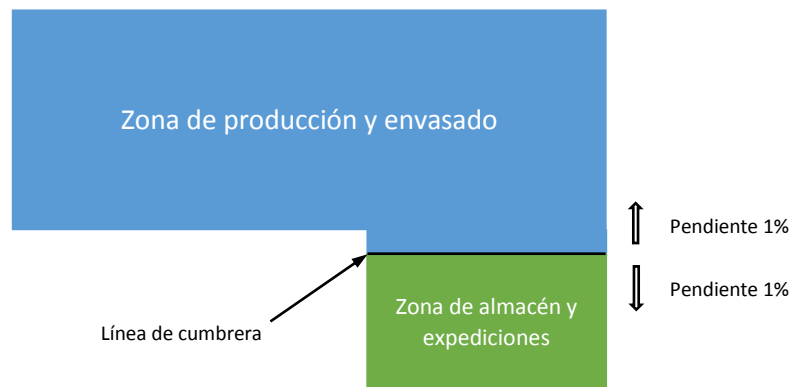


Figura 8 Esquema geométrico diseño ampliación

El presente TFM se centrará exclusivamente, y tomará como objeto de estudio a modelizar la parte correspondiente a la nave, por tratarse de la estructura que aporta una geometría novedosa, singular, e interesante. Se procede a explicar la geometría que este diseño propone para la misma, así como los materiales que se estima se utilizarán para los elementos.

### 3.1 Geometría

Se proyecta una estructura de hormigón prefabricado que toma la forma de una nave a dos aguas, no simétrica, en forma de L invertida vista en planta. La propia forma distingue dos zonas en la nave: zona de producción y envasado, la más grande, y zona de almacén y expediciones, la más pequeña:



*Figura 9 Zonas interior nave*

La altura máxima bajo viga en la alineación de cumbrera es de 11.76 m, y la estructura presenta una longitud máxima de 131 m, y una anchura máxima de 90.5 m. La necesidad de altura la marcan las características geométricas de la maquinaria de producción, 6 líneas colocadas en la parte que quedaría más próxima a la nave existente.

La estructura de cubierta la conforman una serie de vigas salvapilar en las alineaciones 1, 3, 5, 6, 12, 13, y 18, sobre las que apoyan, en dirección perpendicular a éstas, las vigas Artwind, de tipo 110+2 para la zona de producción y envasado, y de tipo 75+2 para la zona de almacén y expediciones.

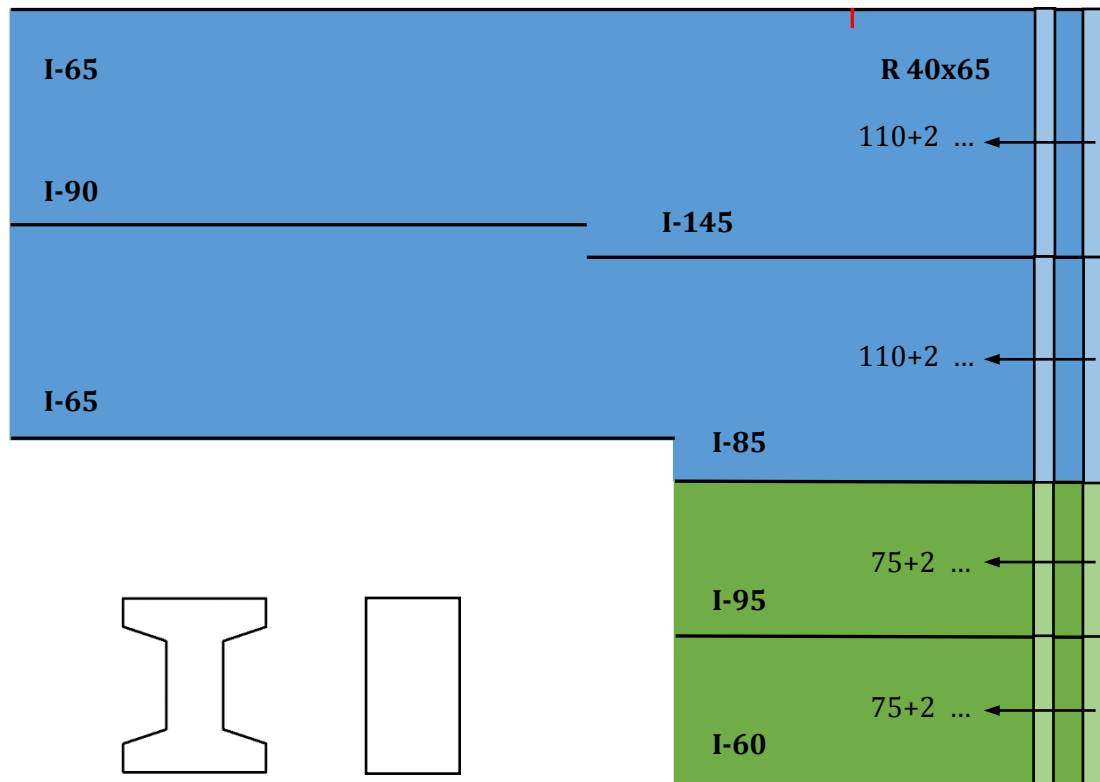


Figura 10 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar

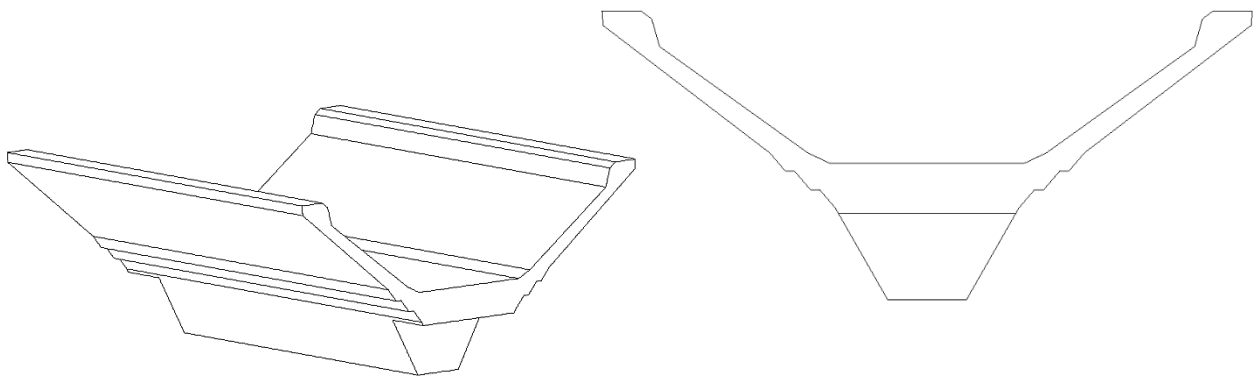


Figura 11 Viga Artwind 110+2 Sección y 3D

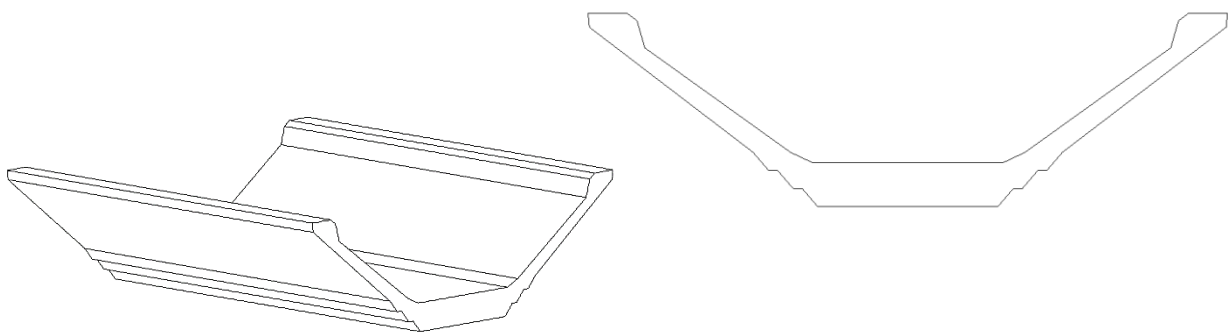


Figura 12 Viga Artwind 75+2 Sección y 3D

Esta estructura de cubierta de vigas salvapilar + Artwind descansa sobre una serie de pilares de distintas secciones en función de su posición en la nave:

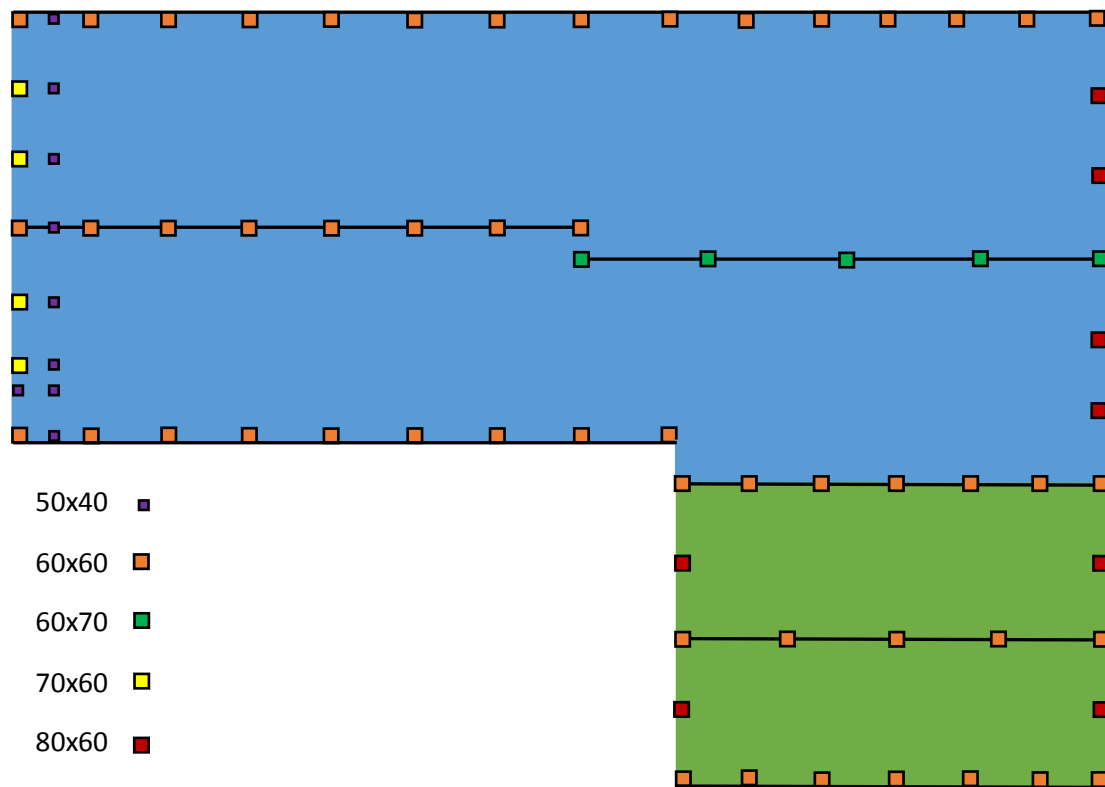


Figura 13 Disposición y sección pilares

La especial situación de la cumbrera responde a una sectorización de incendios en zona de almacén y expediciones que restringe la máxima superficie de la zona a 2.000 m<sup>2</sup>, por el requerimiento del cliente de no colocar rociadores automáticos dentro de la nave. Asimismo, la desalineación encontrada entre los pilares de la zona de producción y la zona de envasado se debe a la labor de la empresa de prefabricados ARTEPREF para buscar la solución óptima estructural acorde con la geometría de las piezas que fabrican. Se puede ver cómo un diseño inicial sencillo, que podría haberse salvado con dos naves a dos aguas contiguas termina llevando a una geometría algo más compleja cuando entran en juego la incorporación de los requisitos que la propiedad impone.

Nótese la zona más a la izquierda de la sección de producción y envasado, que contiene una serie de pilares más pequeños que, junto con los de la cara exterior, conformarán una serie de pórticos prefabricados con vigas de 40x40 para sostener una estructura interior de dos alturas con forjados ligeros.

Dadas las características del terreno, se optó por una cimentación pilotada a base de encepados de geometrías muy variadas. Dado que el cálculo de la misma no entra dentro del alcance del trabajo, se retomará el tema de cimentaciones en el apartado 6, refinamiento del modelo, así como en el Anexo VII, que complementa al mismo.

Para una visión más detallada de la geometría que este diseño propone se ha dispuesto, en el **Anexo I: Planos del proyecto real. Dimensiones y geometría** del presente trabajo, una serie de capturas de los planos que proporcionó ARTEPREF, y que fueron los que se utilizaron para generar el modelo de la estructura.



### 3.2 Materiales

Los materiales de todos los elementos vienen definidos en una pequeña leyenda de los planos de la empresa de prefabricados. Ésta contiene la siguiente información:

CARACTERISTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE							
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL	
CIMENTACION	HA-25/B/40/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon	Intenso
MUROS	HA-25/B/25/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50		
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados	
CONSIDERACIONES :							
1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.							
2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO ; 70mm.							
3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.							
4.- LAS JUNTAS DE DILATAACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.							
5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.							

Figura 14 Tabla de materiales planos ARTEPREF

Como elementos pretensados tenemos las vigas Artwind y las vigas salvapilar. Cabe mencionar que es una leyenda tipo (en el proyecto no se encuentran perfiles laminados, muros estructurales,...).

## 4 MODELIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

### 4.1 ¿Qué es Revit?

El modelado de información de construcción requiere de un programa completo e inteligente que coordine los datos y tareas necesarias para construir edificaciones eficientes y de alta calidad. Implementar la tecnología BIM significa abordar el ciclo de vida completo de un edificio, desde el concepto inicial hasta su edificación e incluso extender su uso a tareas de rehabilitación o mantenimiento. Para hacer esto posible debemos apoyarnos en un software de diseño que integre todas las tareas a realizar.

Revit fue creado de forma exclusiva para trabajo en modelado BIM. Se trata de un programa con un motor de cambios paramétricos con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para la modelización del diseño arquitectónico, la construcción, y la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades. Este programa permite crear diseños basados en objetos inteligentes y tridimensionales, los que están asociados para coordinarse automáticamente ante cualquier cambio introducido.

Las funciones de este software cubren las necesidades de modelización de la arquitectura, ingeniería y construcción. Algunas de las más importantes son:

- **Componentes de diseño y construcción:** El programa cuenta con herramientas para diseñar el edificio desde su conceptualización hasta la planimetría de la construcción. Esto abarca detalles en muros, pisos, cielos y cubiertas, incluyendo los muros cortina. Además, permite realizar un estudio volumétrico mediante masas, calcular áreas por pisos y experimentar con texturas, materiales y colores, entre otras aplicaciones.
- **Sombras Vectoriales:** Al realizar cualquier cambio en la estructura, orientación y otros detalles que modifiquen la disposición de elementos frente a la luz, las sombras se ajustan inmediatamente, permitiendo visualizar el efecto de los cambios en la iluminación.
- **Perspectivas seccionales:** Permite analizar todos los ángulos del edificio desde distintas perspectivas y en distintas secciones, incluyendo vistas con líneas ocultas, sombras y siluetas.
- **Modelo de proyecto integrado:** Posee un conjunto de herramientas para coordinar las distintas áreas del proyecto, sus documentos e información relacionada. Produce referencias automáticas de dibujo, estima costos, permite modificar la geometría solo al ingresar números, coordina las versiones para que todos los datos, gráficos, detalles y dibujos estén actualizados en todas partes, entre varias otras funciones orientadas a optimizar los tiempos y mejorar la calidad de las entregas.
- **Modelado de terreno y exteriores:** Permite diseñar el edificio tomando en cuenta el contexto exterior, entregando diseños de pisos y patrones. También ofrece una biblioteca con vegetación y otros elementos, como la maquinaria de construcción, para planificar los procesos de construcción de forma adecuada.

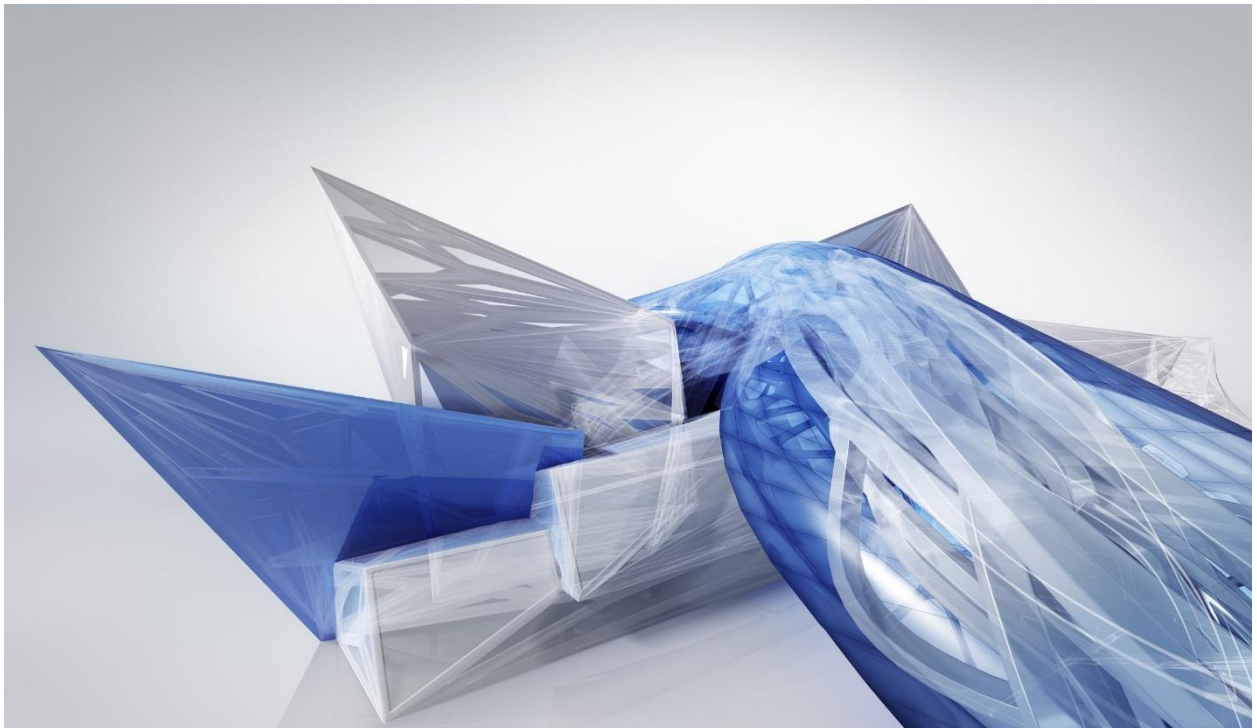
- **Ambiente de trabajo multidisciplinario:** Los distintos equipos pueden trabajar de forma simultánea en un edificio y el programa coordinará todos los cambios ingresados.
- **Presentación y visualización:** Cuenta con renderización integrada que incluye puertas, ventanas y tragaluces en sus cálculos para simular las condiciones de luz natural, entre varias otras funciones. También realiza análisis de área para producir esquemas, tiene un pantone integrado y permite exportar a pdf para imprimir o enviar vía email.

Revit permite coordinar en detalle todos los elementos, minimizando el riesgo de errores en la ejecución y mejorando la eficiencia con que se llevan a cabo los proyectos. En términos generales, hay tres procesos principales que se facilitan con este software:

- ✓ Manejo de archivos: Se concentran todos los archivos en un solo lugar.
- ✓ Registro de datos y cumplimiento de tareas: El programa no permite que se ingresen inconsistencias o se dejen tareas de lado.
- ✓ Actualización por cambios: Al cambiar un elemento, se ejecutan automáticamente todas las modificaciones gatilladas por ese cambio, en todas las áreas y secciones.

Apoyar el trabajo en un software que permite este nivel de detalle y precisión hace posible que se desarrollen y lleven a cabo proyectos con absoluta claridad y transparencia, demostrando que se ofrece siempre la mejor calidad posible en arquitectura e ingeniería de alta complejidad.

Como se ha mencionado previamente, ha sido éste el software de modelado que se ha utilizado para la realización de este TFM (Autodesk Revit 2016). El orden de los apartados que vienen a continuación responde al orden natural que se seguiría si se quisiera modelar el edificio desde el principio, como si de un tutorial se tratase.



*Figura 15 Autodesk Revit 2016 official background artwork*

## 4.2 Primeros pasos: unidades de proyecto, rejilla, y niveles

Todo proyecto en cualquier software de modelización empieza por definir las unidades que se van a utilizar. Esto puede hacerse en el menú “Unidades de modelo”, que puede encontrarse en la pestaña “Gestionar”. Se usarán metros para longitudes, y kiloNewton para las fuerzas.

Lo siguiente, ya específico de Revit, es generar la rejilla y los niveles que van a definir el espacio en tres dimensiones que va a contener la estructura. Con el objetivo de que la colocación de elementos sea mucho más sencilla a posteriori, las líneas de rejilla se hacen coincidir con los ejes de los pilares que se vayan a colocar. Desde la pestaña de “Referencia”, en Revit, se accede a la orden de Rejilla, y se procede a la generación de la misma, de abajo a arriba (1-18) y de izquierda a derecha (A-U):

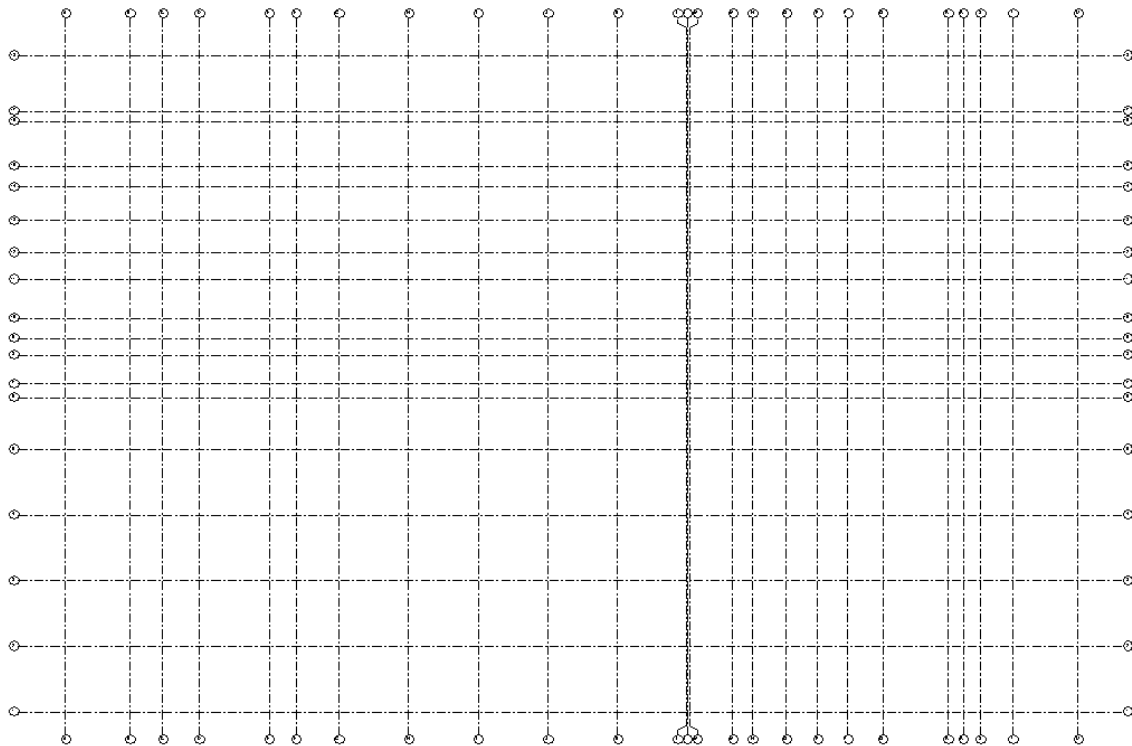


Figura 16 Rejilla completa del modelo

La tercera dimensión de referencia se le da al modelo mediante niveles. Igual que las líneas de rejilla responden a las distancias entre pilares, estos niveles responden a las distintas alturas que encontramos en el diseño preliminar. Hay que irse a una vista de perfil en el modelo, y desde la misma pestaña de Referencia que contenía la orden de Rejilla, se accede a la orden Nivel. Gracias a ella, se procede a la colocación de éstos:

▪ $h_{\text{cimentación}}$	- 0.40 m	▪ $h_7$	12.51 m	▪ $h_{16,17}$	12.20 m
▪ $h_{\text{Cota 0}}$	0.00 m	▪ $h_9$	12.52 m	▪ $h_{18I}$	<b>12.08 m</b>
▪ $h_1$	<b>12.27 m</b>	▪ $h_{10}$	12.42 m	▪ $h_{18R}$	<b>12.08 m</b>
▪ $h_2$	12.43 m	▪ $h_{11}$	12.45 m	▪ $h_{\text{forjado 1}}$	4.28 m
▪ $h_3$	<b>12.45 m</b>	▪ $h_{12}$	<b>12.33 m</b>	▪ $h_{\text{forjado 2}}$	8.78 m
▪ $h_4$	12.51 m	▪ $h_{13}$	<b>12.29 m</b>	▪ $h_{\text{panel}}$	14 m
▪ $h_5$	<b>12.61 m</b>	▪ $h_{14}$	12.3 m		
▪ $h_6$	<b>12.54 m</b>	▪ $h_{15}$	12.28 m		

En este modelo, las rejillas se han diferenciado las horizontales (1-18) de las verticales (A-U), y los niveles responden a las cotas tope de pilares que encontramos en cada rejilla (representadas en negrita aquellos niveles que corresponden con las rejillas que contendrán vigas salvapilares).

Seguir una nomenclatura coherente ayuda mucho al correcto entendimiento del modelo por un tercero. A la hora de modelar en Revit, y cualquier otro programa de modelizado que trabaje en BIM, conviene ser especialmente cuidadoso y ordenado. Hay que tener en cuenta que no es “nuestro modelo”, que no somos la única persona que trabajará con él.

Caso de que se desee consultar una explicación más en detalle, se remite al lector al **Anexo II: Proceso detallado de creación del modelo geométrico** (algo que se recomienda encarecidamente para este apartado, pues se trata de un anexo muy visual que proporciona un material gráfico muy amplio que permite entender mucho mejor el proceso de modelización, más allá de lo explicado y resumido en esta memoria).

Generado el espacio de trabajo comprendido por la rejilla y los niveles, y con las unidades correctamente definidas, se procede al siguiente paso: la colocación de pilares.

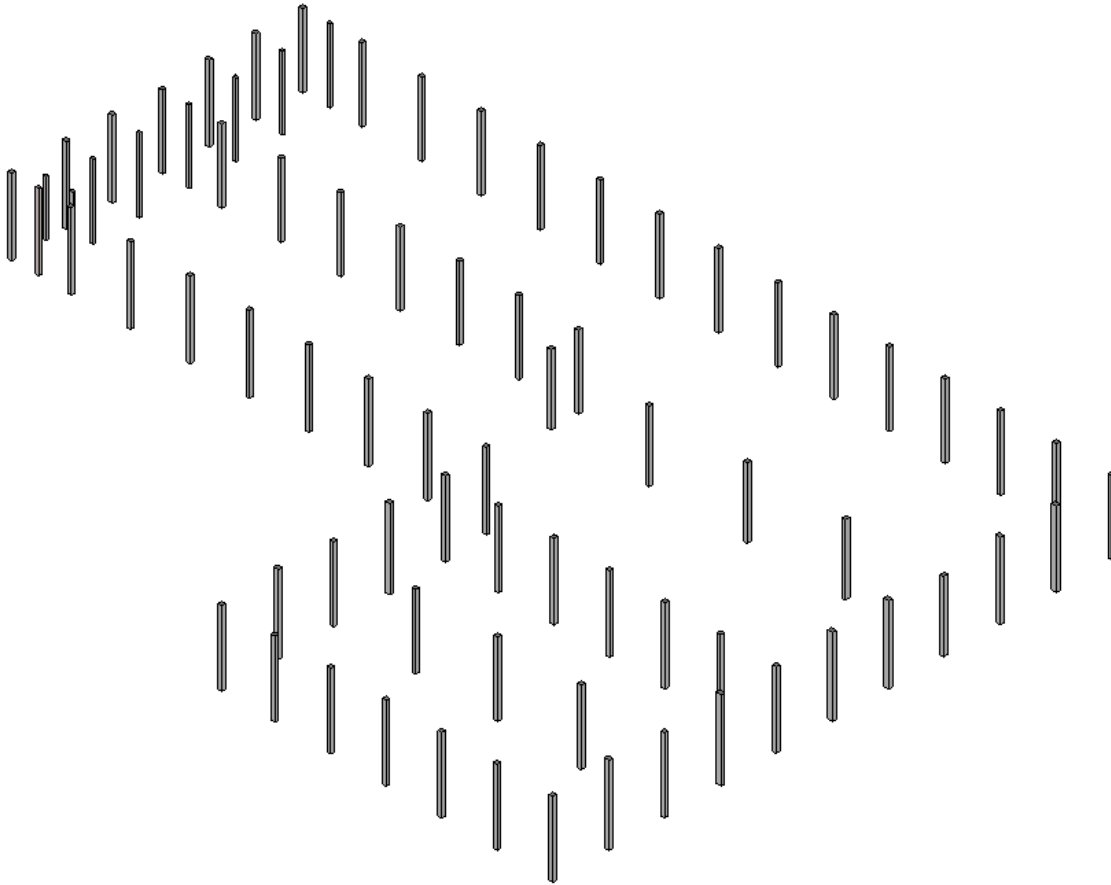
### 4.3 Pilares

Una vez generada una rejilla correcta y unos niveles a los que llevar su parte superior, la colocación de pilares se convierte en una tarea especialmente sencilla, con la única complicación de saber manejarse con las bibliotecas de elementos de Revit, y saber generar nuevos tipos de pilar para aquéllos que no vienen definidos por defecto en sus bibliotecas.

Se adjuntan a continuación, una vista en planta del edificio, así como una vista en 3D:



Figura 17 Pilares. Vista en planta



*Figura 18 Pilares. Vista isométrica*

Los pilares colocados en el modelo responden perfectamente a la disposición mencionada en el apartado previo de descripción geométrica de la estructura.

Para una explicación más exhaustiva y completa, puede consultarse el **Anexo II: Proceso detallado de creación del modelo geométrico**.

Una vez se han colocado los pilares, se procede a modelar la estructura de cubierta, esto es, las vigas salvapilar y las vigas Artwind.

#### 4.4 Estructura de cubierta

Como ya se ha mencionado, el formato de cubierta Artwind de la empresa ARTEPREF proyecta una cubierta a base de vigas Artwind, apoyadas en vigas salvapilar como puede verse en la siguiente imagen:

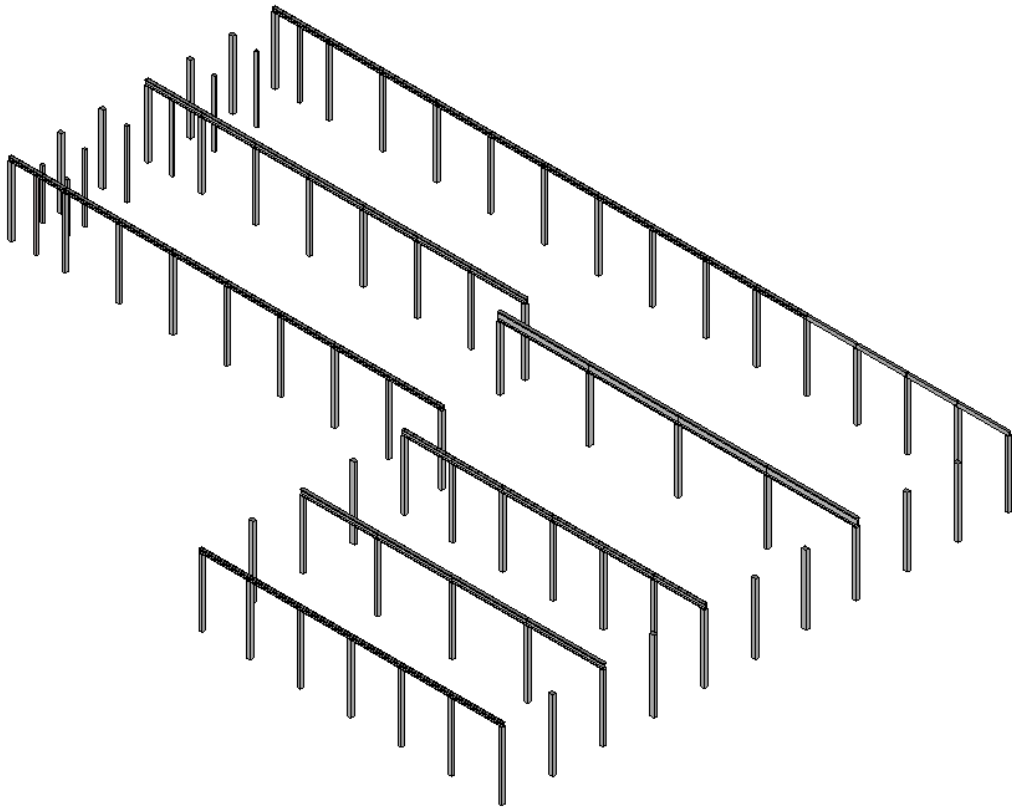


*Figura 19 Ejemplo sistema de cubierta Artwind*

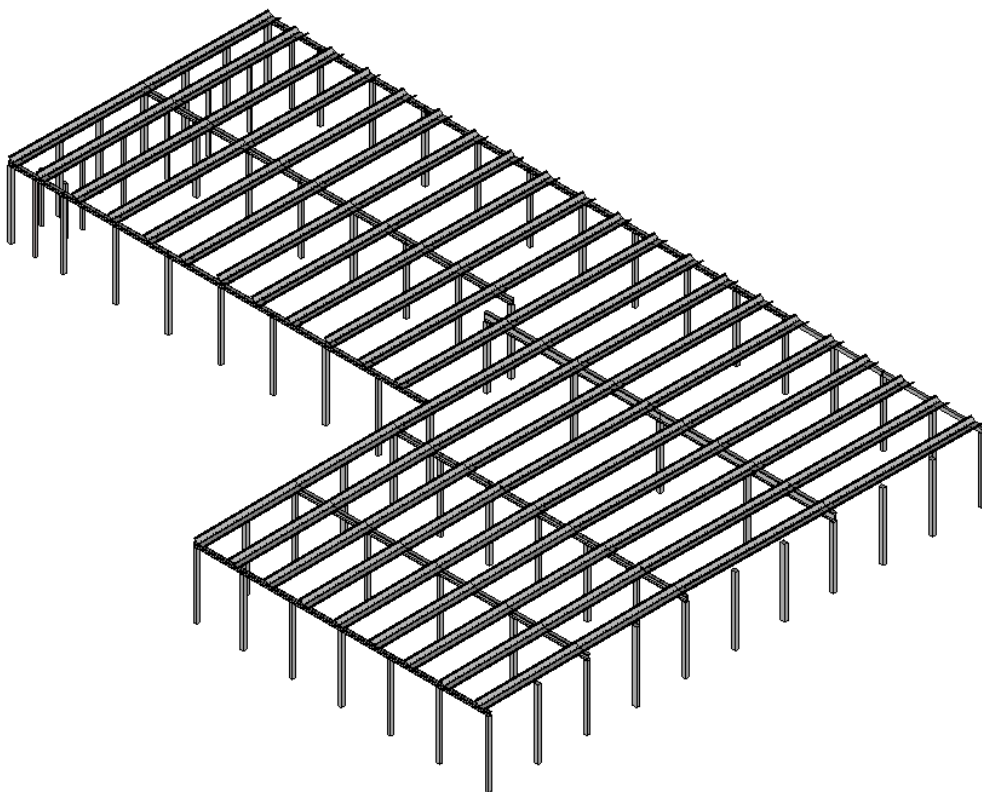
En primer lugar, se modelaron en Revit las vigas salvapilar con las dimensiones que proporcionó la empresa de prefabricados, y después, las vigas Artwind. Cabe mencionar que el proceso conllevó la consecuente dificultad que supuso el generar las familias de todos estos tipos de vigas. Debido a su geometría personalizada (cada empresa de prefabricados tiene sus propias medidas) Revit no disponía de una familia parametrizada de elementos viga que permitiese la generación de tipos en función de las dimensiones de la sección de cada viga. Es por ello que tuvo que realizarse una familia específica para generar las vigas en I, así como para cada una de las vigas Artwind: 110+2 y 75+2.

Todo este proceso se ha especificado al detalle en el **Anexo II: Proceso detallado de creación del modelo geométrico**.

Se presentan a continuación algunas imágenes que representan el estado del modelo tras la colocación, primero de las vigas salvapilar, y a continuación de las vigas Artwind.



*Figura 20 Vigas salvapilar. Vista isométrica*



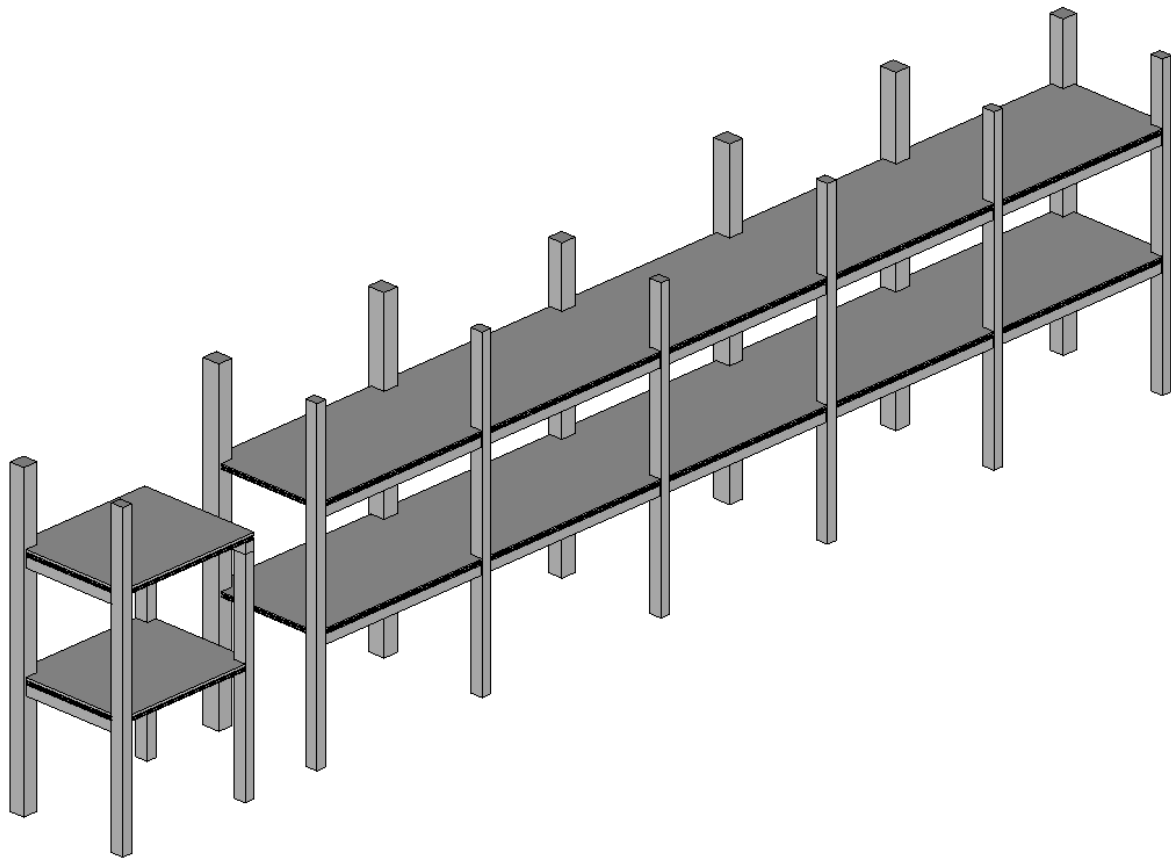
*Figura 21 Vigas Artwind de cubierta. Vista isométrica*



## 4.5 Estructura interior

Ya se ha mencionado previamente la existencia de una pequeña zona dentro del edificio con dos forjados que contendrá la sala de control de la maquinaria, en su piso inferior, y que cuenta con dos pisos más encima de ésta para oficinas del personal de producción. Las alturas, así como la disposición de cada forjado, responden a las que se encuentran en los planos del Anexo I.

El proceso de creación de la misma viene detallado en el **Anexo II: Proceso detallado de creación del modelo geométrico**. Puede verse a continuación cómo quedó esta estructura interior una vez modelizada:



*Figura 22 Forjados estructura interior. Vista isométrica*

## 4.6 Materiales

Aquí viene donde la metodología BIM empieza a brillar. El modelo como tal no sólo son elementos en 3D, son elementos en 3D que tienen características propias: material, acabados, etc. Se sigue completando ahora la información del modelo añadiendo los materiales correspondientes que venían indicados en los planos de ARTEPREF, y que aparecen ya generados en las bibliotecas de materiales de Revit. Para ello, basta con seleccionar un elemento y dentro de su panel de propiedades buscar la etiqueta “Material”.

Como por el momento el modelo no está calculado, no existen barras de acero presentes a las que asignarle un material concreto, así que en este sub-apartado, dentro del apartado de modelización, sólo se asignarán los tipos de hormigón a pilares, vigas y suelos generados.

Es precisamente por este motivo, el no poder completar todo el modelo antes de calcular, que se ha dispuesto un apartado posterior al cálculo, el apartado 6 Refinamiento del modelo en Revit, en el que se continuará con esta tarea una vez se tengan resultados de armados, entre otros.

Por el momento, y como ya se ha mencionado, se asignarán sólo los tipos de hormigón conocidos, y se usarán los que trae Revit por defecto, habiendo dado ARTEPREF el visto bueno a las características físicas y mecánicas que presentan:

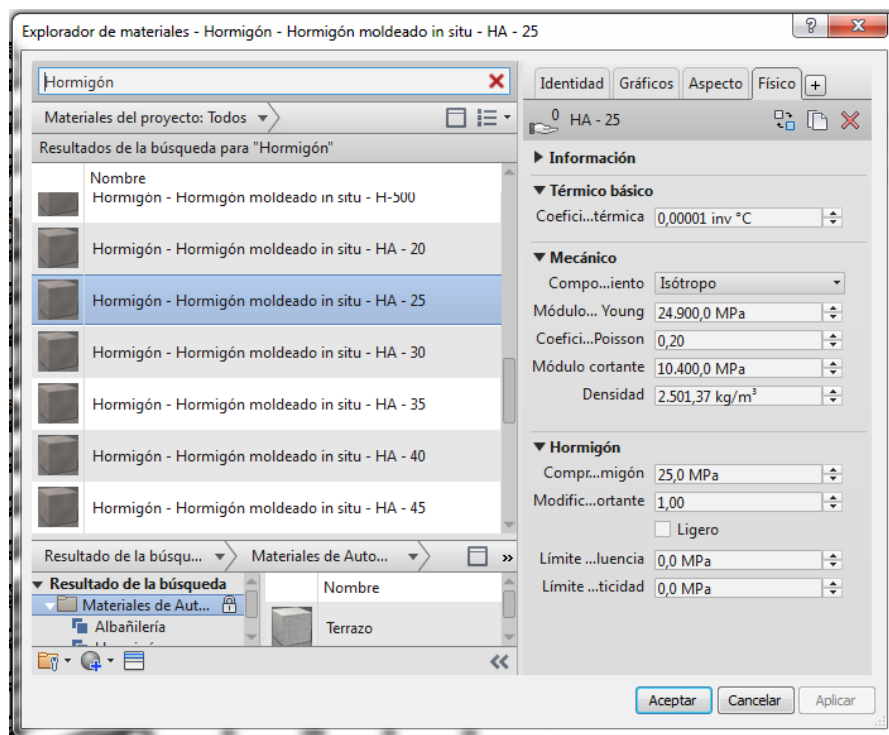


Figura 23 Características Hormigón HA-25

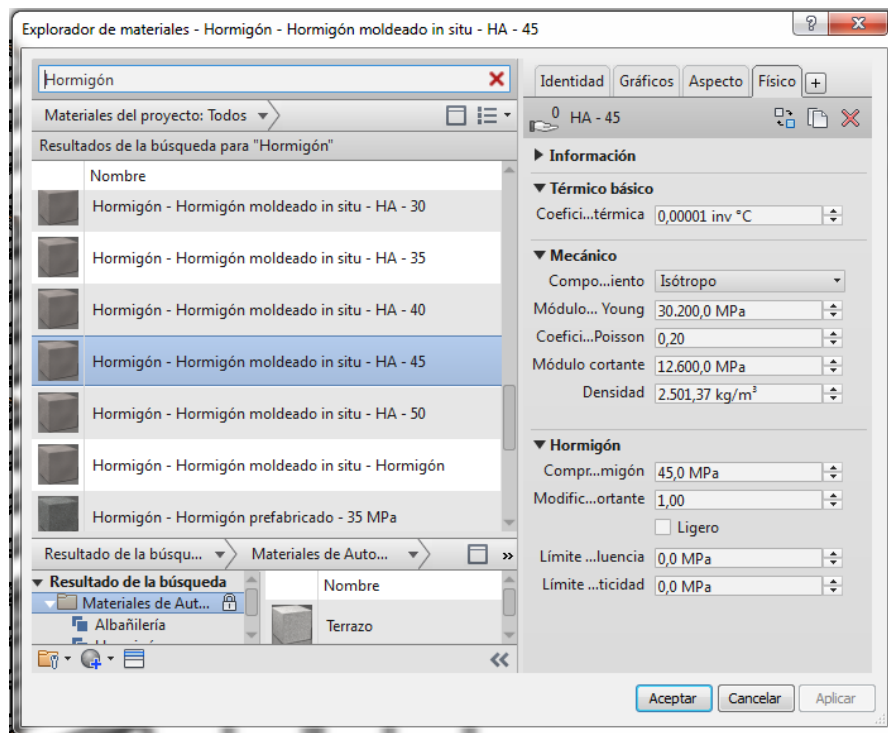


Figura 24 Características Hormigón HA-45

Con los materiales ya asignados, el modelo estructural se tiene ya definido al completo:

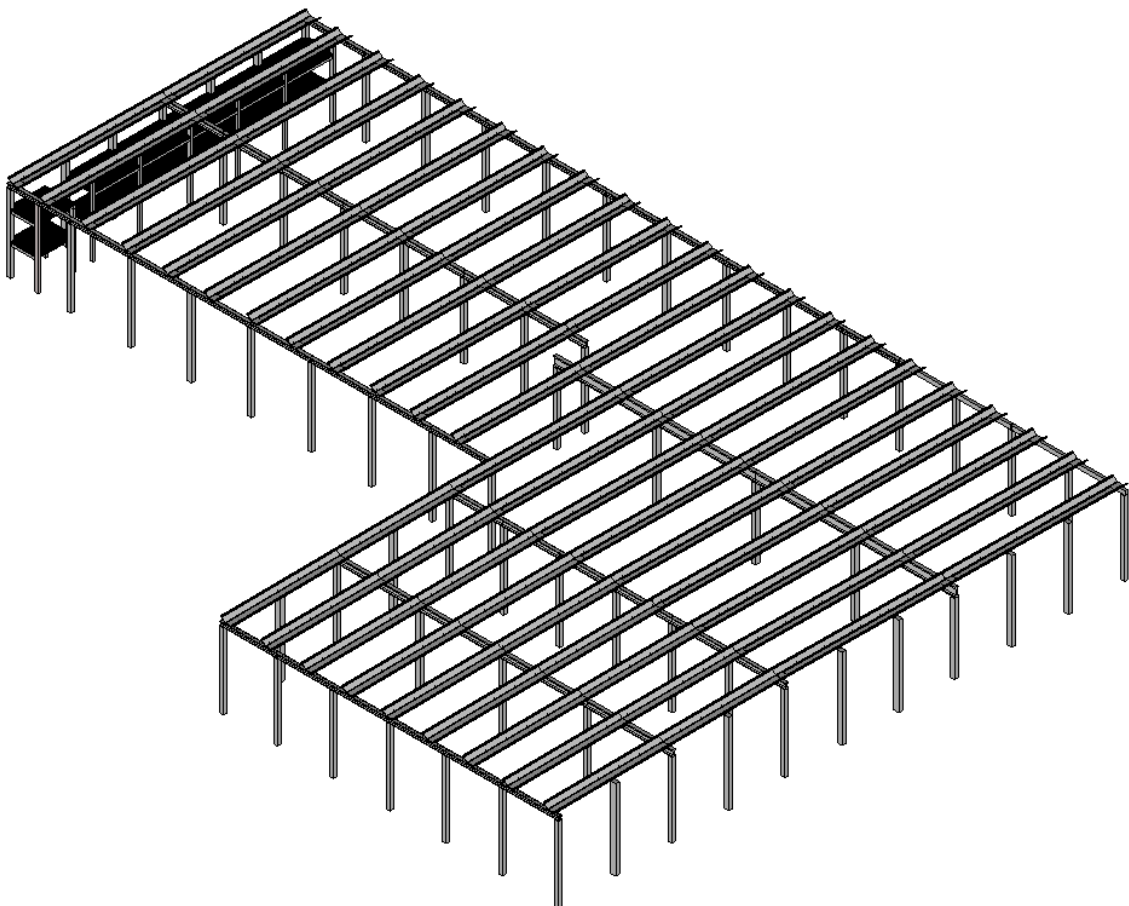
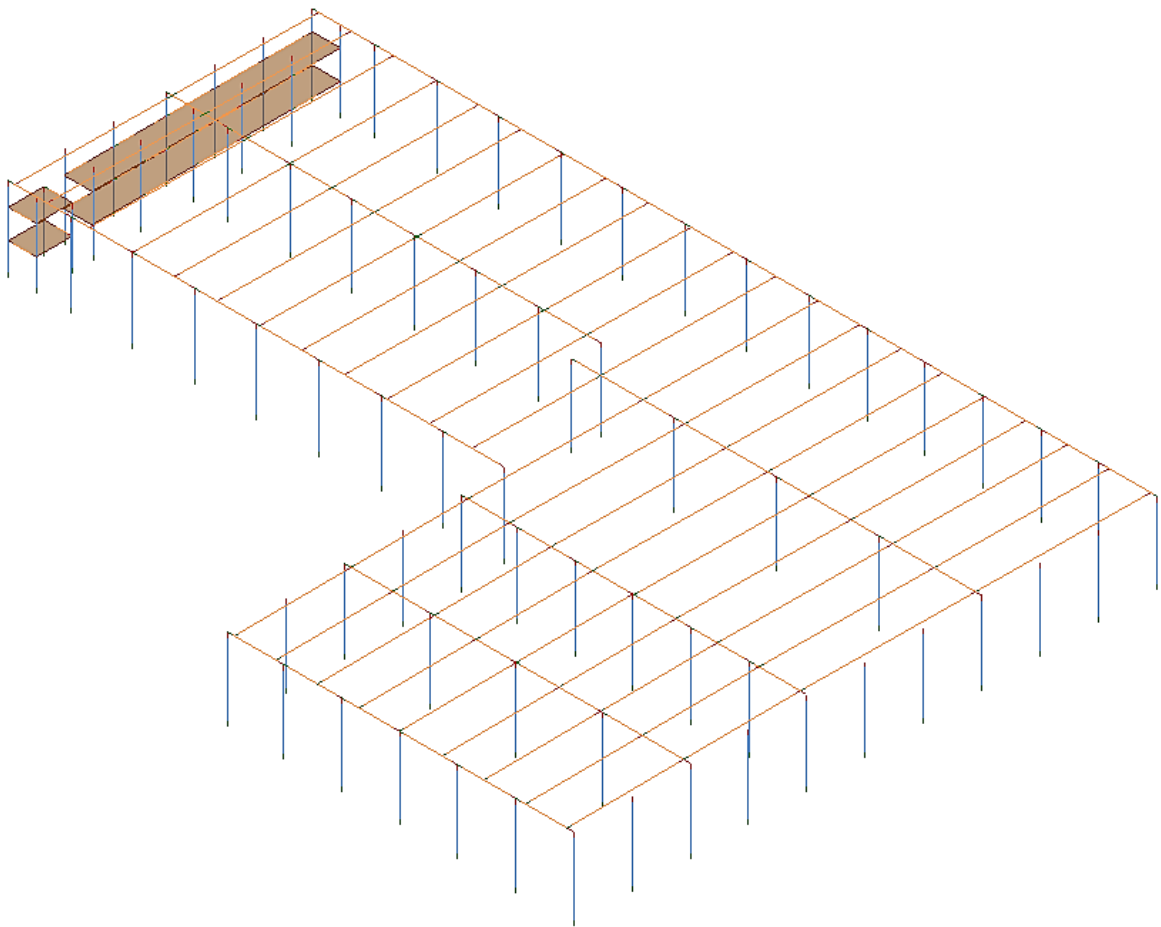


Figura 25 Modelo estructural completo en Revit

## 4.7 Cargas y casos de carga

Puede que Revit no sea un software de análisis estructural, pero sí que dispone de una pestaña de “Analizar”, en la que puede prepararse una estructura (modelo analítico, casos de carga, cargas,...) para hacer de un posterior estudio en otro programa, algo mucho más rápido y sencillo.

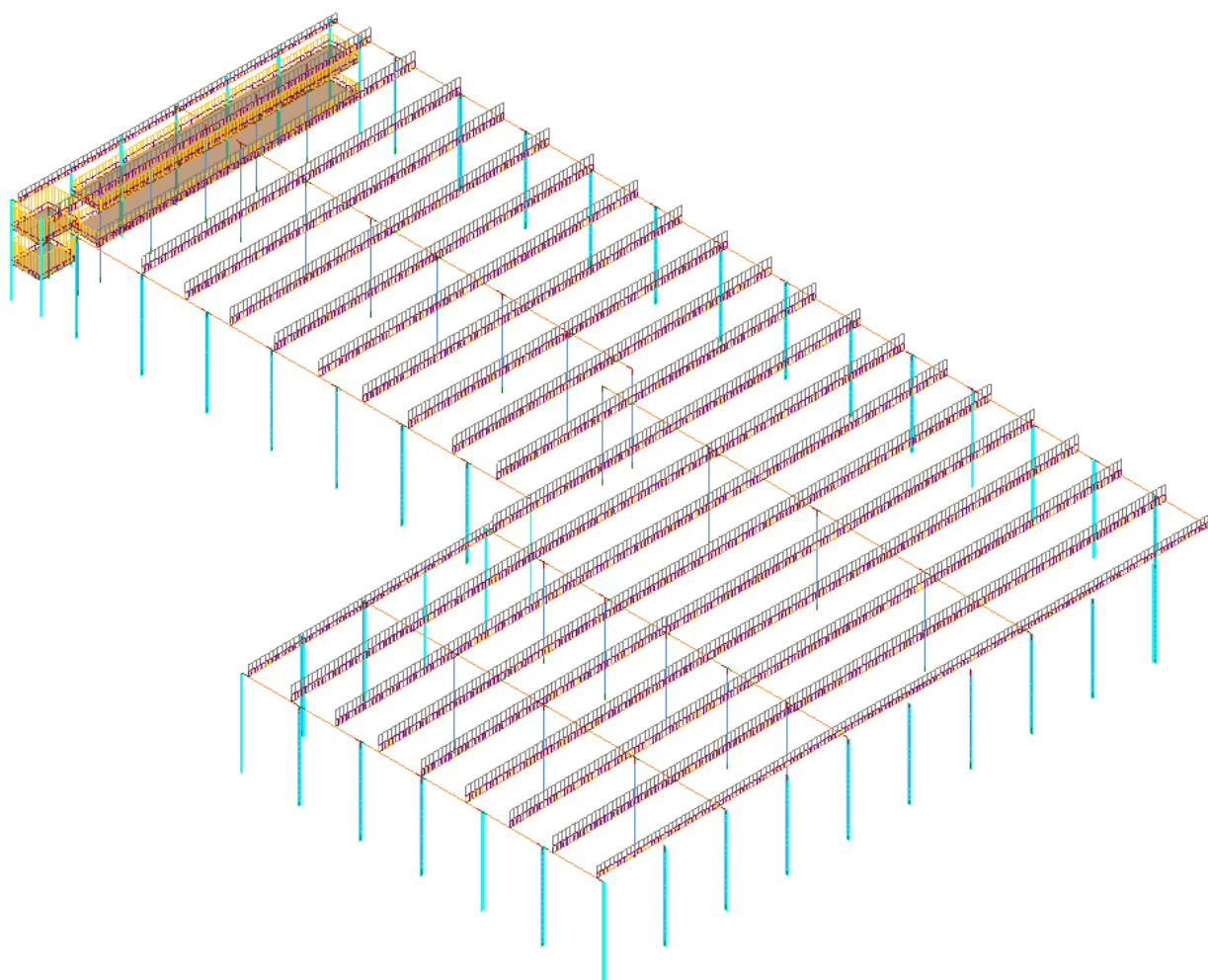
El modelo analítico, que se va generando en Revit a la par que se van introduciendo elementos estructurales, tiene la siguiente forma, que como es de esperar, se corresponde a la perfección con el modelo geométrico:



*Figura 26 Modelo analítico completo en Revit*

En la pestaña de Analizar es también donde se encuentran las opciones de cargas, y casos de carga. Dada su extensión, el proceso de introducción de todas ellas, de acuerdo a la normativa y a las características del edificio, se puede encontrar en el **Anexo III: Cargas y Casos de carga** del presente trabajo.

Una vez finalizado éste, se llega a tener el modelo con todas las cargas, ya preparado para establecer la conexión con el programa de cálculo:



*Figura 27 Modelo analítico completo con todas las cargas introducidas*

## 5 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

### 5.1 ¿Qué es Robot?

Autodesk Robot Structural Analysis Professional, Robot para acortar, es un programa de cálculo de estructuras por elementos finitos muy potente que permite realizar mallados estructurales de una forma sencilla y con resultados de gran calidad. Se puede utilizar para crear estructuras, llevar a cabo análisis estructurales y comprobar los resultados.

A todo esto se une la versatilidad de disponer de más de 60 bases de datos de materiales y secciones de todo el mundo, más de 40 normas sobre acero y 30 códigos de hormigón armado.

Además, dispone de los tipos de análisis estructural más sofisticados: estático lineal, no lineal,  $\delta$ , pandeo global o sismo mediante espectros, motivos por los que Robot es un programa líder fuertemente implantado en las ingenierías de todo el mundo.

Robot Structural Analysis Professional se ha convertido en la mejor herramienta para el cálculo, diseño y simulación de estructuras a nivel internacional. Es la primera opción en países como EE.UU., Reino Unido, Francia, Alemania, Holanda, China, Australia Emiratos Árabes, Chile, y Perú. En España, dada su estrecha relación con la metodología de trabajo BIM, es un software cuyo uso ha ido aumentando año.

La versión del software que se ha utilizado en el presente trabajo fue Autodesk Robot 2016.

Algunas de las ventajas más importantes de Robot, respecto a otros programas de cálculo estructural, se enumeran a continuación:

#### **1. Tecnología MEF - Cálculo y diseño por elementos finitos.**

El método de cálculo y diseño de estructuras por análisis de elementos finitos llegó varias décadas atrás al mundo del cálculo estructural al encontrar la ventaja de estas operaciones en el análisis complejo de estructuras. Una operación notablemente más rápida y precisa que el análisis convencional en lápiz, papel y calculadora científica, que podía demorar días y semanas. Dos interfaces destacaron entre la verdadera constelación de aplicaciones provenientes de todo el mundo académico. Estas eran SAP2000 y Staad. Autodesk Robot dispone de opciones tan interesantes como el cálculo de uniones de acero, estructuras de madera, esquemas automáticos de cargas, losas, efectos de torsión, secciones de armado, y análisis rápido del punzonamiento. Entre muchas otras muchas en una interface gráfica fácil de comprender tanto para profesionales del diseño y cálculo de estructuras, como para aquellos alumnos de últimos cursos de ingeniería y arquitectura que desean ampliar y fijar conocimientos avanzados de cálculo de estructuras.

#### **2. Capacidad de cálculo y fiabilidad de resultados.**

Autodesk, la mayor compañía de software de diseño del mundo, ha puesto todos sus medios para dotar a Autodesk Robot de la mayor capacidad de análisis y procesamiento del mercado, superando a muchos otros programas en este aspecto, lo que supone una gran ventaja en cuanto a ahorro de tiempo y fiabilidad en los resultados.

### 3. Interoperabilidad y flujos de trabajo dinámicos.

Autodesk Robot es una herramienta imprescindible del modelo BIM de diseño arquitectónico y construcción, dado que se integra perfectamente con programas BIM y MEP como es Autodesk Revit o Navisworks, o de diseño como AutoCAD, AutoCAD Structural Detailing, entre muchos otros, con las enormes ventajas que esto supone para nuestro propio flujo de trabajo, y respecto al que creamos con nuestros compañeros, colaboradores, socios y clientes.

### 4. Cálculos Automáticos de Autodesk Robot:

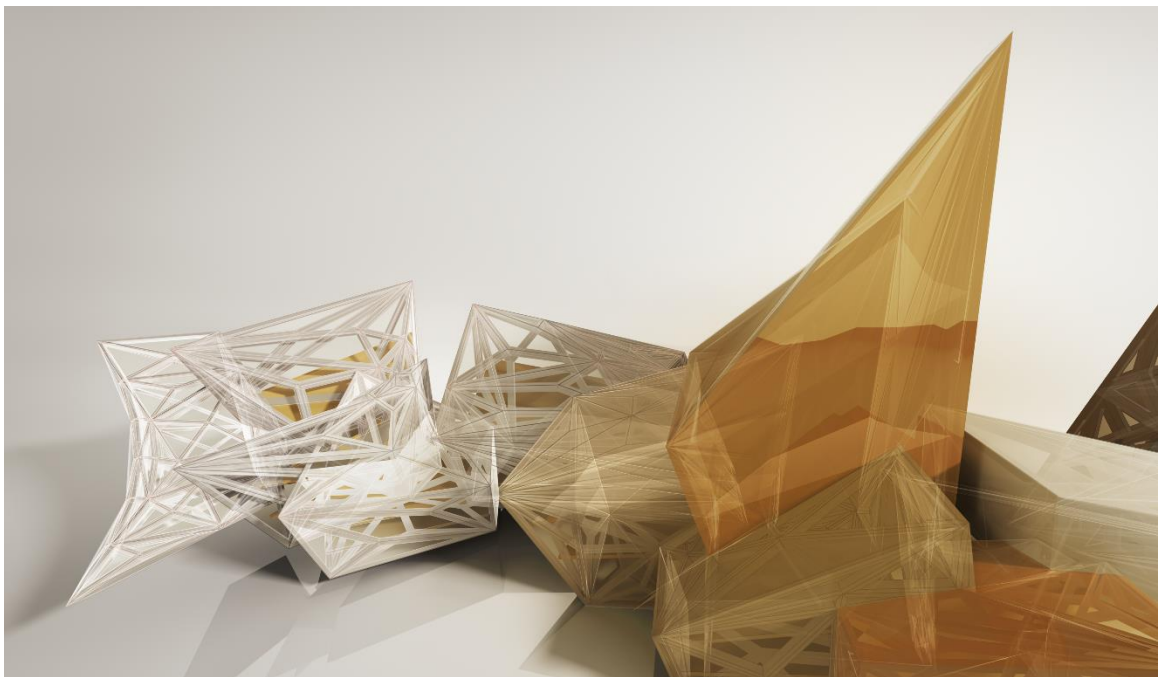
No es una ventaja exclusiva, pero Autodesk Robot calcula el peso de la estructura y las reacciones sobre el terreno tomando únicamente como referencia la sección transversal y dimensiones de cada elemento que integra la estructura analizar, sin necesidad de que el usuario deba calcular el peso de la estructura elemento por elemento.

### 5. Implementación productiva:

Autodesk Robot está diseñado para que ingenieros, arquitectos y calculistas puedan trabajar productivamente. Una de las principales claves de este logro reside en la capacidad de Robot de ofrecer resultados rápidamente y con precisión, lo que mejora la eficiencia del usuario. El sistema de algoritmos que permiten esta ventaja de Robot, permiten analizar múltiples configuraciones estructurales, para que los ingenieros puedan determinar de manera rápida, cuál será el mejor diseño.

### 6. Cálculos, normativas e idiomas internacionales:

Autodesk Robot es el software internacional por excelencia; incluye múltiples códigos, normas, e incluso formas y materiales de todo el mundo. Esto permite a los expertos en estructuras a trabajar con formas específicas de cada país, en las unidades e incluso códigos de construcción propios de cada nación. Además de 60 bases de datos de materiales y secciones, y 70 códigos de diseño integradas para múltiples países, Autodesk Robot también incluye 40 códigos internacionales del acero, y 30 códigos de hormigón armado. Autodesk Robot es, además multilingüe, pudiendo presentar nuestros proyectos hasta en 14 idiomas diferentes.



*Figura 28 Autodesk Robot Structural Analysis 2016 official background artwork*



### 5.1.1 De Revit a Robot

Como se ha mencionado en apartados previos, el software Robot tiene una integración muy fuerte con otros programas BIM; Revit es el ejemplo de éstos que se ha tratado en este trabajo. Tanto es así que se habla de una relación de bidireccionalidad entre uno y otro, de lectura en tiempo real y trabajo en paralelo con ambos programas.

La presentación de la idea consiste en que se puede partir de un modelo de una estructura generada en Revit, predimensionada a juicio de un ingeniero estructural cualquiera, y establecer un vínculo con Robot de este modelo.

Una vez realizada esta lectura del modelo en Revit por parte de Robot, dicho ingeniero podría proceder al cálculo de la misma, analizar los resultados, y realizar las modificaciones que considerase pertinentes, en vista a estos resultados. Esta bidireccionalidad permite ir un paso más allá de éstos últimos, y es que una vez se tuviese el modelo ya calculado y modificado en Robot, se podría enviar a Revit el modelo actual para que éste acogiese todas las modificaciones que se hubiesen realizado.

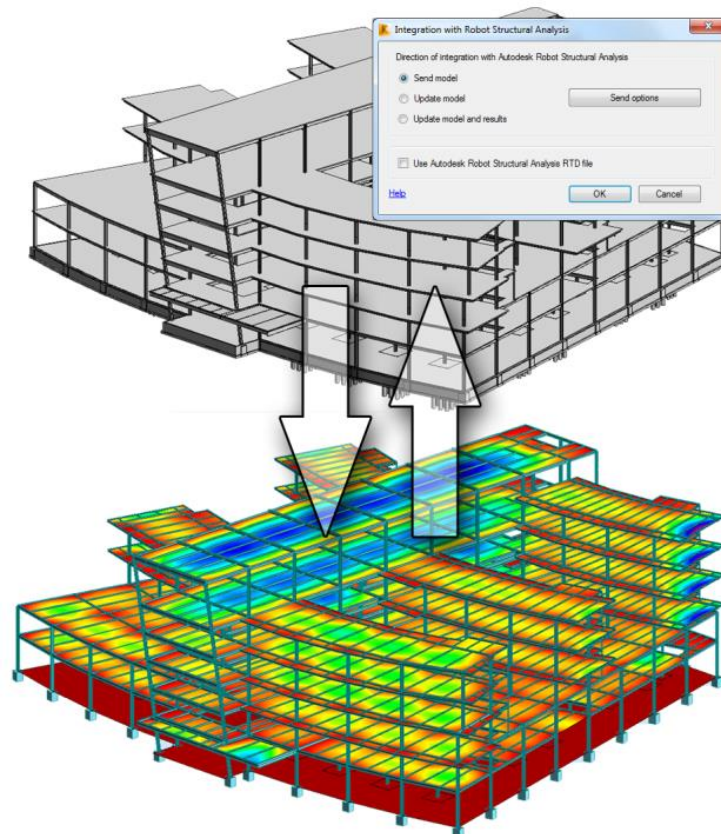


Figura 29 Ejemplo relación de bidireccionalidad entre Revit y Robot

Indistintamente de a quién se pregunte dentro del mundo de la construcción, la palabra “idílico” o “imposible” aparecen en la inmensa mayoría de los casos, y no andan mal encaminados, porque, como se verá más adelante, no es un método exento de errores, y romper esta bidireccionalidad es más fácil de lo que uno podría pensar.



## 5.2 Normativa aplicada

Pese a ser un software caracterizado por poseer una amplia biblioteca de normativas aplicables, no se dice de éstas que aun a día de hoy, cuenta con muchas de ellas sin actualizar. Un ejemplo que atañe directamente a este trabajo, es el caso de la norma de hormigón española EHE, cuya versión actualmente vigente data del año 2008 (EHE-08), sin embargo, Robot todavía trabaja con la versión del año 1999.

Este pequeño impedimento se ha salvado haciendo que el programa calcule las piezas de hormigón utilizando como normativa el Eurocódigo EC2 de hormigón armado, por lo que no se dejó de estar del lado de la seguridad con esta decisión, dado que éstos sí que están actualizados en la base normativas de Robot. Para el proceso de cálculo de la estructura en primer orden (creación de combinaciones, valores de coeficientes de simultaneidad, etc.) sí que pudo utilizarse el Código Técnico de la Edificación.

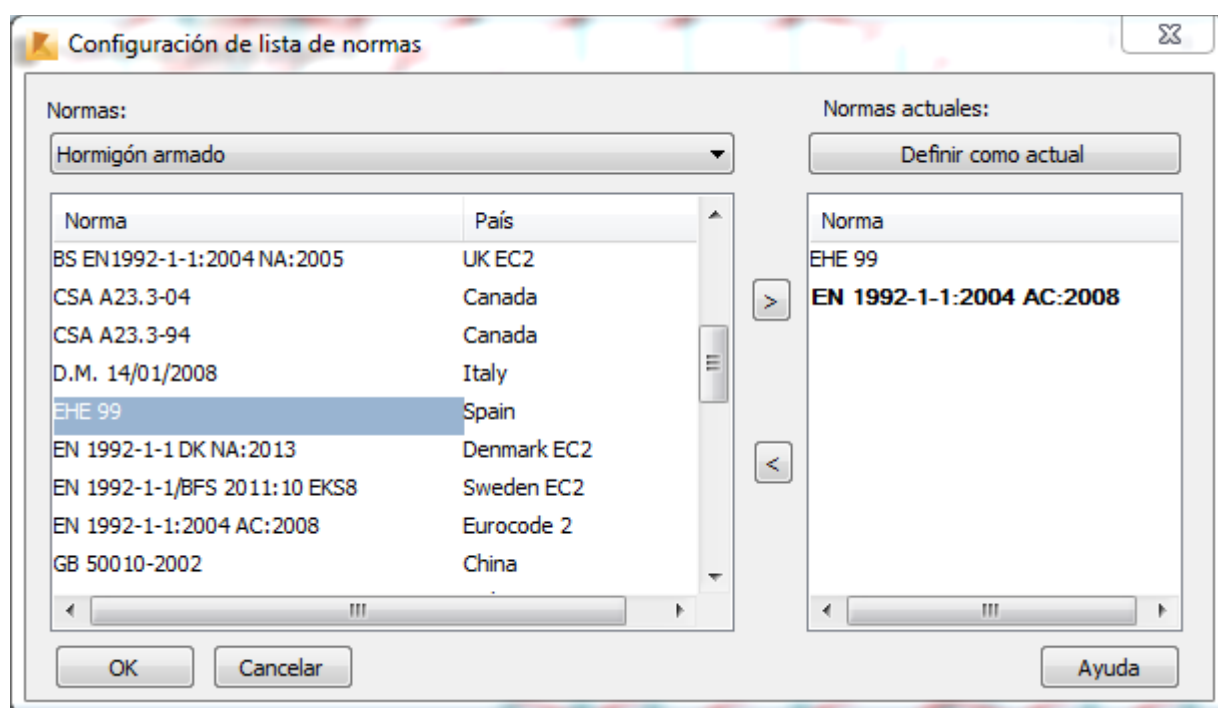


Figura 30 Listado de Normas para hormigón armado en Robot.

Sí que se funcionó, no obstante, más adelante con la EHE-08 a la hora de calcular los elementos estructurales pretensados, y por tanto aparecerá en la lista de normativas aplicadas y/o consultadas:

- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 324/2006 del 17 de Marzo
- NSCE-02 Norma de Construcción Sismorresistente
- EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural (Real Decreto 1247/2008)
- Eurocódigo EC2 Hormigón armado. EN 1992-1-1:2004 AC:2008

### 5.3 Lectura y acondicionamiento del modelo

En la pestaña de Análisis en Revit puede encontrarse el comando “Structural Analysis”:

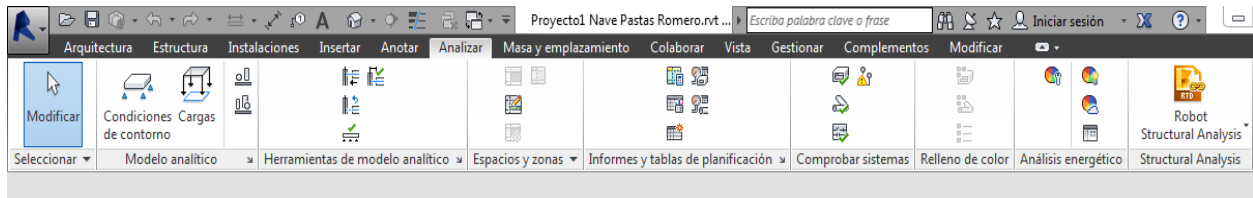


Figura 31 Comando “Structural Analysis” en Revit

El cual permite elegir dos opciones, entre las que encontramos el vínculo (link) con Robot para realizar el análisis estructural:

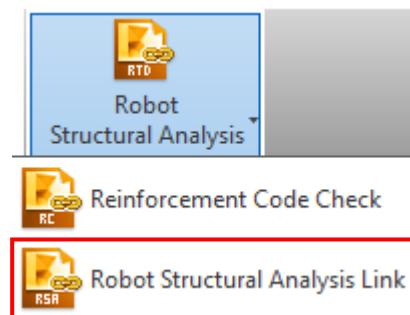


Figura 32 Opciones comando “Structural Analysis” en Revit

Seleccionando esta opción, y con el software Robot en ejecución, se genera la lectura por parte de éste del modelo de Revit, y en su interfaz se puede visualizar el resultado del proceso y las advertencias que resultan del mismo:

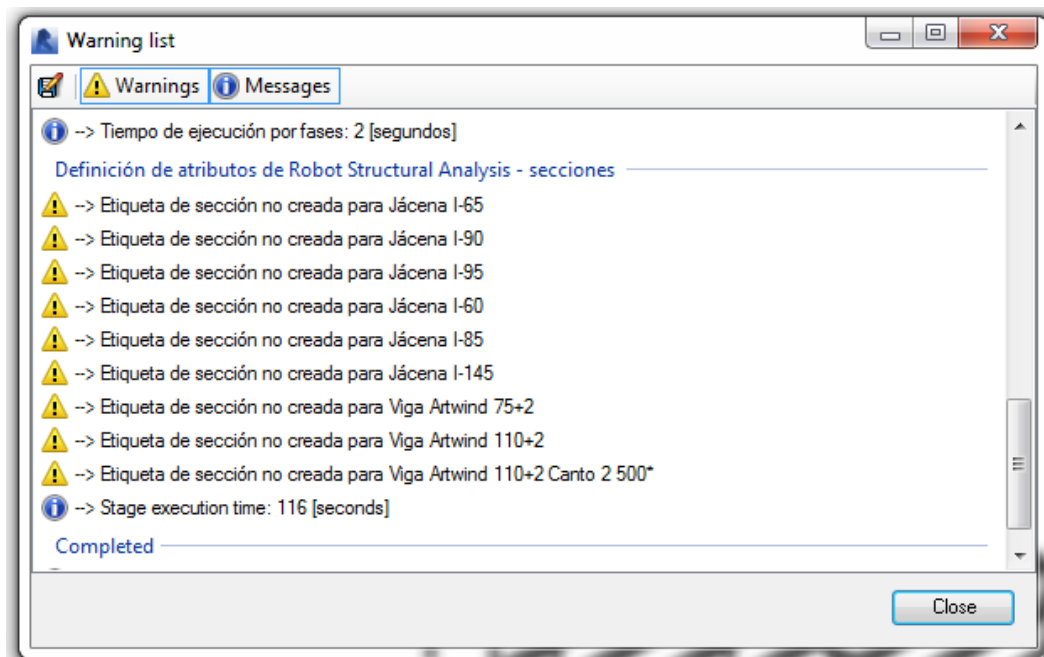


Figura 33 Advertencias respecto a las secciones personalizadas en el proceso de lectura desde Robot

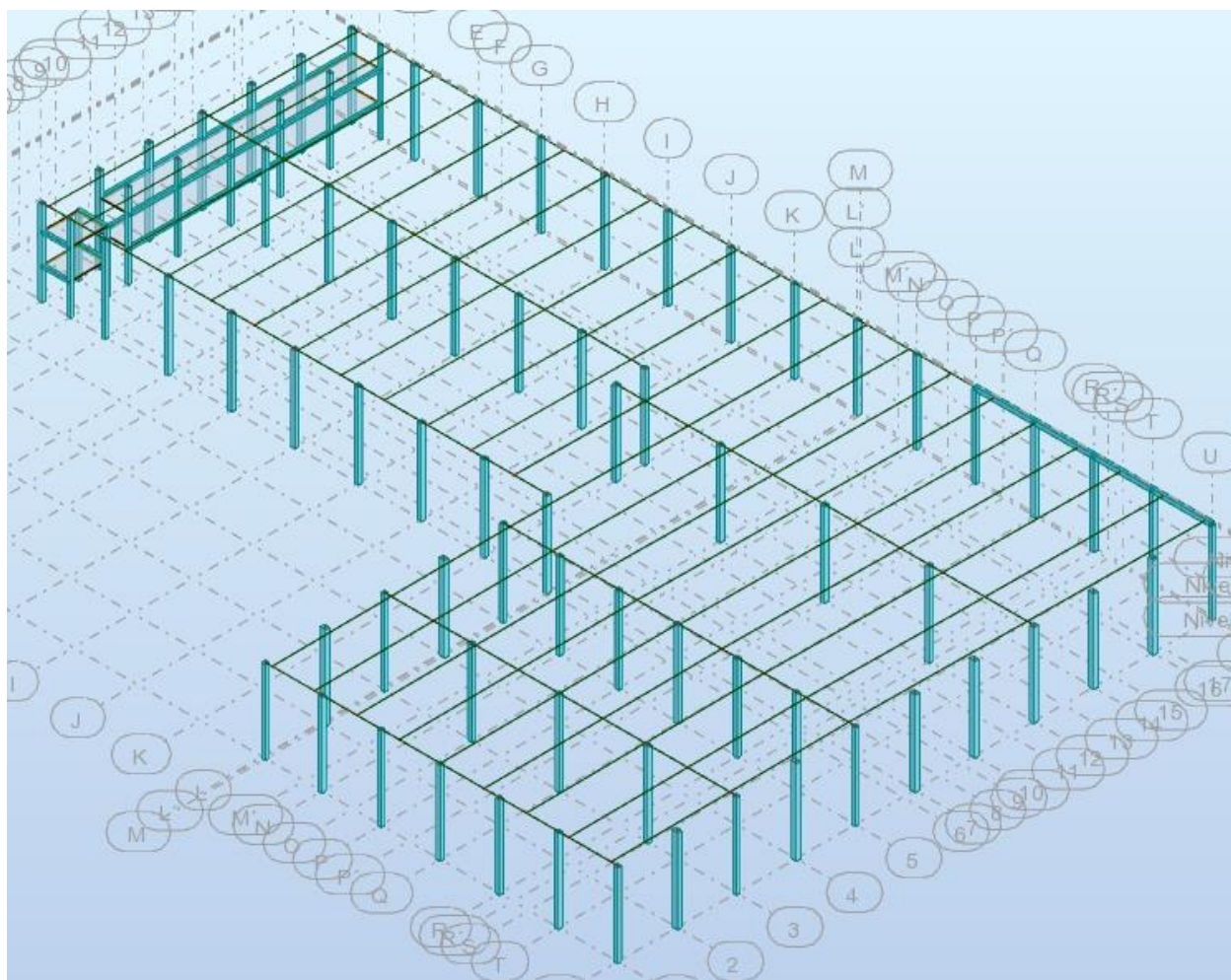


Figura 34 Modelo de la estructura en Robot tras el proceso de lectura

Como puede observarse en primera instancia, la lectura no ha sido en absoluto perfecta. Robot no reconoce las vigas cuyas familias se han generado de manera manual en Revit. Sabe reconocer que existe un elemento barra, pero no reconoce la sección que tenía asignada. La complejidad de la geometría de los elementos que componen esta estructura hace que la relación de bidireccionalidad se pierda ya incluso desde el momento de realizar una primera lectura.

Esto conlleva que se han de realizar una serie de correcciones y arreglos, lo que se ha denominado para dar título al apartado “acondicionamiento”, con el fin de dejar el modelo preparado para el cálculo sin que encuentre errores de geometría.

Todo este proceso puede encontrarse en detalle en el **Anexo IV: Acondicionamiento del modelo en Robot**, junto con las decisiones que se fueron tomando para llegar al resultado final.

El principal problema que surge de esto es que de este punto en adelante se tienen 2 modelos con los que trabajar, el modelo de Revit, y el modelo de cálculo en Robot. De los resultados que se extraigan de este apartado dependerá uno posterior de “Refinamiento del modelo”, en el que estos resultados se plasmarán en el modelo original, introduciendo, además, mejoras arquitectónicas que intentarán dejar el modelo como se vería en la realidad una vez construido.

El modelo de cálculo, ya acondicionado, presenta la siguiente forma:

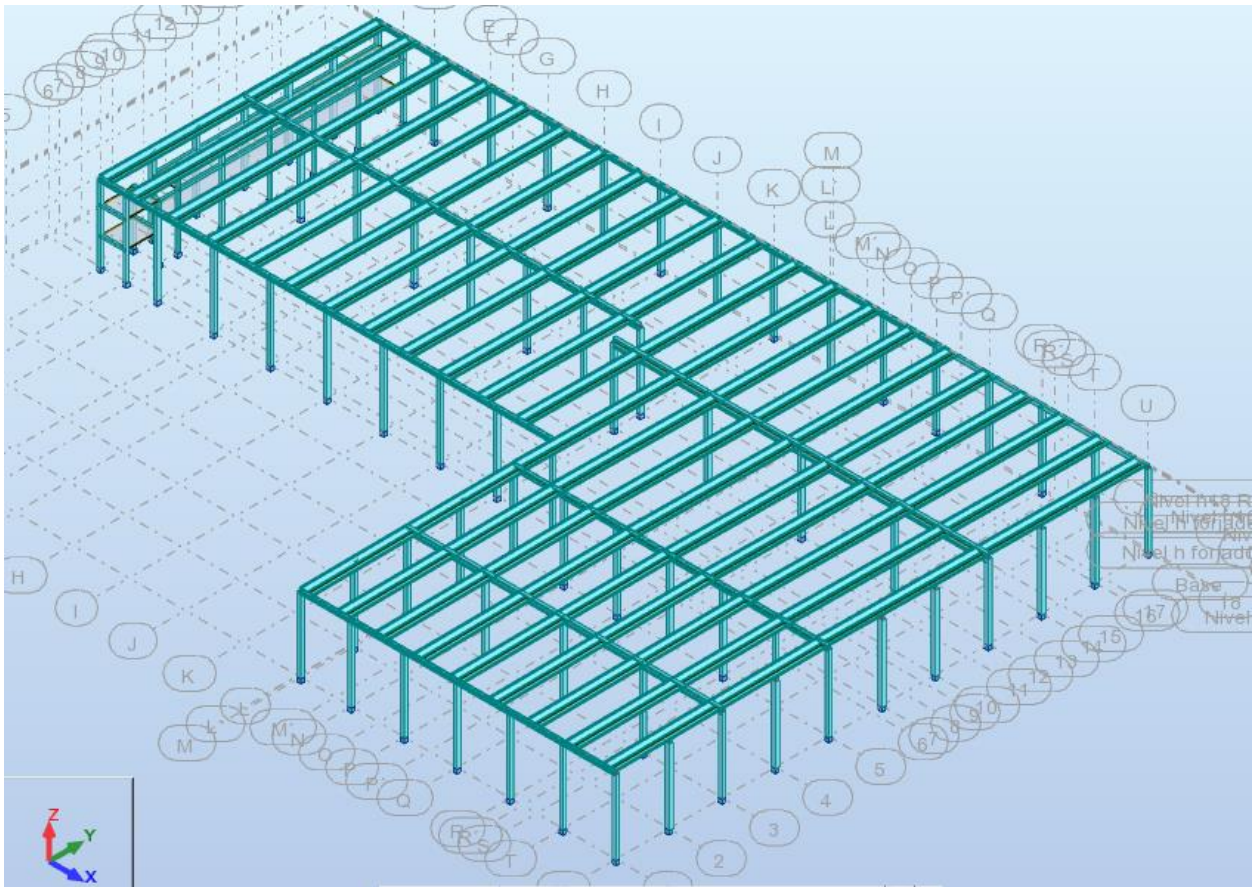


Figura 35 Modelo acondicionado en Robot

## 5.4 Proceso de cálculo

Previamente a mandar el modelo a calcular, hay que generar por una parte las combinaciones de cálculo, y por otro el modelo de cálculo propiamente dicho, mallado de forma automática.

Las combinaciones pueden realizarse también automáticamente desde la pestaña Cargas y pulsando la opción “Combinaciones automáticas”:

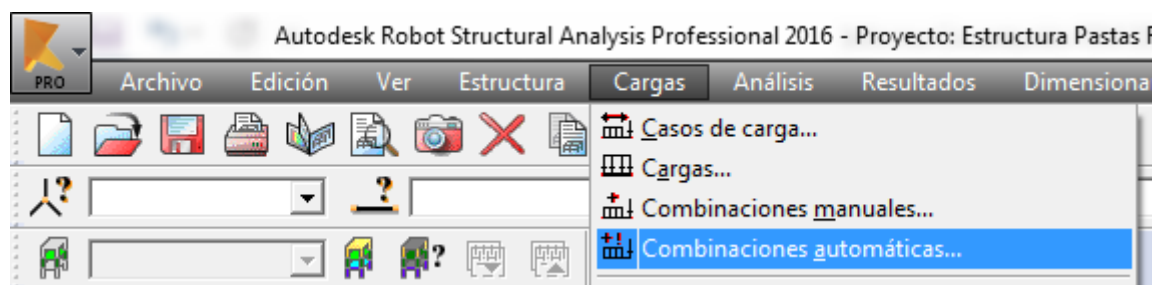


Figura 36 Localización opción Combinaciones automáticas



Al darle, el programa pregunta bajo qué normativa se desea deban hacerse estas combinaciones. Se seleccionará el Código Técnico de la Edificación, así como la opción “Combinaciones automáticas simplificadas”.

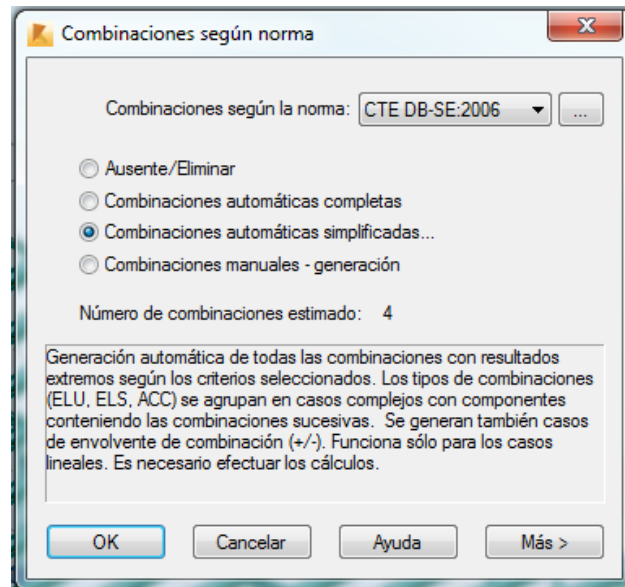


Figura 37 Ventana Normativa a aplicar y tipo de generación de combinaciones automáticas

Una vez generadas, se procede a generar el modelo de cálculo desde la pestaña de Análisis:

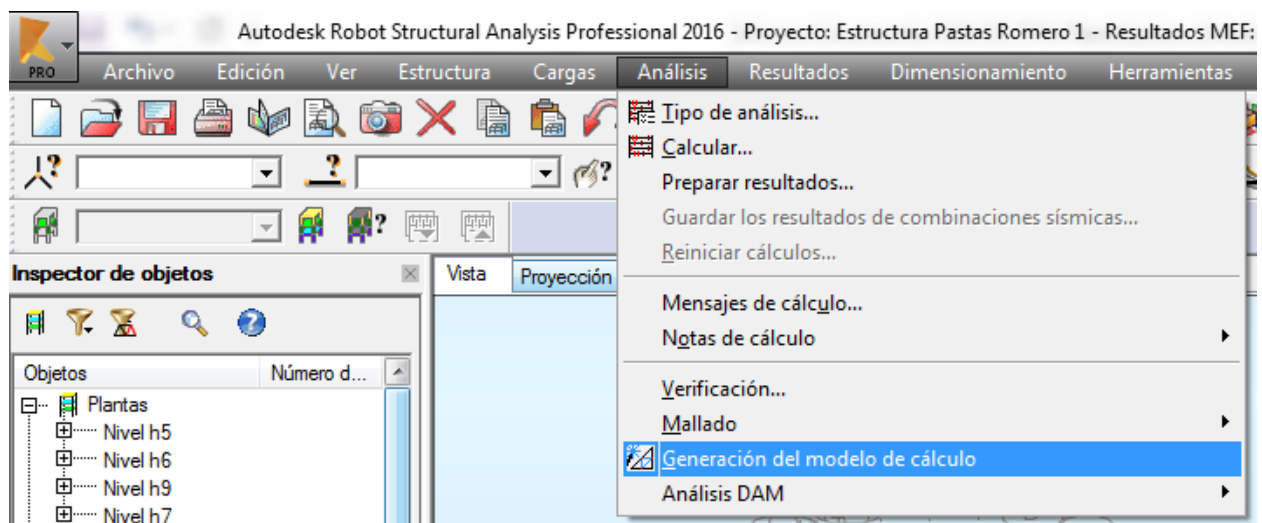


Figura 38 Localización opción Generación del modelo de cálculo

Esta orden mallará la estructura y la dejará lista para el cálculo, además de hacer las comprobaciones geométricas pertinentes. La malla estándar (ni muy gruesa ni muy fina) que viene por defecto será más que suficiente para realizar el cálculo correctamente.

Las comprobaciones mencionadas sólo resultan en avisos sin importancia, ningún error grave que deba atajarse de inmediato, por tanto, se tiene ya el modelo listo para calcular. Esto se hace desde la pestaña Análisis, Calcular:

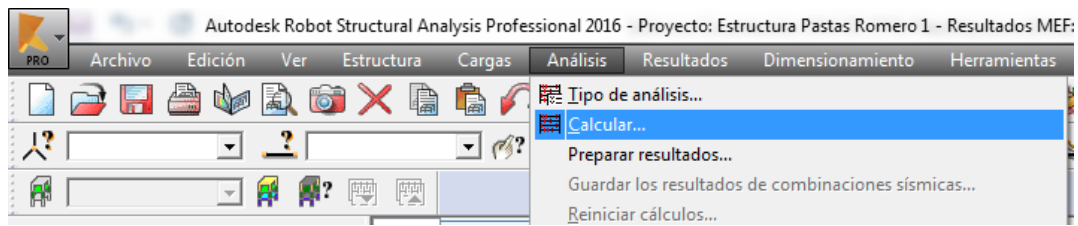


Figura 39 Localización opción Calcular

Una vez calculado, en la opción Resultados – Diagramas-barras... se pueden obtener los diagramas de esfuerzos que se deseen de la estructura en la vista 3D.

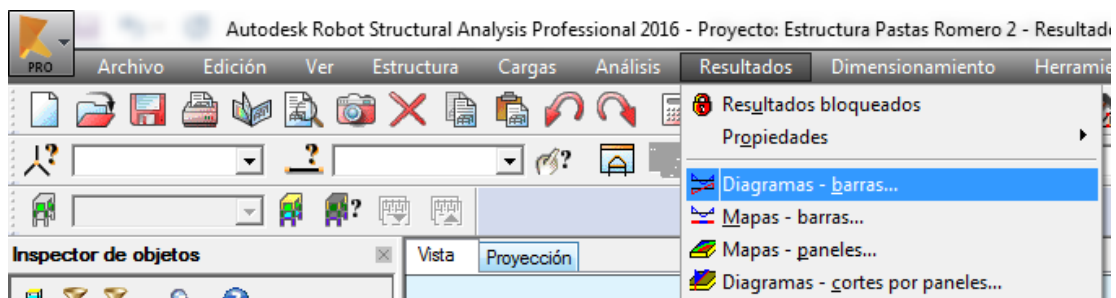


Figura 40 Localización opción Diagramas-barras

Diagrama más notable:

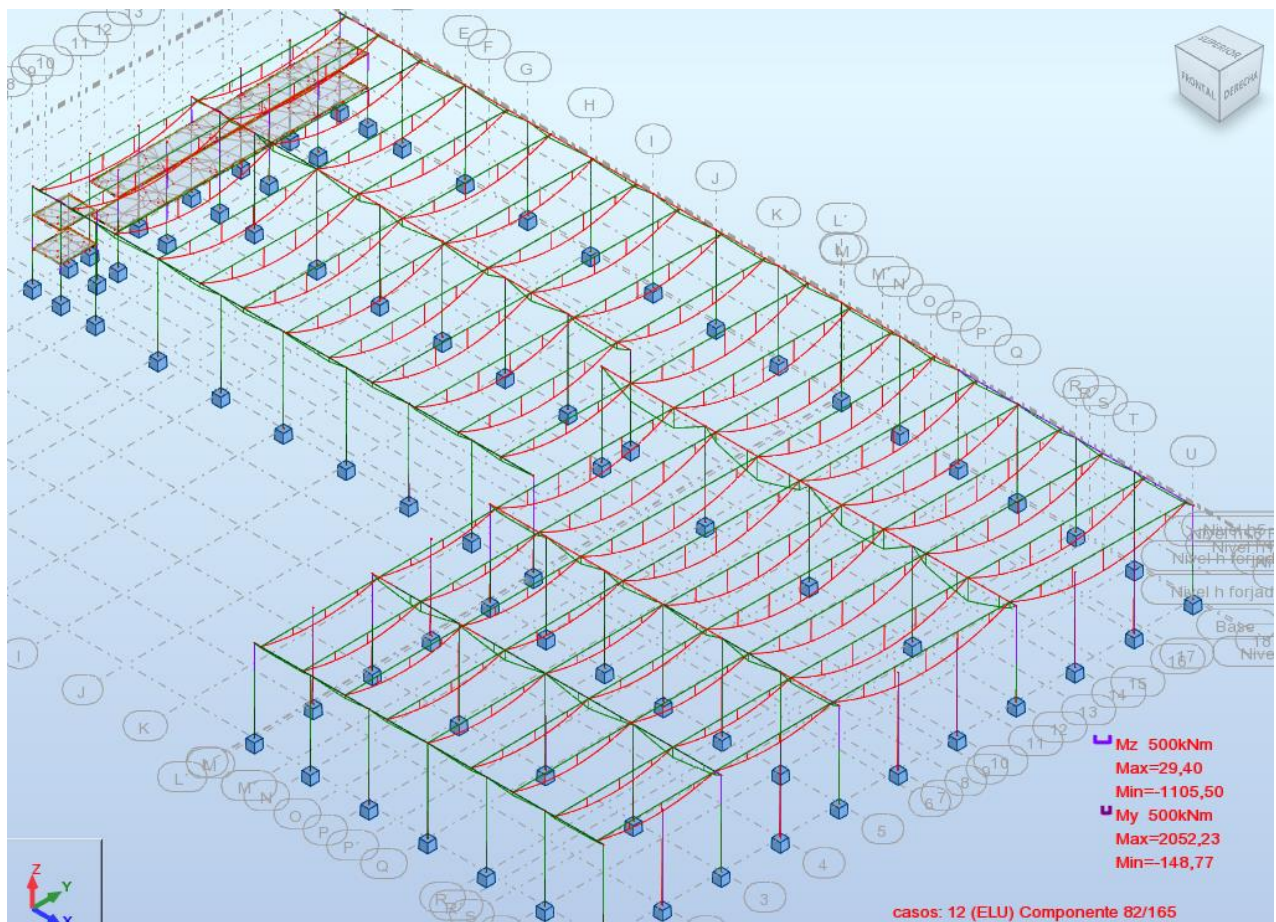


Figura 41 Diagramas de momentos en la estructura

Los resultados observados entran dentro de lo que cabría esperar para una estructura de estas características, y para con las cargas aplicadas. Un análisis más detallado puede encontrarse en el **Anexo V: Resultados del proceso de cálculo en Robot**, que complementa el apartado actual.

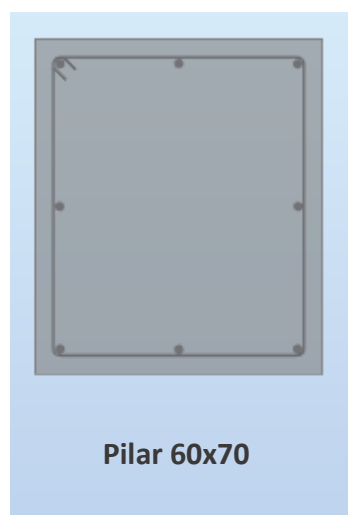
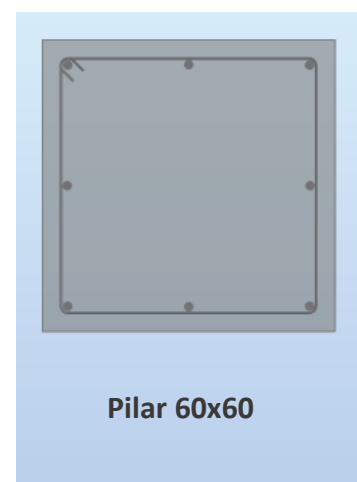
En dicho anexo se aportan figuras con todos los diagramas de esfuerzos considerados más importantes de cara al ofrecimiento de resultados. En este anexo también se detalla el proceso de cálculo de armado de los pilares (elementos no pretensados) que se sigue con el software Robot, fruto de los resultados obtenidos. Con esta información de armaduras, uno puede establecer una conexión a la inversa con el modelo de Revit y exportar desde Robot sólo los pilares junto con sus armados para modelizarlos automáticamente en Revit sin “estropear” el modelo completo. Se ha visto conveniente denominar este proceso “bidireccionalidad selectiva”, entendido como la manera de hacer funcional la lectura bidireccional existente entre ambos programas que con el modelo completo había fallado, y que simplemente consiste en realizarla con aquellos elementos que se sabe con certeza no van a ocasionar problemas de lectura.

El resultado final de todo este proceso puede verse a continuación:



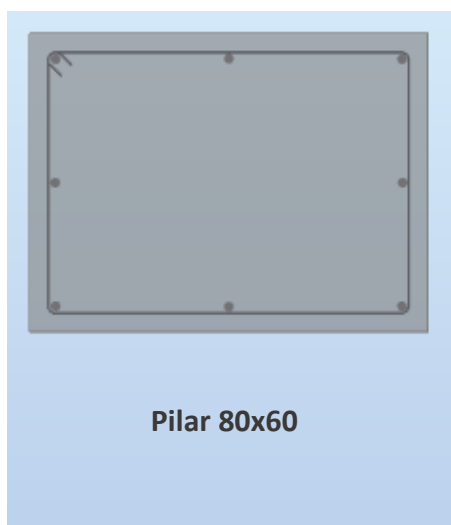
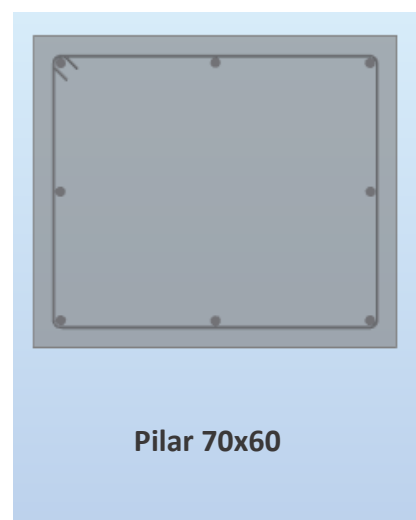
	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Código de la forma	Número
1	1	principal	B 500 S	20	00	8
2	2	transversal	B 500 S	6	31	68
*						

	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Código de la forma	Número
1	1	principal	B 500 S	20	00	8
2	2	transversal	B 500 S	6	31	34
*						



	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Código de la forma	Número	(m)
1	1	principal	B 500 S	20	00	8	A = 12,70
2	2	transversal	B 500 S	6	31	34	A = 0,63
*							

	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Código de la forma	Número
1	1	principal	B 500 S	20	00	8
2	2	transversal	B 500 S	6	31	35
*						



	N.º	Tipo de armadura	Clase de acero	Diámetro (mm)	Código de la forma	Número
1	1	principal	B 500 S	20	00	8
2	2	transversal	B 500 S	6	31	36
*						

Figura 42 Resultados armaduras de pilares

El resultado de llevar esta lectura directamente a Revit puede verse en detalle en el **Anexo V: Resultados del proceso de cálculo en Robot**, tras el cual todos los pilares del modelo geométrico en Revit quedan perfectamente armados.

Como ya se ha mencionado en apartados previos de la memoria, para calcular y armar los elementos pretensados (vigas salvapilar y vigas Artwind) se hará uso del software Prontuario Informático del Hormigón EHE-2008. Todo este proceso se ha detallado en el **Anexo VI: Cálculo de elementos pretensados**, y ofrece, como resultados finales, los armados que pueden verse en las figuras siguientes.

Mencionar simplemente que el programa distingue armaduras activa (de pretensado) y pasiva (de armar) por el color rojo, y negro, respectivamente. Para estas primeras se tienen tendones de media pulgada de diámetro, y las pasivas se mueven entre los valores de diámetros normalizados de 8, 10, 12, 16,... mm.



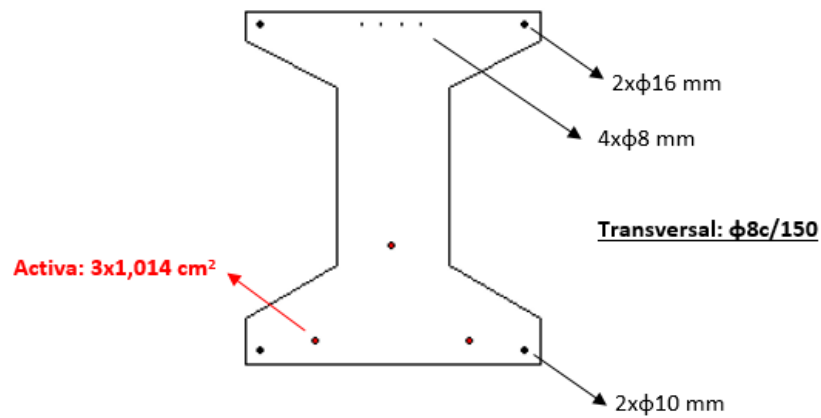


Figura 43 Armado total final viga salvapilar I-60

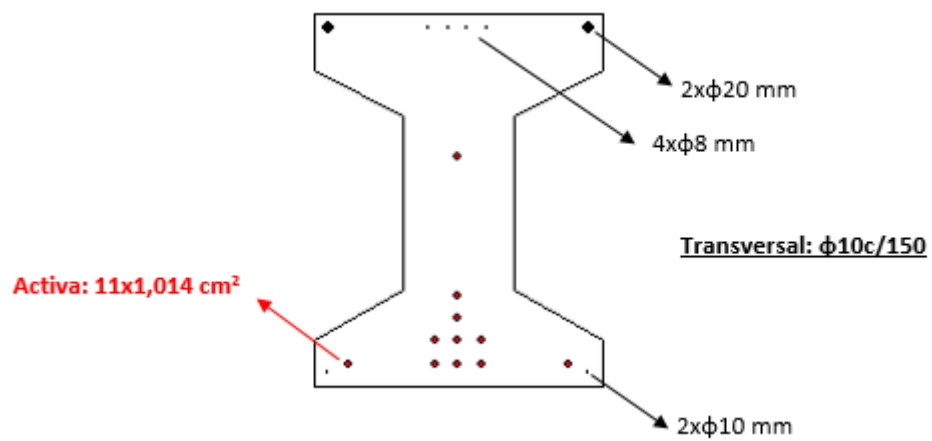


Figura 44 Armado total final viga salvapilar I-65

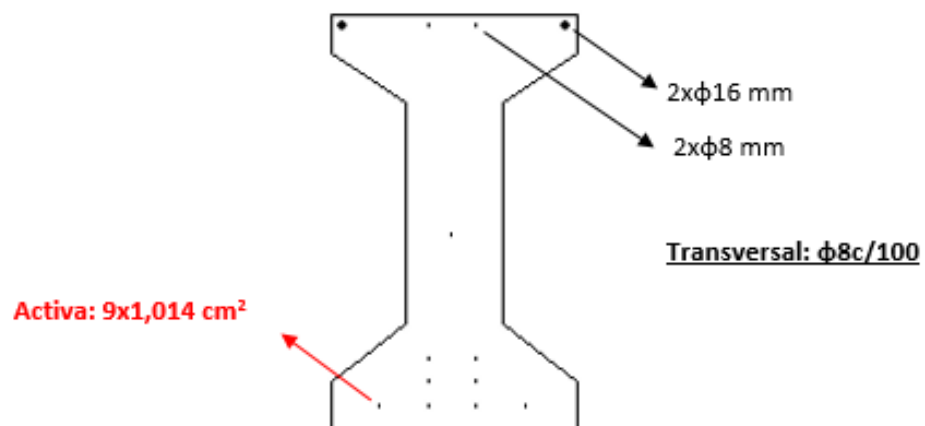


Figura 45 Armado total final viga salvapilar I-85

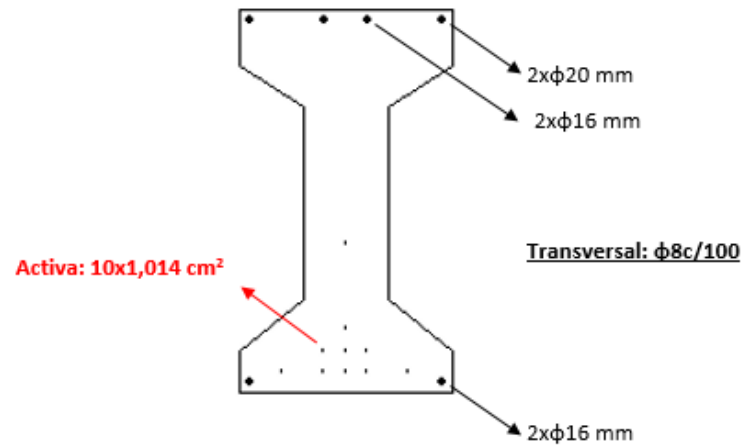


Figura 46 Armado total final viga salvapilar I-90

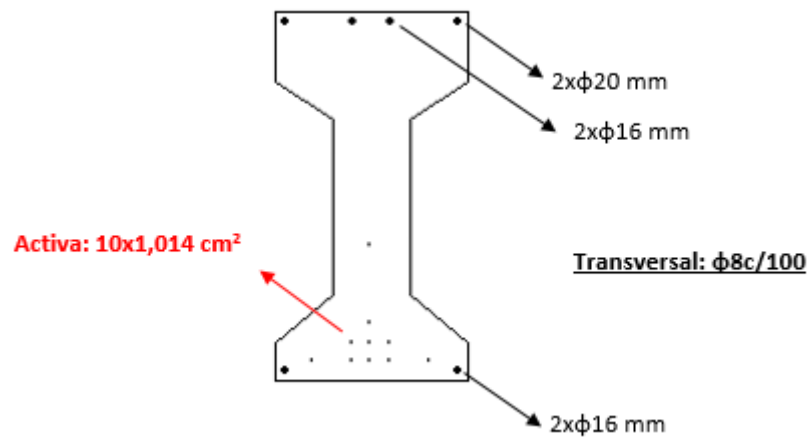


Figura 47 Armado total final viga salvapilar I-95

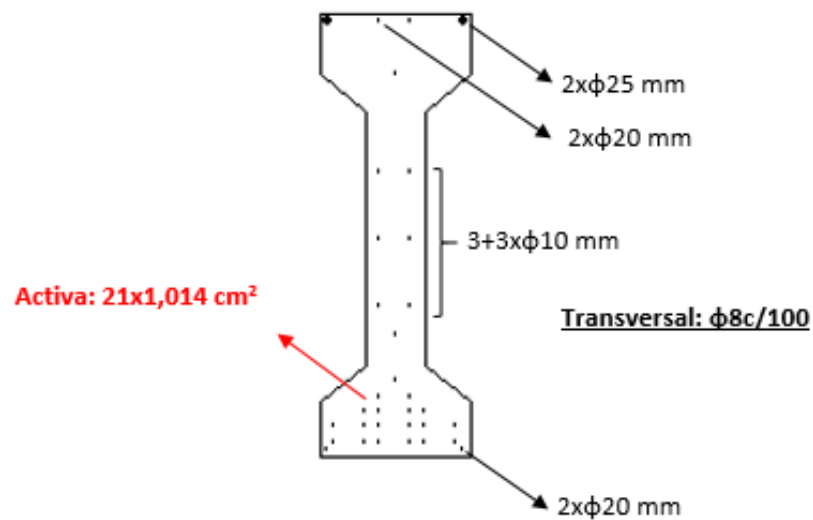


Figura 48 Armado total final viga salvapilar I-145

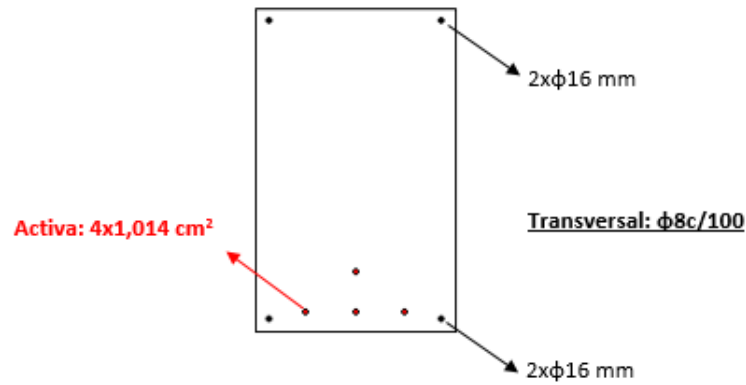


Figura 49 Armado total final viga salvapilar R 40x60

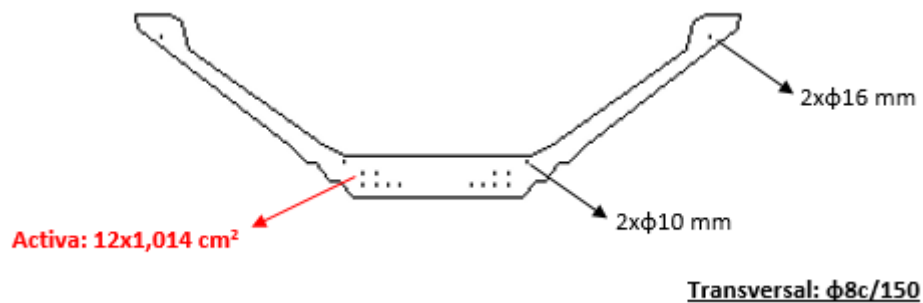


Figura 50 Armado total final viga Artwind 75+2

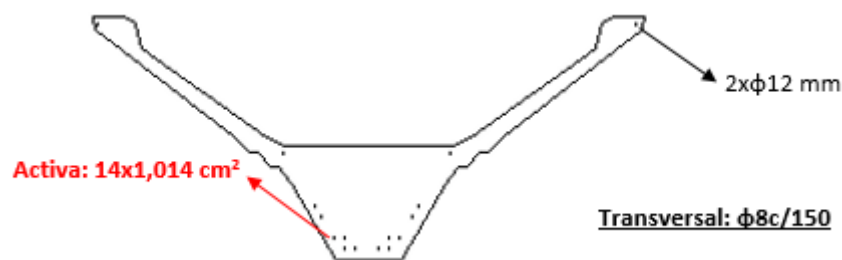
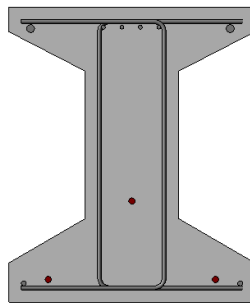


Figura 51 Armado total final viga Artwind 110+2

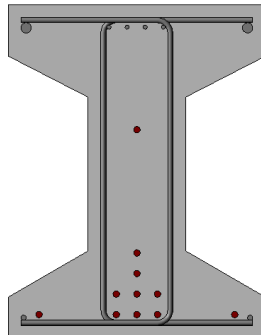
Caso de que existiera una posibilidad de lectura directa entre Revit y este software, igual que ocurría entre Robot y Revit, estos armados también podrían haberse “lanzado” al modelo de Revit y que éste los acogiera en las vigas pertinentes. Como no es el caso y este paso no es inmediatamente directo tras la obtención de resultados, se ha visto conveniente dejar el modelizado de este último conjunto de armados para el apartado siguiente de la memoria, de refinamiento del modelo geométrico, en el que se dejan definitivamente los programas de cálculo, y se vuelve a trabajar en Revit.

## 6 REFINAMIENTO DEL MODELO

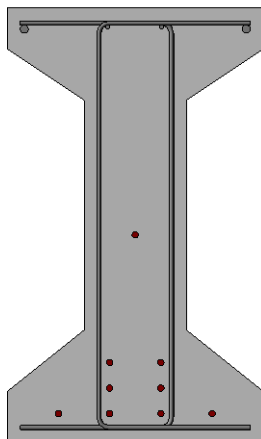
Una vez se tienen los resultados del modelo de cálculo, se puede proceder a volver al modelo de Revit, y empezar a plasmar en éste dichos resultados (colocación de las correspondientes barras de armado). El resultado final de cada uno de estos elementos pretensado puede verse en las siguientes imágenes:



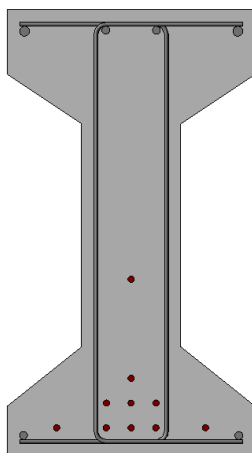
*Figura 52 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Sección*



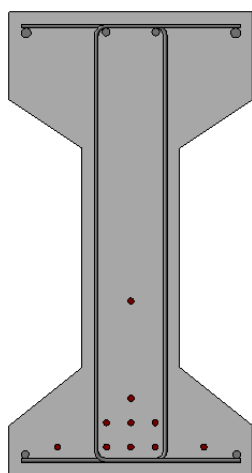
*Figura 53 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Sección*



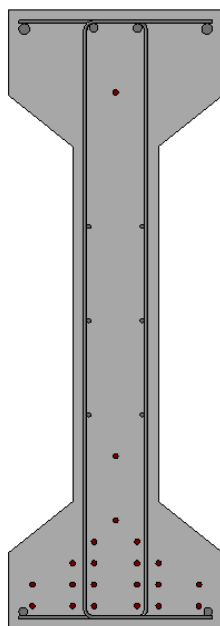
*Figura 54 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Sección*



*Figura 55 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Sección*



*Figura 56 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Sección*



*Figura 57 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Sección*

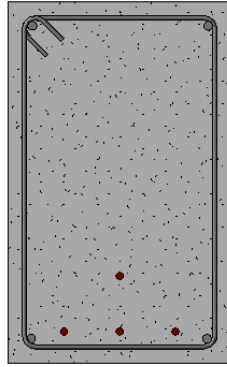


Figura 58 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Sección

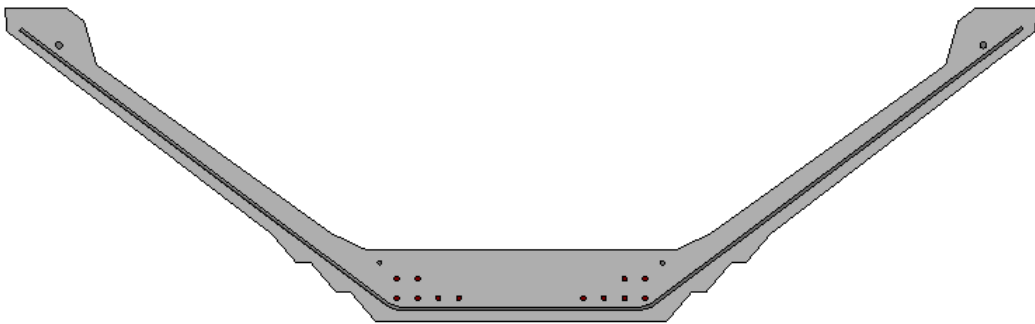


Figura 59 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Sección

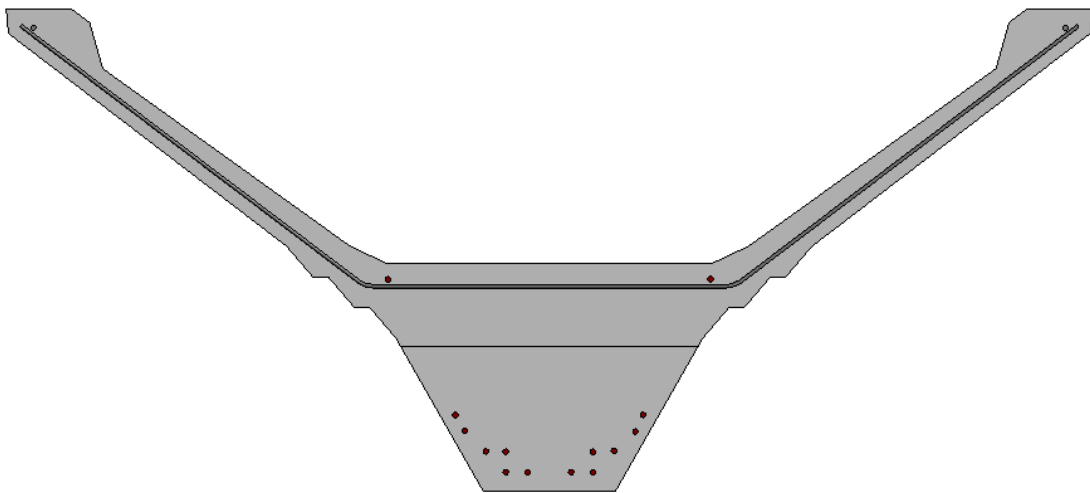


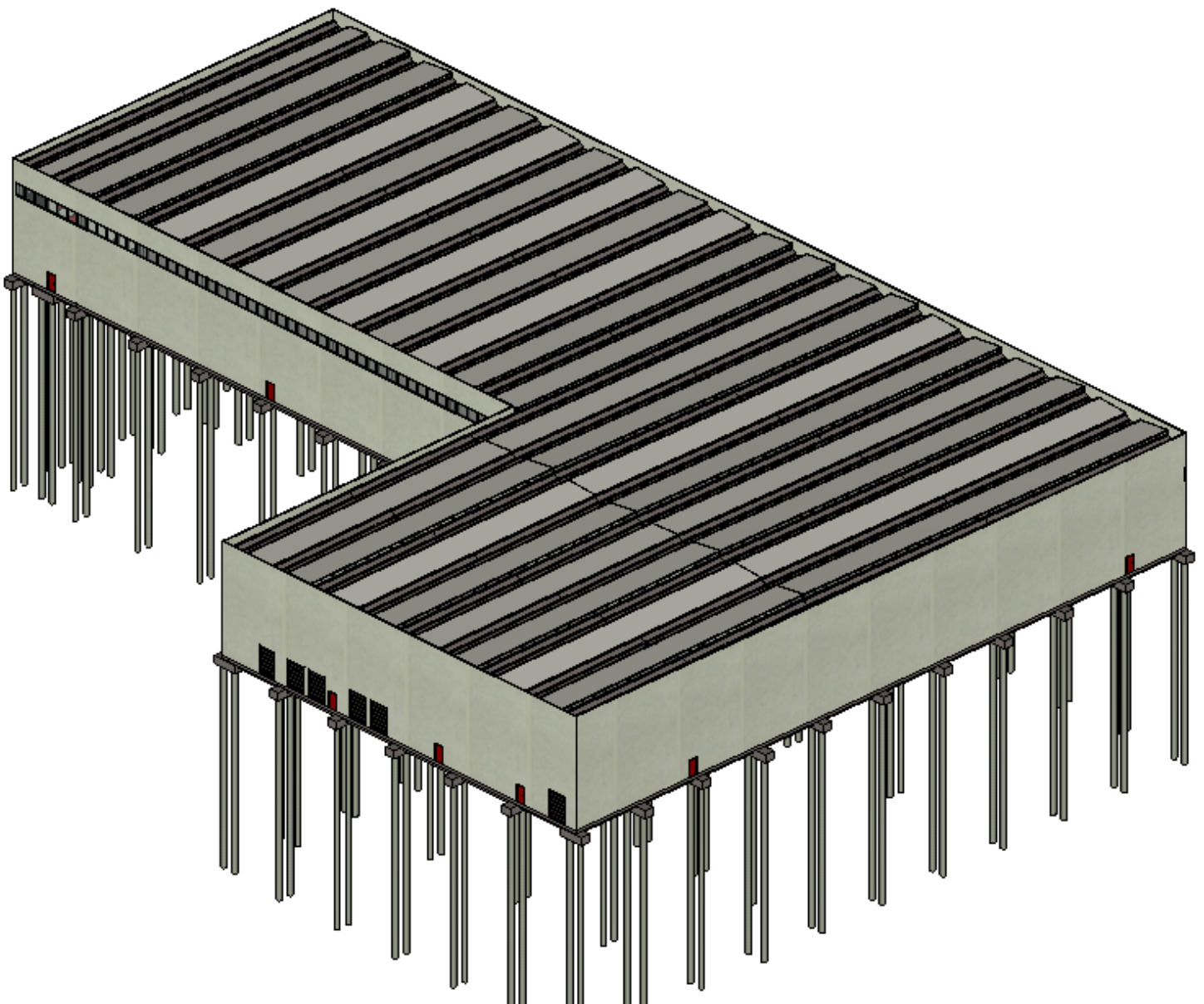
Figura 60 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección

Además, se ha visto conveniente completar la información del modelo con algunos elementos arquitectónicos como el cerramiento, puertas y ventanas, la solera, o la cubierta, y algunos de carácter más estructural como pueden ser un tramo de escaleras o la modelización de unas cimentaciones “tipo” obtenidas de un modelo de cálculo preliminar del que se disponía. Cabe mencionar que esta serie de

tareas, si bien escapan al alcance del proyecto, puesto que con la introducción de los armados previos ya se habría obtenido un modelo de estructura completamente armada y perfectamente funcional (objetivo principal de este TFM), son unas tareas que han sido realizadas con el único objetivo de refinar el modelo de cara a una posterior presentación. Se ha querido terminar con este pequeño fragmento de trabajo “extra” del alumno, además, con el fin de dejar constancia del nivel de manejo que se ha obtenido con el programa de modelizado.

Todo el proceso de modelización en Revit de estos elementos se ha colocado en el **Anexo VII: Refinamiento del modelo geométrico**.

El resultado final de este último proceso en que se “completa” el modelo geométrico, se puede apreciar en la siguiente imagen:



*Figura 61 Modelo completo. Vista 3D*

## 7 CONCLUSIONES

En lo que respecta al objetivo principal de este TFM, la modelización y cálculo de un edificio de hormigón prefabricado mediante software del entorno BIM, se considera cumplido de manera satisfactoria, dado que se ha dejado constancia de que se ha generado un modelo geométrico en Revit de la estructura, éste ha podido calcularse llevándolo al software de análisis estructural Robot, y finalmente, los resultados obtenidos del mismo, y del software de cálculo utilizado para los elementos pretensados, se han acogido en el modelo geométrico final, dejando el modelo estructural perfectamente completo.

A éste acompañaban una serie de objetivos secundarios cuyo cumplimiento también se ha llevado a cabo satisfactoriamente. Se ha obtenido un nivel de manejo equiparable a un nivel intermedio con el software de modelización Autodesk Revit, y a un nivel básico/intermedio con el software de cálculo Autodesk Robot, con la increíble inversión de tiempo que ello supuso previo a empezar el modelo de la estructura como tal. Asimismo, la formación que se ha ido adquiriendo a lo largo de la elaboración del trabajo al respecto de la metodología de trabajo BIM, y del cálculo estructural de hormigón armado y pretensado, permite dar por cumplidos también los objetivos secundarios que tenían esta meta final.

El proceso completo, teniendo en cuenta el periodo de aprendizaje inicial (realización de tutoriales, asistencia a cursos educativos,...) y el de redacción y estructuración del documento final, han supuesto más de 550 horas de dedicación del alumno, y se espera que el trabajo realizado y aportado a la empresa sea de especial utilidad en la misma a la hora de realizar el seguimiento del proyecto real.

Dicho esto, cabe decir que, gracias a la inmensa cantidad de ramas que se manejan en este entorno, este trabajo podría estar sujeto a un gran número de futuras ampliaciones, véase por ejemplo:

- la adaptación total al proyecto real, modelando y calculando también el edificio de oficinas anexo
- el proyecto de instalaciones del edificio (Revit MEP)
- el cálculo de las cimentaciones reales que tendrá el proyecto y modelización de las mismas en Revit
- el proyecto de estudio de eficiencia energética (e implantación de características térmicas de los materiales, completando todavía más la información del modelo)
- posibles mejoras estructurales y arquitectónicas, también ejecutables en el software Revit
- la preparación del modelo en el software (planos, presupuestos,...) para hacer de él todo un proyecto de ejecución en un solo archivo; o incluso, siendo optimistas:
- la programación necesaria en conjunto con la extensión Revit Dynamo para llevar el modelo al campo de la realidad virtual

Volviendo al trabajo que compete al alumno, se considera conveniente mencionar las incidencias y problemas más importantes que se tuvieron que salvar. Algunos de éstos ya se han visto y comentado en apartados previos de la memoria, como pueden ser: el uso de normativa española desactualizada en el programa de cálculo; la imposibilidad por parte de éste de leer secciones de familias personalizadas desde Revit; o que Robot no incluya la función de cálculo de encepados.



Otros incidentes menores, y cuya mención no se ha visto necesaria por ser éstos muchos y muy específicos, derivaron de la situación real del proyecto, el cual todavía está siendo sometido a cambios, los cuales tuvieron que ir adoptándose hasta llegado un cierto punto.

## 7.1 Opinión personal

Pese a la manera objetiva con que se ha intentado redactar todo el documento, creo que cualquiera podría extraer del mismo varias opiniones más subjetivas que se han tenido de todo el proceso.

Respecto a la parte de modelización y del software Autodesk Revit, decir que ha sido la parte con la que más he disfrutado. Todos los ratos que he dedicado a la creación del modelo los pasaba delante de la pantalla sin percatarme apenas de que pasaban las horas una tras otra. El programa ayuda especialmente a que esto suceda, pues, como se ha podido ver, es un software muy visual y muy atractivo. Si además la persona que lo utiliza es como yo, perfeccionista, amante de las estructuras, y con una gran afición por las metodologías de modelado 3D, que la percepción del tiempo me fuese ajena durante esos ratos me parece algo completamente normal.

En lo que atañe a la parte de cálculo estructural, cabe mencionar la opinión similar que se tiene del software de Autodesk Robot, si bien me mantengo con una postura algo más crítica respecto a algunos aspectos. Aspectos como la publicidad engañosa que se da de su versatilidad en el entorno BIM, algo que obviamente todavía tienen que mejorar, o como las limitaciones de cálculo que tiene (encepados, elementos pretensados,...). Ya conocía el software Tricalc de cálculo de estructuras, y cuando se ha tenido que consultar para alguna cosa puntual no se tuvo mayor problema. No pasó lo mismo con el programa del Prontuario Informático de la EHE-2008, que me era completamente nuevo, algo menos atractivo, pero de una gran eficacia en lo que respecta a la obtención de resultados. Fue una parte algo más tediosa, por tener la dificultad extra que introducían los elementos pretensados.

A nivel más general, el concepto del Building Information Modeling (BIM) es algo que me ha fascinado desde el primer momento en que me informaron de la propuesta. El entorno de trabajo que propone es tan increíble como ambicioso, y definitivamente es a lo que el futuro de los proyectos de construcción está evolucionando, y sólo espero poder seguir formándome en el mismo para estar preparado para ese futuro.

Por último, mencionar la gran satisfacción que me invade al pensar en todo el trabajo realizado; un trabajo en que cada dificultad encontrada me llevaba a buscar soluciones que me formaban sin darme yo cuenta; un trabajo gracias al cual he conocido y entablado relación con una gran cantidad de personas, ya fueran compañeros de trabajo, amigos, clientes,... que me han aportado muchísimo, tanto a nivel profesional como personal; un trabajo que me ha introducido en el mundo de BIM, un entorno que, pese a que necesita pulir varios detalles, me ha encantado; y sobre todo, un trabajo que me ha hecho disfrutar cada minuto dedicado.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

La bibliografía utilizada para la realización del modelo geométrico y para el posterior tratamiento del modelo de cálculo podría reducirse a la Ayuda y el Manual que incorporan ambos programas, tanto Revit como Robot, en conjunto con la serie de Normativas consultadas ya citadas en el apartado de cálculo y resultados del modelo, así como los planos de la empresa de hormigón ARTEPREF. Sin embargo, no puede pasarse por alto el papel vital que han jugado los foros de ayuda de los usuarios durante la creación del modelo en el software de simulación, así como durante el proceso de cálculo. Se citan éstos a continuación:

AYUDAS DE AMBOS PROGRAMAS (ONLINE):

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/>

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ESP/>

<http://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2016/ENU/>

NORMATIVAS:

- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 324/2006 del 17 de Marzo
- NSCE-02 Norma de Construcción Sismorresistente
- EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural (Real Decreto 1247/2008)
- Eurocódigo EC2 Hormigón armado. EN 1992-1-1:2004 AC:2008

PLANOS DE ARTEPREF:

- Nº plano: 1 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA DE PILARES
- Nº plano: 2 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA DE CUBIERTA NAVE
- Nº plano: 3 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA FORJADOS OFICINAS Y NAVE
- Nº plano: 4 de 8. Ref: 1600313/M3. SECCIONES I
- Nº plano: 5 de 8. Ref: 1600313/M3. SECCIONES II
- Nº plano: 6 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS I
- Nº plano: 7 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS II
- Nº plano: 8 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS OFICINAS

FOROS DE AYUDA:

<https://forums.autodesk.com/t5/revit-bim-espanol/bd-p/317>  
<http://taller-revit.forosactivos.net/forum>  
<http://revit2010-lp.forosactivos.net/>  
<http://www.revitforum.org/>  
<https://forums.autodesk.com/t5/revit-architecture-forum/bd-p/133>  
<http://www.revitforum.com/forum/forumdisplay.php?7-revit-forum-IT>  
<http://www.revitcity.com/forums.php>  
<http://www.forums.revitzone.com/>  
<http://revittutorials.info/>  
<https://forums.autodesk.com/t5/robot-structural-analysis-forum/bd-p/351>

Algunos documentos de consultas puntuales, para hacer la comparativa de las reacciones encontradas en los empotramientos, por ejemplo, o una revisión de las cargas a aplicar, fueron:

- LISTADO DE REACCIONES. ESTRUCTURA PREFABRICADA. OBRA: PASTAS ROMERO. (ARTEPREF)
- PLANILLAS DE DISPOSICIÓN DE ARMADOS EN ELEMENTOS PREFABRICADOS. (ARTEPREF)
- 2016-2486\_VD02675-16A\_171016125009. PROYECTO DE EJECUCIÓN. PASTAS ROMERO. (IDOM)

Por otra parte, se presenta la documentación consultada a la hora de hacer frente a la redacción de la memoria:

ENLACES DE LAS FUENTES DE INTERNET:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_de\\_construcci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_de_informaci%C3%B3n_de_construcci%C3%B3n)  
[https://www.graphisoft.es/archicad/open\\_bim/about\\_bim/](https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/)  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/12226/Introducci%C3%B3n+a+la+Tecnolog%C3%ADa+BIM.pdf;jsessionid=2FDF787AD15EE601B1BF1185292778DC?sequence=1>  
<http://fabricantes.bimetica.com/que-es-bim/>  
<http://www.autodesk.com/solutions/bim/overview>  
<http://www.es.4mbim.com/what-is-bim/>  
<http://www.autodesk.es/products/revit-family/overview>  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Revit>  
<http://cursorevit.com/que-es-revit/>  
<http://www.espaciobim.com/que-es-revit/>

<http://www.autodesk.es/products/simulation/features/robot-structural-analysis/all/list-view>

<http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>

<http://www.cadbim3d.com/2015/12/7-razones-porque-robot-structural.html>

[http://images.autodesk.com/emea\\_s\\_main/files/autodesk\\_cs\\_statict.pdf](http://images.autodesk.com/emea_s_main/files/autodesk_cs_statict.pdf)

[https://www.reddit.com/r/architecture/comments/42wnqo/revit\\_vs\\_archicad/](https://www.reddit.com/r/architecture/comments/42wnqo/revit_vs_archicad/)

<http://bimequity.dk/?lang=en>

OTRAS PÁGINAS DE INTERÉS:

<http://www.artepref.com/>

<http://www.artepref.com/prefabricados-de-hormigon/sistemas-cubierta/sistema-cubierta-artwind/>

<http://www.idom.com/es/>

<http://www.autodesk.com/>

---

# ANEXOS A LA MEMORIA

ANEXO I.	PLANOS DEL PROYECTO REAL. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA.....	65
1	Objeto.....	65
ANEXO II.	PROCESO DETALLADO DE CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	67
1	Objeto.....	67
2	Primeros pasos: unidades de proyecto, rejilla, y niveles. ....	67
3	Pilares .....	72
4	Estructura de cubierta.....	77
4.1	Vigas salvapilar .....	77
4.2	Vigas Artwind.....	93
5	Estructura interior .....	103
6	Materiales.....	113
7	Vistas auxiliares .....	115
ANEXO III.	CARGAS Y CASOS DE CARGA .....	125
1	Objeto.....	125
2	Hipótesis de cargas por normativa.....	125
3	Casos de carga.....	129
4	Cargas.....	131
ANEXO IV.	ACONDICIONAMIENTO DEL MODELO EN ROBOT .....	177
1	Objeto.....	177
2	Modelo previo al acondicionamiento .....	178
3	Generación de perfiles personalizados .....	179
4	Condiciones de contorno .....	197
5	Modificación de forjados.....	199
6	Modelo acondicionado.....	204

ANEXO V.	RESULTADOS DEL PROCESO DE CÁLCULO EN ROBOT .....	207
1	Objeto.....	207
2	Ejes locales .....	208
3	Momentos flectores .....	209
4	Axiles .....	211
5	Cortantes .....	212
6	Deformaciones .....	214
7	Armado de pilares .....	220
8	Integración Robot - Revit.....	249
ANEXO VI.	CÁLCULO DE ELEMENTOS PRETENSADOS .....	261
1	Objeto.....	261
2	El hormigón pretensado .....	262
2.1	Ventajas .....	262
2.2	Inconvenientes .....	262
3	Prontuario Informático del Hormigón EHE-08 .....	263
4	Proceso de cálculo, y resultados obtenidos .....	263
4.1	Viga I-60.....	264
4.2	Viga I-65.....	277
4.3	Viga I-85.....	283
4.4	Viga I-90.....	289
4.5	Viga I-95.....	295
4.6	Viga I-145.....	301
4.7	Viga R 40x65 .....	307
4.8	Viga Artwind 75+2 .....	313
4.9	Viga Artwind 110+2 .....	320

ANEXO VII.	REFINAMIENTO DEL MODELO GEOMÉTRICO .....	327
1	Objeto.....	327
2	Implementación de resultados (armado de elementos pretensados).....	327
2.1	Viga I-60.....	328
2.2	Viga I-65.....	337
2.3	Viga I-85.....	339
2.4	Viga I-90.....	341
2.5	Viga I-95.....	343
2.6	Viga I-145.....	345
2.7	Viga R 40x60 .....	347
2.8	Viga Artwind 75+2 .....	350
2.9	Viga Artwind 110+2 .....	352
3	Cimentaciones.....	358
4	Solera.....	403
5	Escalera.....	406
6	Cerramiento, puertas y ventanas.....	413
7	Cubierta Artwind .....	425
ANEXO VIII.	INDICE DE FIGURAS .....	439
ANEXO IX.	PDF DINÁMICO 3D.....	461

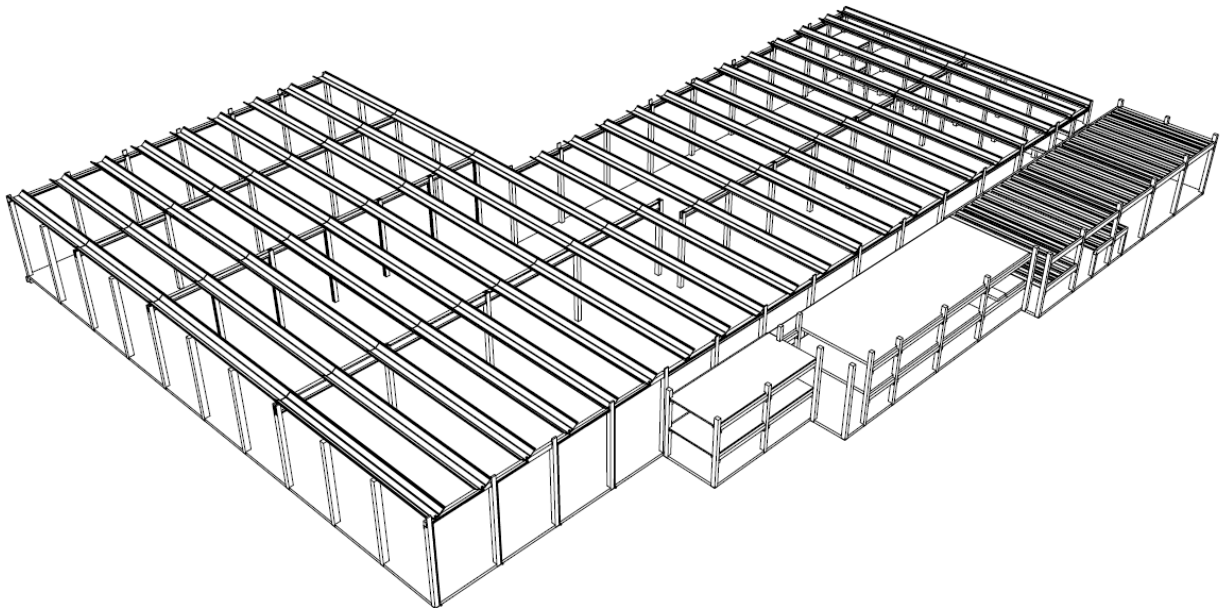


---

# ANEXO I. PLANOS DEL PROYECTO REAL. DIMENSIONES Y GEOMETRÍA

## 1 Objeto

Se exponen a continuación los planos proporcionados por la empresa ARTEPREF, de los cuales se obtuvieron las dimensiones de todos y cada uno de los elementos que se necesitaron para realizar el modelo de la estructura de la nave objeto del presente TFM. Supone una ampliación del apartado 3 de la memoria, “Descripción de la estructura”.

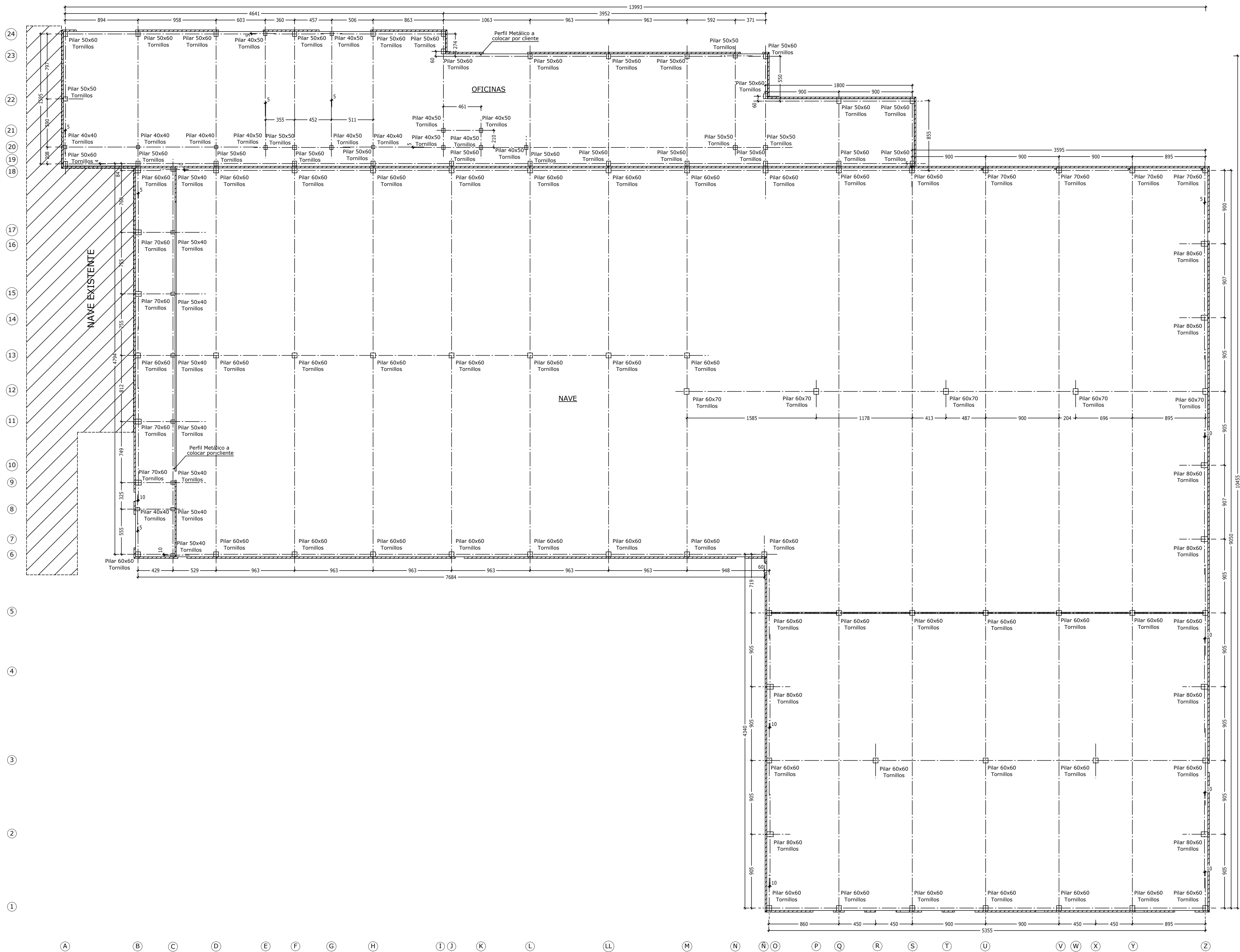


*Figura 62 3D de la nave y edificio anexo proporcionado por ARTEPREF*

*Nota: En versiones impresas del presente documento se imprimieron todos los planos en formato A3 para un mejor resultado final en el encuadernado. Siendo que el formato original es en A1, la escala que deberá tomarse como válida en la documentación impresa será el doble de la que establezca el plano.*

## ÍNDICE DE PLANOS

- Nº plano: 1 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA DE PILARES
- Nº plano: 2 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA DE CUBIERTA NAVE
- Nº plano: 3 de 8. Ref: 1600313/M3. PLANTA FORJADOS OFICINAS Y NAVE
- Nº plano: 4 de 8. Ref: 1600313/M3. SECCIONES I
- Nº plano: 5 de 8. Ref: 1600313/M3. SECCIONES II
- Nº plano: 6 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS I
- Nº plano: 7 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS II
- Nº plano: 8 de 8. Ref: 1600313/M3. ALZADOS OFICINAS



PLANTA DE PILARES  
Escala 1/250  
Cotas en cm

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOK. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860/7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	P. Laminados
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	

- CONSIDERACIONES :
- 1.- RECURRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.
  - 2.- RECURRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RÍOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.
  - 3.- RECURRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.
  - 4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.
  - 5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25				ACERO : B-500-S			
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
	25	30	35	45	60	95	155
POSICION II	30	40	45	60	85	135	220

- EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
-NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RÍOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVEER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASI COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

- ACCIONES A CONSIDERAR:**
- PRESION DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m<sup>2</sup>.  
(Grado de aspereza III)
  - CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m<sup>2</sup>.
  - SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m<sup>2</sup>.
  - MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m<sup>2</sup>.  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)
  - FORJADOS OFICINAS:  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGUN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGUN PLANOS.
  - FORJADOS NAVE:  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m<sup>2</sup>.
  - C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m<sup>2</sup>.
  - ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m<sup>2</sup>.
  - C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m<sup>2</sup>.

- RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS:**
- ARTWIND: R-30
  - ARTLUM: R-30
  - JACENA I: R-60
  - PILARES: R-90
  - VIGAS DE FORJADO (R-L): R-90
  - PLACA ALVEOLAR: R-30

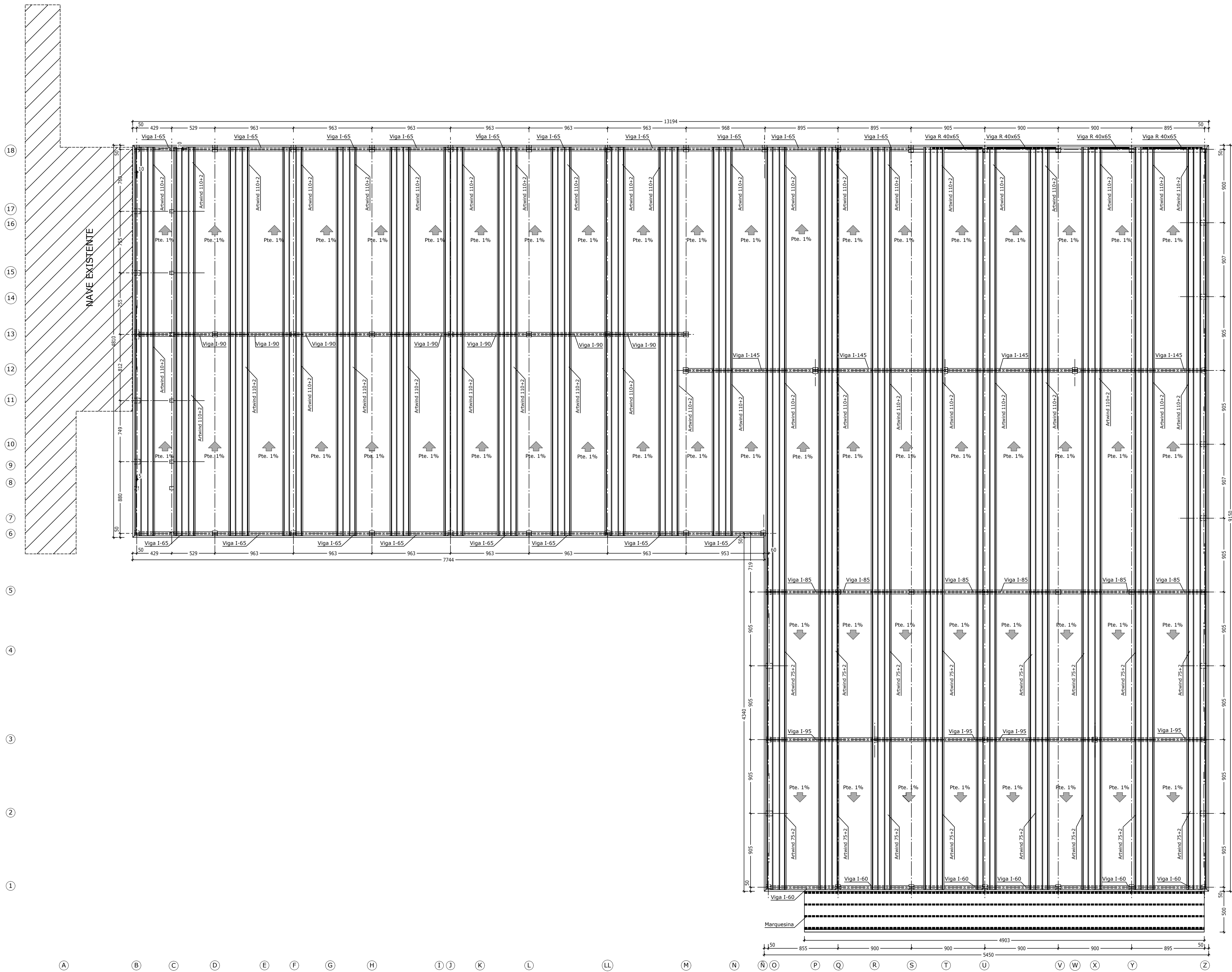
MODIFICACIONES:

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cubrerna.



Nº de PLANO: 1 de 8	PLANO: PLANTA DE PILARES	V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: _____
REFERENCIA OBRA: PASTAS ROMERO	Nº REF: 1600313/M3	FECHA: _____
SITUACIÓN: DAROCA (ZARAGOZA)	CLIENTE: IDOM	V.B. DPTO. TÉCNICO: _____
ESCALA: 1/250	FECHA: 14-11-2016	

GRUPO GERARDO DE LA CALLE tecnico@artepref.com tel 947 50 46 00 fax 947 50 05 70 Ctra. Palencia km.2.8 09400 Aranda de Duero Burgos



PLANTA DE CUBIERTA  
Escala 1/250  
Cotas en cm

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/11a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/11a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOK. "IN SITU"	HA-25/B/20/1	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/1	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/1	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
PRETENSADO	HP-45-AC/16/1	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860S7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados

- CONSIDERACIONES :
- 1.- RECURRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.
  - 2.- RECURRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.
  - 3.- RECURRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.
  - 4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.
  - 5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRAN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25				ACERO : B-500-S			
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
	25	30	35	45	60	95	155
POSICION II	30	40	45	60	85	135	220

- EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASI COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

- ACCIONES A CONSIDERAR:**
- PRESION DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)
  - CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².
  - SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².
  - MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m²  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)
- FORJADOS OFICINAS:**
- FORJADO PLANTA 1ª: SEGUN PLANOS.
  - FORJADO CUBIERTA: SEGUN PLANOS.
- FORJADOS NAVE:**
- ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².
  - C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².
  - ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².
  - C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

- RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS:**
- ARTWIND: R-30
  - ARTLUM: R-30
  - JACENA 1: R-60
  - PILARES: R-90
  - VIGAS DE FORJADO (R-L): R-90
  - PLACA ALVEOLAR: R-30

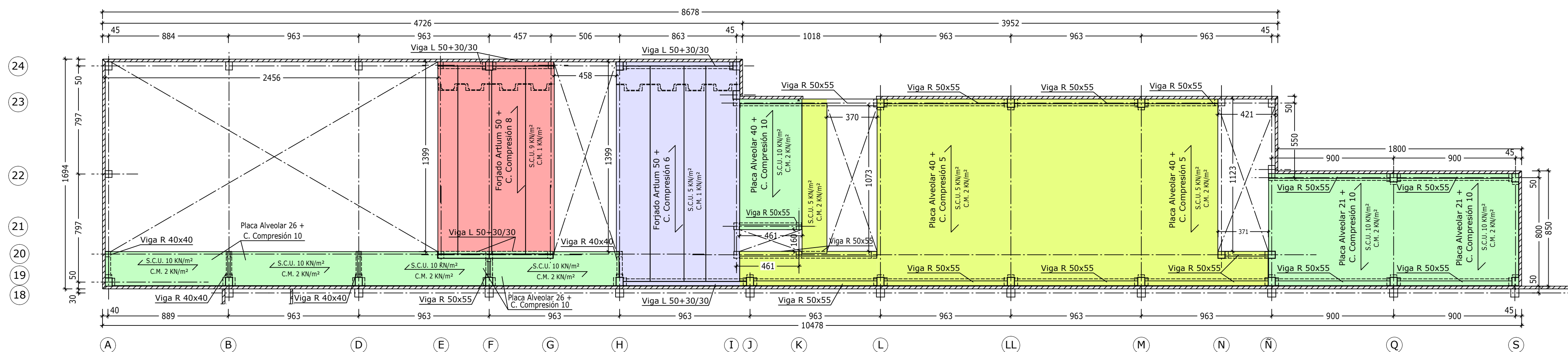
MODIFICACIONES:

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cubriera.

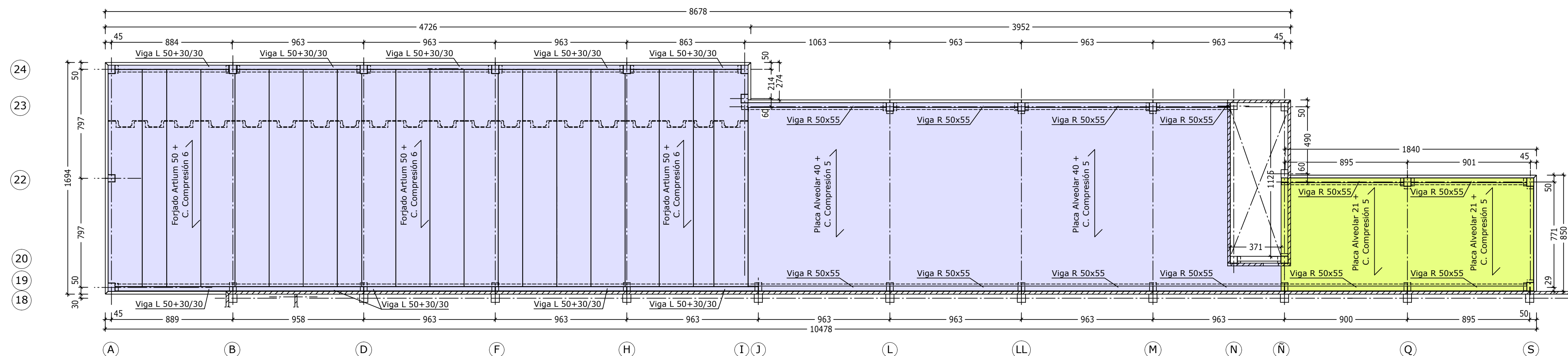


Nº de PLANO: 2 de 8	PLANO: PLANTA DE CUBIERTA NAVE	V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: _____
REFERENCIA OBRA: PASTAS ROMERO	Nº REF: 1600313/M3	FECHA: _____
SITUACIÓN: DAROCA (ZARAGOZA)		V.B. DPTO. TÉCNICO: _____
CLIENTE: IDOM	ESCALA: 1/250	FECHA: 14-11-2016

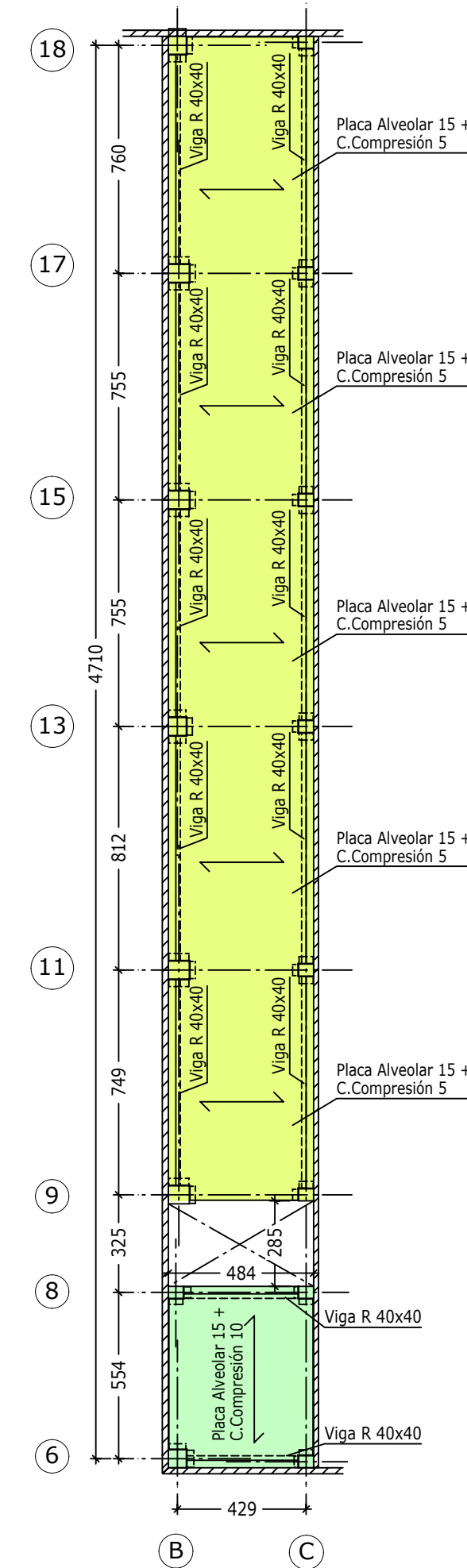




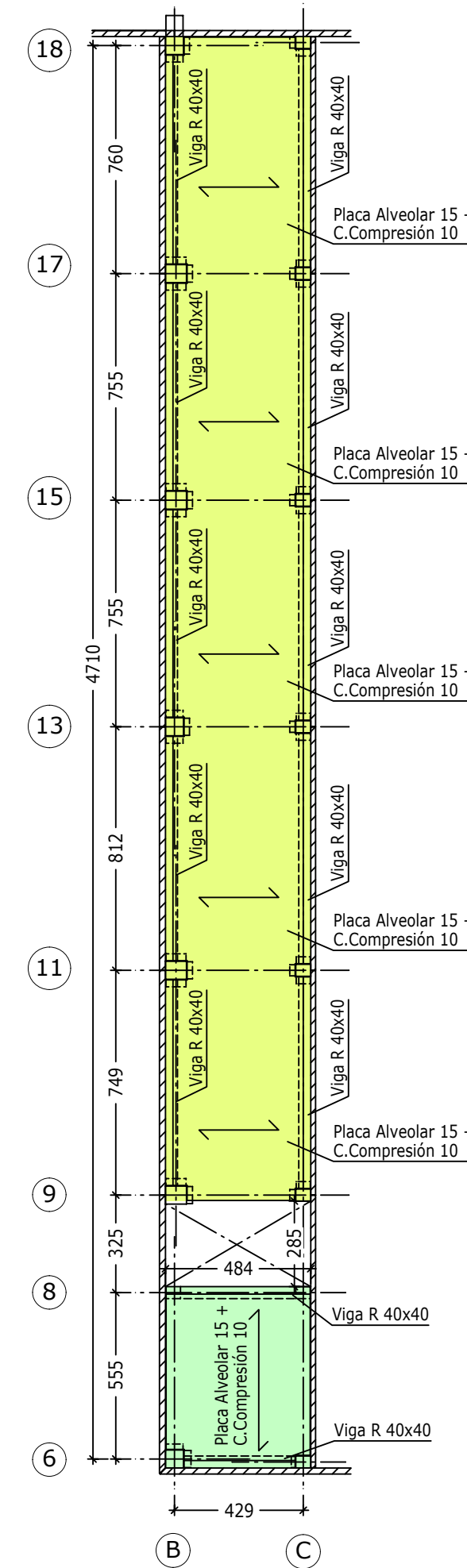
**PLANTA PRIMERA DE OFICINAS**  
 Sobrecarga 9.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 1.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 1.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 10.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Escala 1/200  
 Cotas en cm



**PLANTA CUBIERTA DE OFICINAS**  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 1.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Escala 1/200  
 Cotas en cm



**PLANTA PRIMERA NAVE**  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 10.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Escala 1/200  
 Cotas en cm



**PLANTA SEGUNDA NAVE**  
 Sobrecarga 5.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Sobrecarga 10.00 kN/m<sup>2</sup> + Cargas Muertas 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
 Escala 1/200  
 Cotas en cm

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE							NIVEL DE CONTROL
	HORMIGON	ACERO	Y <sub>c</sub>	Y <sub>s</sub>	(perm./var.)		
CIMENTACION	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50		
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados	

CONSIDERACIONES:  
 1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES: 25mm ESTRIBO.  
 2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO: 70mm.  
 3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS: 30mm.  
 4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.  
 5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE						
	HORMIGON: HA-25			ACERO: B-500-S		
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)						
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25
POSICION II	25	30	35	45	60	95
	30	40	45	60	85	135
						220

-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE:  
 NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
 -LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
 -EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
 -LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DERIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

**ACCIONES A CONSIDERAR:**  
 -PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m<sup>2</sup>.  
 (Grado de aspereza III)  
 -CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m<sup>2</sup>.  
 -SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m<sup>2</sup>.  
 -MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m<sup>2</sup>.  
 (No se acumula a la sobrecarga de nieve)

-FORJADOS OFICINAS:  
 -FORJADO PLANTA 1ª: SEGÚN PLANOS.  
 -FORJADO CUBIERTA: SEGÚN PLANOS.  
 -FORJADOS NAVE:  
 -ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
 -S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m<sup>2</sup>.  
 -C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m<sup>2</sup>.  
 -ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
 -S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m<sup>2</sup>.  
 -C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m<sup>2</sup>.

**RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS:**  
 -ARTWIND: R-30  
 -ARTLUM: R-30  
 -JÁCENA I: R-60  
 -PILARES: R-90  
 -VIGAS DE FORJADO (R-L): R-90  
 -PLACA ALVEOLAR: R-30

MODIFICACIONES:

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambida sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cumbrera.



Nº DE PLANO: **3 de 8** PLANO: **PLANTA FORJADOS OFICINAS Y NAVE**

REFERENCIA OBRA: **PASTAS ROMERO** Nº REF: **1600313/M3**

SITUACIÓN: **DAROCA (ZARAGOZA)**

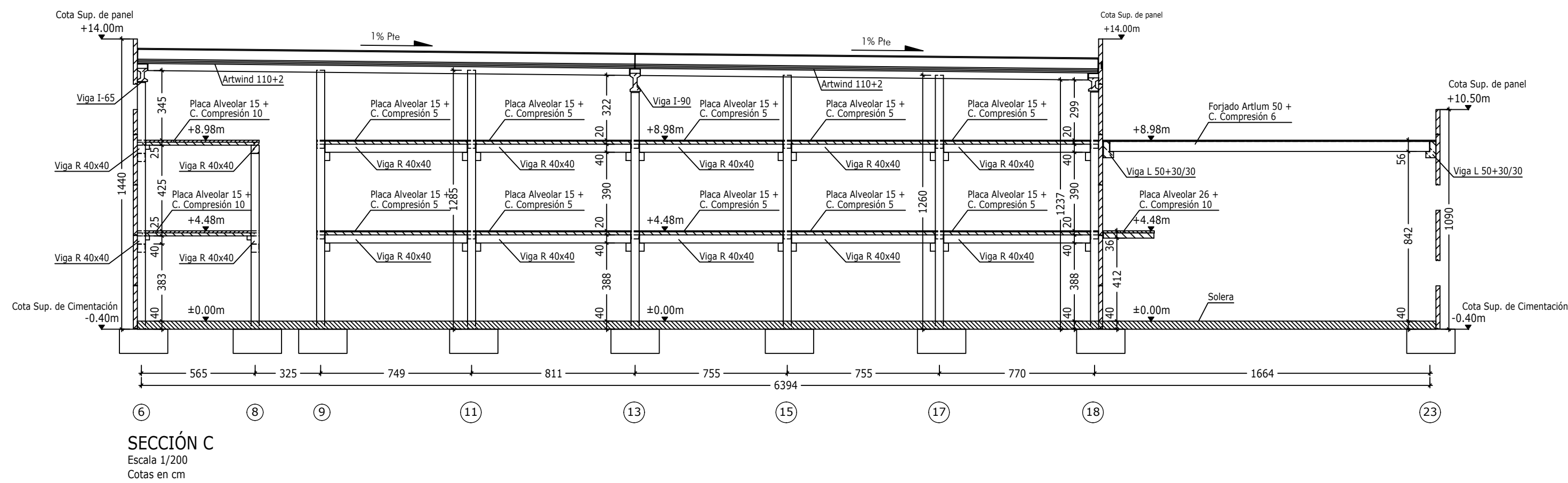
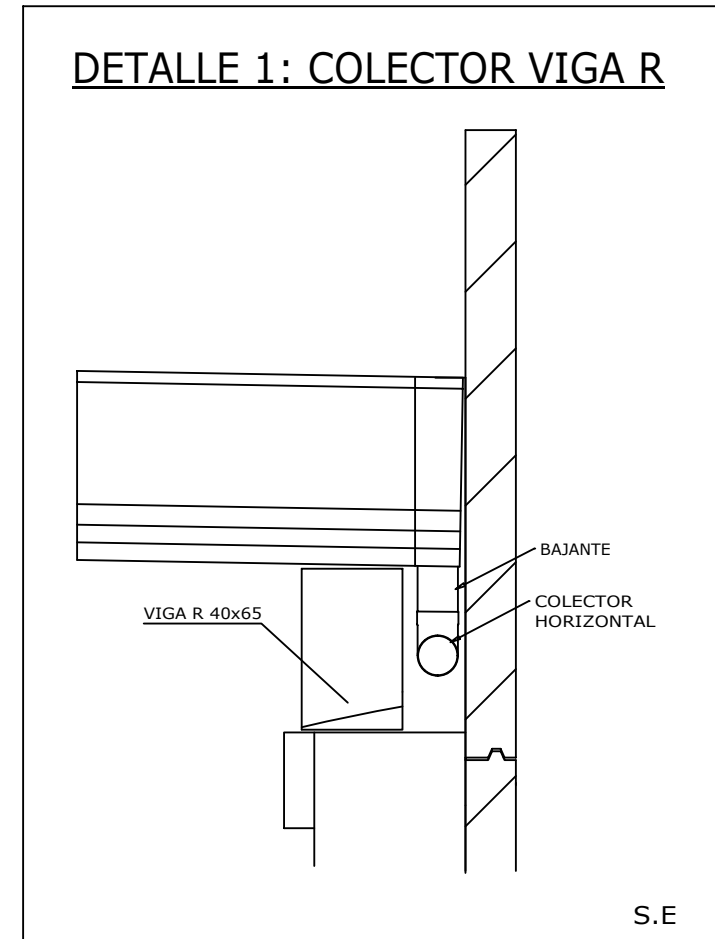
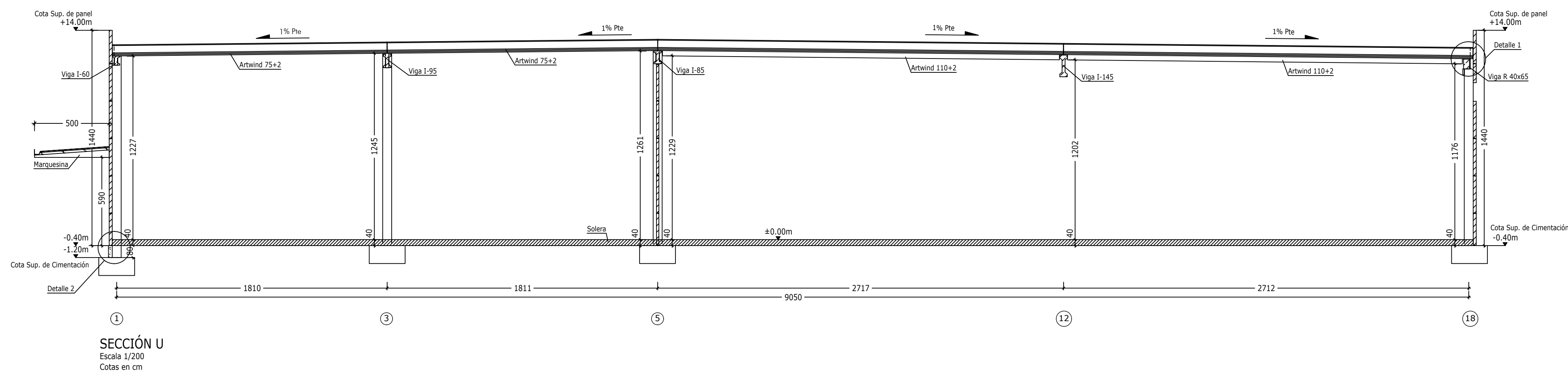
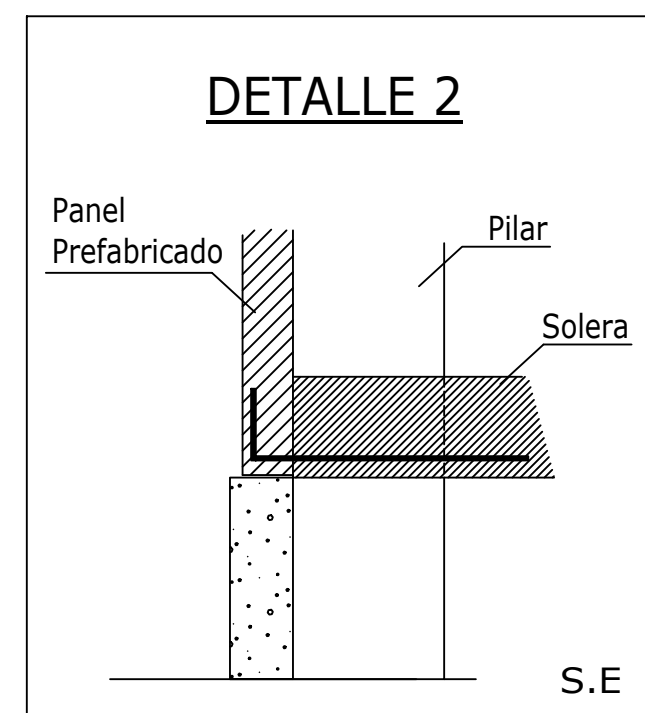
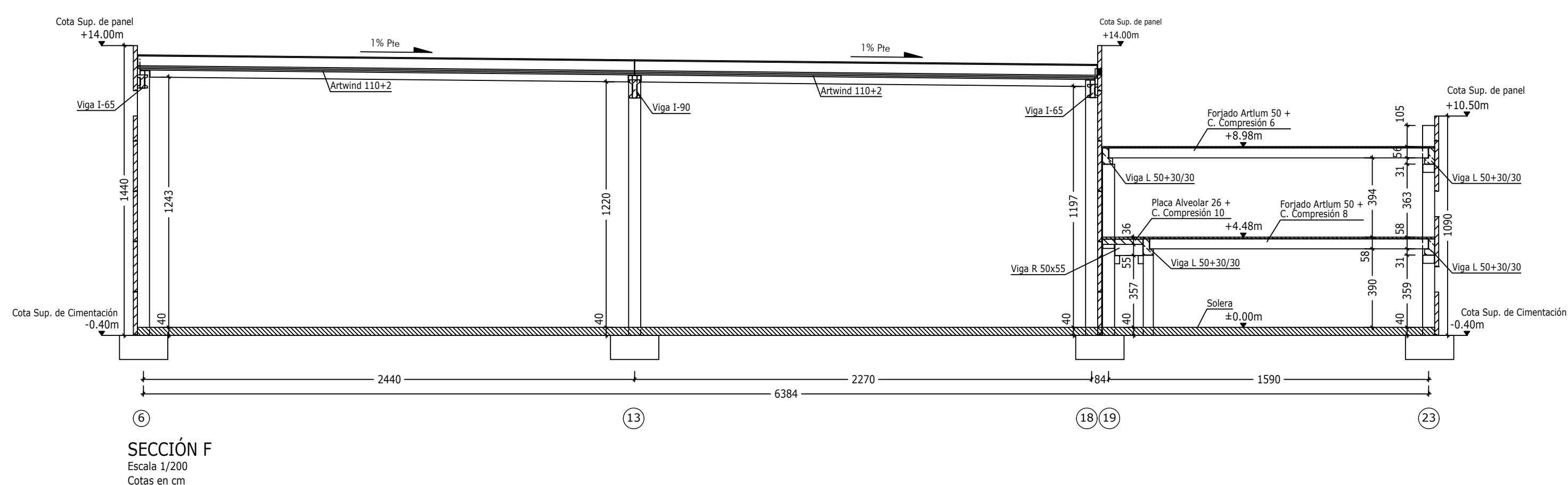
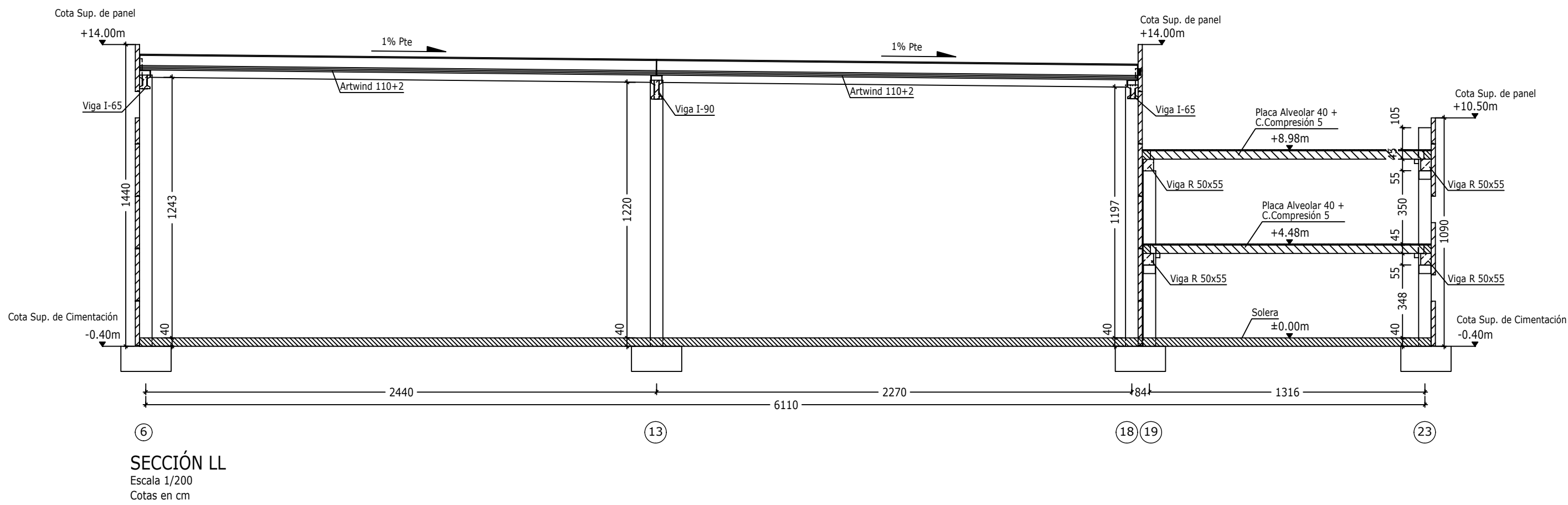
CLIENTE: **IDOM** ESCALA: **1/200**

V.B. CLIENTE O DIR. FACULTATIVA: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

V.B. DPTO. TÉCNICO: \_\_\_\_\_ FECHA: **14-11-2016**

GRUPO GERARDO DE LA CALLE tecnico@artepref.com tel 947 50 46 00 fax 947 50 05 70 Ctra. Palencia km.2.8 09400 Aranda de Duero Burgos





CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45/AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45/AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45/AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	P. Laminados
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	

CONSIDERACIONES :

- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.
- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.
- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.
- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.
- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25				ACERO : B-500-S			
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
	25	30	35	45	60	95	155
POSICION II	30	40	45	60	85	135	220

-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE  
LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE  
AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA  
PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA  
CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO,  
LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL  
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACION DEL MISMO.

**ACCIONES A CONSIDERAR:**  
-PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)  
-CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².  
-SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².  
-MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m²  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)

**FORJADOS OFICINAS:**  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGÚN PLANOS.  
**FORJADOS NAVE:**  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².  
-JÁCENA I: R-60  
-MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².  
-ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

**RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS:**  
-ARTWIND: R-30  
-ARTLUM: R-30  
-JÁCENA I: R-60  
-PILARES: R-90  
-VIGAS DE FORJADO (R-L): R-90  
-PLACA ALVEOLAR: R-30

MODIFICACIONES:

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cumbrera.



Nº de PLANO: **4 de 8** PLANO: **SECCIONES I**

REFERENCIA OBRA: **PASTAS ROMERO** Nº REF: **1600313/M3**

SITUACIÓN: **DAROCA (ZARAGOZA)**

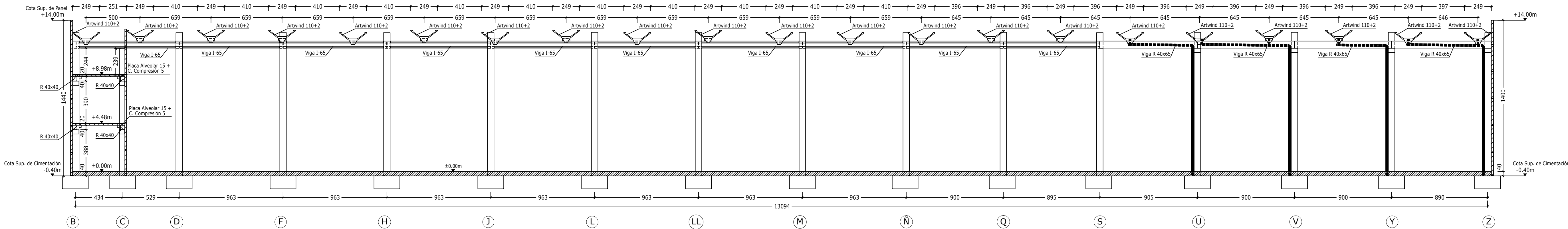
CLIENTE: **IDOM** ESCALA: **1/200**

V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: **FECHA:**

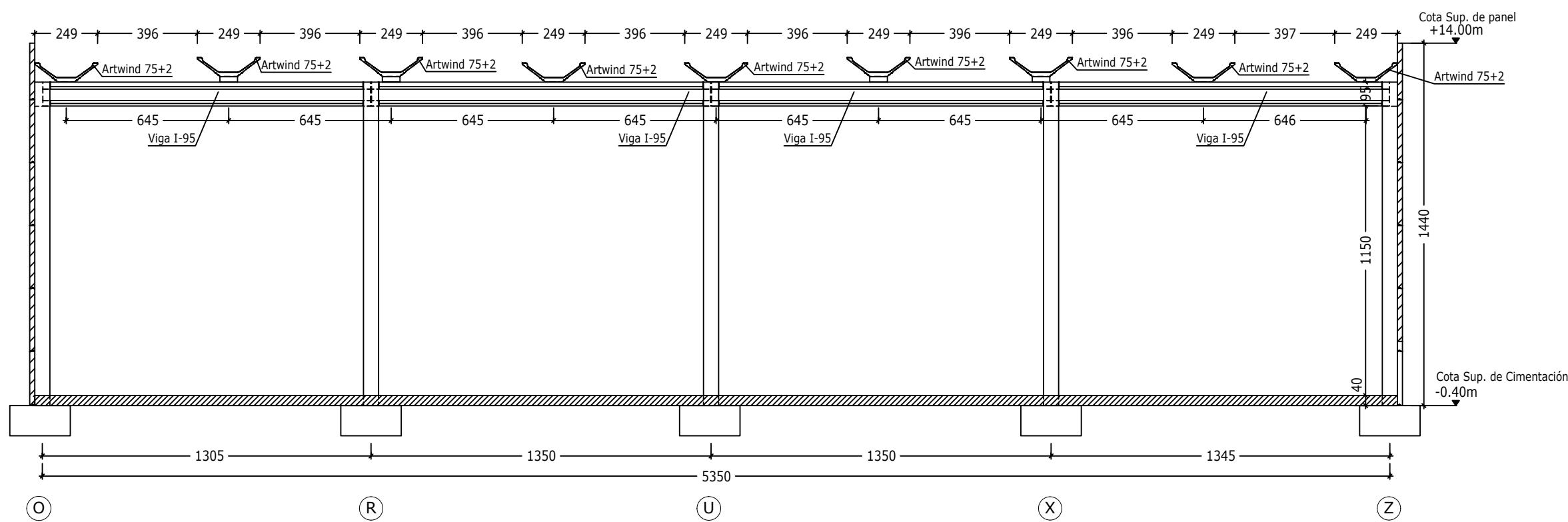
V.B. DPTO. TÉCNICO: **FECHA: 14-11-2016**

GRUPO GERARDO DE LA CALLE tecnico@artepref.com tel 947 50 46 00 fax 947 50 05 70 Ctra. Palencia km.2.8 09400 Aranda de Duero Burgos

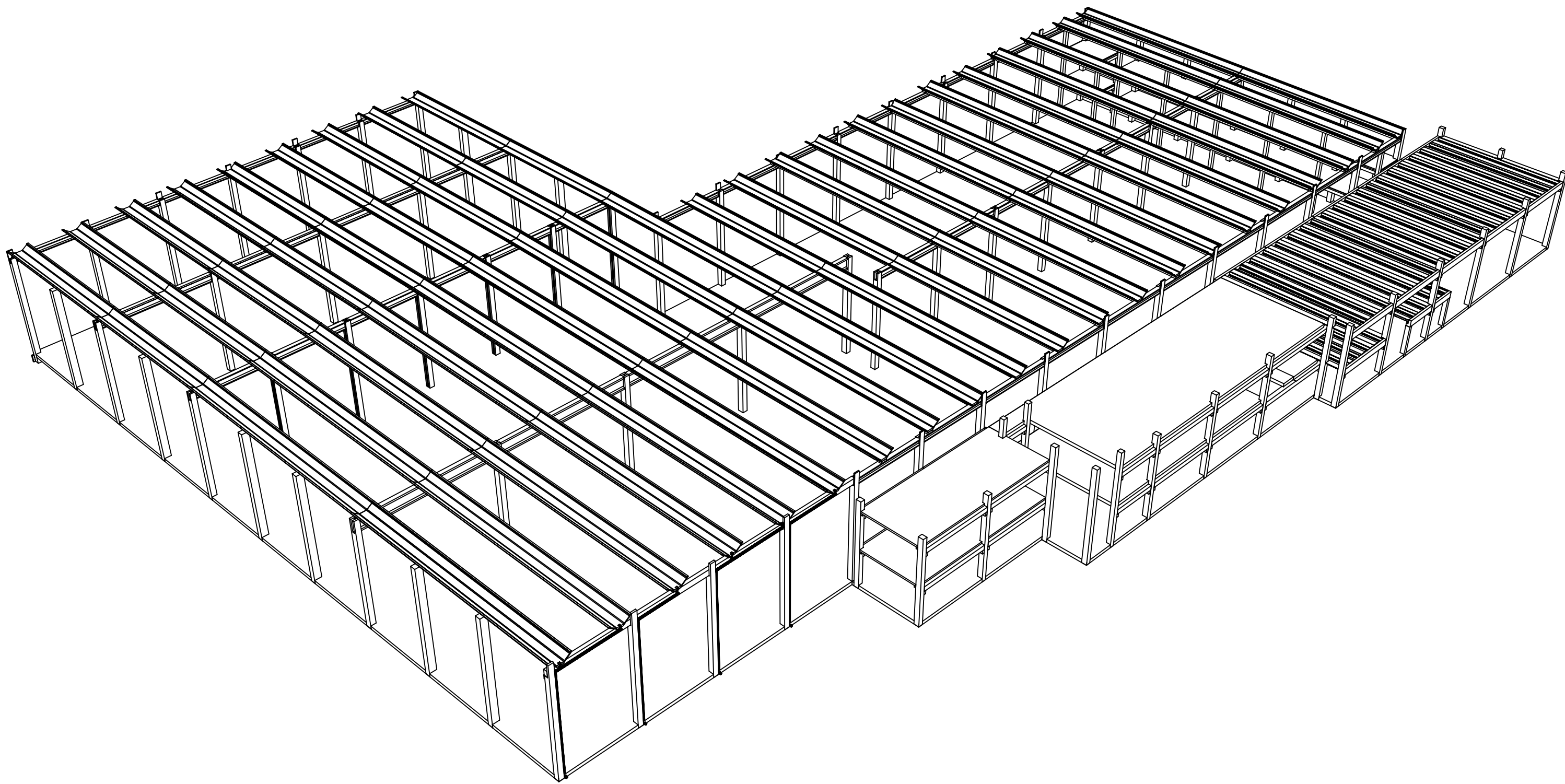




SECCIÓN 18  
Escala 1/200  
Cotas en cm



SECCIÓN 3  
Escala 1/200  
Cotas en cm



CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGÚN EHE						
	HORMIGÓN	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACIÓN	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigón
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860/7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	Intenso
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	
CONSIDERACIONES :						
1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.						
2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.						
3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.						
4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.						
5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.						

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25			ACERO : B-500-S				
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
POSICION II	25	30	35	45	60	95	155
	30	40	45	60	85	135	220

-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE  
LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE  
AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA  
PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA  
CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO,  
LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL  
TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACION DEL MISMO.

**ACCIONES A CONSIDERAR:**  
-PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)  
-CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².  
-SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².  
-MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m²  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)

**FORJADOS OFICINAS:**  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGÚN PLANOS.  
**FORJADOS NAVE:**  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².  
-JÁCENA I: R-60  
-MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².  
-ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

**RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS:**  
-ARTWIND: R-30  
-ARTLUM: R-30  
-JÁCENA I: R-60  
-PILARES: R-90  
-VIGAS DE FORJADO (R-L): R-90  
-PLACA ALVEOLAR: R-30

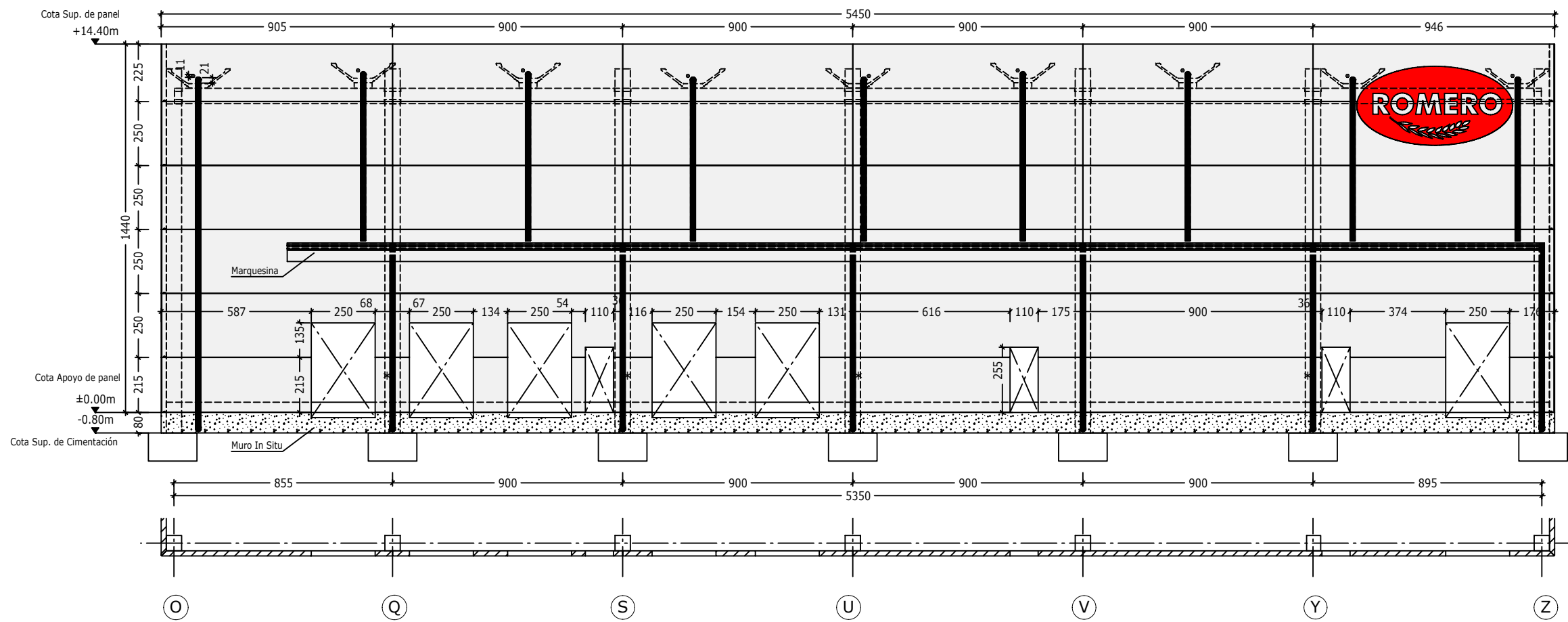
#### MODIFICACIONES:

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cumbrera.

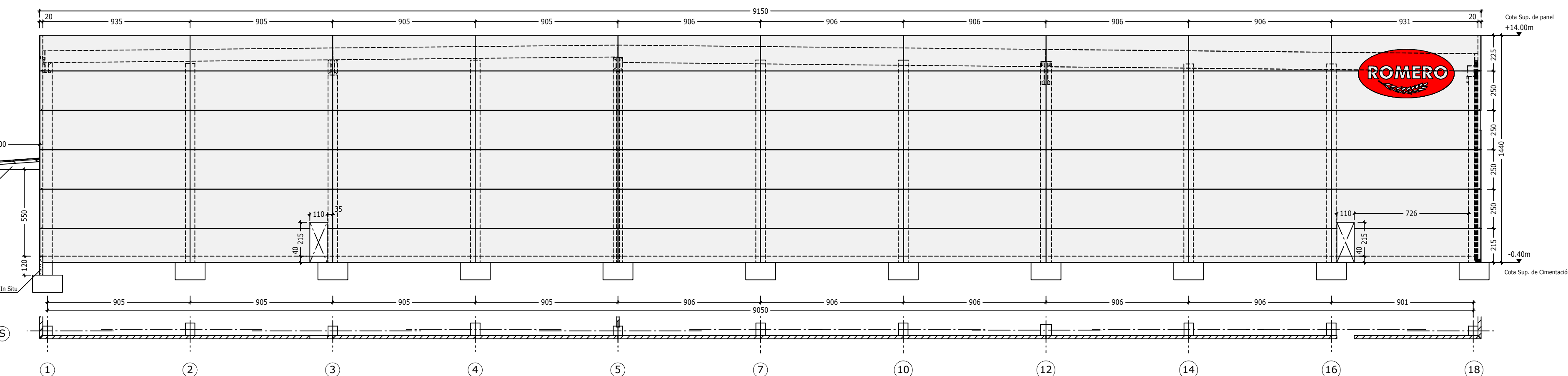


Nº de PLANO: 5 de 8	PLANO: SECCIONES II	V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: _____
REFERENCIA OBRA: PASTAS ROMERO	Nº REF: 1600313/M3	FECHA: _____
SITUACIÓN: DAROCA (ZARAGOZA)	ESCALA: 1/200	V.B. DPTO. TÉCNICO: _____
CLIENTE: IDOM	FECHA: 14-11-2016	

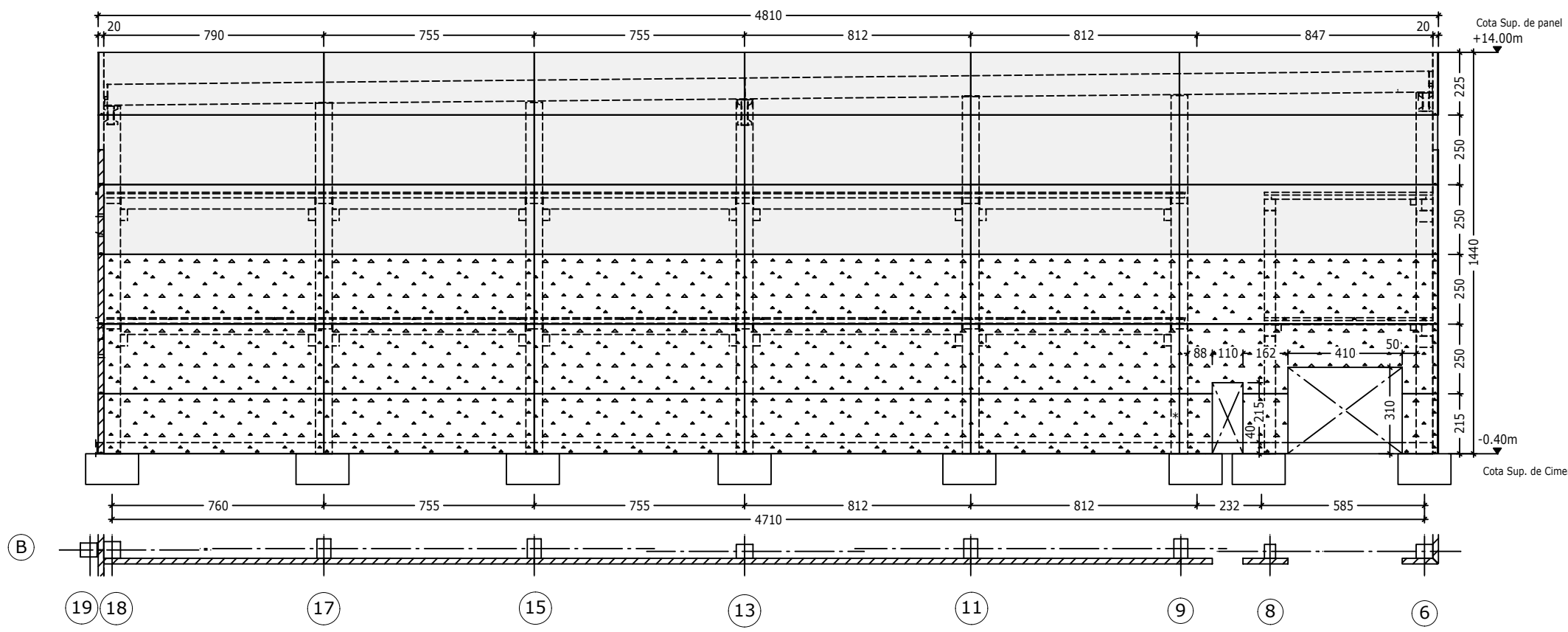




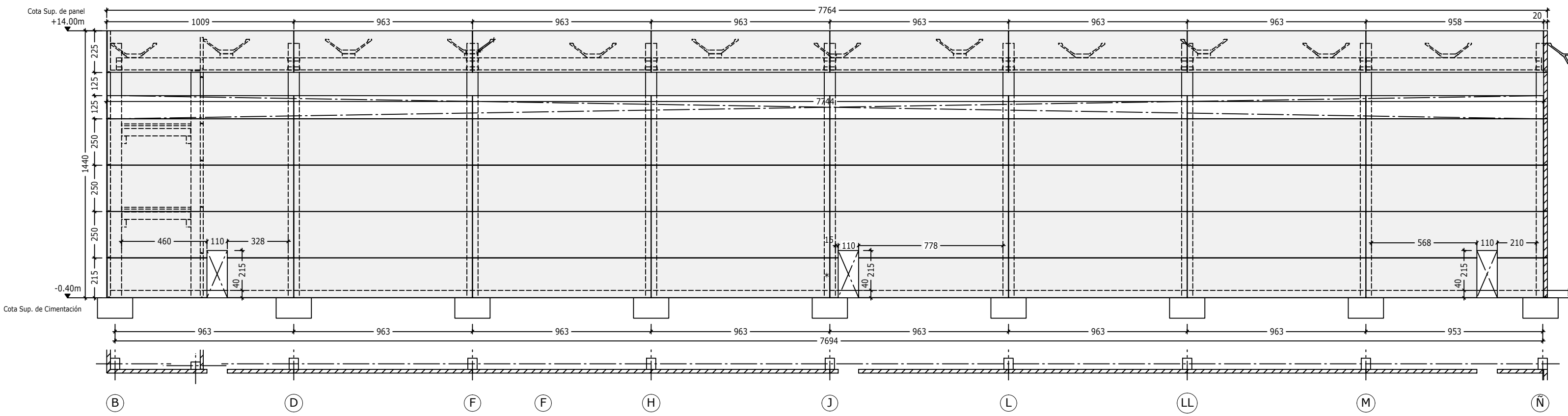
ALZADO 1  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
\* Berenjeno  
Escala 1/200  
Cotas en cm



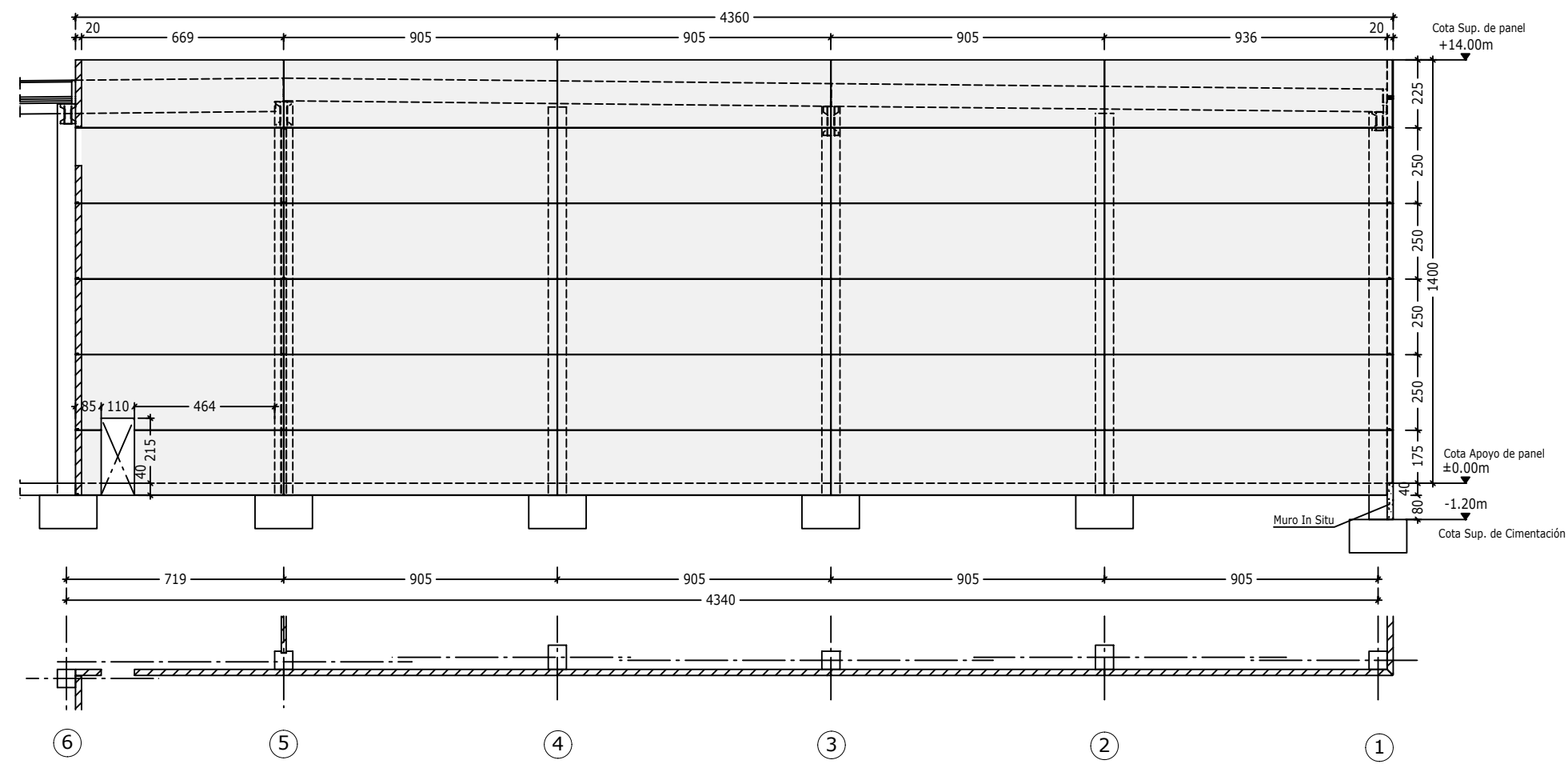
ALZADO Z  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Escala 1/200  
Cotas en cm



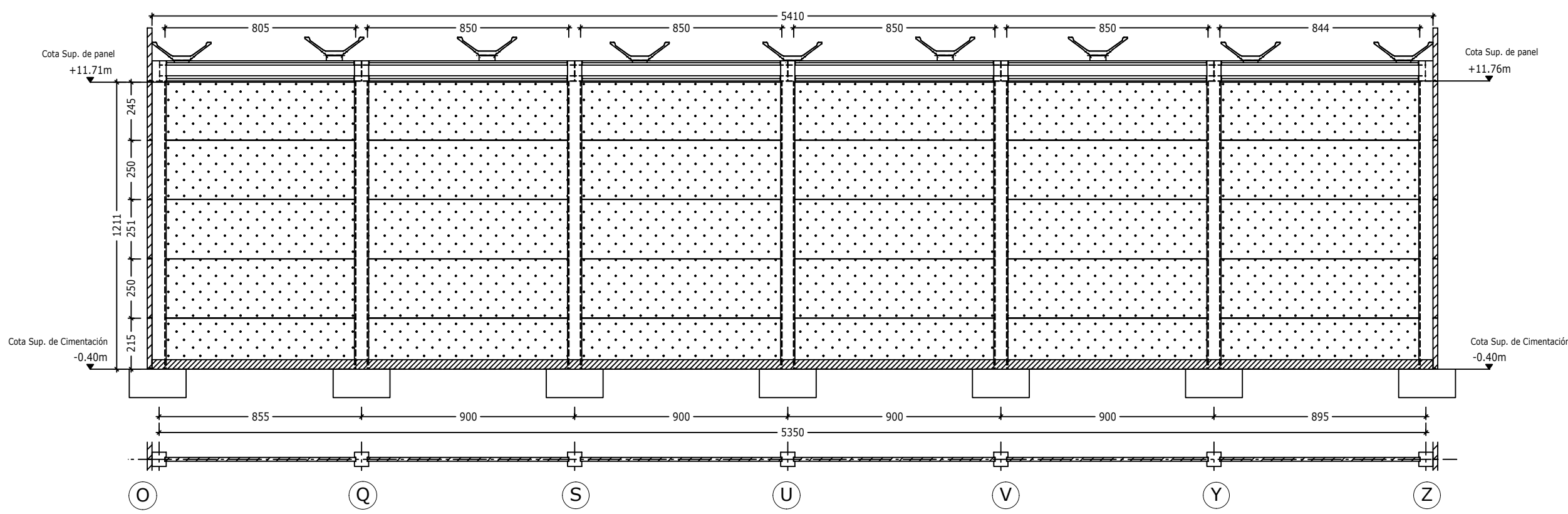
ALZADO B  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Gris Liso  
\* Berenjeno  
Escala 1/200  
Cotas en cm



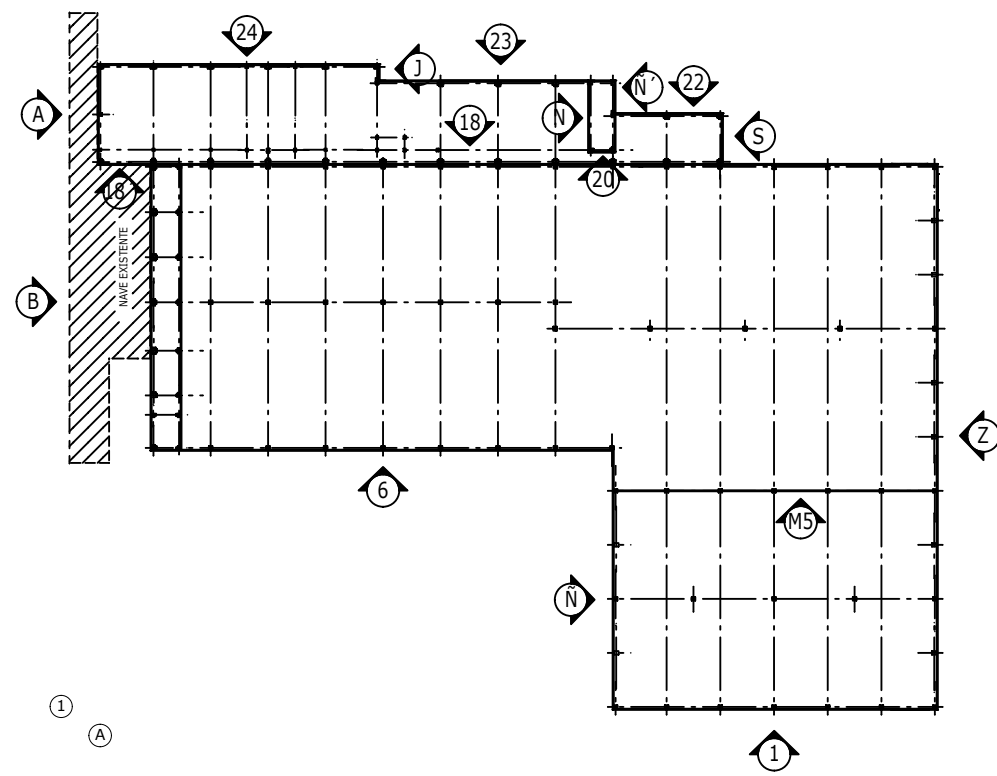
ALZADO 6  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
\* Berenjeno  
Escala 1/200  
Cotas en cm



ALZADO N  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Escala 1/200  
Cotas en cm



MEDIANERA 5  
Panel Horizontal Macizo 16 cm  
Acabado Gris Liso  
Escala 1/200  
Cotas en cm



RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE PANEL PREFABRICADOS:  
-ESPESOR 16 MACIZO: EI-120  
-ESPESOR 20 ALIGERADO: EI-30

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados
CONSIDERACIONES :						
1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.						
2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.						
3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.						
4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.						
5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.						

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25				ACERO : B-500-S			
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
	25	30	35	45	60	95	155
POSICION II	30	40	45	60	85	135	220

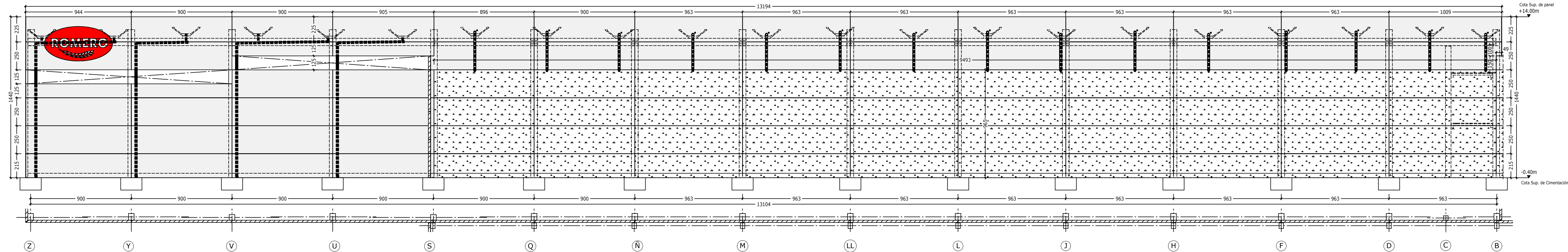
-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
-NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
-LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

ACCIONES A CONSIDERAR:  
-PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)  
-CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².  
-SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².  
-MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m².  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)  
-FORJADOS OFICINAS:  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGUN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGUN PLANOS.  
-FORJADOS NAVE:  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².  
-ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

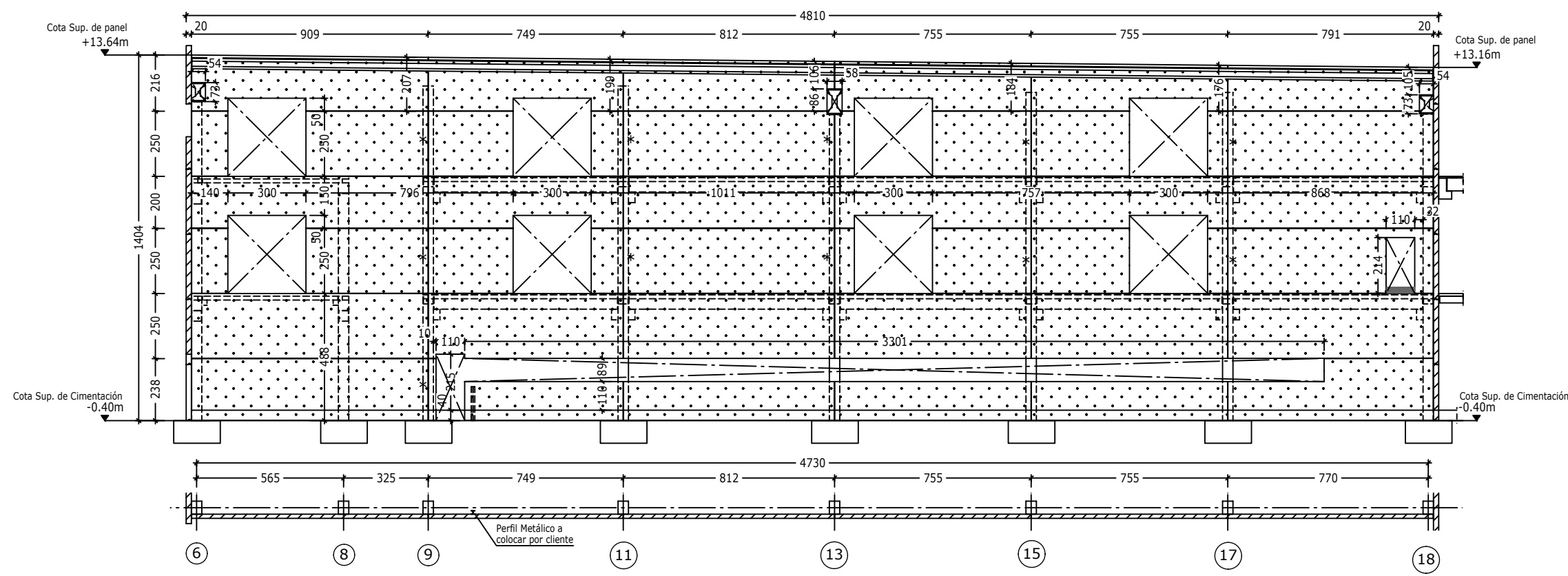
NOTAS DE PANELES:  
-ESPESOR DEL PANEL: 16 cm MACIZO  
20 cm (5+10+5).  
-ACABADOS:  
-FACHADAS: PANEL HORIZONTAL  
-BLANCO MACAEL  
-MEDIANERA: PANEL HORIZONTAL  
-GRIS LISO  
-PESO DEL PANEL:  
-16 cm MACIZO: 4.00 kN/m²  
-20 cm ALIGERADO: 3.60 kN/m²  
-PARA EL CÁLCULO DE PANELES ÚNICAMENTE SE TIENEN EN CUENTA EL PESO PROPIO DEL PANEL Y LA CARGA DE VIENTO.  
-APOYO DE PANELES A COTA -0.40 m.

MODIFICACIONES:		
MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiad sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cubrerna.
Nº de PLANO: 6 de 8	PLANO: ALZADOS I	V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: -
REFERENCIA OBRA: PASTAS ROMERO	Nº REF: 1600313/M3	FECHA:
SITUACIÓN: DAROCA (ZARAGOZA)	ESCALA: 1/200	V.B. DPTO. TÉCNICO: -
CLIENTE: IDOM	FECHA: 14-11-2016	
GRUPO GERARDO DE LA CALLE tecnico@artepref.com tel 947 50 46 00 fax 947 50 05 70 Ctra. Palencia km.2.8 09400 Aranda de Duero Burgos		

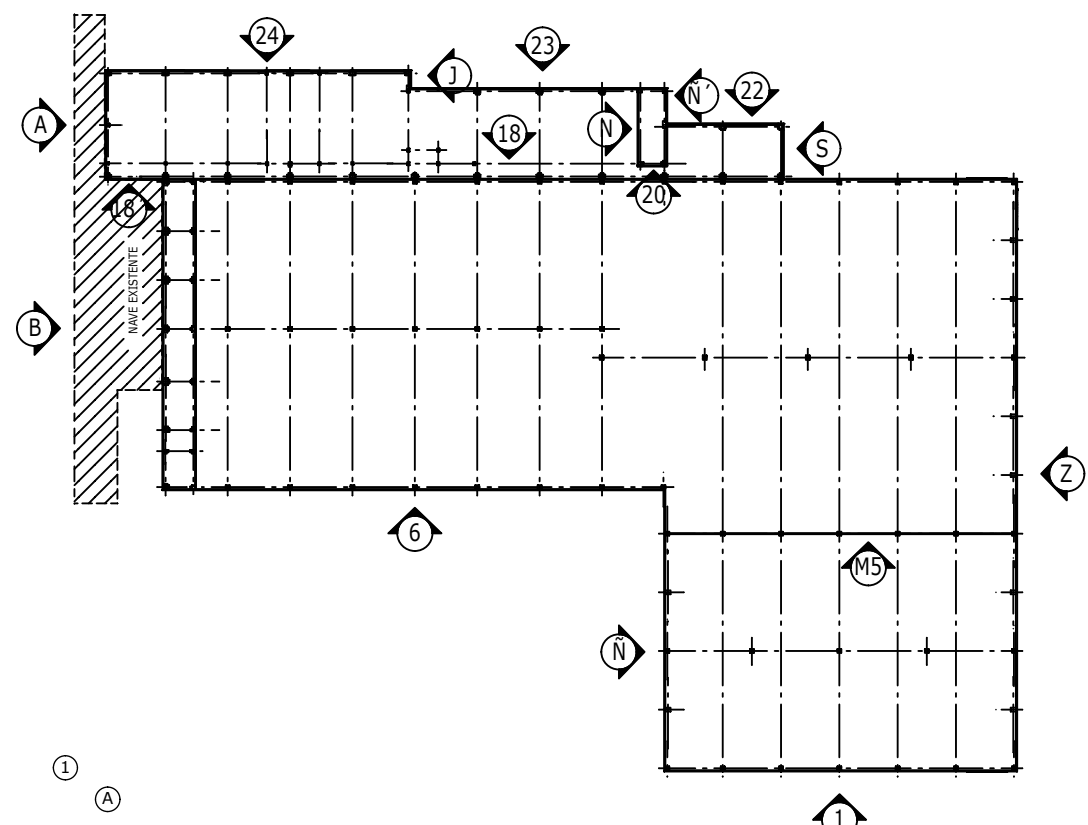
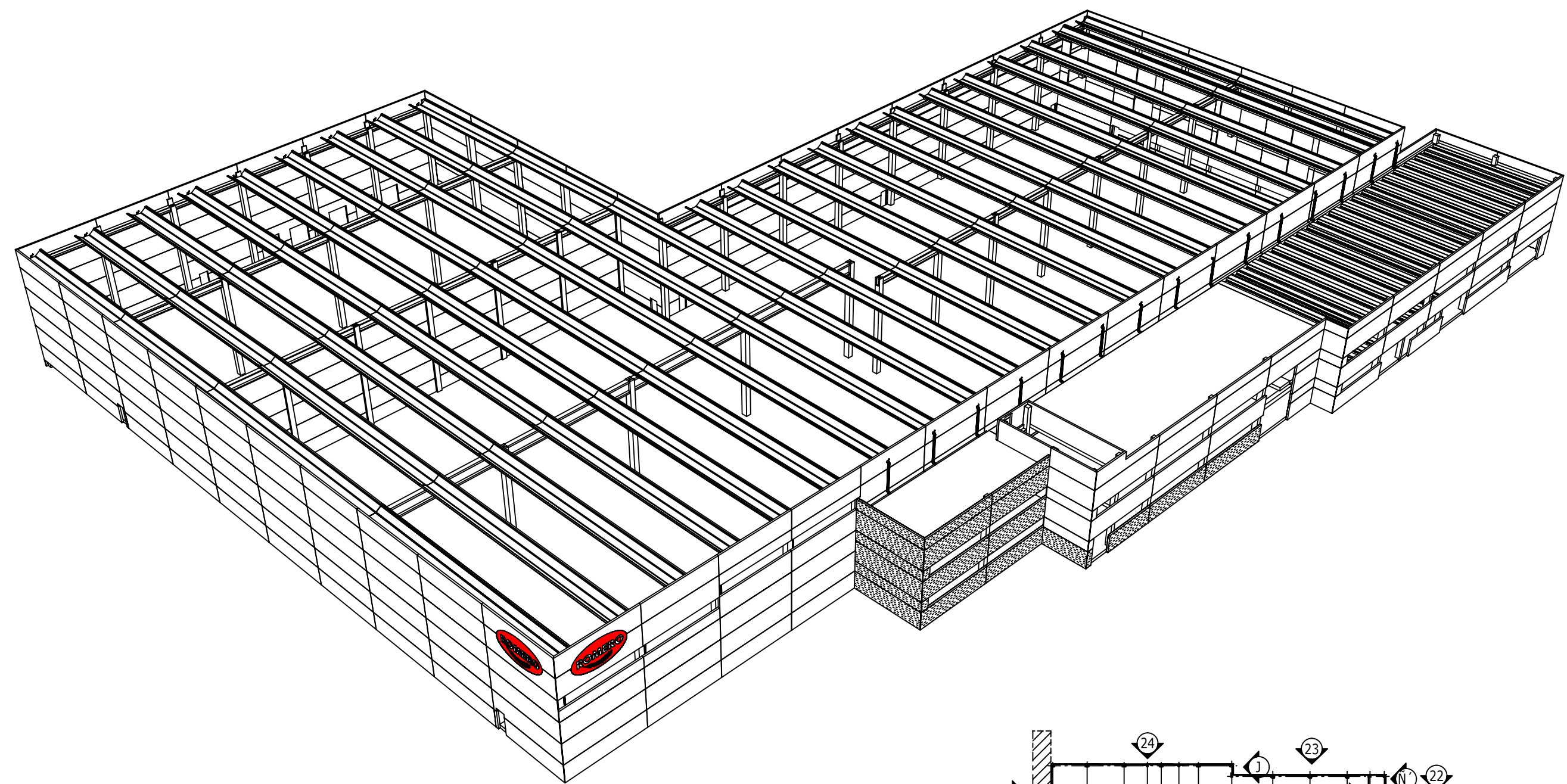




ALZADO 18  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Gris Liso  
Escala 1/200  
Cotas en cm



MEDIANERA C  
Panel Horizontal Macizo 16 cm  
Acabado Gris Liso  
Nervio a cortar en obra  
Berenjeno  
Escala 1/200  
Cotas en cm



RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE PANEL PREFABRICADOS:  
-ESPOSOR 16 MACIZO: EI-120  
-ESPOSOR 20 ALIGERADO: EI-30

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados
CONSIDERACIONES :						
1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.						
2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.						
3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.						
4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.						
5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.						

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25			ACERO : B-500-S				
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
POSICION II	25	30	35	45	60	95	155
	30	40	45	60	85	135	220

-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

ACCIONES A CONSIDERAR:  
-PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)  
-CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².  
-SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².  
-MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m²  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)  
-FORJADOS OFICINAS:  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADOS NAVE:  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².  
-ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

NOTAS DE PANELES:  
-ESPOSOR DEL PANEL: 16 cm MACIZO  
20 cm (5+10+5).  
-ACABADOS:  
-FACHADAS: PANEL HORIZONTAL  
-BLANCO MACAEL  
-MEDIANERA: PANEL HORIZONTAL  
-GRIS LISO  
-PESO DEL PANEL:  
-16 cm MACIZO: 4.00 kN/m²  
-20 cm ALIGERADO: 3.60 kN/m²  
-PARA EL CÁLCULO DE PANELES ÚNICAMENTE SE TIENEN EN CUENTA EL PESO PROPIO DEL PANEL Y LA CARGA DE VIENTO.  
-APOYO DE PANELES A COTA -0.40 m.

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cumbrera.

Artepref

EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA

Nº de PLANO:

7 de 8

PLANO:

ALZADOS II

REFERENCIA OBRA:

PASTAS ROMERO

Nº REF:

1600313/M3

SITUACIÓN:

DAROCA (ZARAGOZA)

CLIENTE:

IDOM

ESCALA:

1/200

V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA:

FECHA:

14-11-2016

V.B. DPTO. TÉCNICO:

GRUPO GERARDO DE LA CALLE

tecnico@artepref.com

tel 947 50 46 00

fax 947 50 05 70

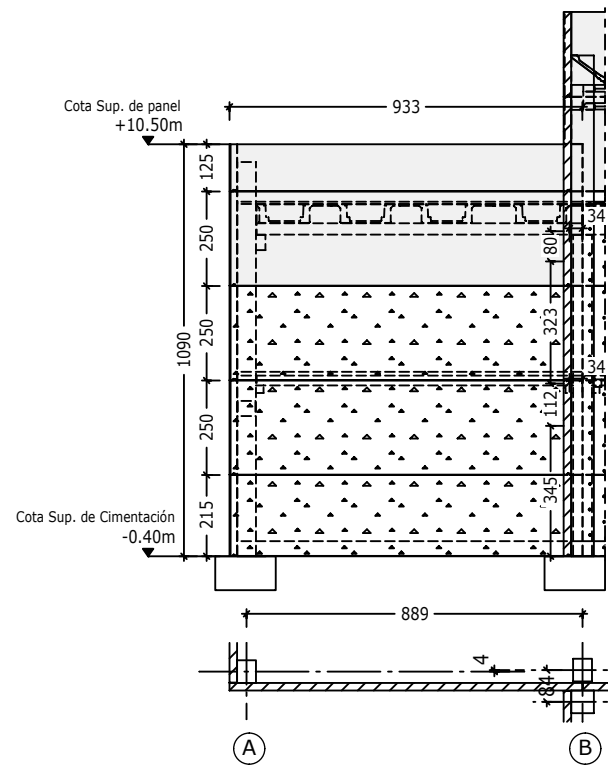
Ctra. Palencia km.2.8

09400

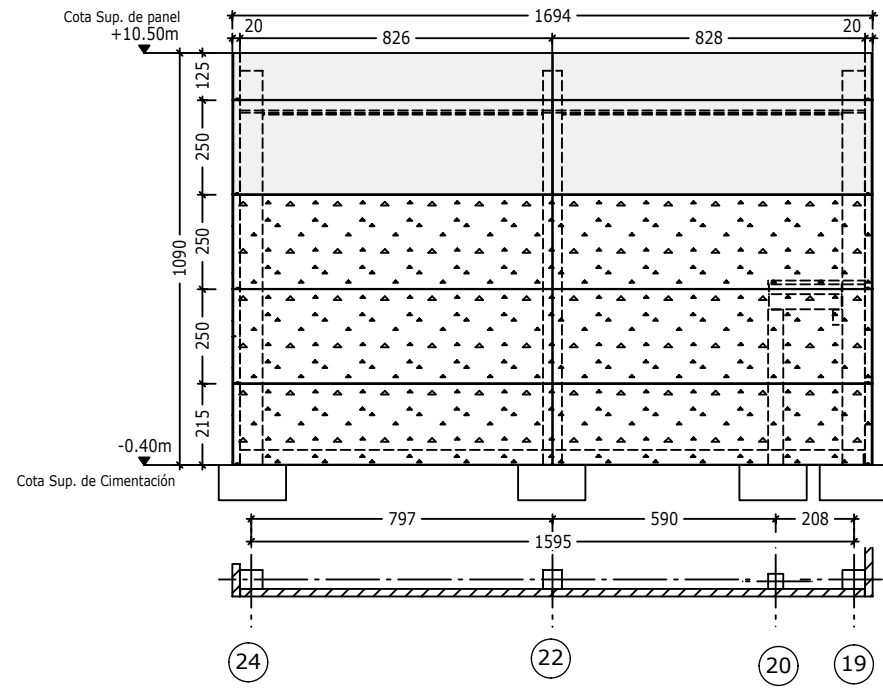
Aranda de Duero

Burgos

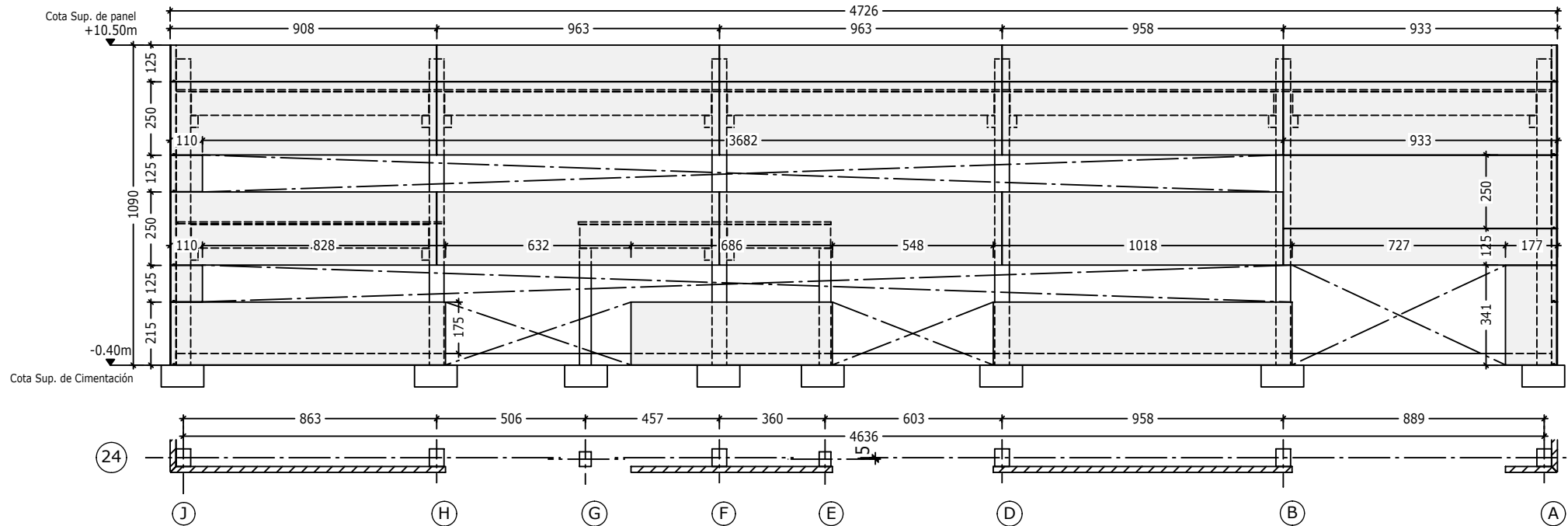




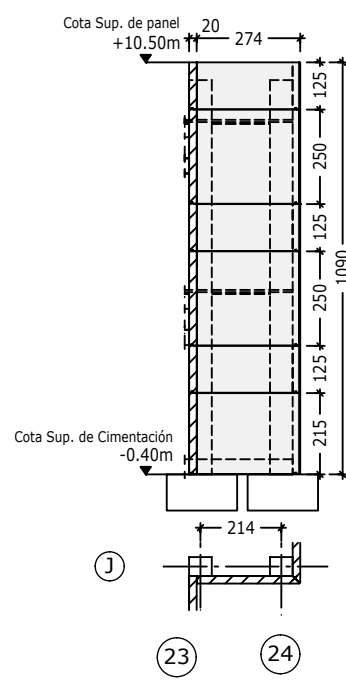
ALZADO 18'  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Gris Liso  
Escala 1/200  
Cotas en cm



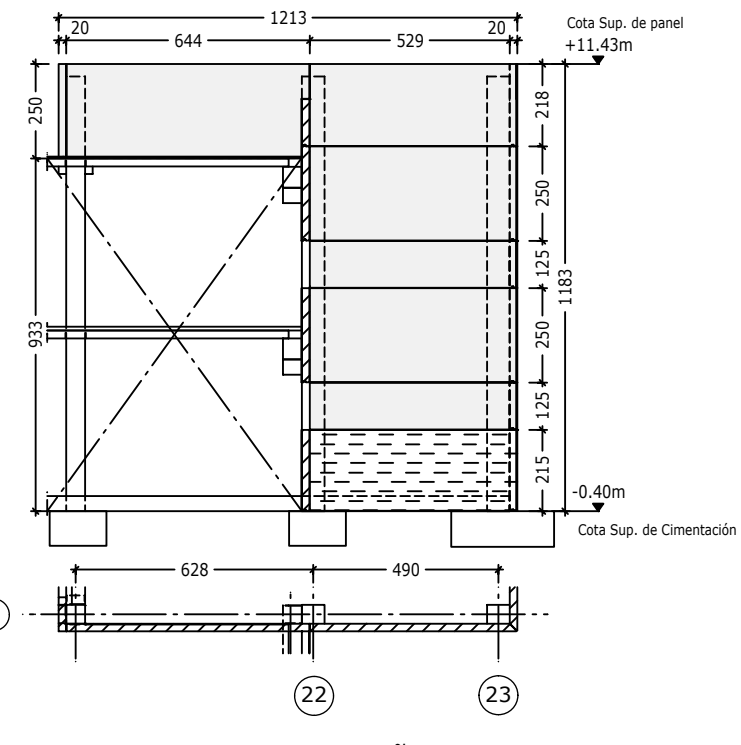
ALZADO A  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Gris Liso  
Escala 1/200  
Cotas en cm



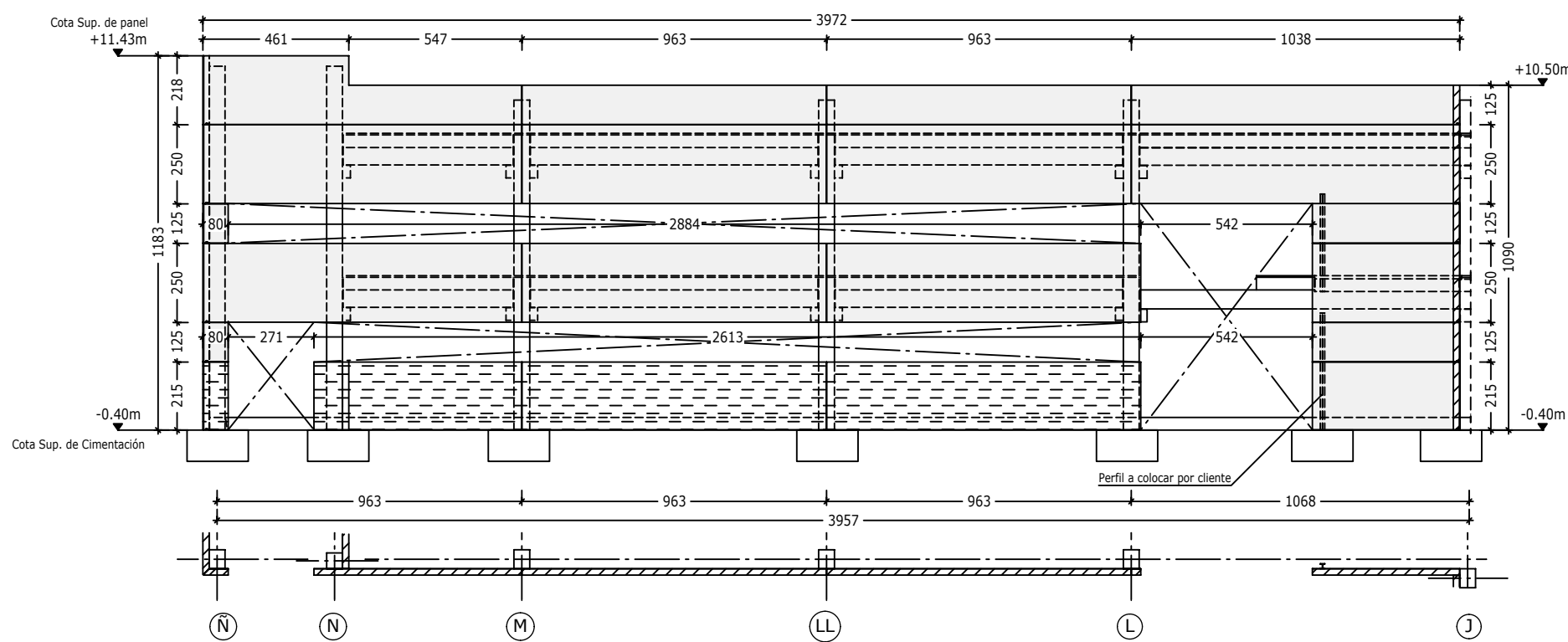
ALZADO 24  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Escala 1/200  
Cotas en cm



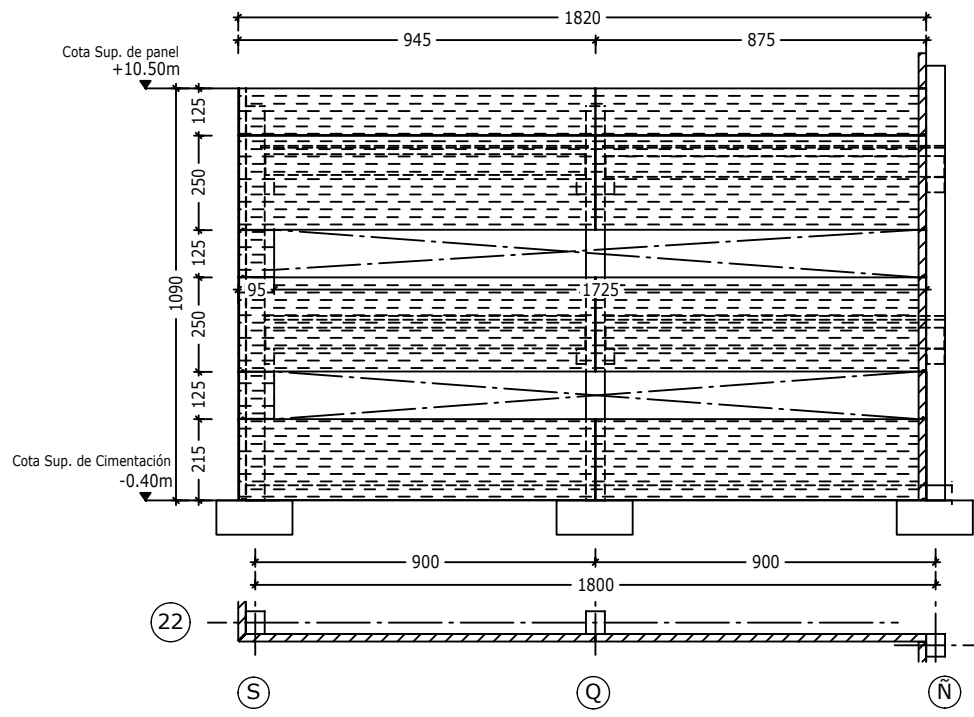
ALZADO J  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Escala 1/200  
Cotas en cm



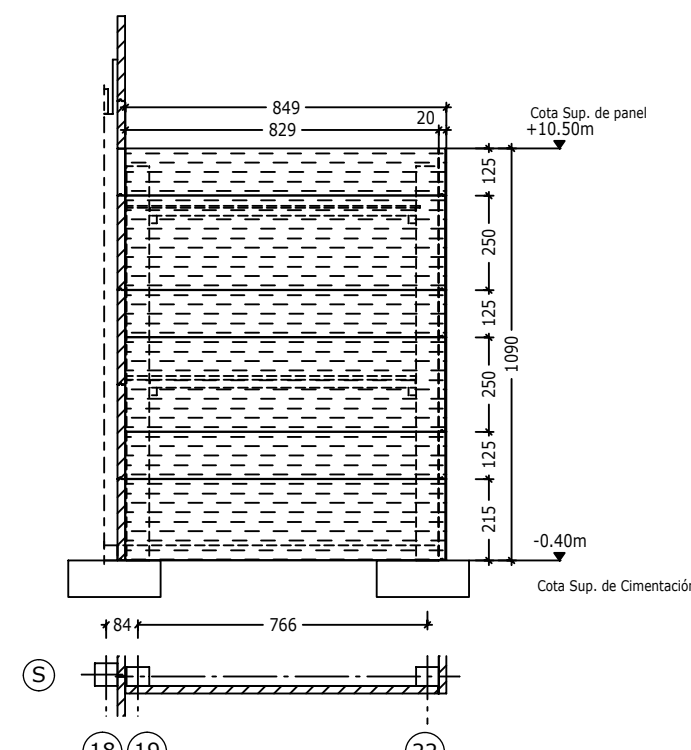
ALZADO Ñ'  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Texturizado  
Escala 1/200  
Cotas en cm



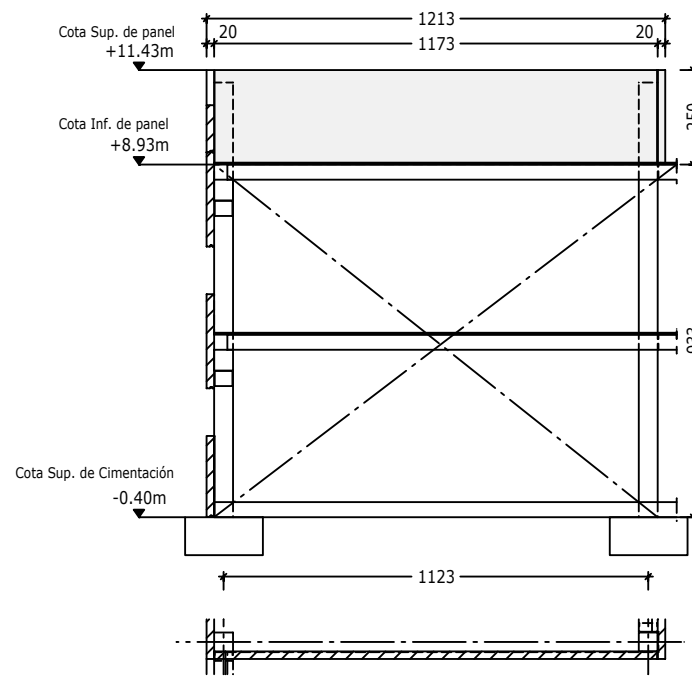
ALZADO 23  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Acabado Texturizado  
Escala 1/200  
Cotas en cm



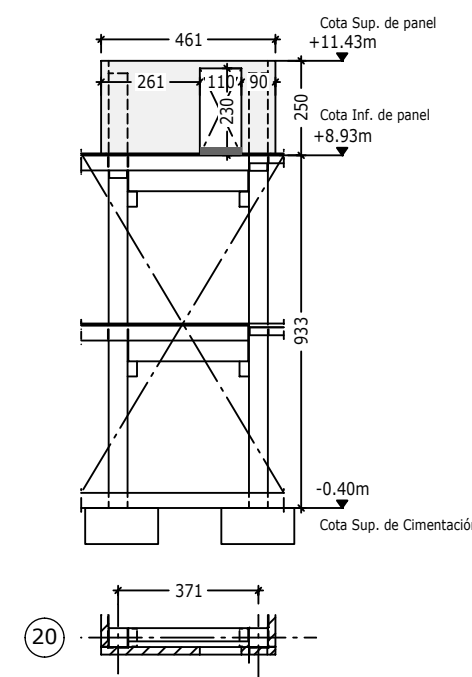
ALZADO 22  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Texturizado  
Escala 1/200  
Cotas en cm



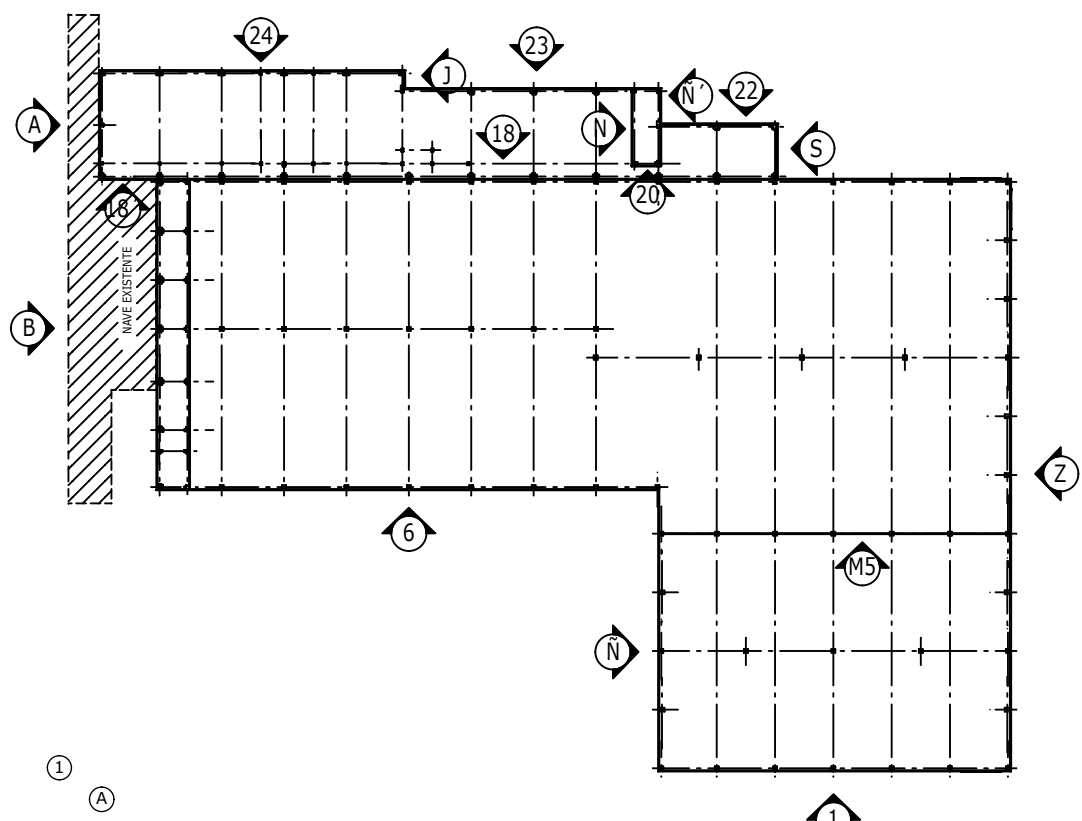
ALZADO S  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Texturizado  
Escala 1/200  
Cotas en cm



ALZADO N  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Escala 1/200  
Cotas en cm



ALZADO 20  
Panel Horizontal Aligerado 20 cm  
Acabado Blanco Macael  
Nervio a cortar en obra  
Escala 1/200  
Cotas en cm



RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO DE PANEL PREFABRICADOS:  
-ESPESOR 16 MACIZO: EI-120  
-ESPESOR 20 ALIGERADO: EI-30

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE								
	HORMIGON	ACERO	Y <sub>c</sub>	Y <sub>s</sub>	(perm./var.)		NIVEL DE CONTROL	
CIMENTACION	HA-25/B/40/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50		Acero y Hormigon	Intenso
MUROS	HA-25/B/25/I/a	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50			
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50			
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50			
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50			
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50			
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados		
CONSIDERACIONES :								
1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO.								
2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm.								
3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm.								
4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS.								
5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.								

CUADRO DE LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS SEGUN EHE							
HORMIGON : HA-25				ACERO : B-500-S			
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE (cm)							
POSICION I	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
POSICION II	25	30	35	45	60	95	155
	30	40	45	60	85	135	220

-EL CONSTRUCTOR DEBERÁ REALIZAR FERRALLADO Y HORMIGONADO DE :  
NEGATIVOS, MALLAZO Y CAPA DE COMPRESION.  
-LA COTA SUPERIOR DE LA VIGA RIOSTRA DEBERÁ ESTAR COMPLETAMENTE LISA Y NIVELADA.  
-EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPRESION INDICADA EN EL PLANO CORRESPONDE AL VALOR MÍNIMO QUE DEBE GARANTIZARSE EN EL CENTRO DEL VANO.  
-LA EMPRESA CONSTRUCTORA DEBE PREVER QUE DEBIDO A LA CONTRAFLECHA PROVOCADA POR EL PRETENSADO EN LOS ELEMENTOS, EL ESPESOR MEDIO DE LA CAPA DE COMPRESION SE INCREMENTARÁ EN FUNCION DE LA LONGITUD DEL VANO, LAS CARGAS DE DISEÑO Y EL CANTO DEL ELEMENTO PREFABRICADO ASÍ COMO EL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA FABRICACIÓN DEL MISMO.

ACCIONES A CONSIDERAR:  
-PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO: 0.45 kN/m².  
(Grado de aspereza III)  
-CARGA DE CUBIERTA: 0.45 kN/m².  
-SOBRECARGA DE NIEVE: 1.10 kN/m².  
-MANTENIMIENTO CUBIERTA: 0.40 kN/m²  
(No se acumula a la sobrecarga de nieve)  
-FORJADOS OFICINAS:  
-FORJADO PLANTA 1ª: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADO CUBIERTA: SEGÚN PLANOS.  
-FORJADOS NAVE:  
-ENTRE ALINEACIONES 6-8:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 10.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².  
-ENTRE ALINEACIONES 8-18:  
-S.C.U. DE FORJADOS: 5.00 kN/m².  
-C. MUERTAS FORJADOS: 2.00 kN/m².

NOTAS DE PANELES:  
-ESPESOR DEL PANEL: 16 cm MACIZO  
20 cm (5+10+5).  
-ACABADOS:  
-FACHADAS: PANEL HORIZONTAL  
-BLANCO MACAEL  
-MEDIANERA: PANEL HORIZONTAL  
-GRIS LISO  
-PESO DEL PANEL:  
-16 cm MACIZO: 4.00 kN/m²  
-20 cm ALIGERADO: 3.60 kN/m²  
-PARA EL CÁLCULO DE PANELES ÚNICAMENTE SE TIENEN EN CUENTA EL PESO PROPIO DEL PANEL Y LA CARGA DE VIENTO.  
-APOYO DE PANELES A COTA -0.40 m.

MODIFICA A:	DE FECHA:	DESCRIPCIÓN:
1600313/M2	26-10-2016	Cambio forjados interior de la nave, nuevo reparto artwind. Modificadas cargas forjados oficinas.
1600313/M1	25-07-2016	Cambiada sección pilares nave y oficina. Cambios en oficina. Cambios cubierta.
1600313	23-06-2016	Cambia artwind 110 por artwind 75 y 85. Distribución de pilares y cambio de cubrerna.



Nº de PLANO: 8 de 8	PLANO: ALZADOS OFICINAS	V.B. CLIENTE o DIR. FACULTATIVA: _____
REFERENCIA OBRA: PASTAS ROMERO	Nº REF: 1600313/M3	FECHA: _____
SITUACIÓN: DAROCA (ZARAGOZA)	ESCALA: 1/200	V.B. DPTO. TÉCNICO: _____
CLIENTE: IDOM	FECHA: 14-11-2016	

# ANEXO II. PROCESO DETALLADO DE CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

## 1 Objeto

El presente anexo pretende recoger todo el proceso detallado en que los planos del anexo previo se convierten en un modelo geométrico dentro del software Autodesk Revit. Supone una ampliación del apartado 4 de la memoria, “Modelización de la estructura”.

## 2 Primeros pasos: unidades de proyecto, rejilla, y niveles.

Como se había empezado a decir en el apartado 4, todo proyecto ha de comenzar con una correcta definición de las unidades que se van a utilizar. En el menú configuración, dentro de la pestaña “Gestionar”, se puede acceder al apartado de “Unidades de Proyecto”:

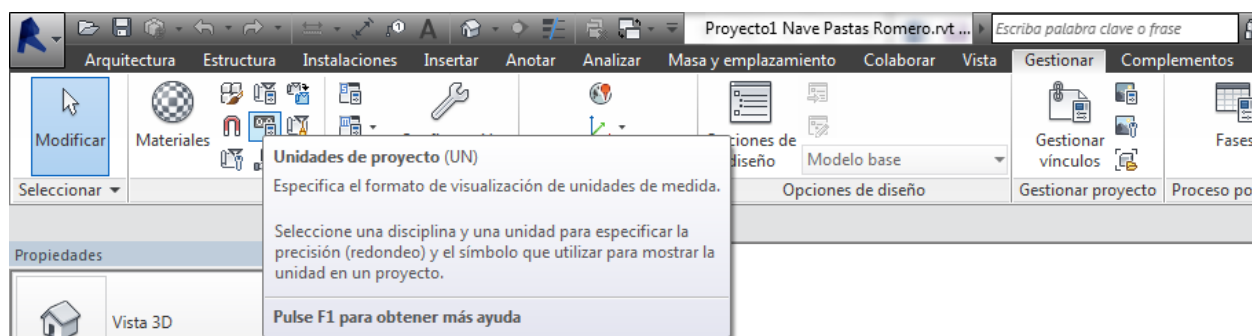


Figura 63 Localización menú “Unidades de proyecto”

Dentro del menú de Unidades de proyecto, se puede acceder a varias disciplinas. Dos son las que nos interesan: la disciplina común, donde se establecen unidades para las medidas de longitudes, áreas, volúmenes, áreas,... y la disciplina de estructura, donde se tiene acceso a la modificación de unidades para medidas de fuerzas, momentos, etc.

The dialog box 'Unidades de proyecto' is shown with the 'Disciplina' dropdown set to 'Común'. It contains a table with two columns: 'Unidades' and 'Formato'. The table lists the following units and their corresponding formats:

Unidades	Formato
Longitud	1234.568 m
Área	1235 m <sup>2</sup>
Volumen	1234.57 m <sup>3</sup>
Ángulo	12.35°
Pendiente	12.35°
Divisa	1234.57
Densidad de masa	1234.57 kg/m <sup>3</sup>

Below the table, there is a label 'Símbolo decimal/agrupación de cifras:' followed by a dropdown menu showing '123,456,789.00'. At the bottom, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

Figura 64 Unidades de proyecto. Disciplina común

The dialog box 'Unidades de proyecto' is shown with the 'Disciplina' dropdown set to 'Estructura'. It contains a table with two columns: 'Unidades' and 'Formato'. The table lists the following units and their corresponding formats:

Unidades	Formato
Fuerza	1234.57 kN
Fuerza lineal	1234.57 kN/m
Fuerza superficial	1234.57 kN/m <sup>2</sup>
Momento	1234.57 kN-m
Momento lineal	1234.57 kN-m/m
Esfuerzo	1234.6 MPa
Unidad de peso	1234.6 kN/m <sup>3</sup>
Peso	1234.57 kN
Masa	1234.57 kg
Masa por área de unidad	1234.57 kg/m <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatación térmica	1234.56789 1/°C
Coefficiente de muelle de punto	1234.6 kN/m
Coefficiente de muelle de línea	1234.6 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente de muelle de área	1234.6 kN/m <sup>3</sup>

Below the table, there is a label 'Símbolo decimal/agrupación de cifras:' followed by a dropdown menu showing '123,456,789.00'. At the bottom, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Ayuda'.

Figura 65 Unidades de proyecto. Disciplina estructura

Será muy importante establecer metros como unidad de longitud, y kN para unidades de fuerza.

Como continuaba el apartado 4, el proceso que sigue es la generación de la rejilla y los niveles que definirán el espacio tridimensional en que estará contenida la estructura. Sirviéndose de los planos del Anexo I, la rejilla se genera haciendo coincidir los ejes presentes en los mismos (que coinciden con los ejes de colocación de pilares). Desde la pestaña “Referencia”, en Revit se accede a la orden Rejilla, a partir de la cual se va generando poco a poco, y siguiendo las dimensiones de los planos, la rejilla del trabajo: de abajo a arriba (1-18) y de izquierda a derecha (A-U):

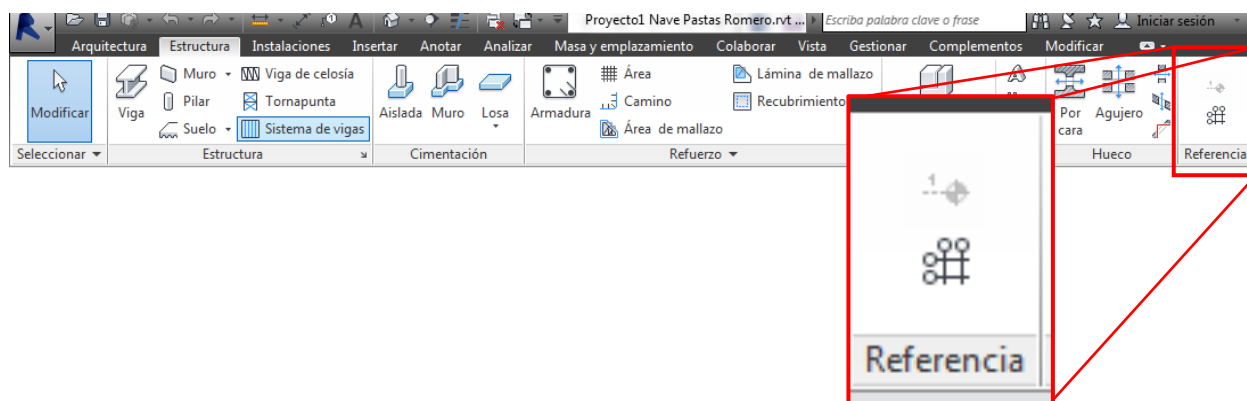


Figura 66 Localización comando rejilla y nivel

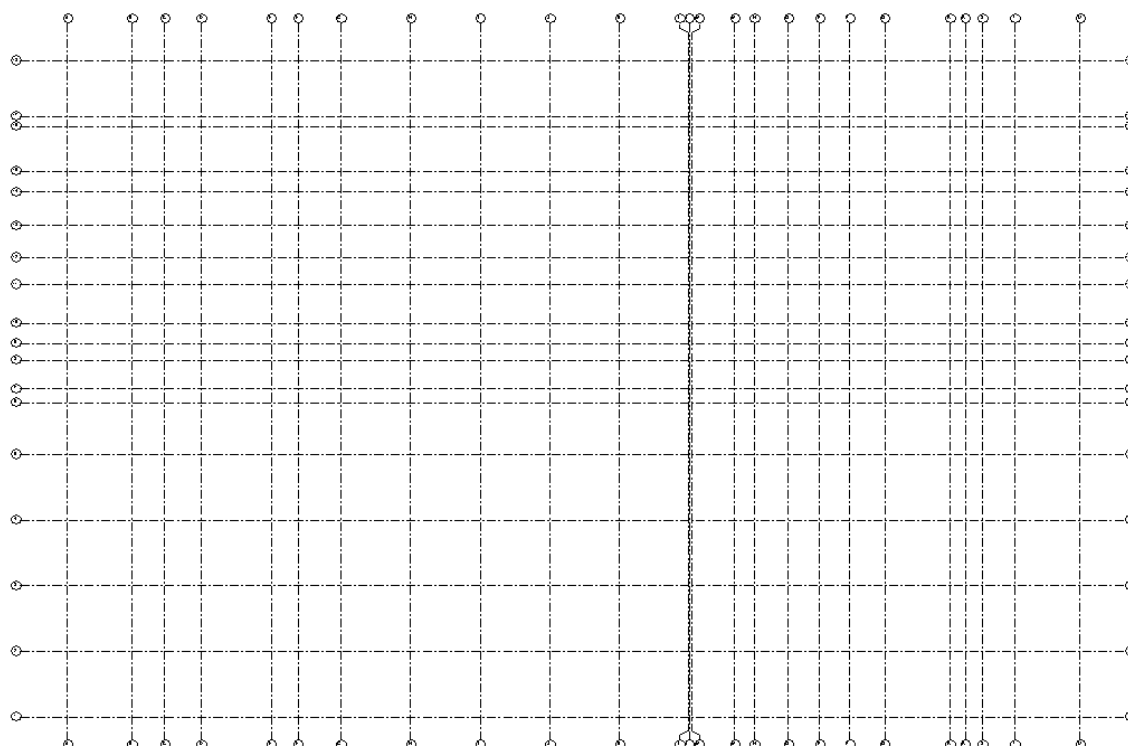


Figura 67 Rejilla completa del modelo

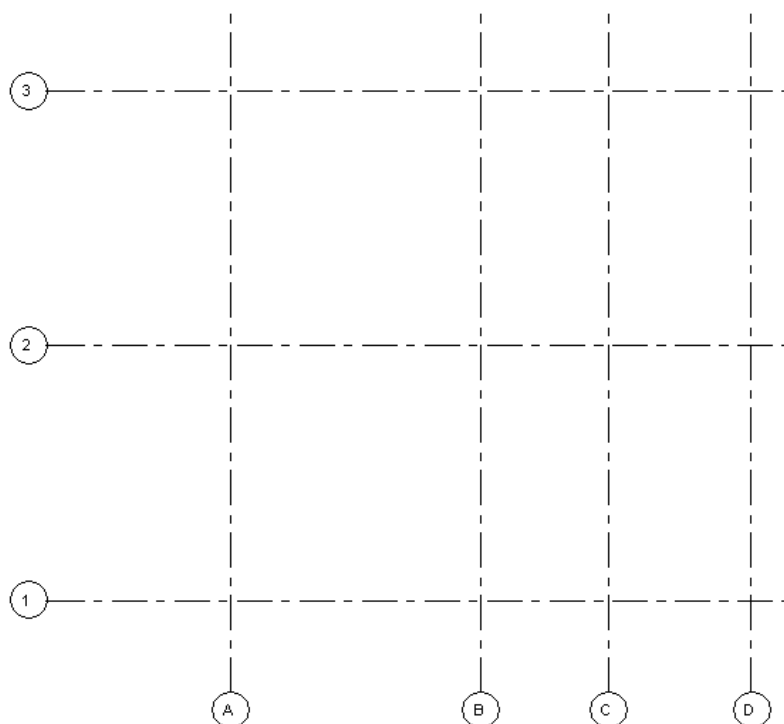


Figura 68 Detalle esquina inferior izquierda de la rejilla del modelo

La tercera dimensión de referencia se le da al modelo mediante niveles. Igual que las líneas de rejilla responden a las distancias entre pilares, estos niveles responden a las distintas alturas que encontramos en el diseño preliminar. Hay que irse a una vista de perfil en el modelo, y desde la misma pestaña de Referencia que contenía la orden de Rejilla, se accede a la orden Nivel. Gracias a ella, se procede a la colocación de éstos:

▪ $h_{\text{cimentación}}$	- 0.40 m	▪ $h_{11}$	12.45 m
▪ $h_{\text{Cota 0}}$	0.00 m	▪ <b><math>h_{12}</math></b>	<b>12.33 m</b>
▪ <b><math>h_1</math></b>	<b>12.27 m</b>	▪ <b><math>h_{13}</math></b>	<b>12.29 m</b>
▪ $h_2$	12.43 m	▪ $h_{14}$	12.3 m
▪ <b><math>h_3</math></b>	<b>12.45 m</b>	▪ $h_{15}$	12.28 m
▪ $h_4$	12.51 m	▪ $h_{16,17}$	12.20 m
▪ <b><math>h_5</math></b>	<b>12.61 m</b>	▪ <b><math>h_{18I}</math></b>	<b>12.08 m</b>
▪ <b><math>h_6</math></b>	<b>12.54 m</b>	▪ <b><math>h_{18R}</math></b>	<b>12.08 m</b>
▪ $h_7$	12.51 m	▪ $h_{\text{forjado 1}}$	4.28 m
▪ $h_9$	12.52 m	▪ $h_{\text{forjado 2}}$	8.78 m
▪ $h_{10}$	12.42 m	▪ $h_{\text{panel}}$	14 m

En este modelo, las rejillas se han diferenciado las horizontales (1-18) de las verticales (A-U), y los niveles responden a las cotas tope de pilares que encontramos en cada rejilla (representadas en negrita aquellos niveles que corresponden con las rejillas que contendrán vigas salvapilares).

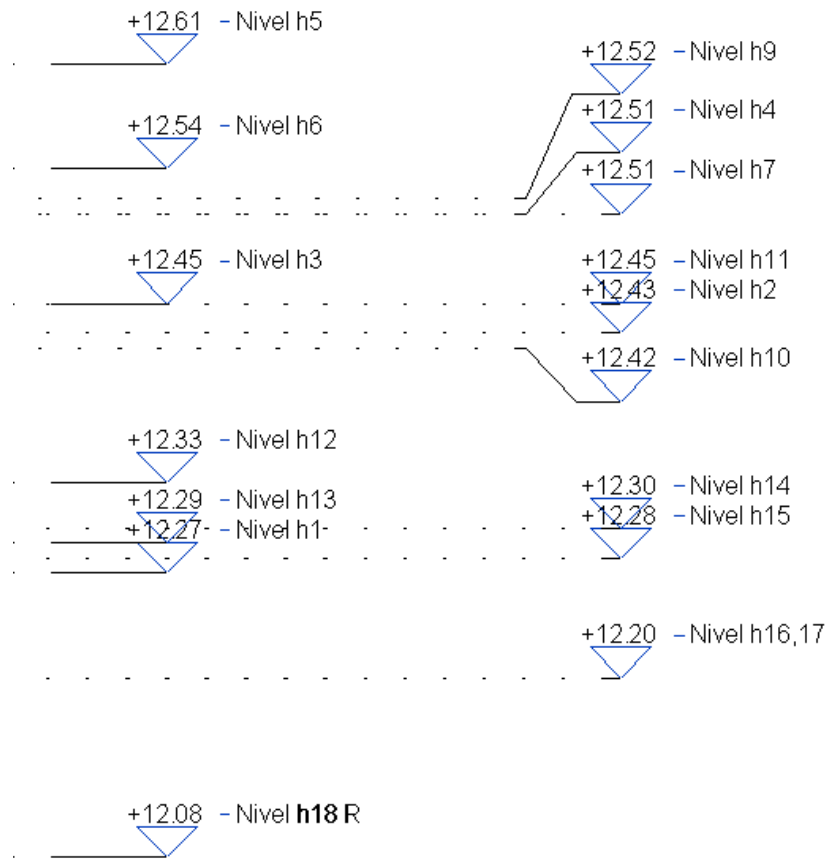


Figura 69 Niveles de cubierta del modelo en Revit

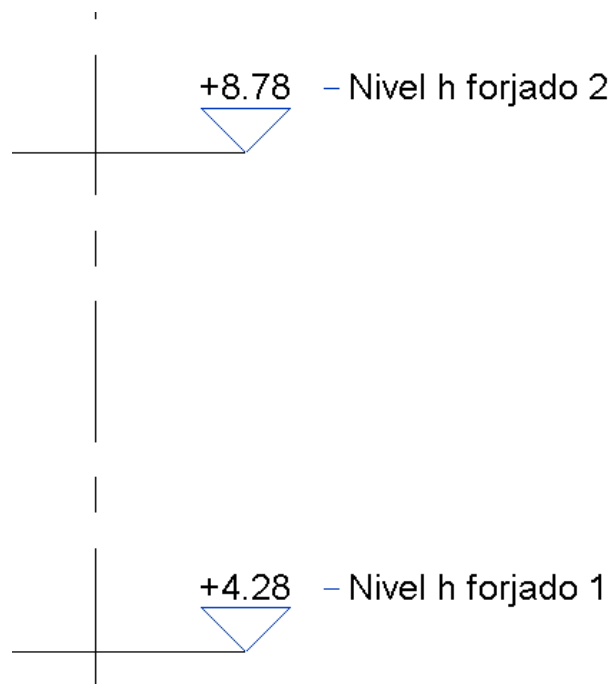


Figura 70 Niveles de forjado del modelo en Revit



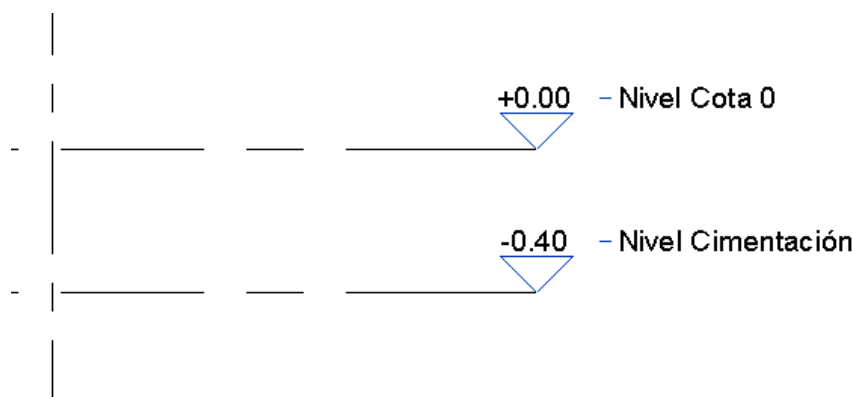


Figura 71 Niveles de cota 0 y cimentación en Revit

### 3 Pilares

Una vez generada una rejilla correcta y unos niveles a los que llevar su parte superior, la colocación de pilares se convierte en una tarea especialmente sencilla, con la única complicación de saber manejarse con las bibliotecas de elementos de Revit, y saber generar nuevos tipos de pilar para aquéllos que no vienen definidos por defecto en sus bibliotecas.

Para colocar los pilares estructurales, hay que acceder a la pestaña “Estructura”, y en el submenú “estructura”, se encuentra el comando de colocar pilar estructural:

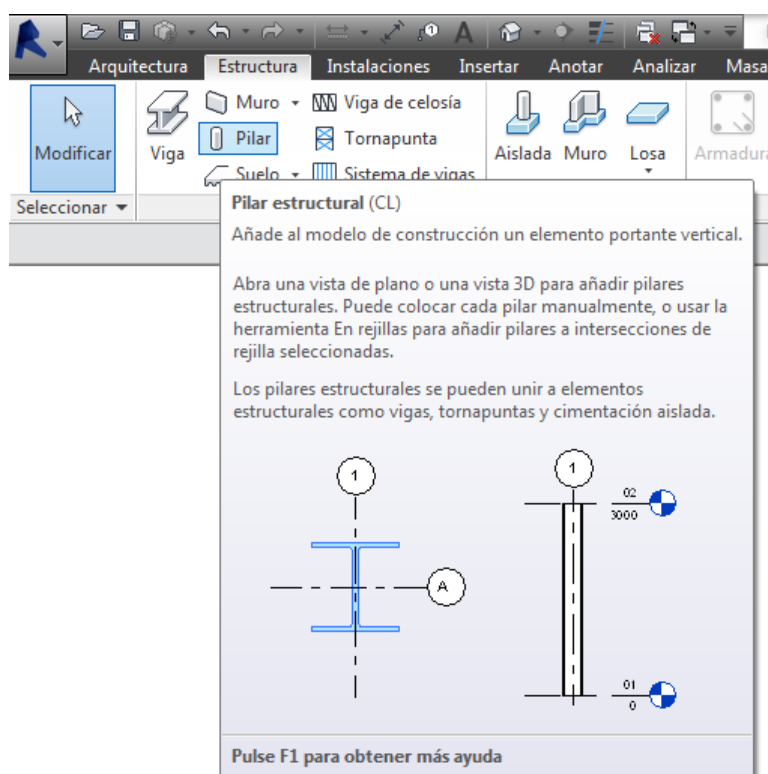


Figura 72 Localización pilar estructural en Revit

Se reproduce la disposición y sección de los pilares que se puede ver en los planos del Anexo I:

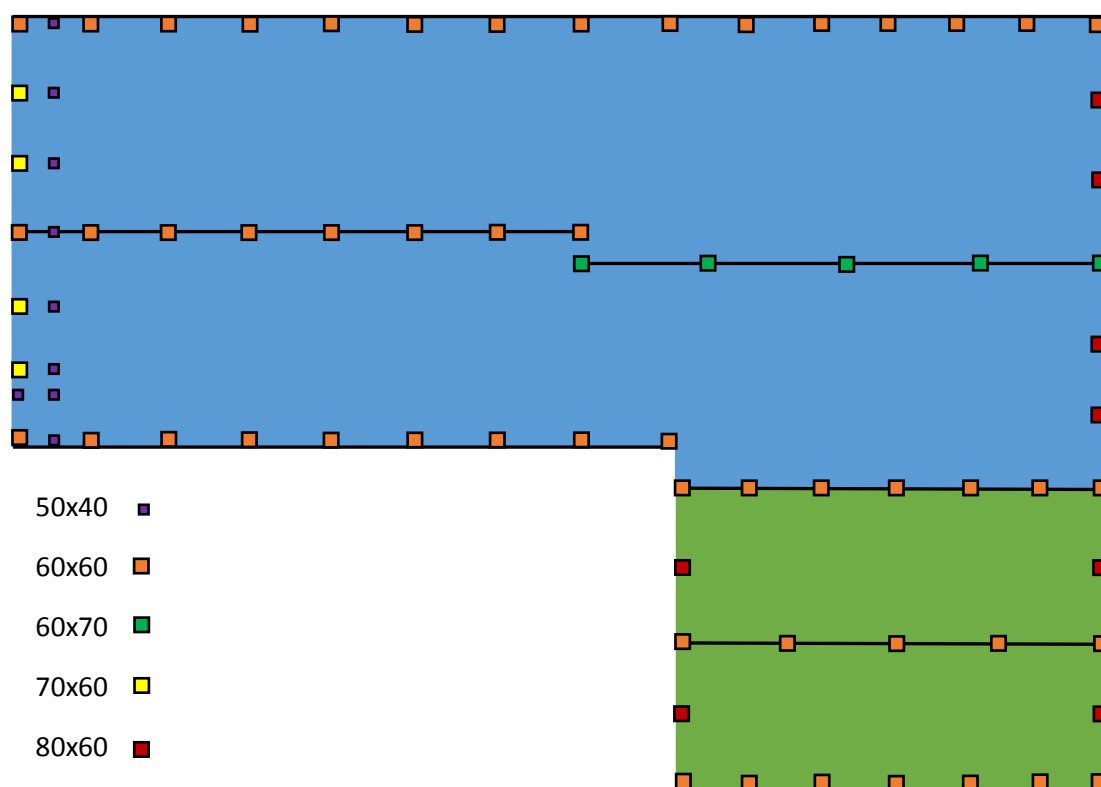


Figura 73 Disposición y sección de pilares

Revit dispone de una familia de pilar rectangular con varias secciones por defecto. Por desgracia, no todas ellas responden a las necesidades que tiene el presente proyecto, y por tanto tuvieron que generarse, a partir de esta familia, distintos tipos con secciones distintas para amoldarse a las dimensiones que definían los planos. Para realizar este proceso, se ha tomado como ejemplo la familia “pilar rectangular de hormigón”, y el tipo “400x400 mm” como punto de partida:

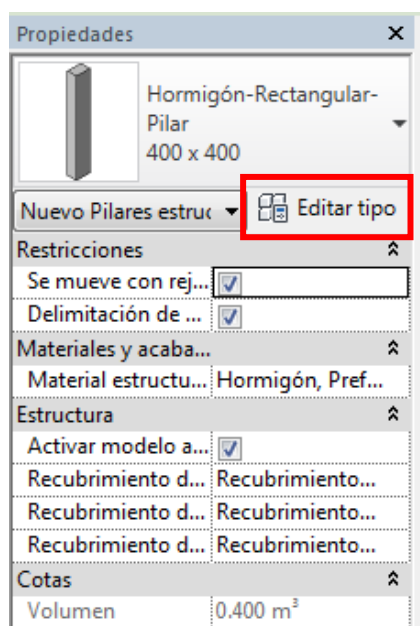


Figura 74 Ventana Propiedades de un pilar genérico 40x40cm

En la ventana de Propiedades, se puede hacer click en la pestaña “Editar tipo”, remarcada en la figura previa, para acceder al siguiente menú:

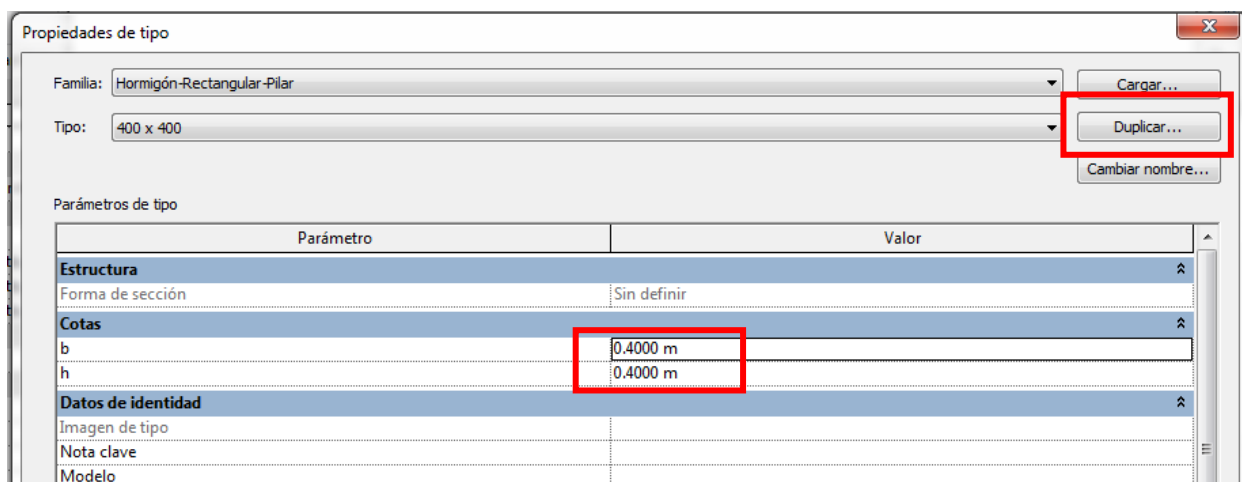


Figura 75 Menú “Propiedades de tipo”

Pulsando la opción “Duplicar” de éste menú, y dándole un nombre al nuevo tipo de pilar que estamos generando, con el fin de no modificar el tipo inicial, se genera un segundo pilar, cuyas cotas podremos cambiar de acuerdo con lo que necesitemos. De esta manera se generaron todos los pilares que aparecen en los planos:

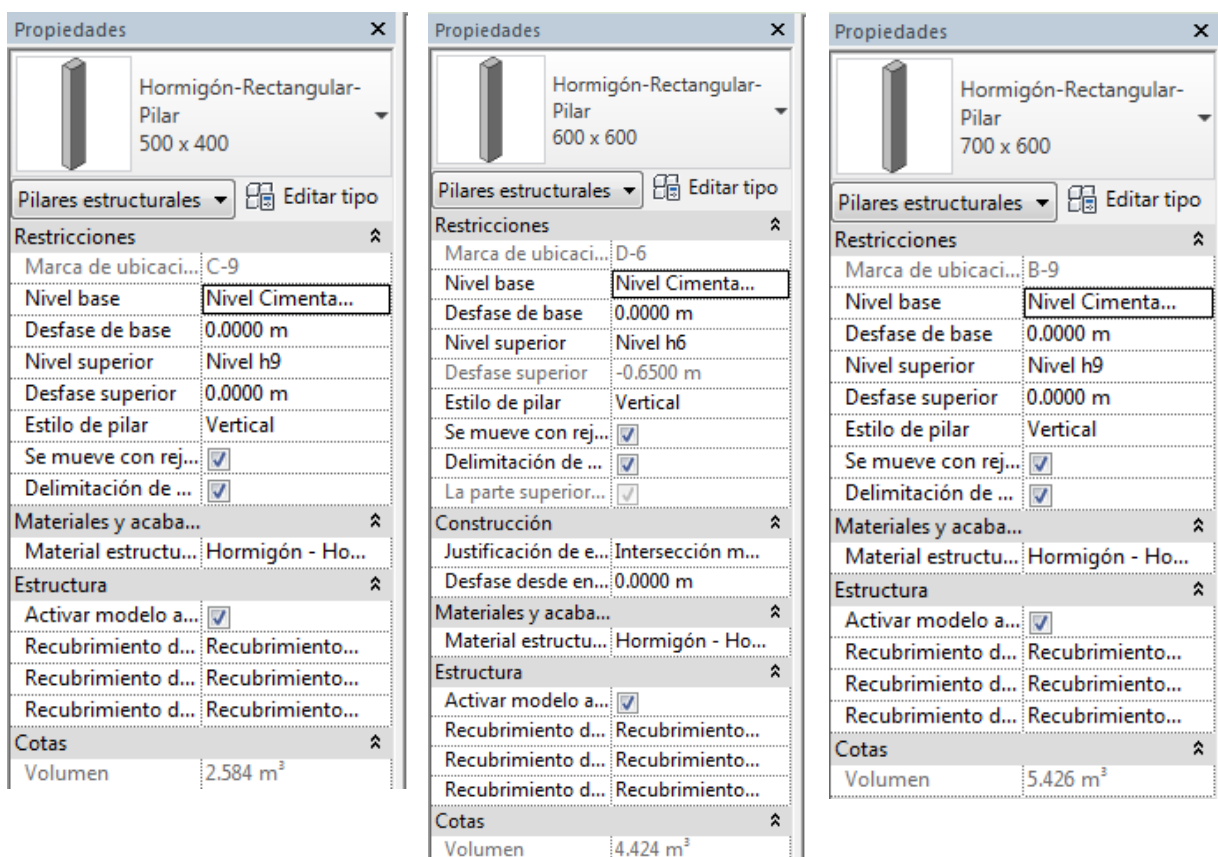


Figura 76 Tipos de pilar #1

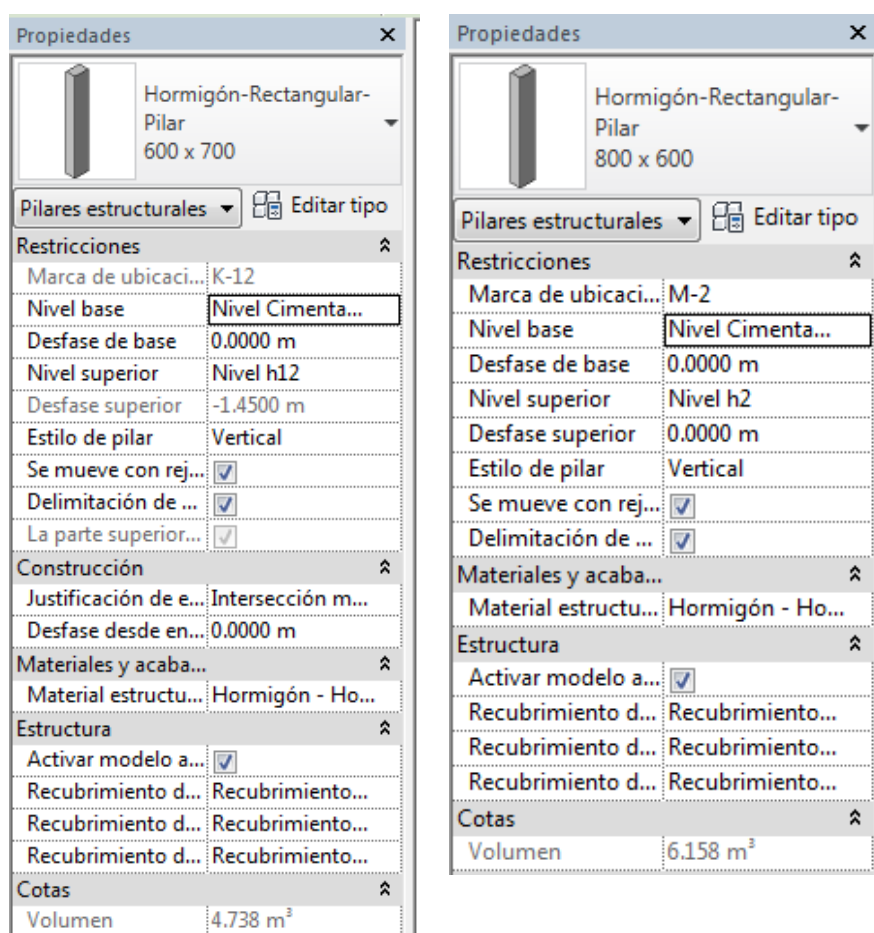


Figura 77 Tipos de pilar #2

Un pilar puede colocarse en Revit de varias formas distintas. La que parece más intuitiva, “de abajo a arriba”, es la que coloca la base en la cota del plano de trabajo que tengamos en la interfaz, y le proporciona una altura, que puede establecerse numéricamente, o fijarse a una cota superior.

Como puede deducirse, habiendo generado ya toda una serie de niveles a los que llevar todos los pilares del proyecto, esta tarea se hace relativamente sencilla simplemente imponiendo como cota superior, el nivel correspondiente a la alineación en que estemos colocando cada pilar.

Se adjunta a continuación una vista en planta del final de esta primera fase, con todos los pilares colocados, así como una vista 3D:



Figura 78 Pilares. Vista en planta

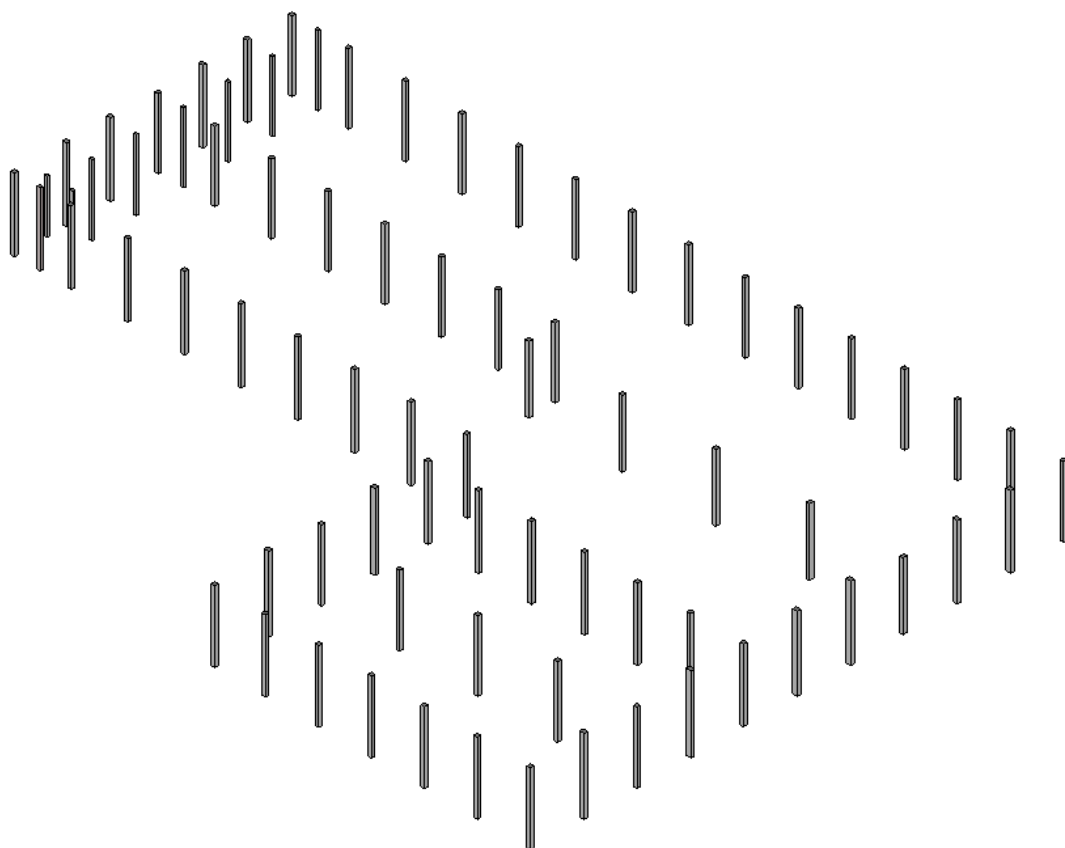
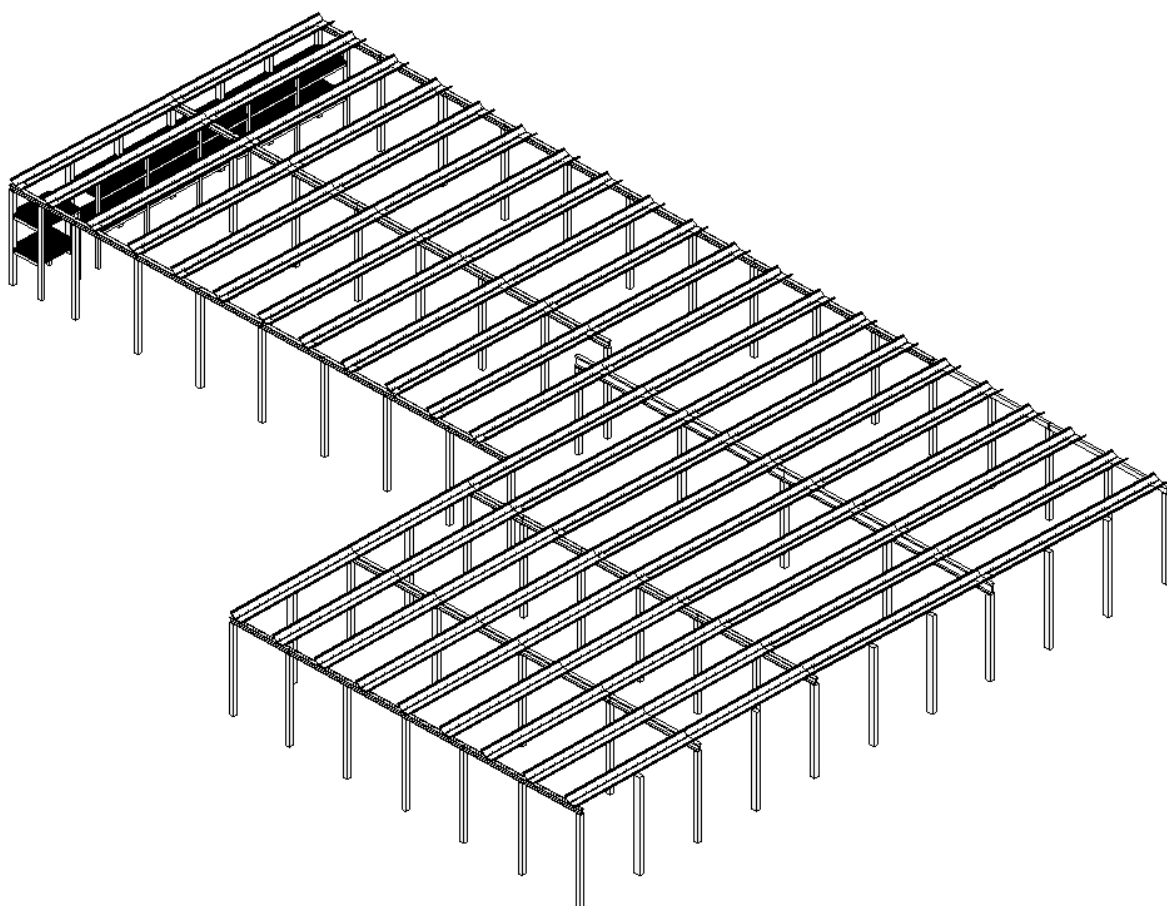


Figura 79 Pilares. Vista 3D

## 4 Estructura de cubierta

La estructura de cubierta que propone ARTEPREF es la que denominan cubierta Artwind, compuesta por una serie de vigas salvapilar, y perpendiculares a éstas, las vigas Artwind, como puede apreciarse en el siguiente modelo en línea oculta:



*Figura 80 Estructura de cubierta Artwind en Revit. Modelo en línea oculta. Vista 3D*

Como se ha mencionado en el apartado correspondiente de la memoria, Revit no dispone de una familia parametrizada para generar este tipo de vigas, así que ambas tuvieron que hacerse creando primero una familia desde cero. Este proceso se explicará a continuación para una de las dos familias por orden de colocación en el modelo; primero las vigas salvapilar, y por último las Artwind.

### 4.1 Vigas salvapilar

Se trata de unas vigas pretensadas de hormigón prefabricado con sección en forma de I, las cuales van de pilar a pilar, de ahí su denominación, para proporcionar una base de apoyo a las vigas Artwind.

El proceso de generación de la familia empieza con una plantilla de familia de viga que puede encontrarse en las plantillas de Revit:

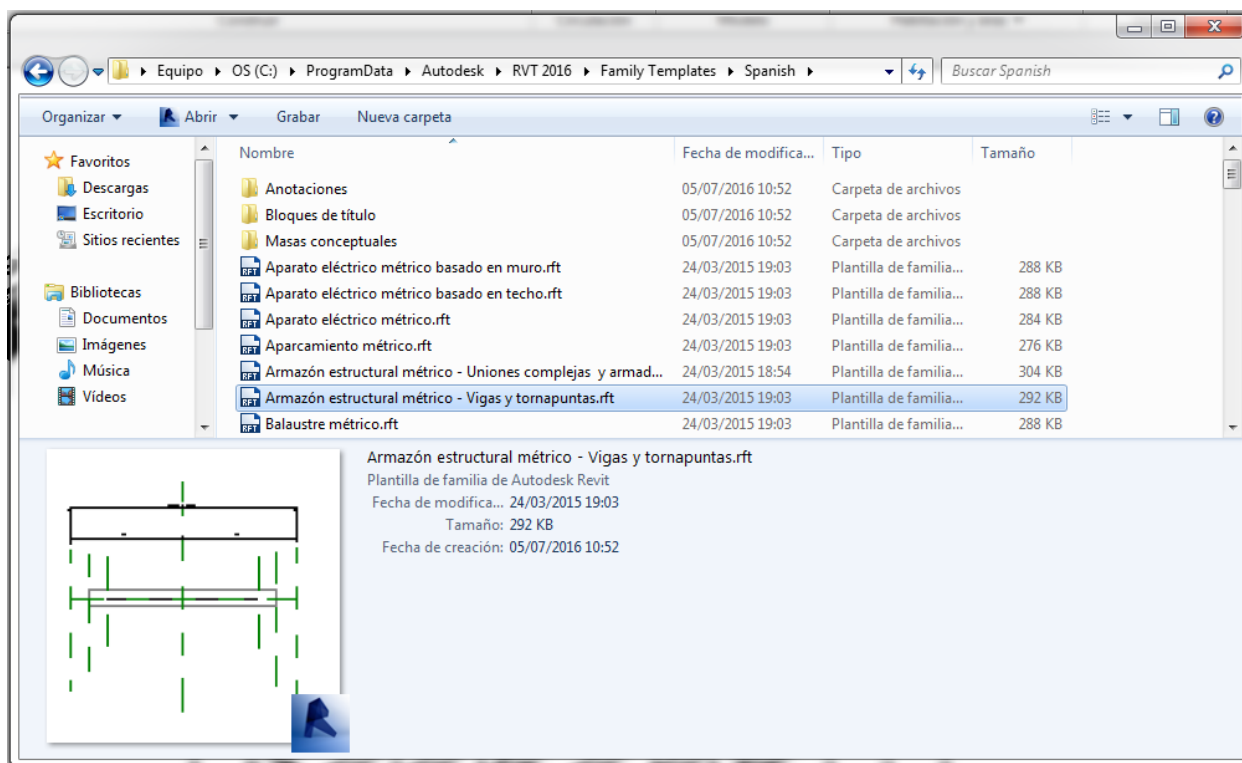


Figura 81 Localización plantilla de familia “Armazón estructural – vigas y tornapuntas”

Haciendo click en ella, Revit abre en su interfaz la plantilla y se puede proceder a su modificación, como si de un modelo se tratase:

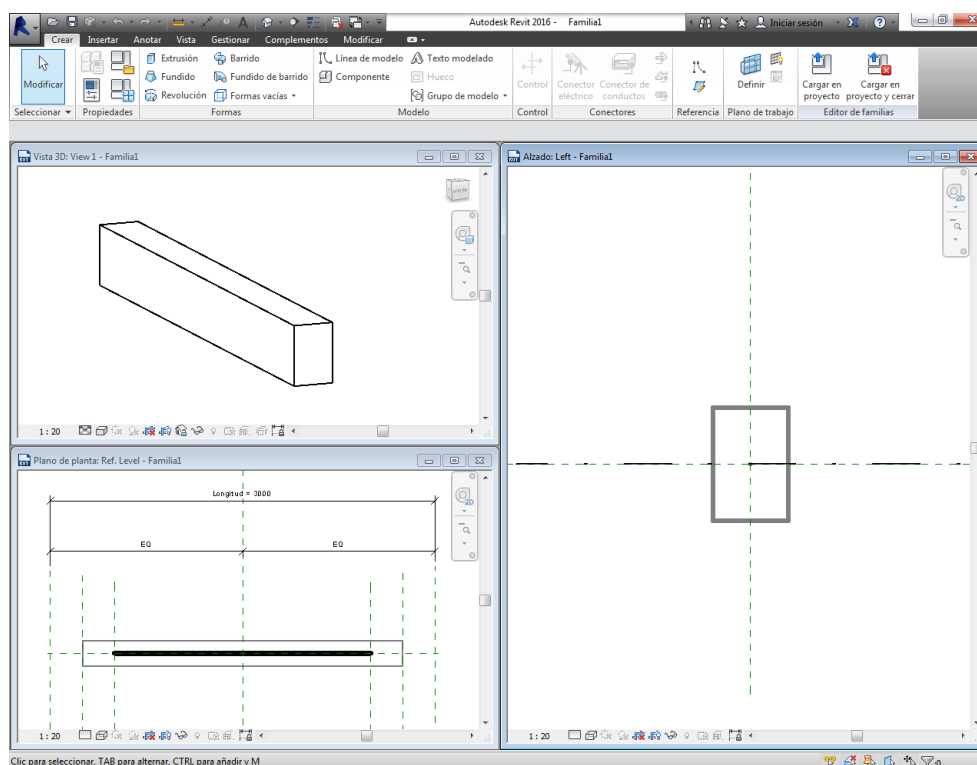


Figura 82 Interfaz base generación de familia de viga

Se recuerda que el objetivo que se busca es generar una familia parametrizada, no generar una única viga con unas dimensiones fijas. Si se consigue generar una familia con una serie de parámetros (altura, ancho del alma, ancho de las alas, espesores,...) a partir de una familia, se podrán generar varios tipos de viga sin mayor trabajo que la modificación de estos parámetros, que es justo lo que se pretende: ahorrar tiempo.

Así pues, desde una vista lateral, donde se pueda ver la sección, lo primero que se ha de generar es, con unas cotas base, que bien pueden coincidir con alguna de las vigas que queremos modelar, una serie de planos de referencia desde la pestaña “Referencia”:

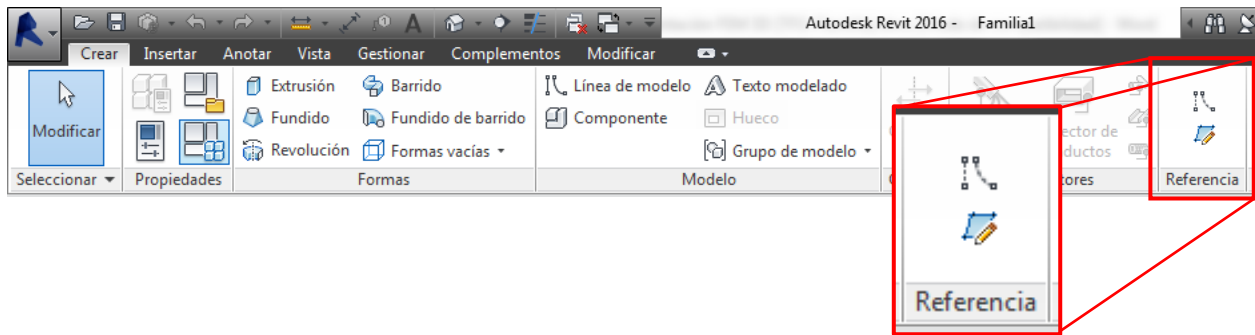


Figura 83 Localización comando línea y plano de referencia

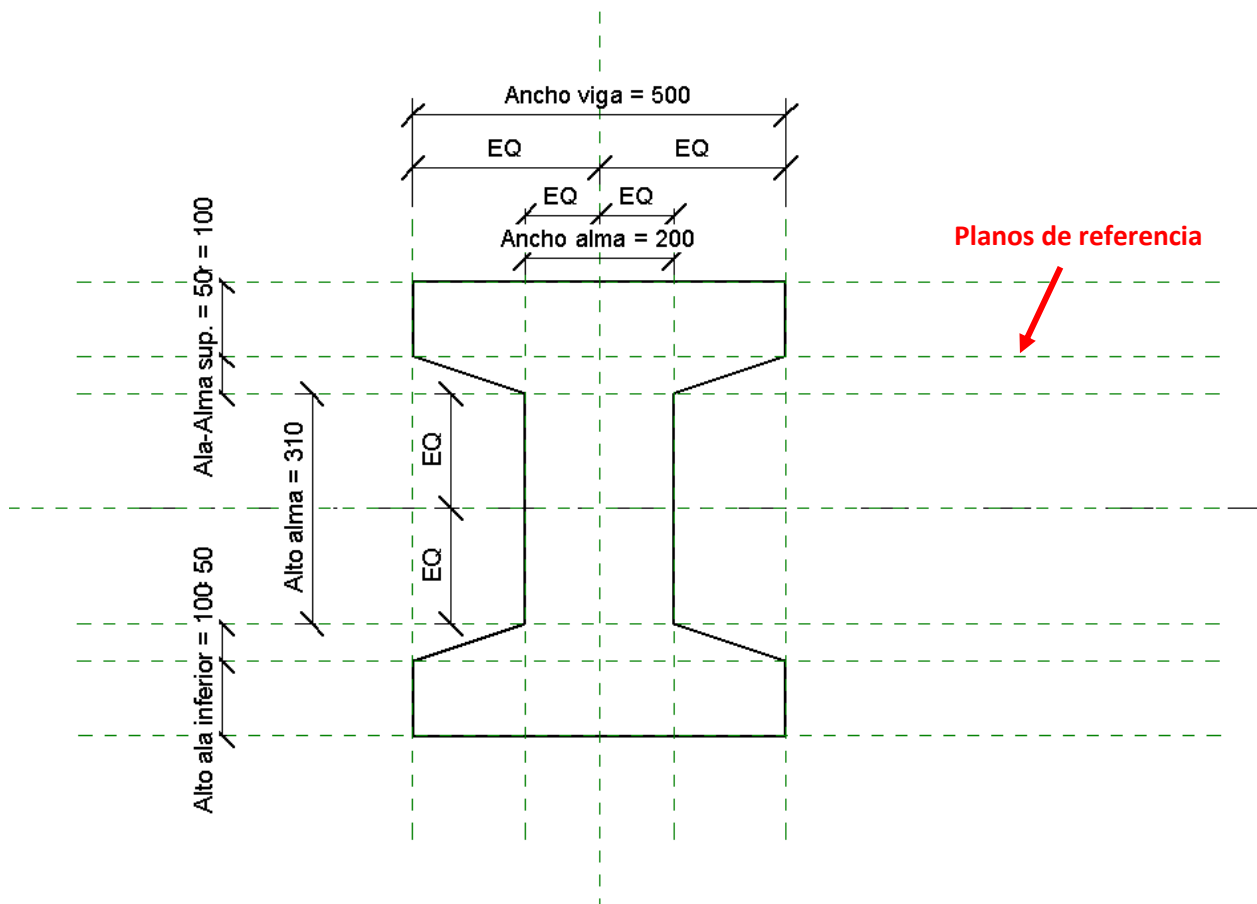


Figura 84 Sección de familia paramétrica. Planos de referencia

Una vez se tienen estos planos de referencia, la forma de la sección se puede generar mediante el comando “Extrusión”, desde la pestaña “Formas”.



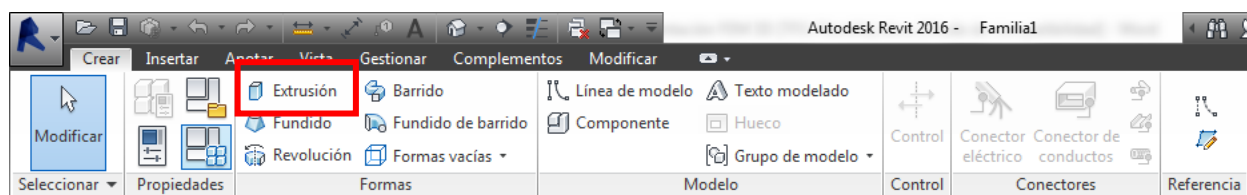


Figura 85 Localización comando Extrusión

Mediante ésta, se puede generar todo el camino de la extrusión sirviéndonos de los planos de referencia generados, lo cual liga su contorno a los mismos. Esto servirá para, más adelante, parametrizar una serie de dimensiones referenciadas a estos planos.

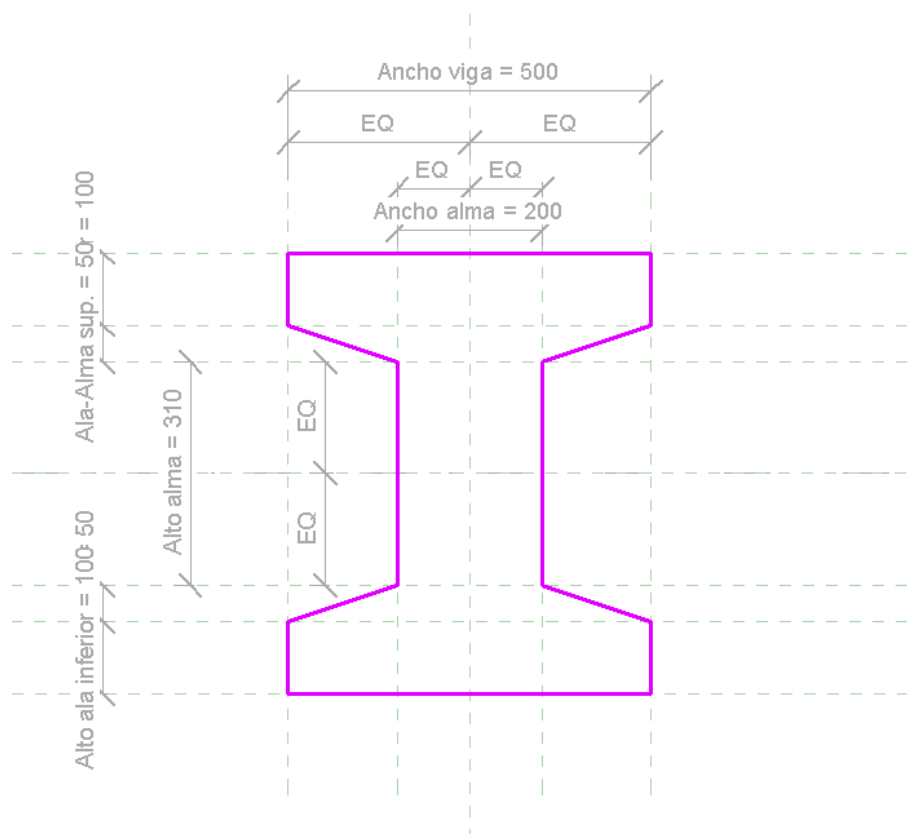


Figura 86 Sección de la extrusión

El último paso consiste en acotar la sección. Es en este apartado donde se pueden introducir las condiciones de equidistancia (EQ), que pueden verse en la imagen, con el fin de conseguir la simetría de la sección respecto a sus dos planos de origen.

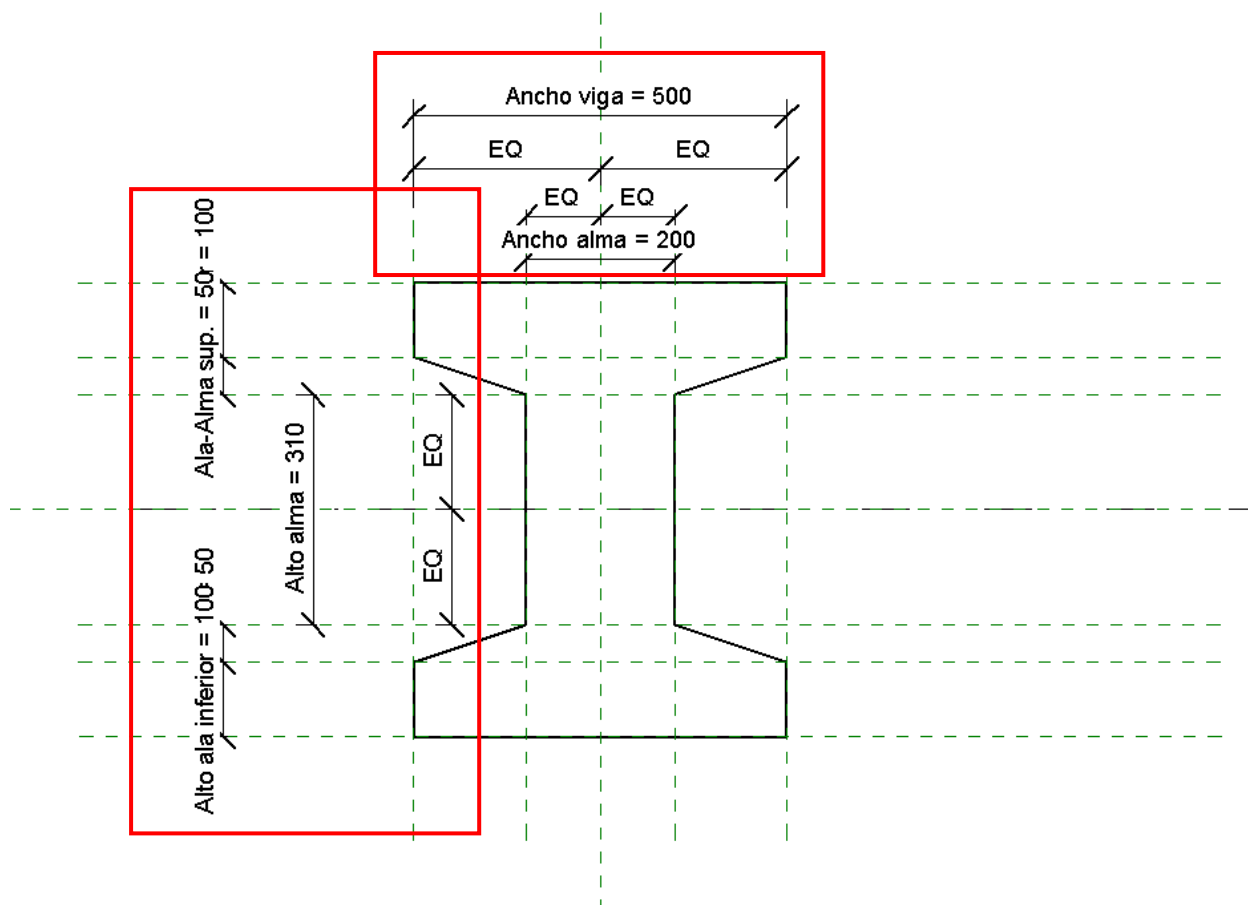


Figura 87 Sección de familia paramétrica. Cotas

La parametrización de las cotas se realiza una vez colocadas éstas. No es hasta entonces que no reciben una denominación concreta en el plano de sección. Este proceso puede hacerse desde la opción “Tipos de familia” en la pestaña de Propiedades:

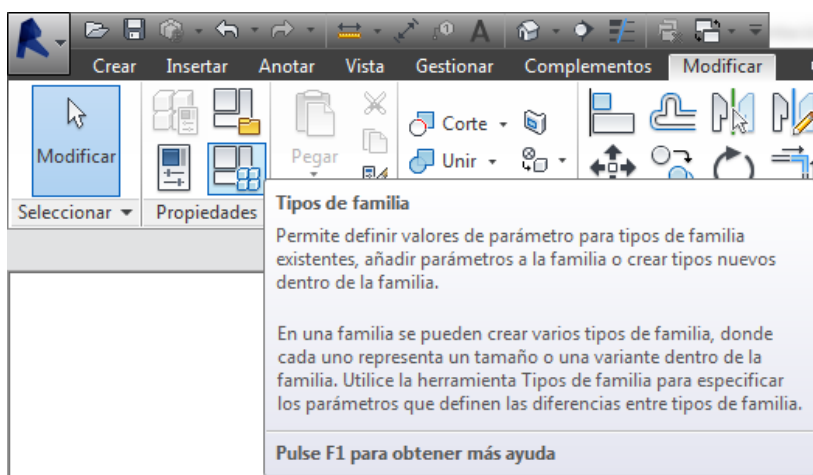


Figura 88 Localización opción Tipos de familia

Parámetros

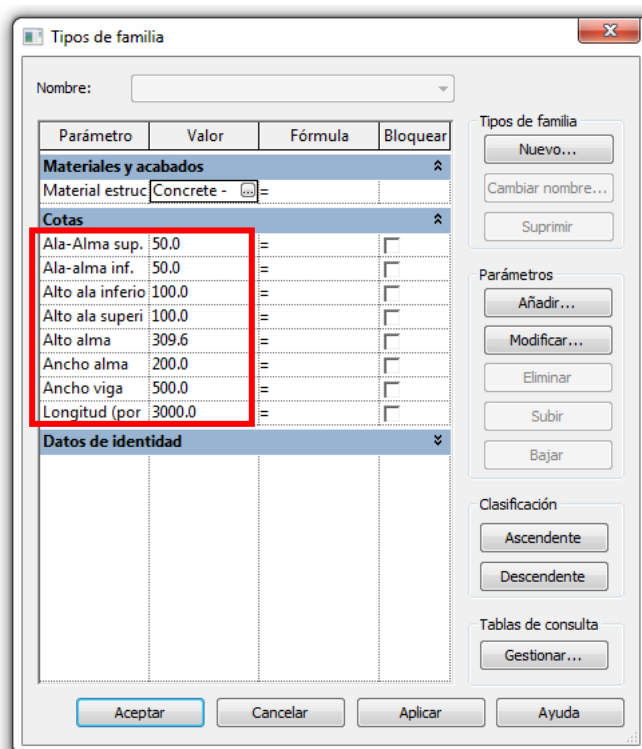


Figura 89 Ventana Tipos de familia. Parámetros de la sección en I

Con la sección parametrizada, ya se puede proceder a cargar la familia en el modelo, lo cual puede hacerse desde la opción “Cargar en proyecto”, desde esta propia interfaz de creación y modificación de familias:



Figura 90 Localización opción “Cargar en proyecto” (desde plantilla de familia)

... o desde el propio proyecto del modelo de la nave, desde la opción “Cargar familia”, dentro del menú de generación de vigas:

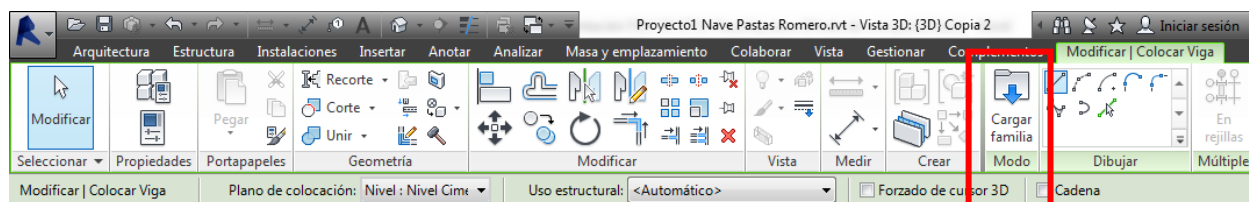


Figura 91 Localización opción “Cargar familia” (desde el modelo)

Cualquiera de los dos hará que la nueva familia generada aparezca entre las opciones de colocación de nuevas vigas:

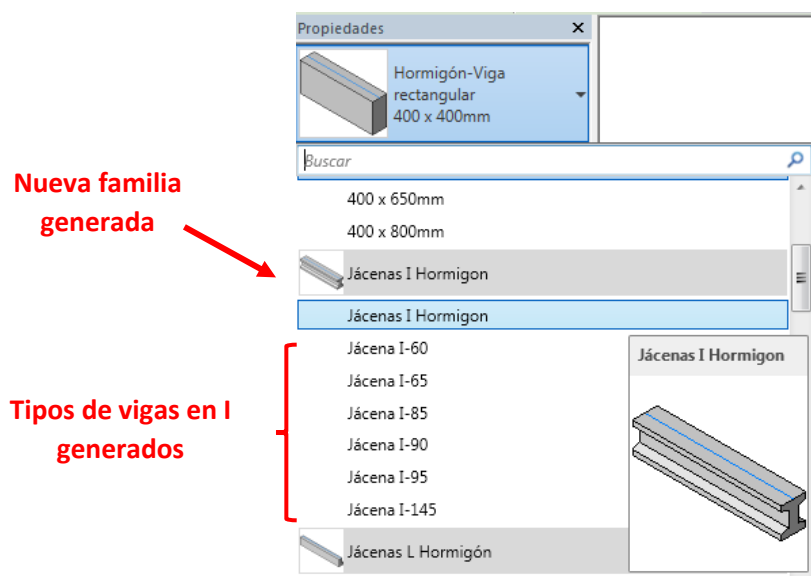


Figura 92 Desplegable tipo de vigas utilizables en el modelo

Como puede verse en la imagen, a partir de esta recién creada familia, se han ido generando todos los tipos de secciones que ARTEPREF consideró colocar en su diseño. Éstas son:

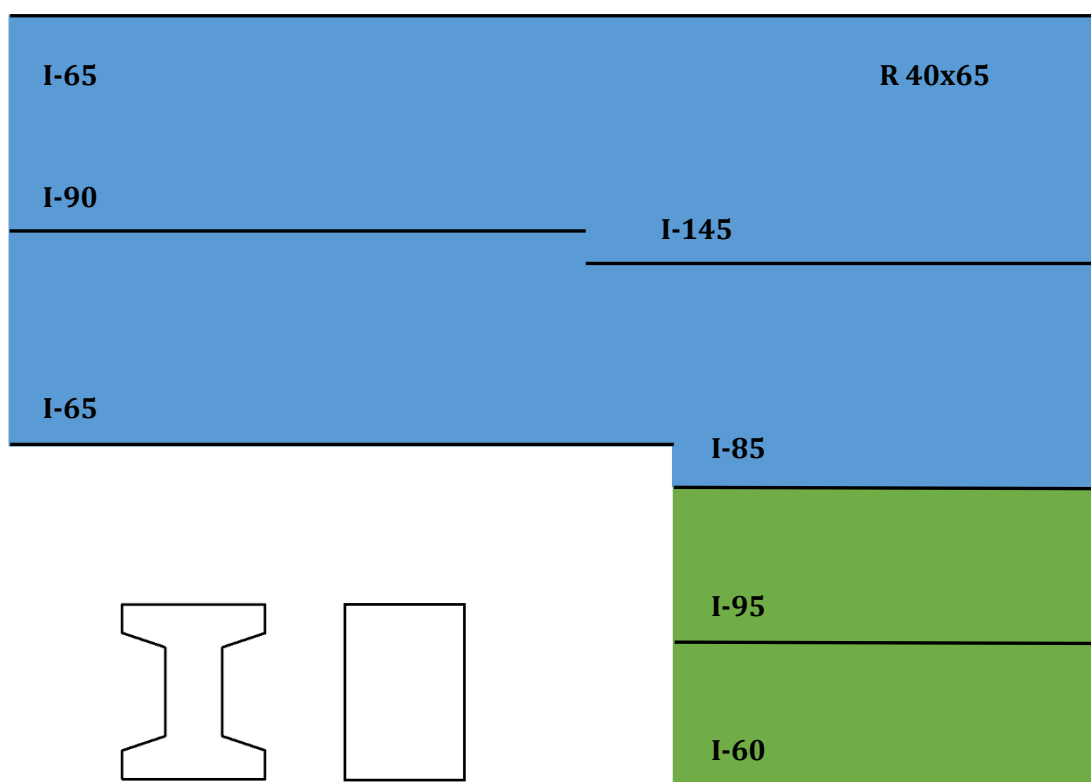


Figura 93 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar

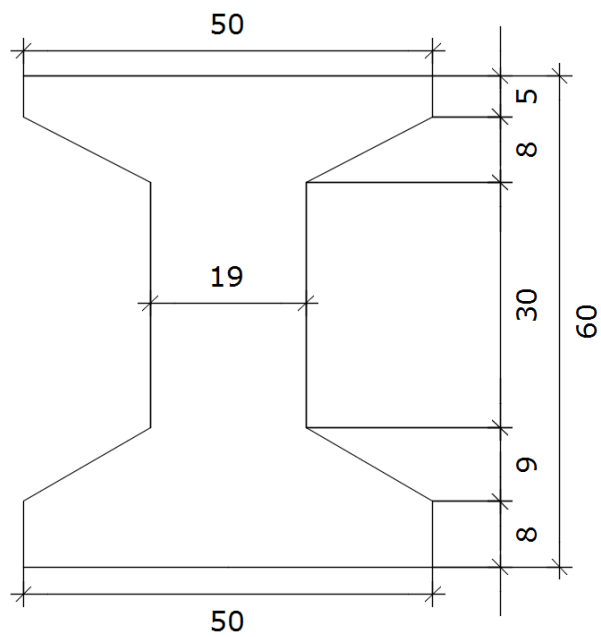


Figura 94 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF

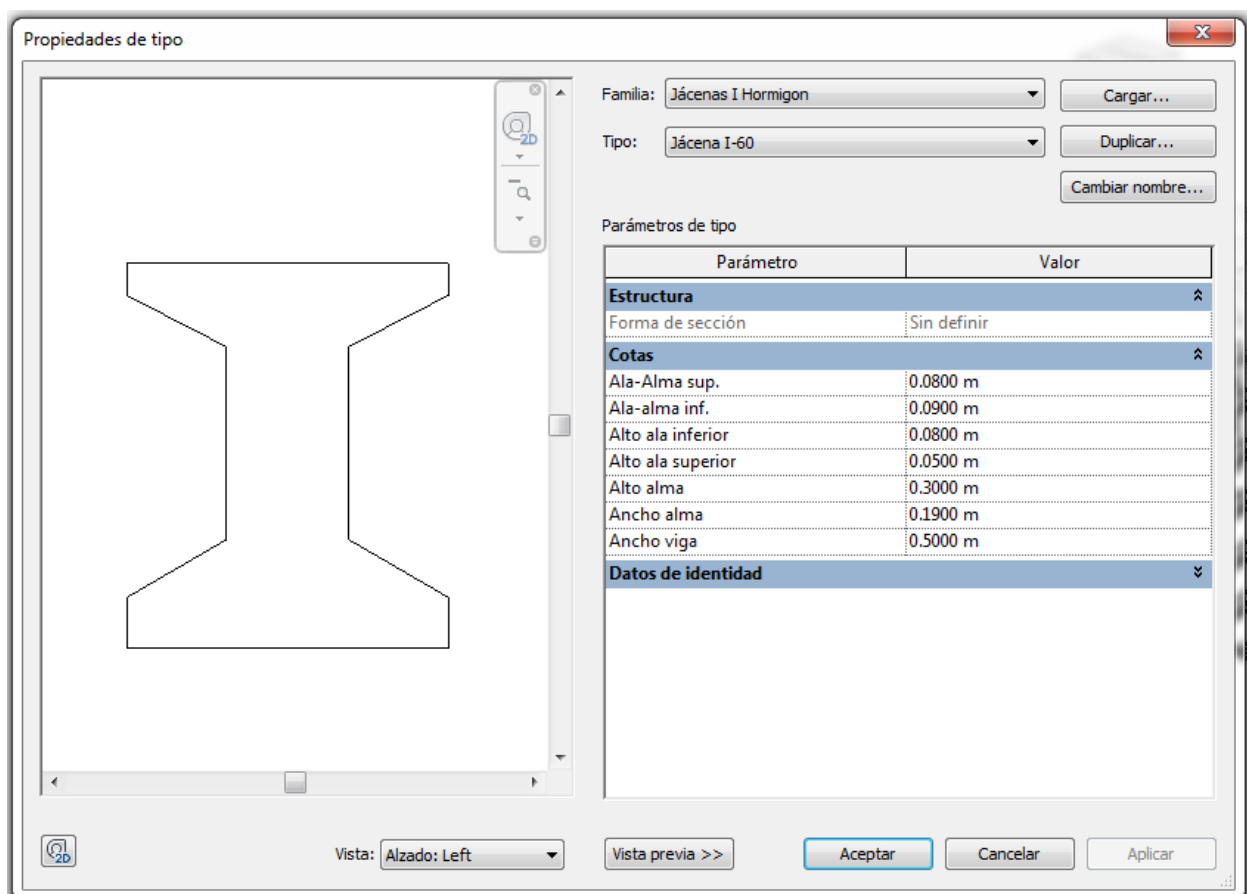


Figura 95 Viga salvapilar I-60. Tipo generado en modelo

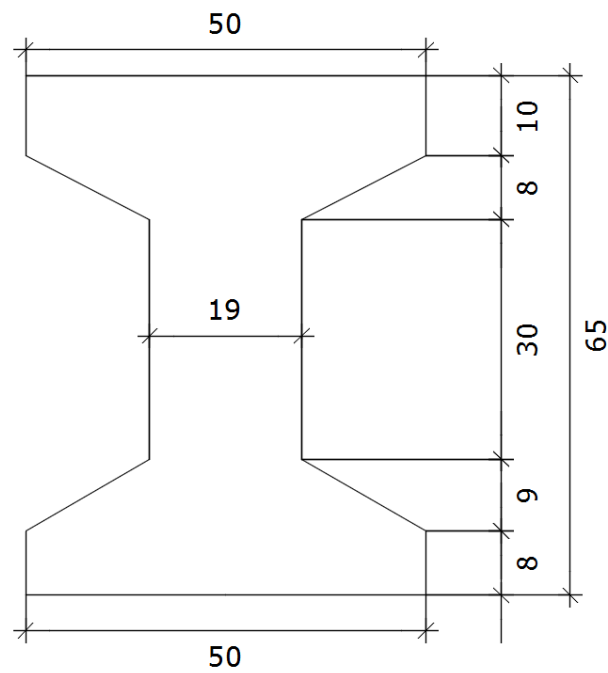


Figura 96 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF

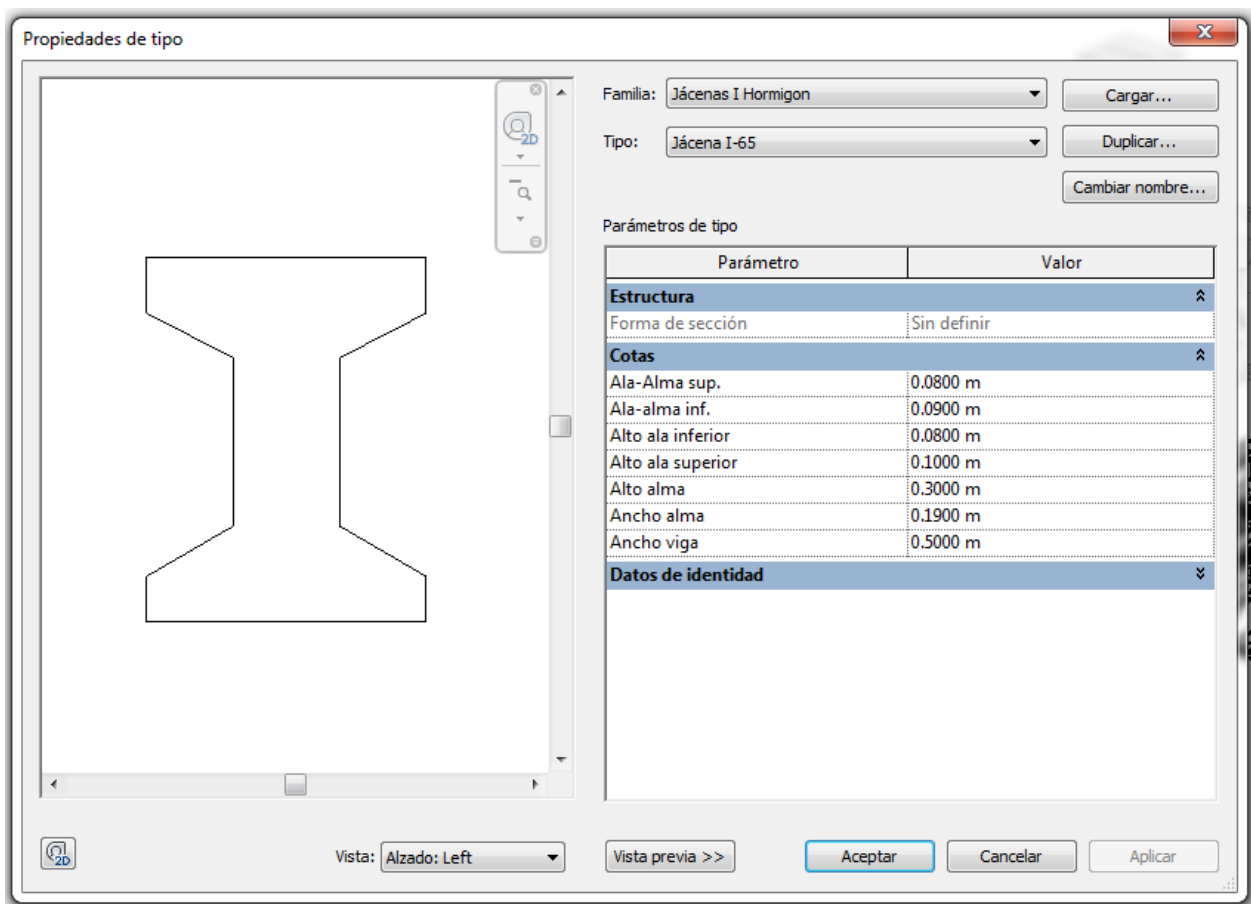


Figura 97 Viga salvapilar I-65. Tipo generado en modelo

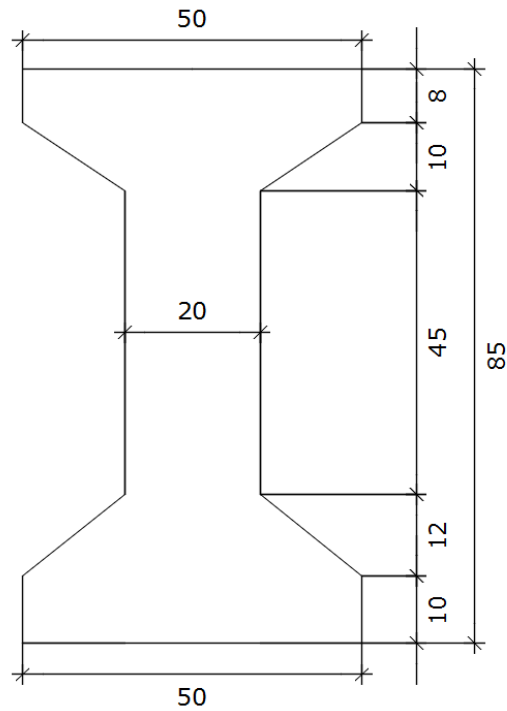


Figura 98 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF

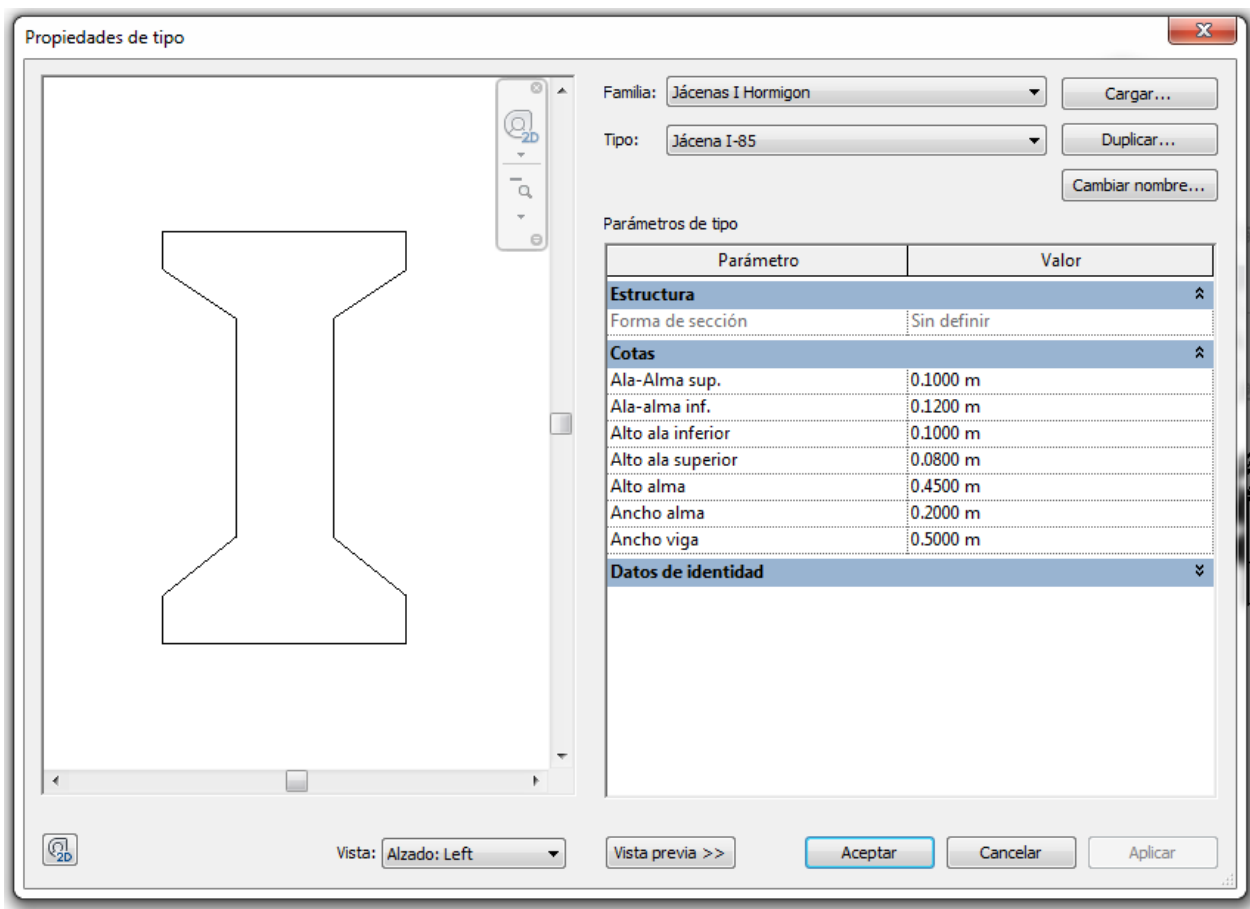


Figura 99 Viga salvapilar I-85. Tipo generado en modelo

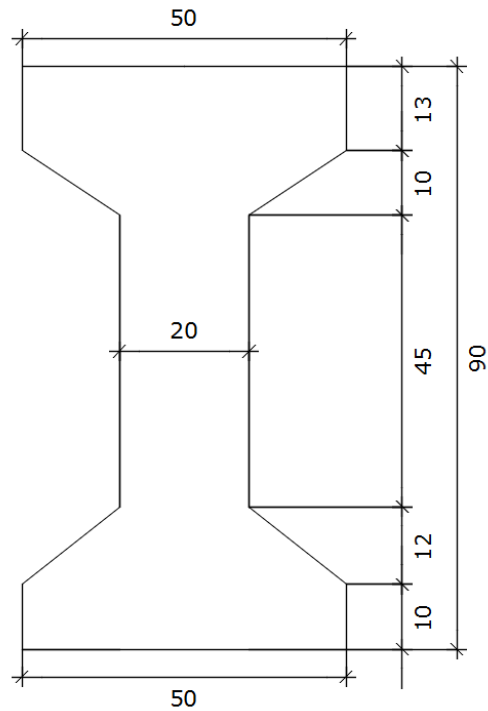


Figura 100 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF

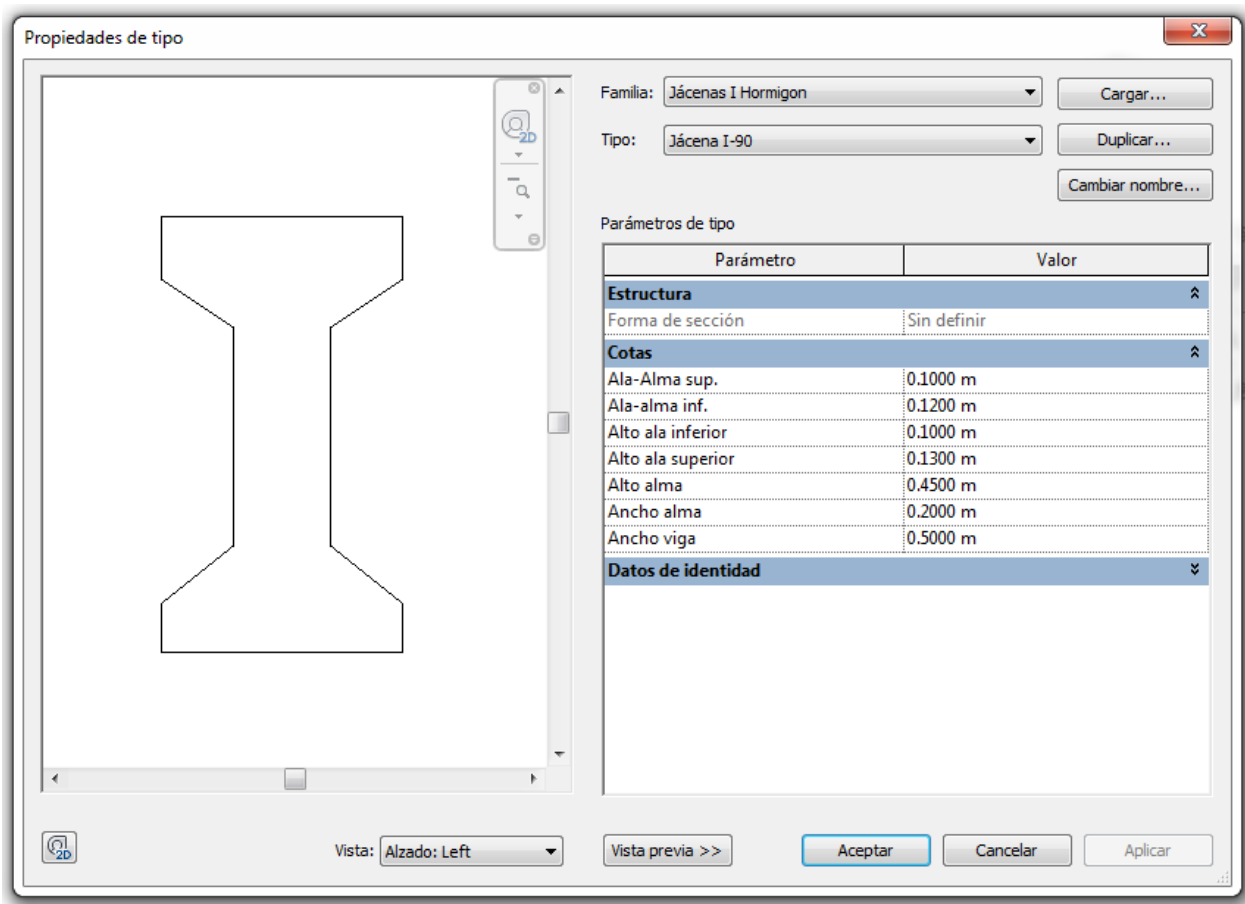


Figura 101 Viga salvapilar I-90. Tipo generado en modelo



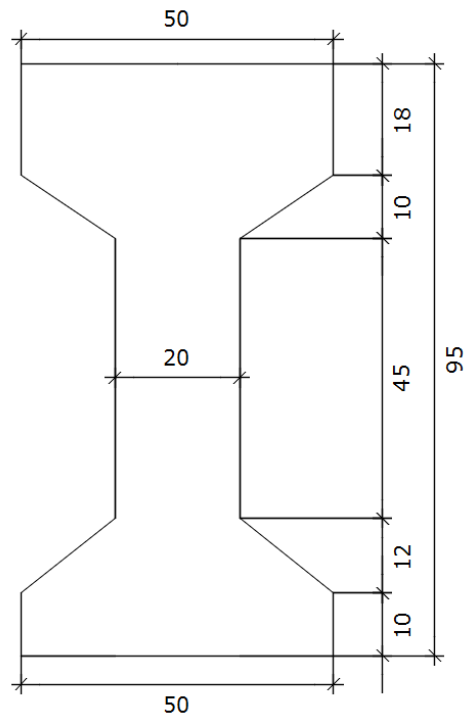


Figura 102 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF

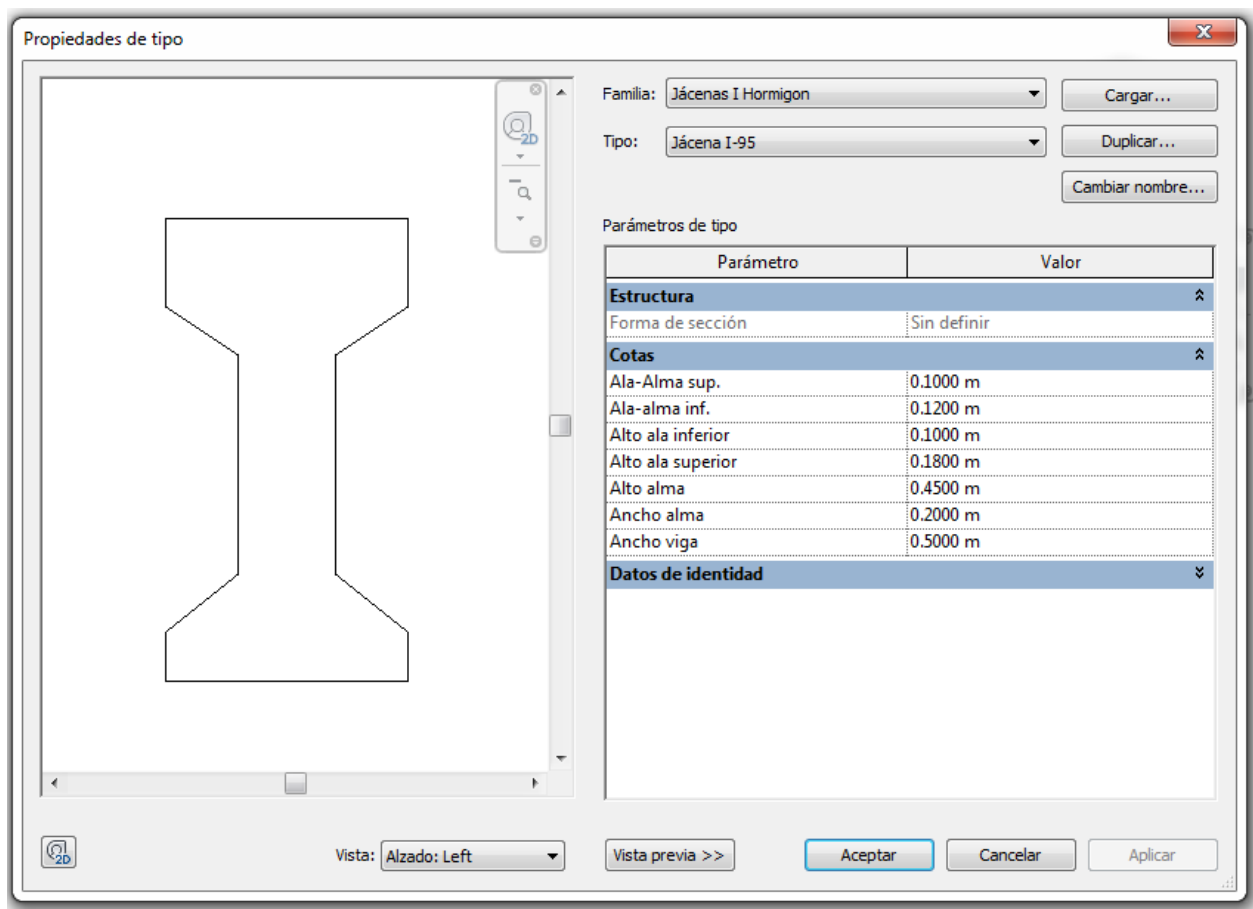


Figura 103 Viga salvapilar I-95. Tipo generado en modelo

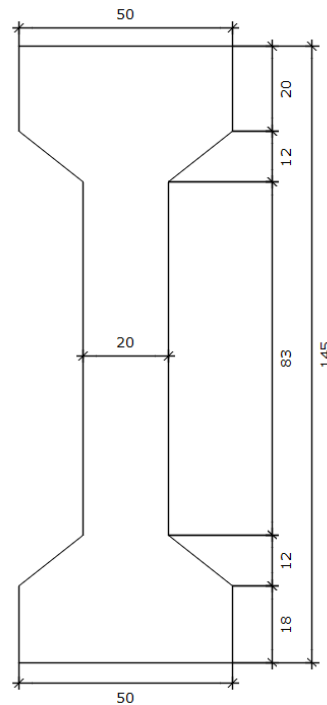


Figura 104 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF

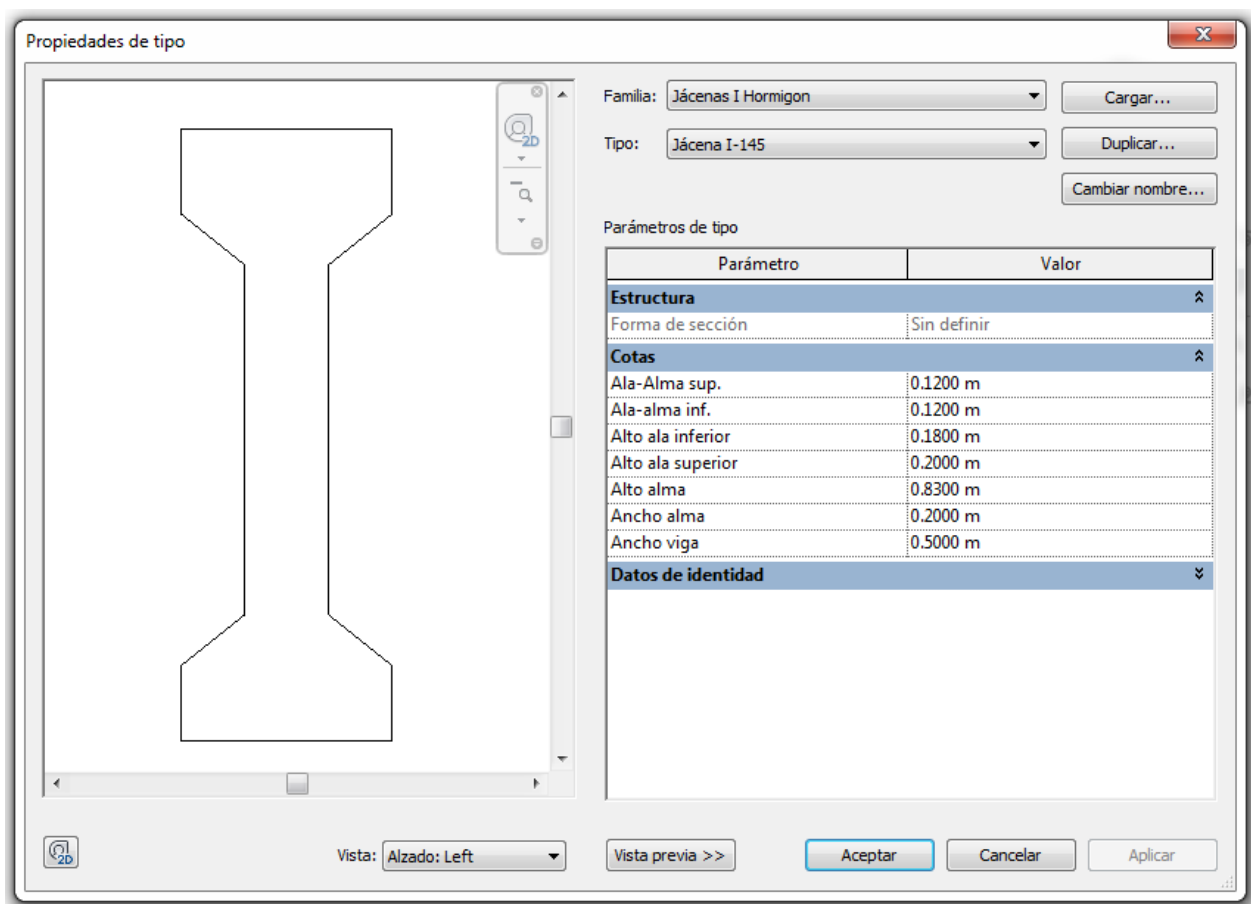


Figura 105 Viga salvapilar I-145. Tipo generado en modelo

El último tipo, pendiente de mencionar, son las vigas rectangulares R 40x65, cuya familia geométrica viene definida por defecto en Revit y puede hacerse el tipo sin necesidad de generar una familia específica:

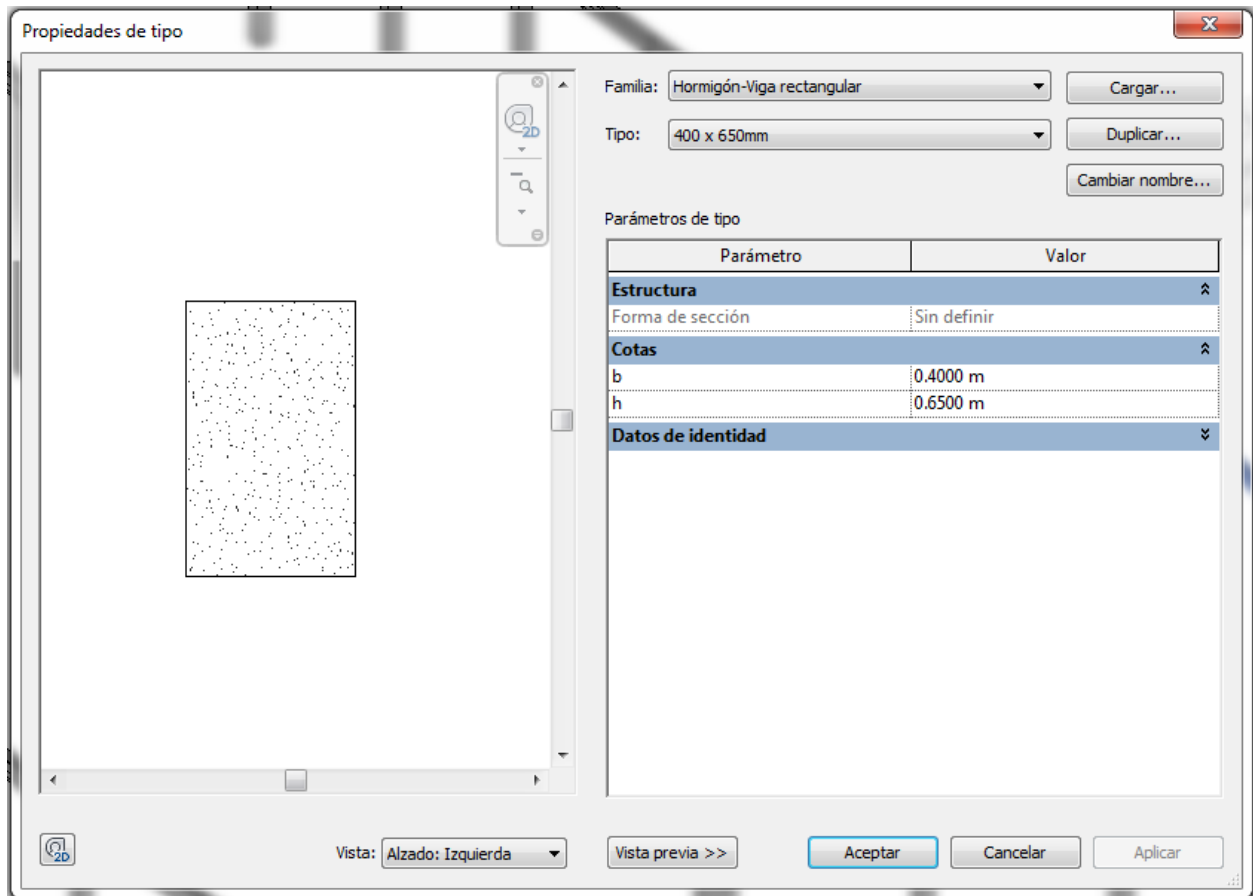


Figura 106 Viga salvapilar R 40x65. Tipo generado en modelo

Con todos los tipos generados, se pueden ir colocando cada una de las vigas en su posición correspondiente en el modelo:

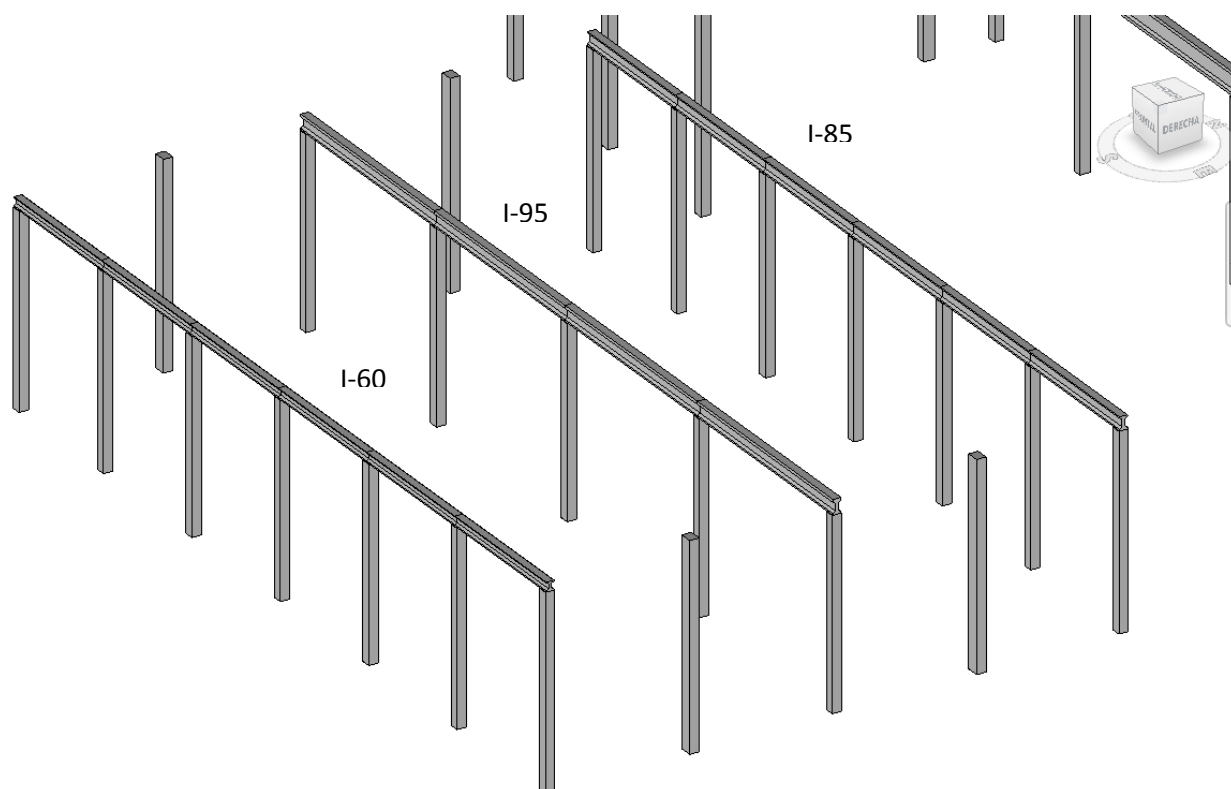


Figura 107 Vista 3D zona expediciones. Vigas salvapilar I-60, I-95, I-85

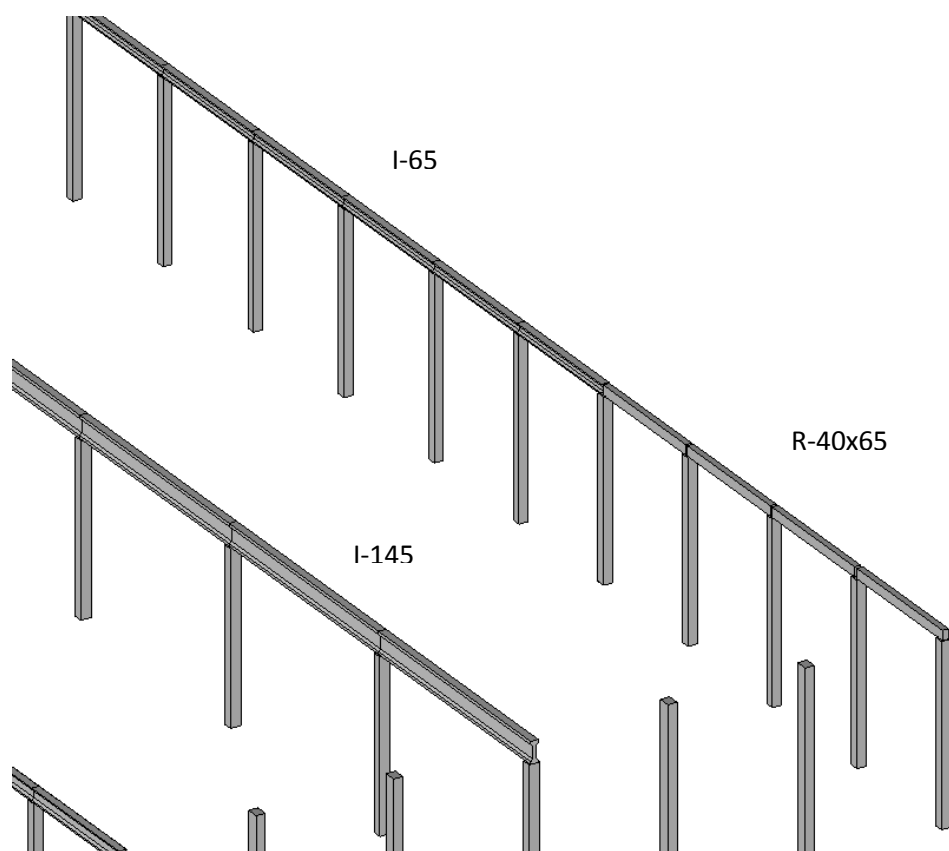


Figura 108 Vista 3D zona producción y envasado dcha. Vigas salvapilar I-65, I-145, R 40x65

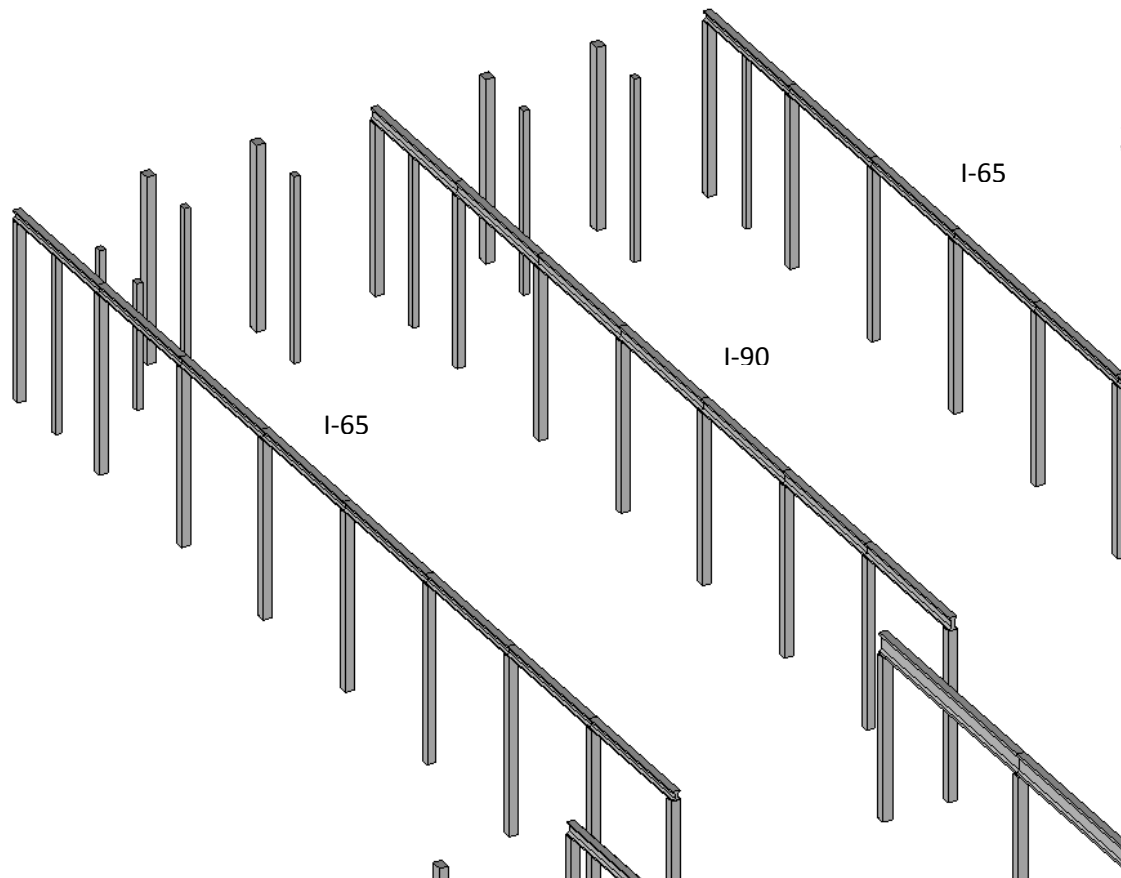


Figura 109 Vista 3D zona producción y envasado izda. Vigas salvapilar I-65, I-90

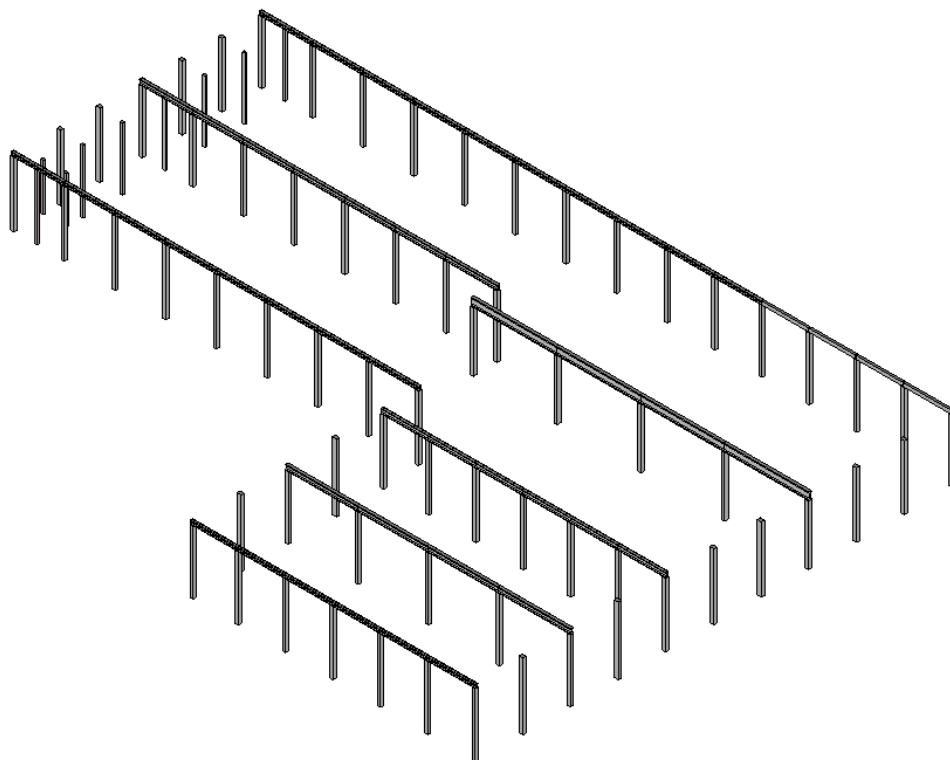
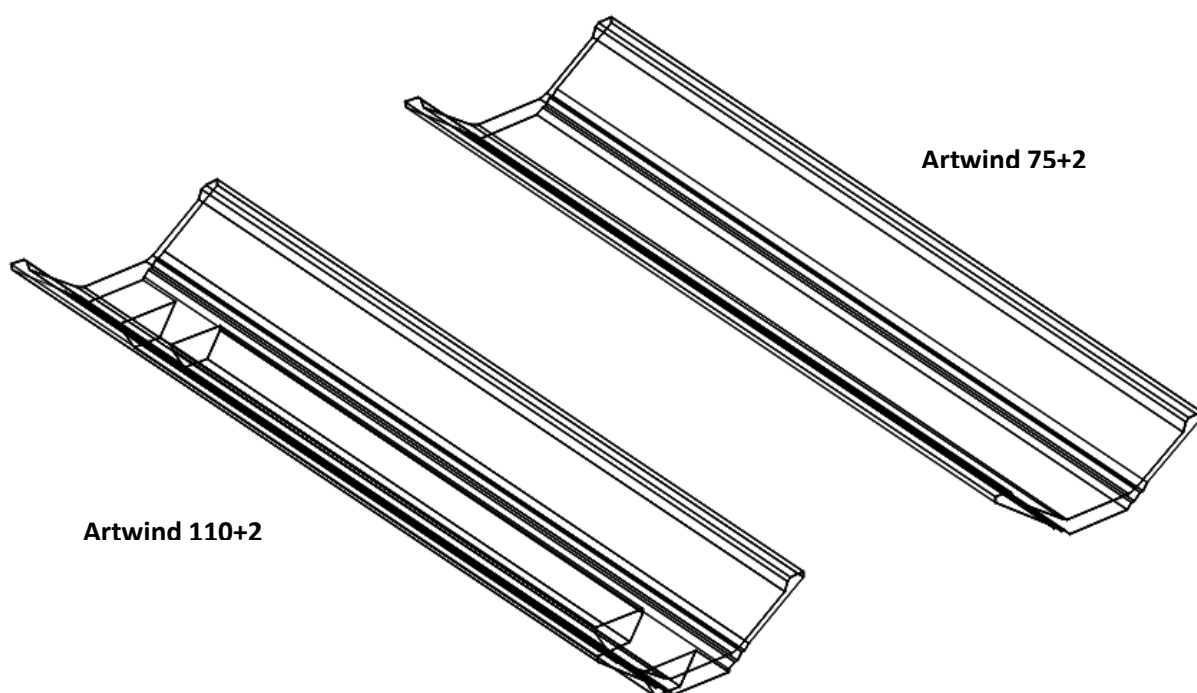


Figura 110 Vigas salvapilar. Vista 3D

## 4.2 Vigas Artwind

Sobre las vigas salvapilar apoyan las vigas Artwind. Igual que pasaba con las primeras, éstas también han de generarse creando una familia específica para ellas. De hecho, por la complejidad de la geometría que añade la Artwind 110 sobre la 75, se vio conveniente crear una familia para cada una de ellas, sin más parámetros que la longitud de las mismas.



*Figura 111 Planos en AutoCad3D de las vigas Artwind proporcionados por ARTEPREF*

Se adjuntan a continuación imágenes con las cotas y dimensiones reales de ambos tipos, proporcionadas también por ARTEPREF:

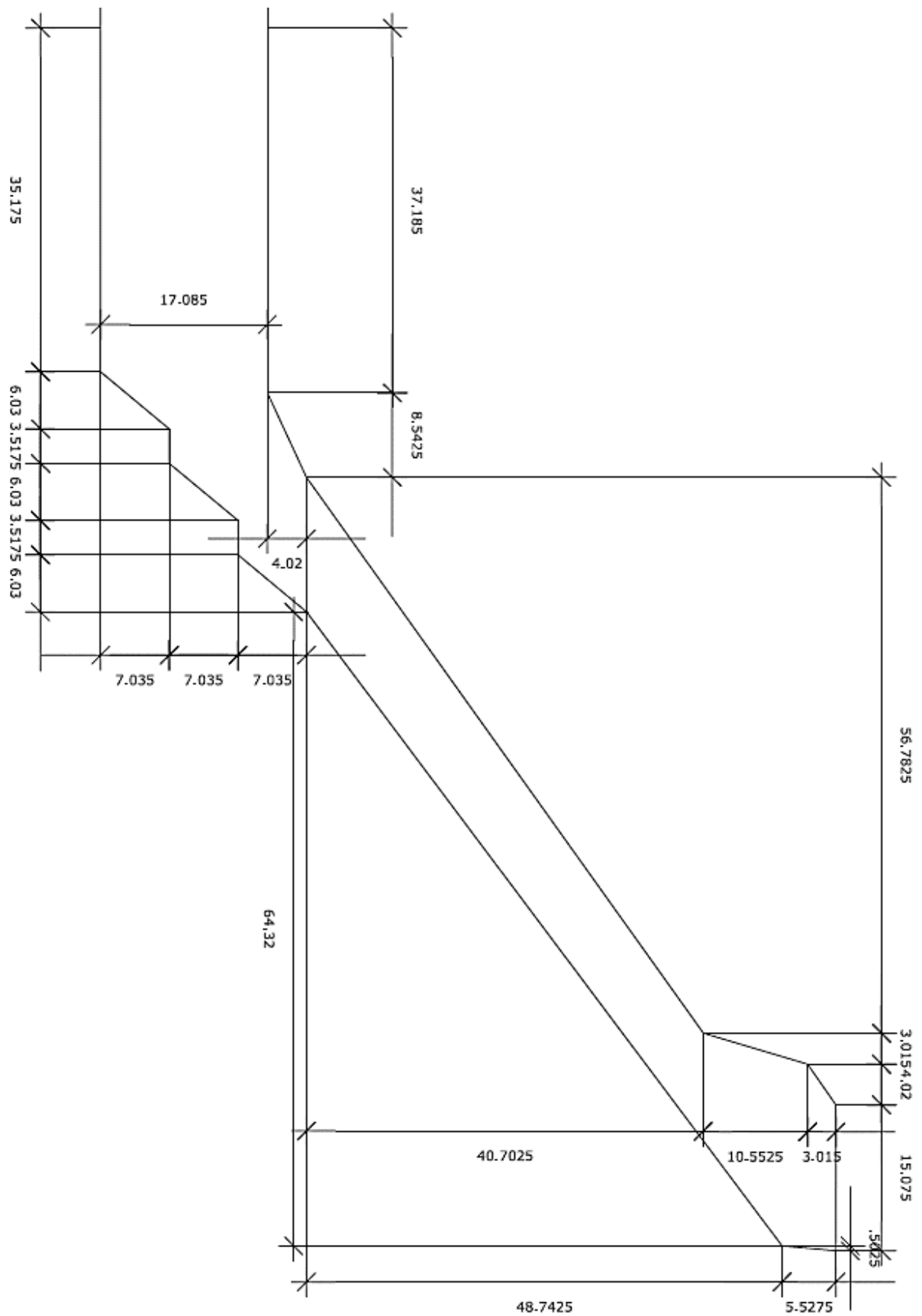


Figura 112 Dimensiones Artwind 75+2, proporcionadas por ARTEPREF

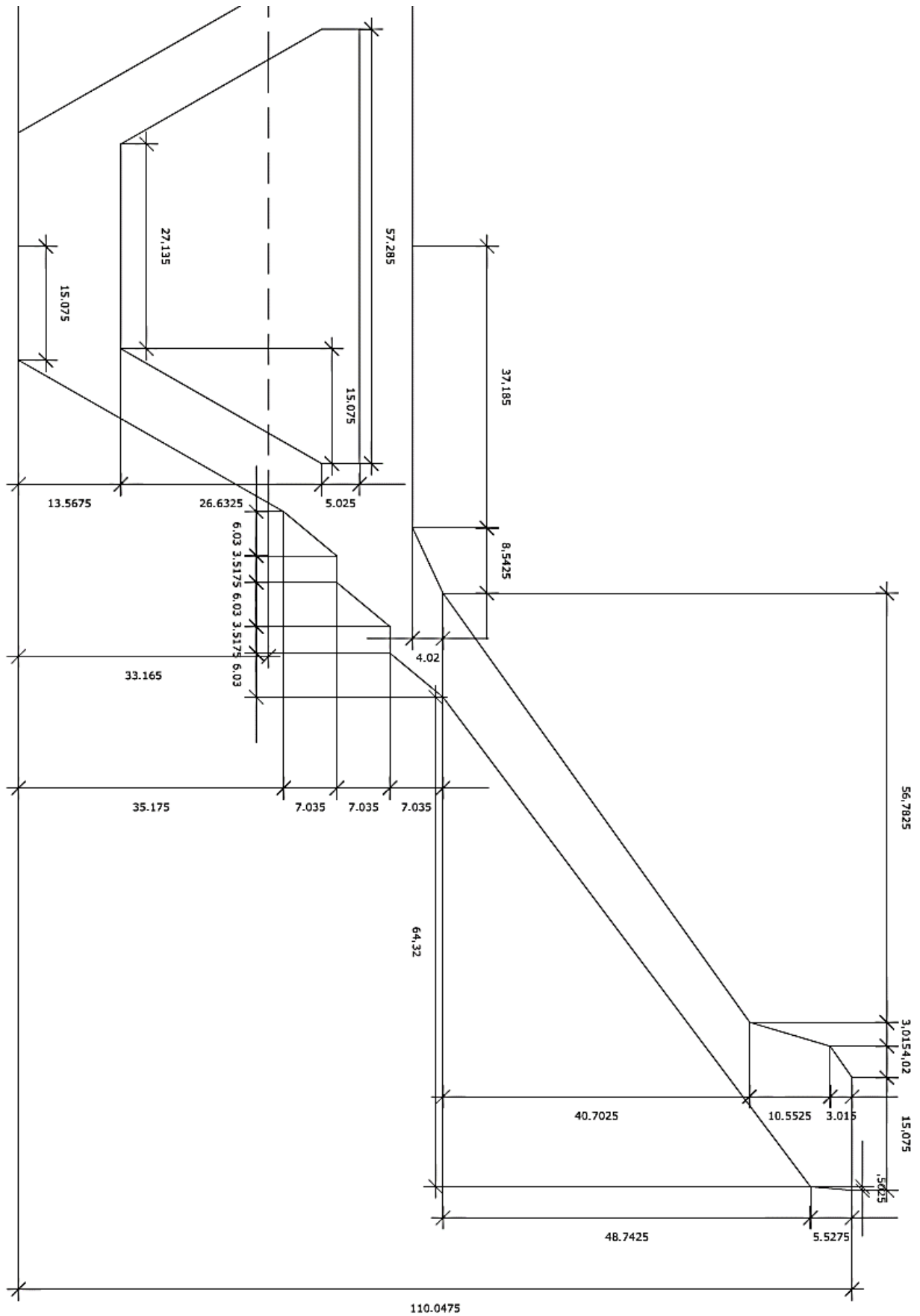
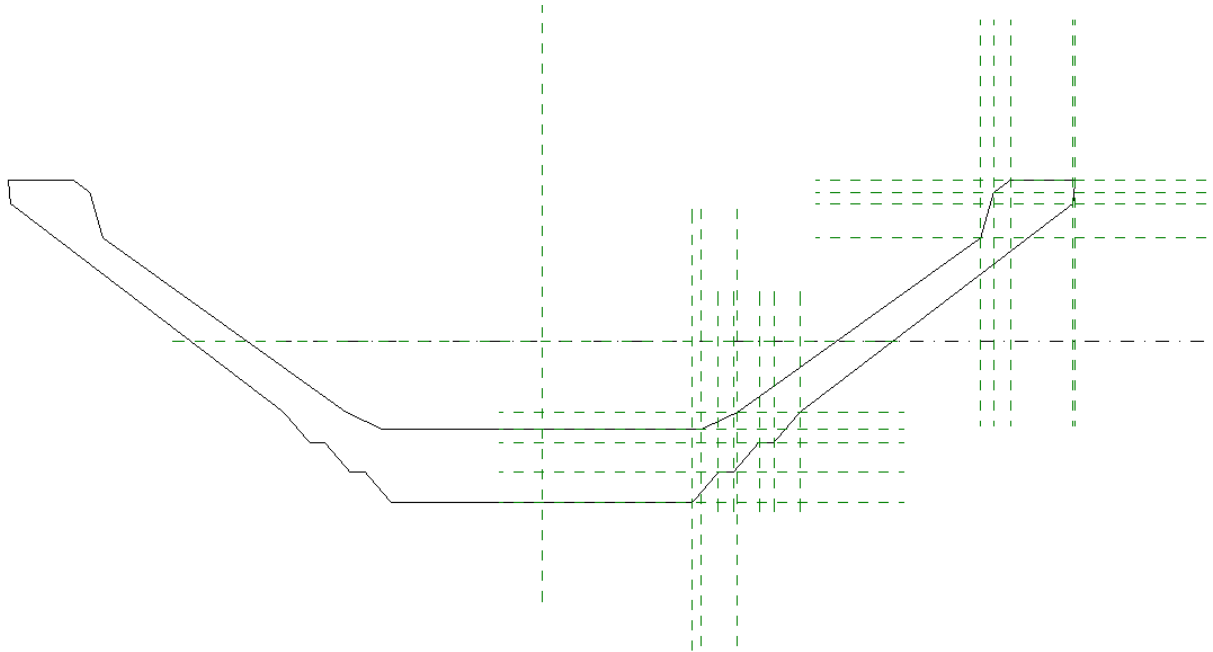


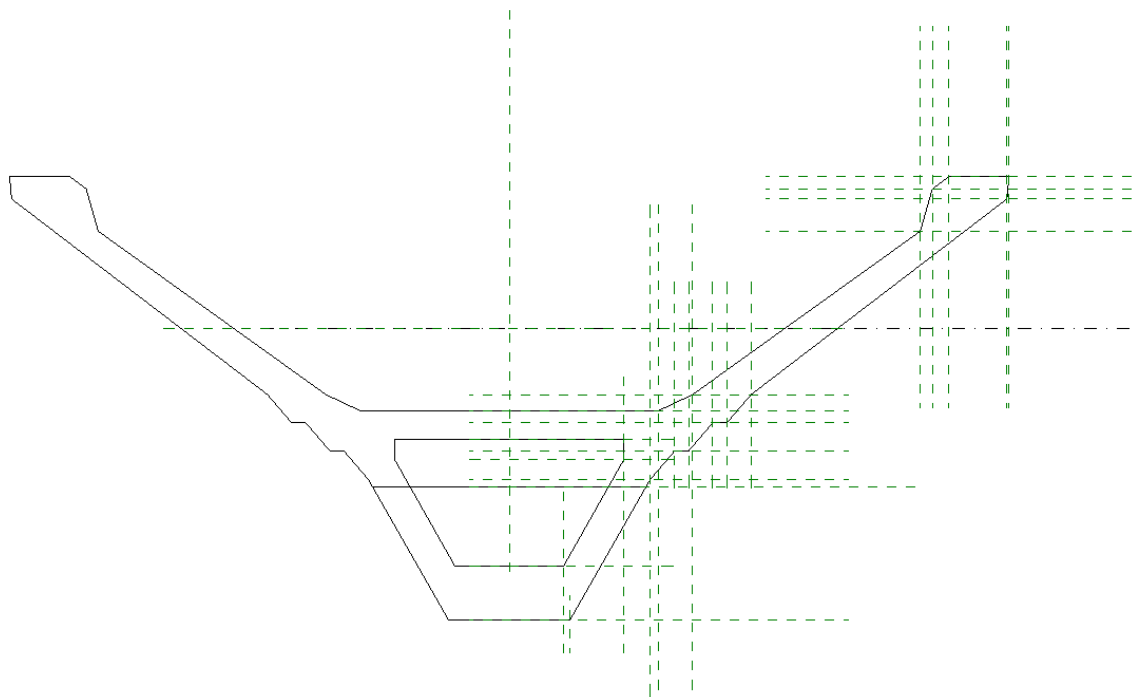
Figura 113 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF



A partir de estos datos, en Revit pueden generarse las dos familias de la misma manera que se hizo las de las jácnas en I, sin necesidad de parametrizar ninguna cota, por ser la geometría tan compleja. Se establecerían primero los planos de referencia de acuerdo con las dimensiones dadas, y posteriormente se generaría la sección de la extrusión:



*Figura 114 Sección de familia Artwind 75+2. Planos de referencia*



*Figura 115 Sección de familia Artwind 110+2. Planos de referencia*

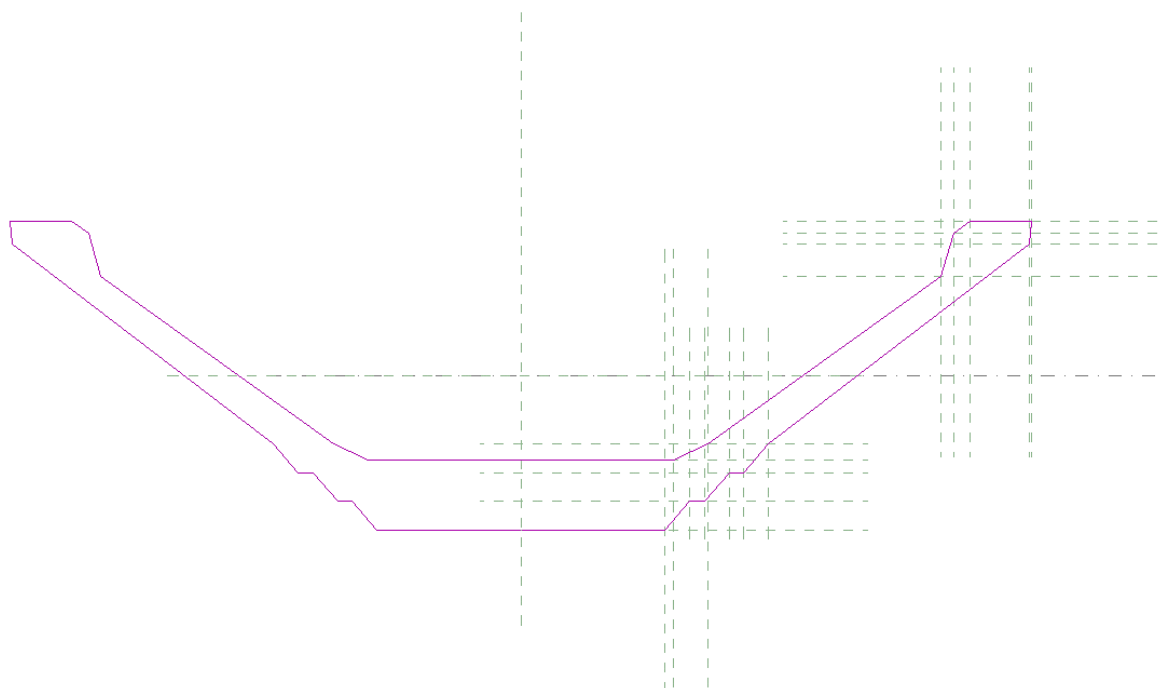


Figura 116 Sección de extrusión de familia Artwind 75+2

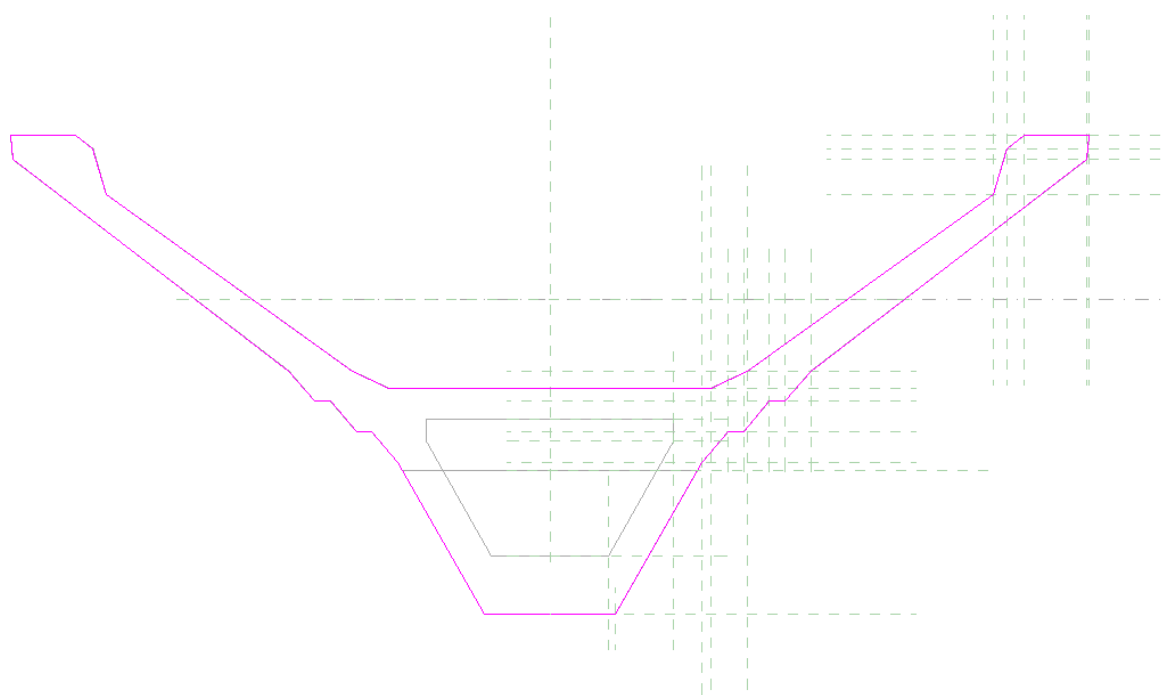


Figura 117 Sección de extrusión de familia Artwind 110+2

Como puede observarse, la versión 110 gana sección respecto a la 75 en cuanto que descuelga más área a lo largo de su longitud, salvo en los apoyos, en que torna la forma de ésta primera. El área central tiene, además, un hueco con el fin de aligerar la pieza. Todos estos arreglos geométricos se han introducido mediante la herramienta “Extrusión vacía” dentro de la opción “Formas vacías”, en la pestaña “Formas”:

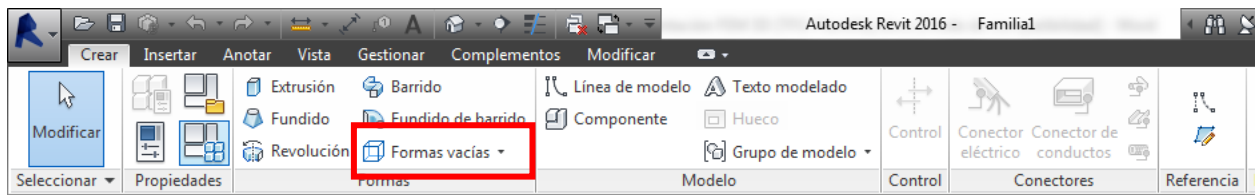


Figura 118 Localización comando Formas vacías

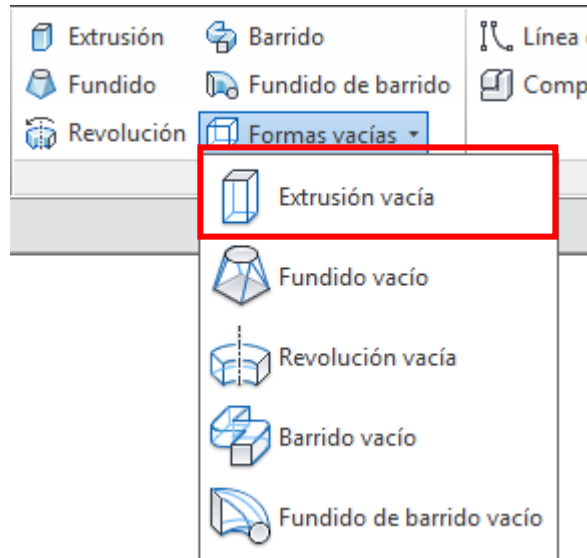


Figura 119 Desplegable Formas vacías. Extrusión vacía

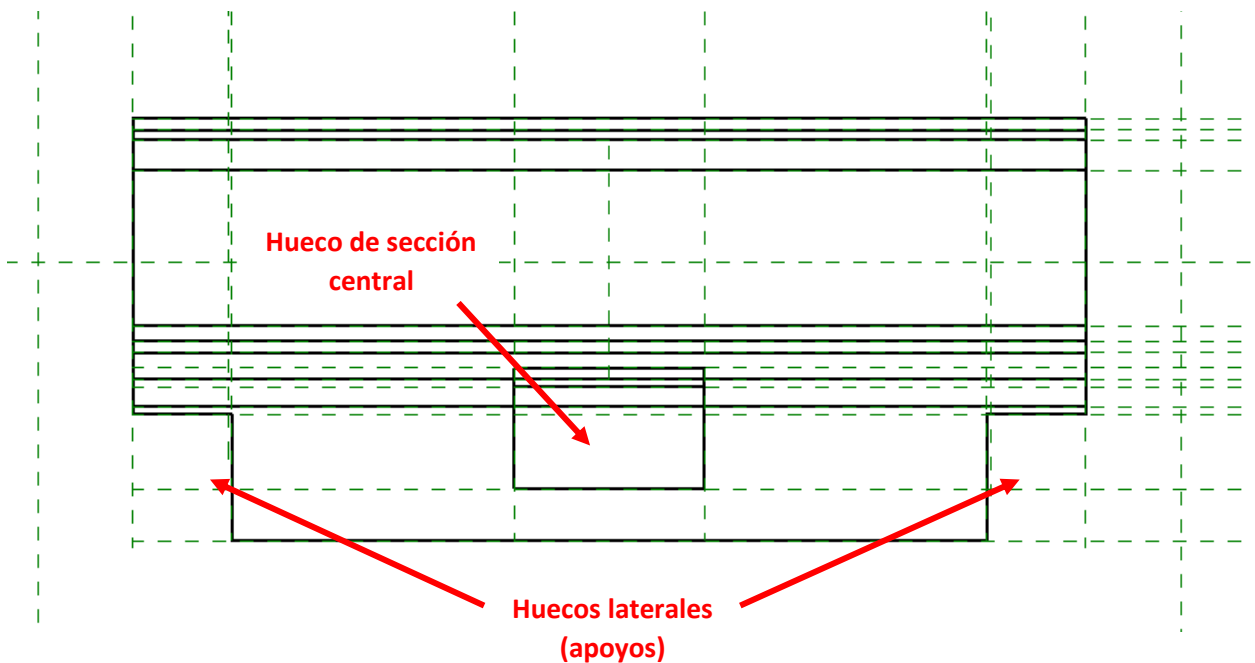
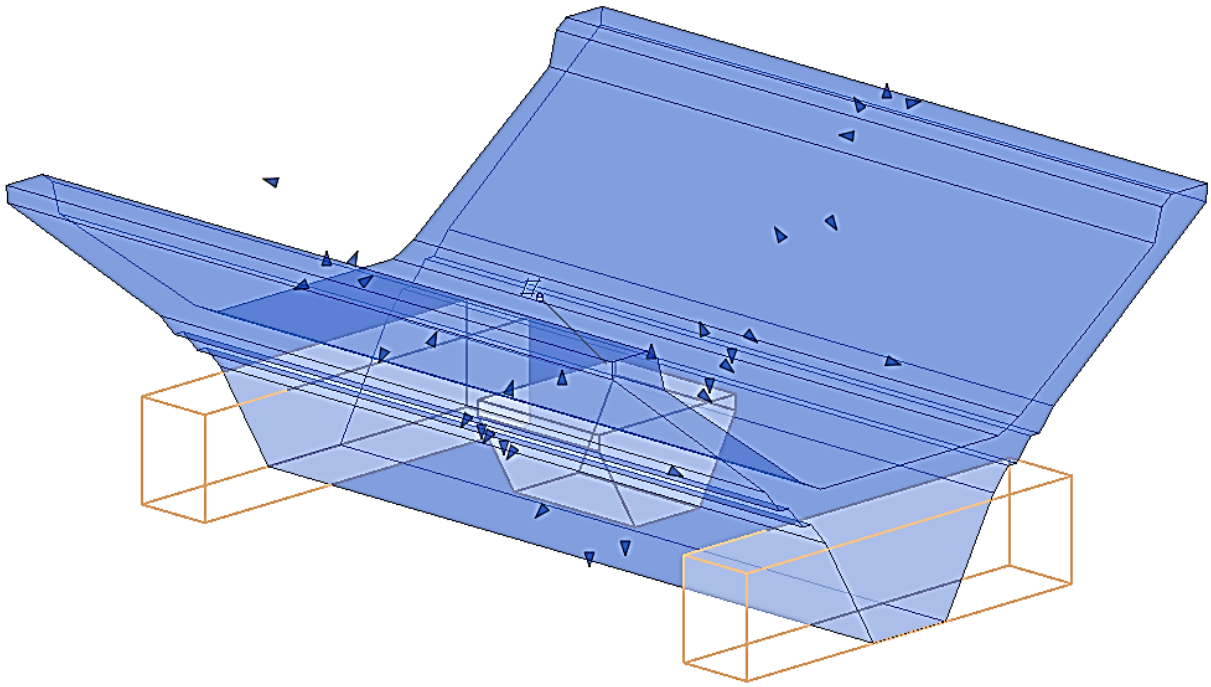
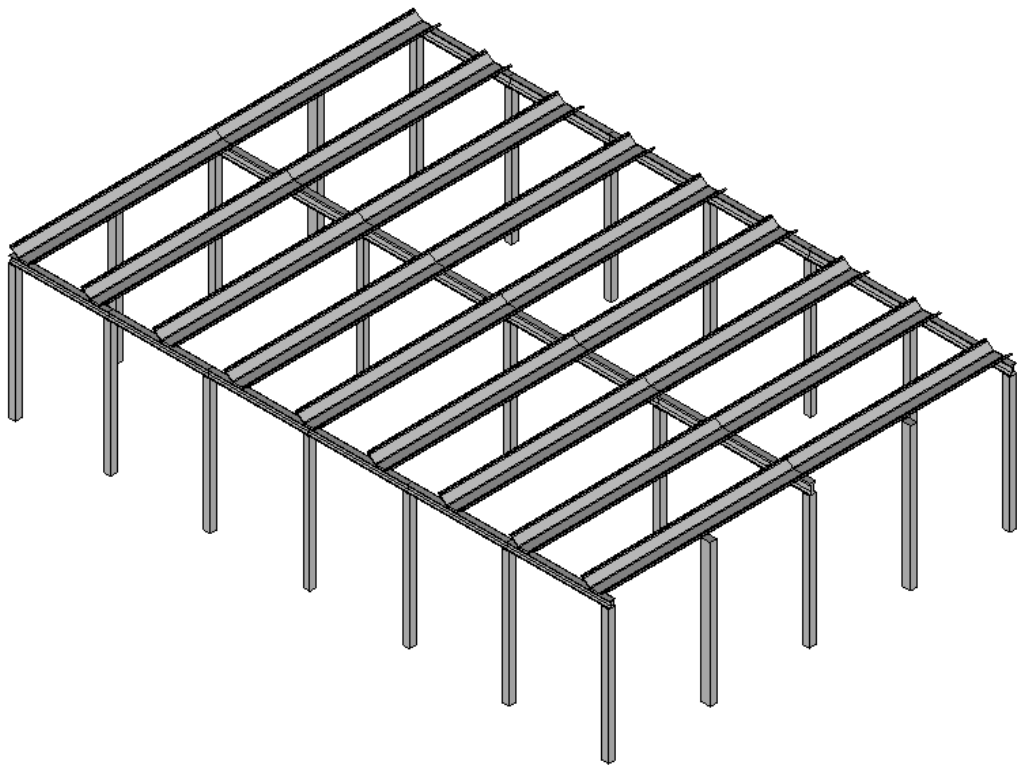


Figura 120 Artwind 110+2.Vista lateral. Huecos en la viga



*Figura 121 Artwind 110+2.Vista 3D. Huecos en la viga*

Para que estos huecos se muevan conforme la pieza varía su longitud dentro del modelo, han de llevarse a los planos de referencia mediante una relación de bloqueo, sólo así crecerán con éstos. Una vez se tienen ambas familias generadas, se introducen en Revit, y se procede a su correcta colocación de acuerdo a los planos de ARTEPREF:



*Figura 122 Vigas Artwind 75+2 en zona de expediciones. Vista 3D*

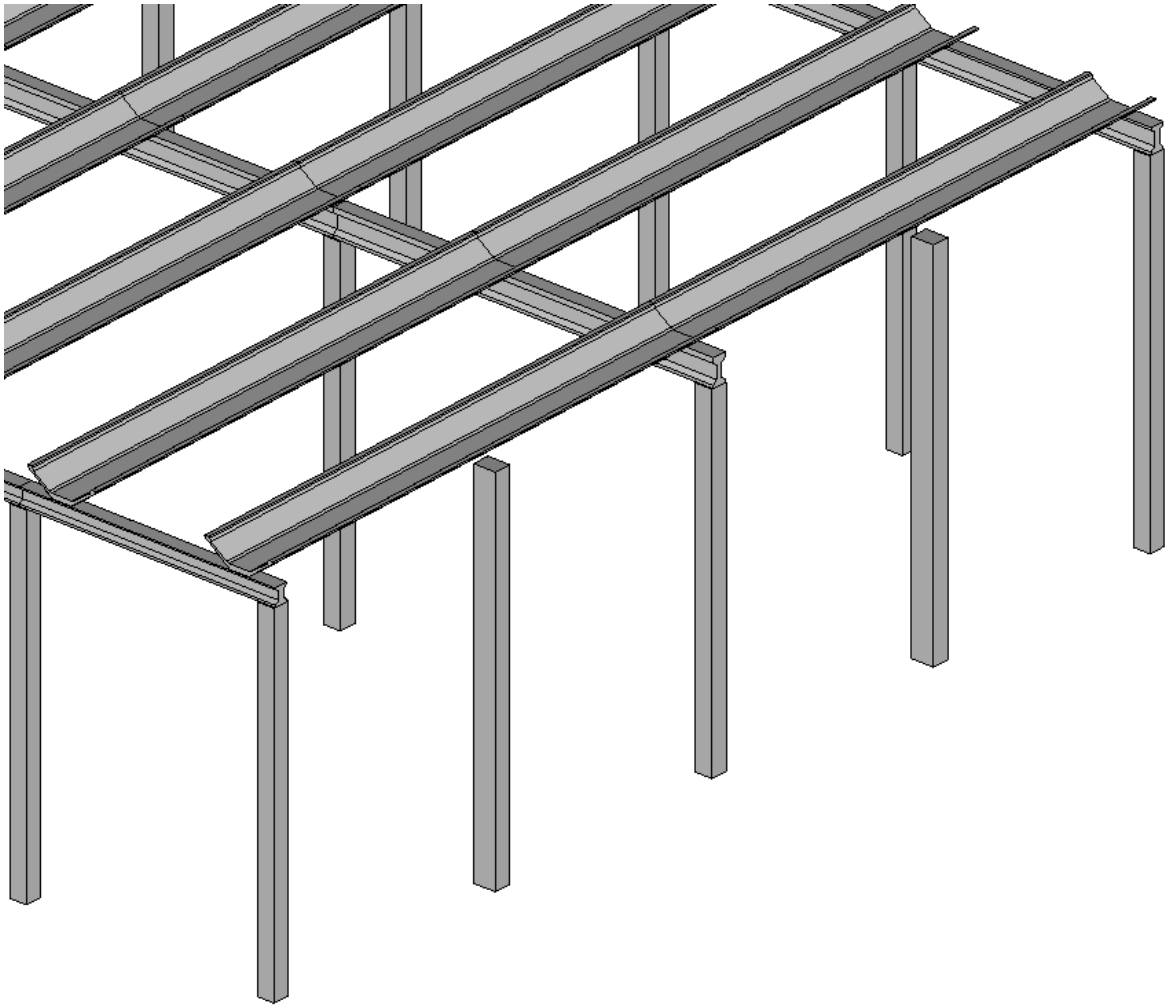


Figura 123 Vigas Artwind 75+2 en zona de expediciones. Vista 3D. Detalle

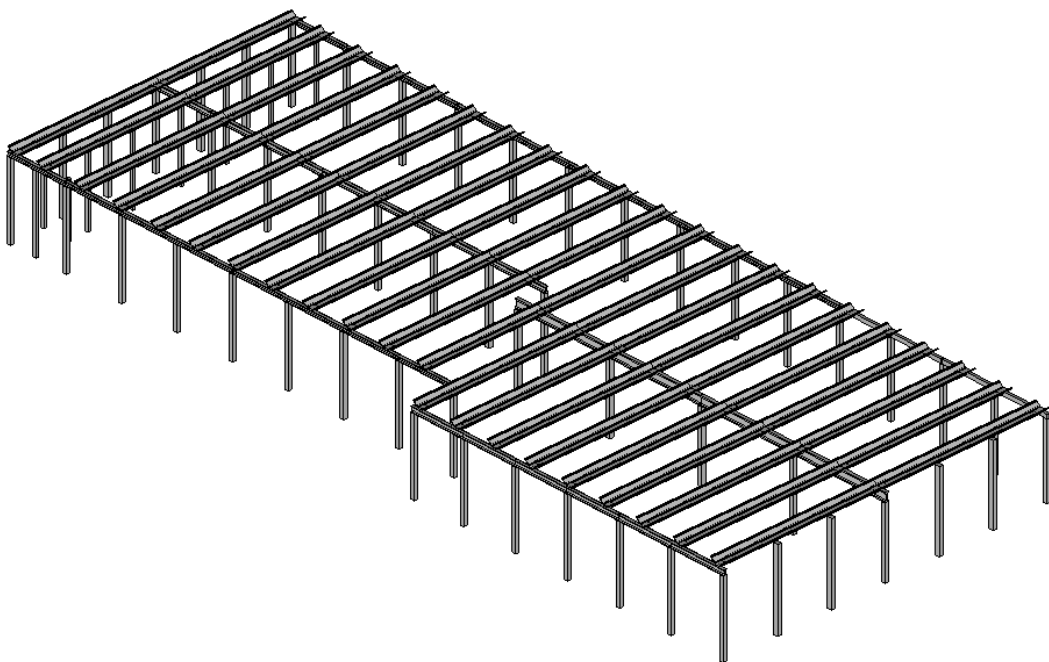


Figura 124 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D

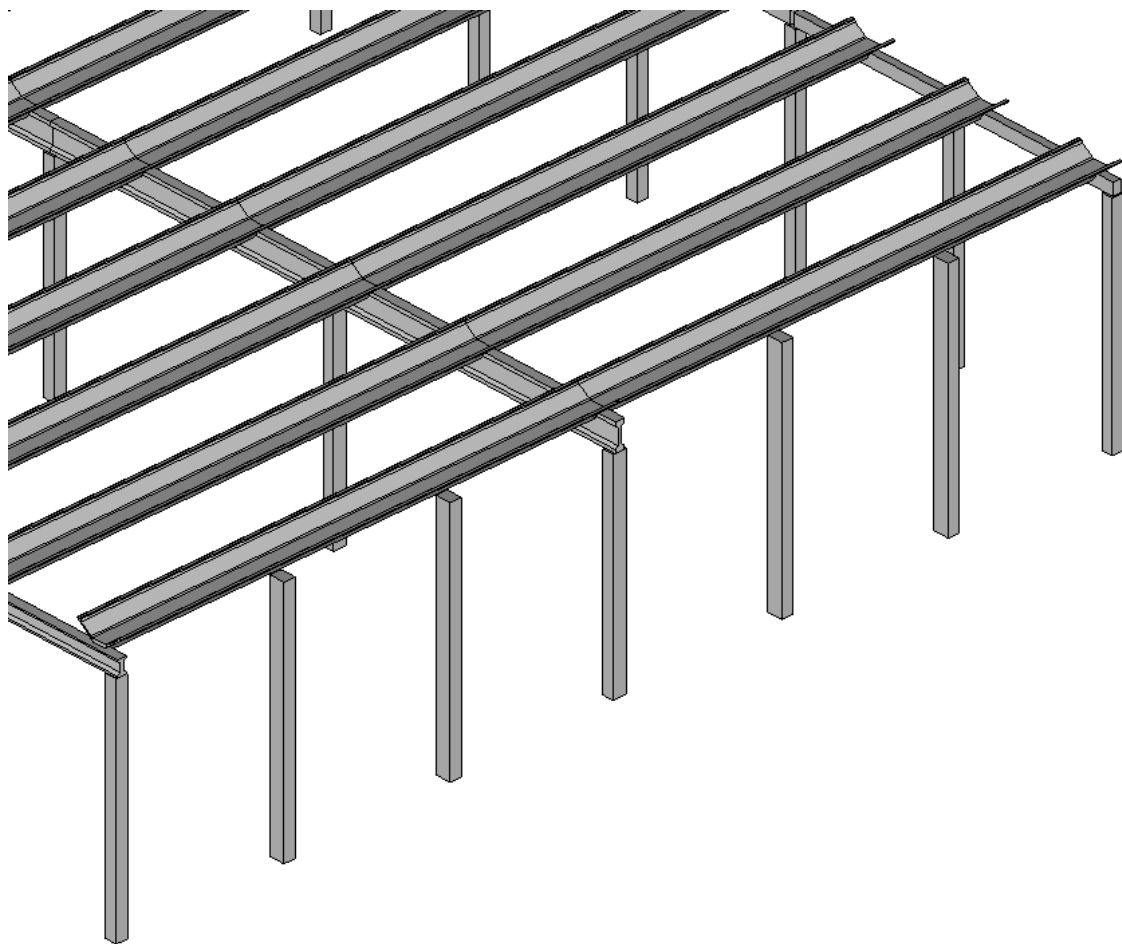


Figura 125 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle

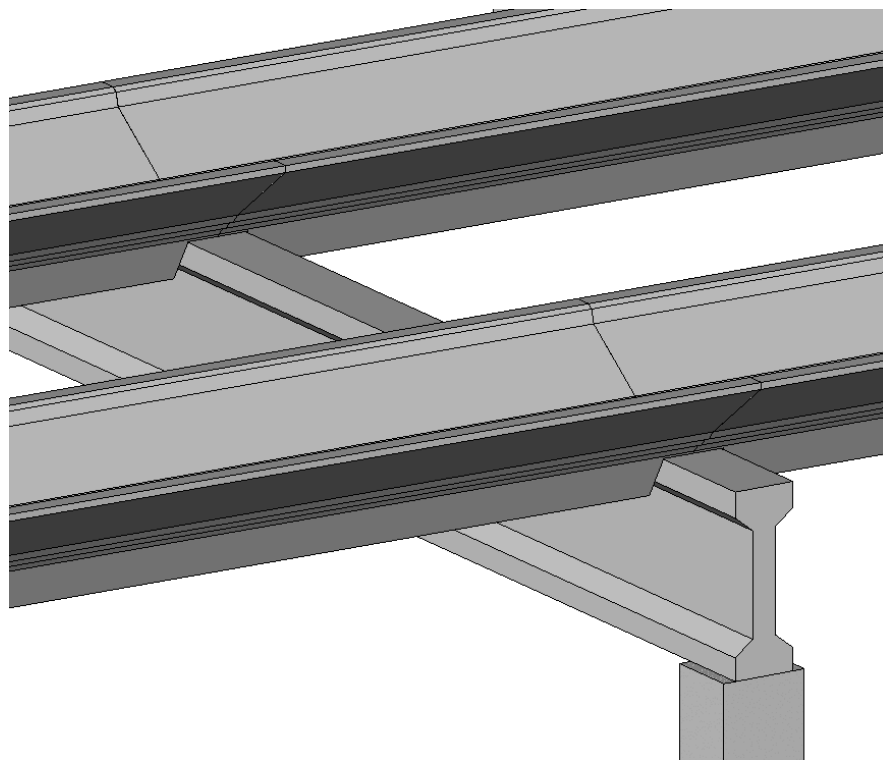
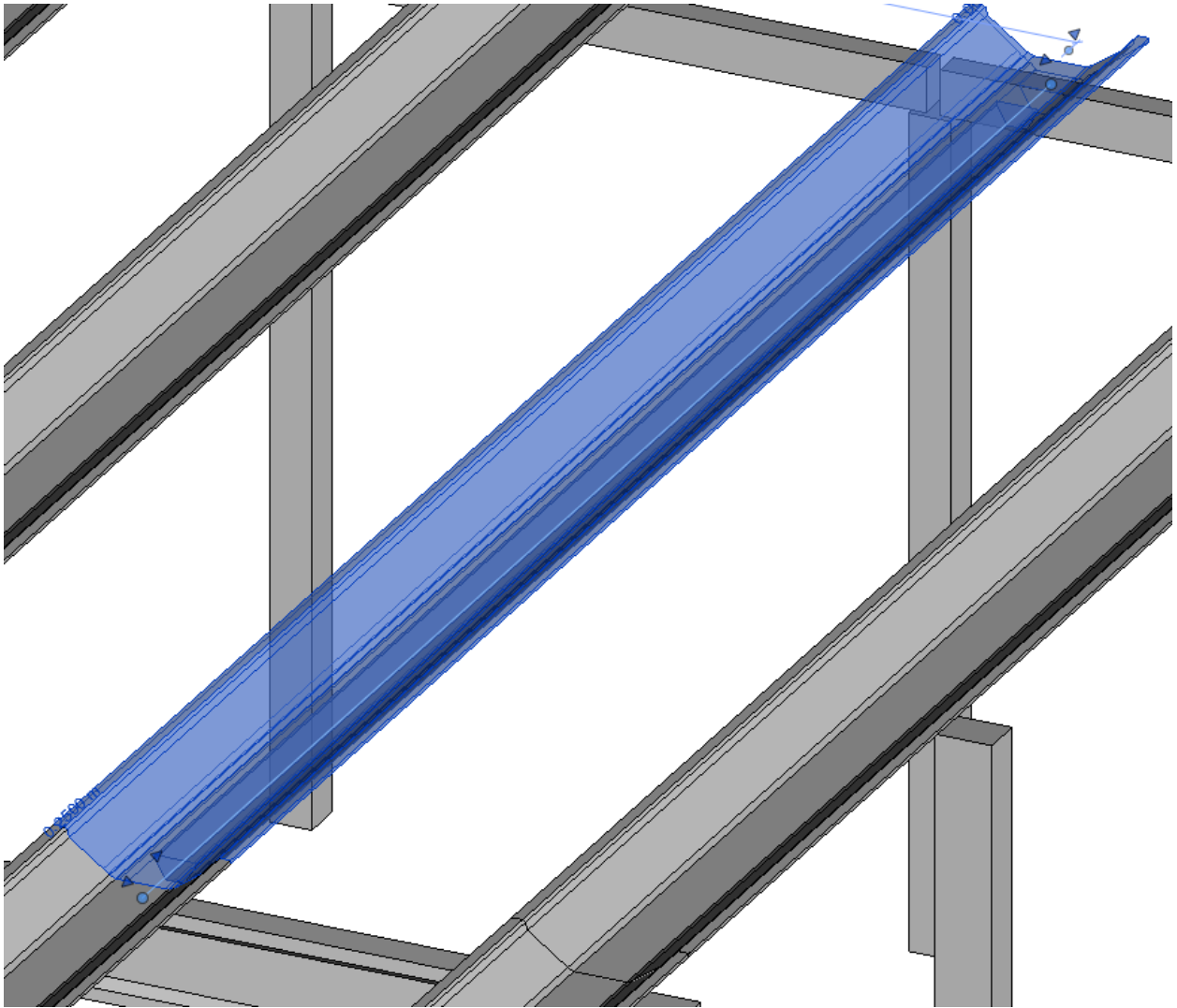
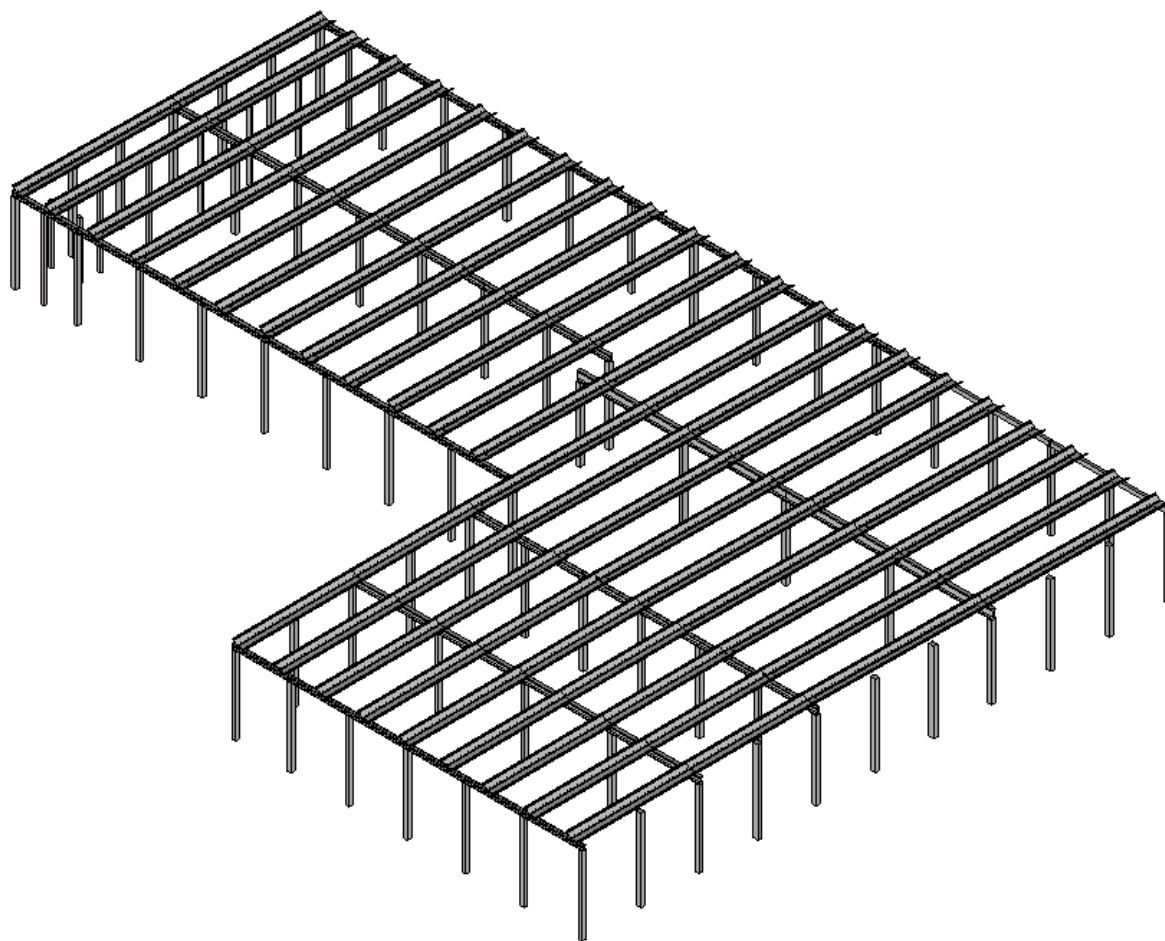


Figura 126 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle encuentro en viga salvapilar



*Figura 127 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle hueco interior sección*

La colocación de todas ellas se hace siguiendo minuciosamente las dimensiones que pueden observarse en los planos de ARTEPREF. Con todas ellas ya en el modelo, éste queda de la siguiente manera:



*Figura 128 Vigas Artwind de cubierta. Vista 3D*

## 5 Estructura interior

Ya se ha mencionado en el apartado de descripción geométrica en la memoria, que el edificio posee una pequeña estructura interna con una planta baja y dos forjados que generan dos alturas por encima de ésta. Esta estructura se asienta y viene delimitada por los pilares 50x40 que pueden verse en la parte más a la izquierda en la zona de producción y envasado, así como por una serie de vigas de hormigón prefabricado de 40x40, que serán las encargadas de aguantar los forjados unidireccionales.

La disposición de éstos puede verse en los planos que proporcionó ARTEPREF, cuyo detalle se adjunta a continuación:



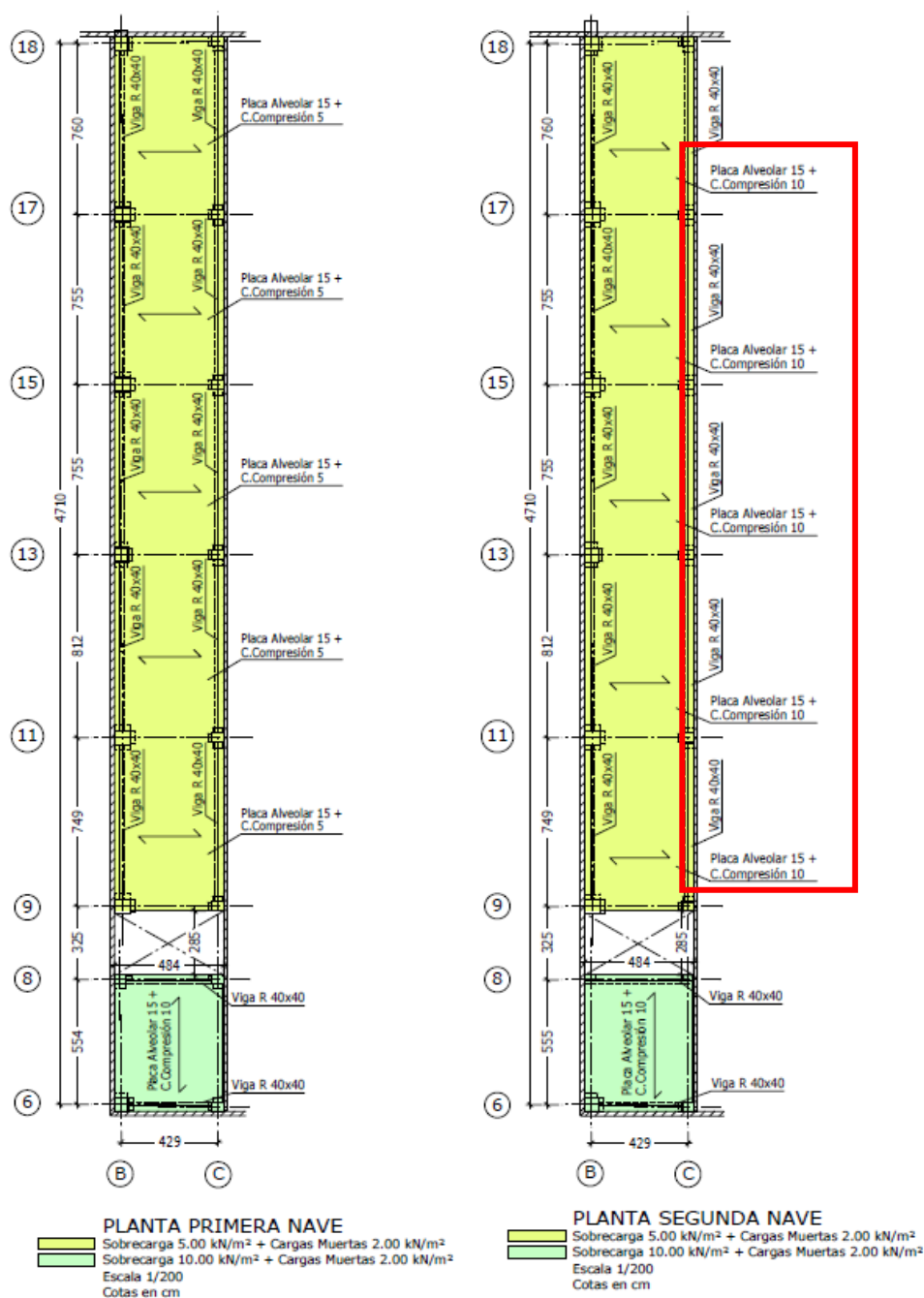


Figura 129 Disposición de forjados según planos de ARTEPREF

Nótese la errata cometida, y es que todos los forjados color amarillo son de placa alveolar de 15 cm + capa de compresión de 5 cm. Véase también cómo la dirección del forjado varía de una zona a otra.

En el modelo, se sigue el mismo orden que se seguiría en obra: se empieza por las vigas, se sigue por las placas alveolares, y se termina por las capas de compresión.

Las vigas, como puede verse en plano, son de 40x40cm, familia que ya viene por defecto en Revit, por lo que no hace falta crear ni familias específicas ni un tipo nuevo, simplemente se coge de las librerías del programa y se procede a su colocación en las alturas pertinentes. Para que toda la planta quede a la misma altura, por la presencia de dos capas de compresión de distinto espesor, se ha tomado como cotas iniciales las del tipo de forjado de 15+5, y se ha puesto en el modelo un desfase de 5 cm a todos los elementos de la zona que contiene los forjados de 15+10.

Una vez se colocan las vigas, esta estructura interna puede verse de la siguiente manera:

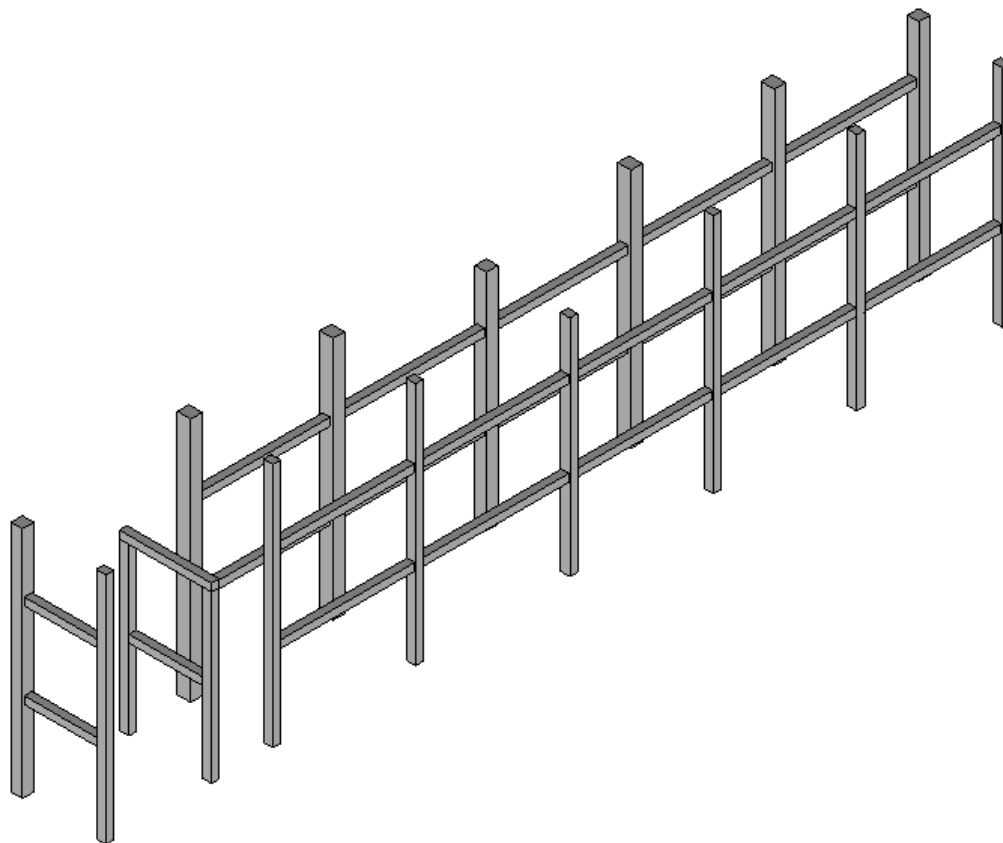


Figura 130 Forjados estructura interior. Vista 3D. Vigas 40x40

Sobre éstas, se colocarán las placas alveolares. Éstas se obtuvieron también de datos proporcionados por la empresa ARTEPREF:

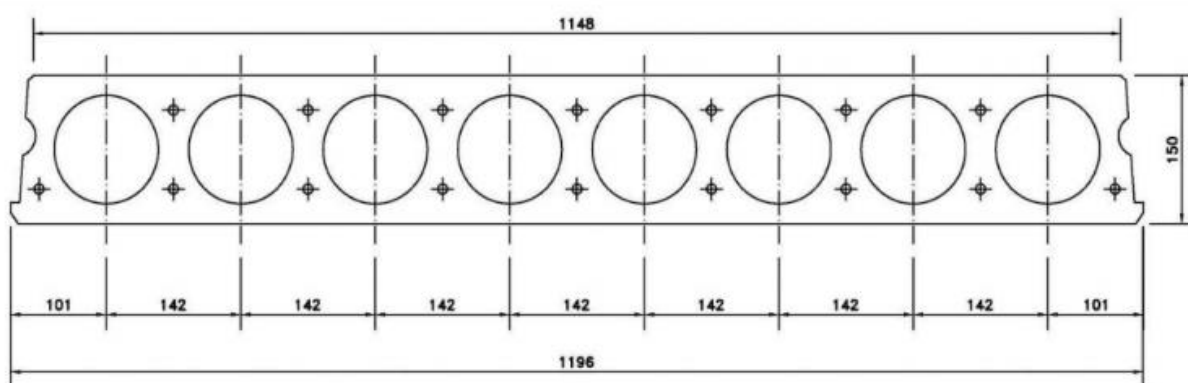
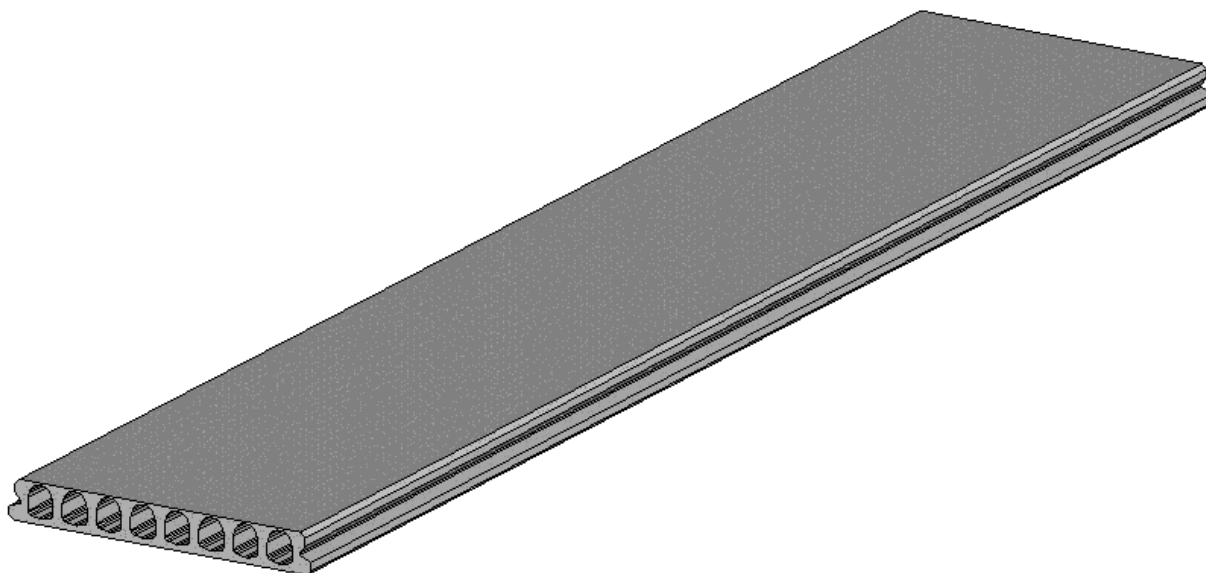


Figura 131 Dimensiones placa alveolar proporcionadas por ARTEPREF

Como se verá más adelante, es un elemento que da problemas de identificación en Robot, y por tanto se decidió no generarlo con tanto nivel de detalle como las jácnas salvapilar o las vigas Artwind, dado que su elemento analítico no se tendrá en cuenta. Ya existe un modelo de placa alveolar por defecto entre las familias de hormigón prefabricado de Revit con dimensiones que pueden adaptarse a las más importantes representadas en el plano (8 alveolos, 1,2 m de ancho, y 15 cm de espesor):



*Figura 132 Modelo de placa alveolar en Revit, adaptado a las dimensiones reales.*

Como puede observarse, ambas piezas son extremadamente similares, y para el nivel de detalle que se va a alcanzar en este proyecto, se ha supuesto suficiente generar esta parte usando estos elementos. En procesos posteriores que llevasen el edificio a un nivel de detalle hiperrealista, se tendría que trabajar con familias de placas alveolares, las cuales contienen subfamilias de alveolos a elegir por el modelista y que deberían ser parametrizadas para reconocer estas subfamilias. El proceso es laborioso cuanto menos y exige un manejo de gran nivel del software de modelización, de ahí también la decisión final de considerar este pequeño atajo, siendo que éste se ha aprendido a manejar desde cero.

Es algo que a nivel de cálculo no tiene mayor importancia, puesto que, como ya se ha mencionado, Robot no reconoce estos elementos al leer desde Revit. La manera de solucionar este percance se ha explicado en el apartado de “Lectura y acondicionamiento del modelo” de la memoria, y lo único que atañe a este anexo, es que a la hora de ir colocando estos elementos, la opción “Activar modelo analítico” deberá estar desactivada, puesto que no se desea que estos elementos sean leídos por Robot.

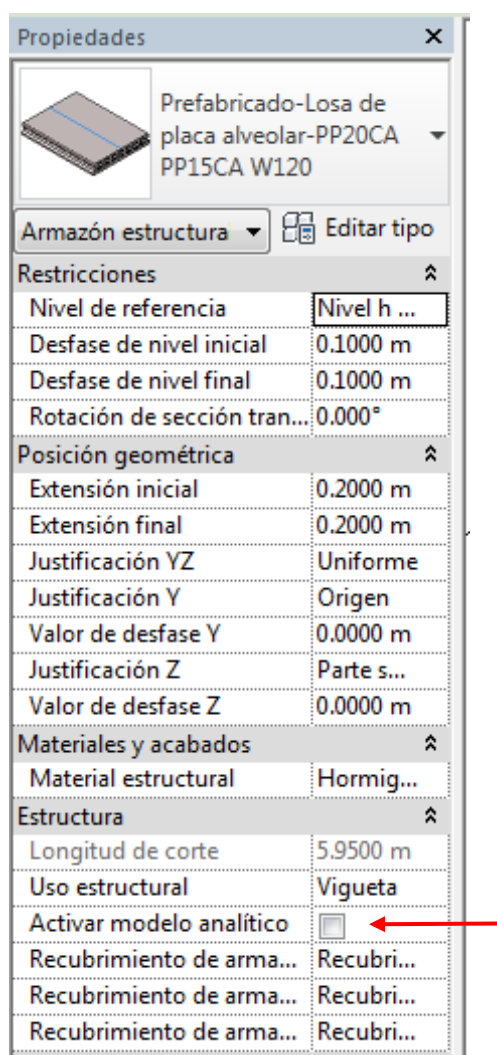


Figura 133 Propiedades modelo de placa alveolar. "Activar modelo analítico" desactivado

Poco a poco, éstas pueden ir colocándose en el modelo atendiendo a los desfases que se deben aplicar por estar introduciéndolos dentro de un nivel concreto. Para esta tarea, es de especial ayuda el comando "Sistema de vigas", que permite, mediante la selección de una determinada área seleccionada, colocar varias vigas/vigüetas de un mismo tipo. Éste puede encontrarse en la pestaña de Estructura:

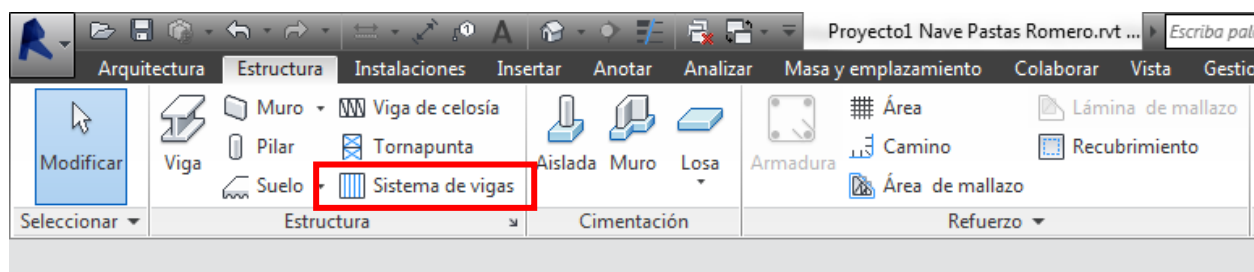


Figura 134 Localización comando "Sistema de vigas"

Gracias a ésta, este proceso termina siendo relativamente sencillo. Relativamente porque esta "ayuda" no está exenta de errores, y hay que modificar el resultado con paciencia y delicadeza para que quede exactamente igual que quedaría en la realidad.

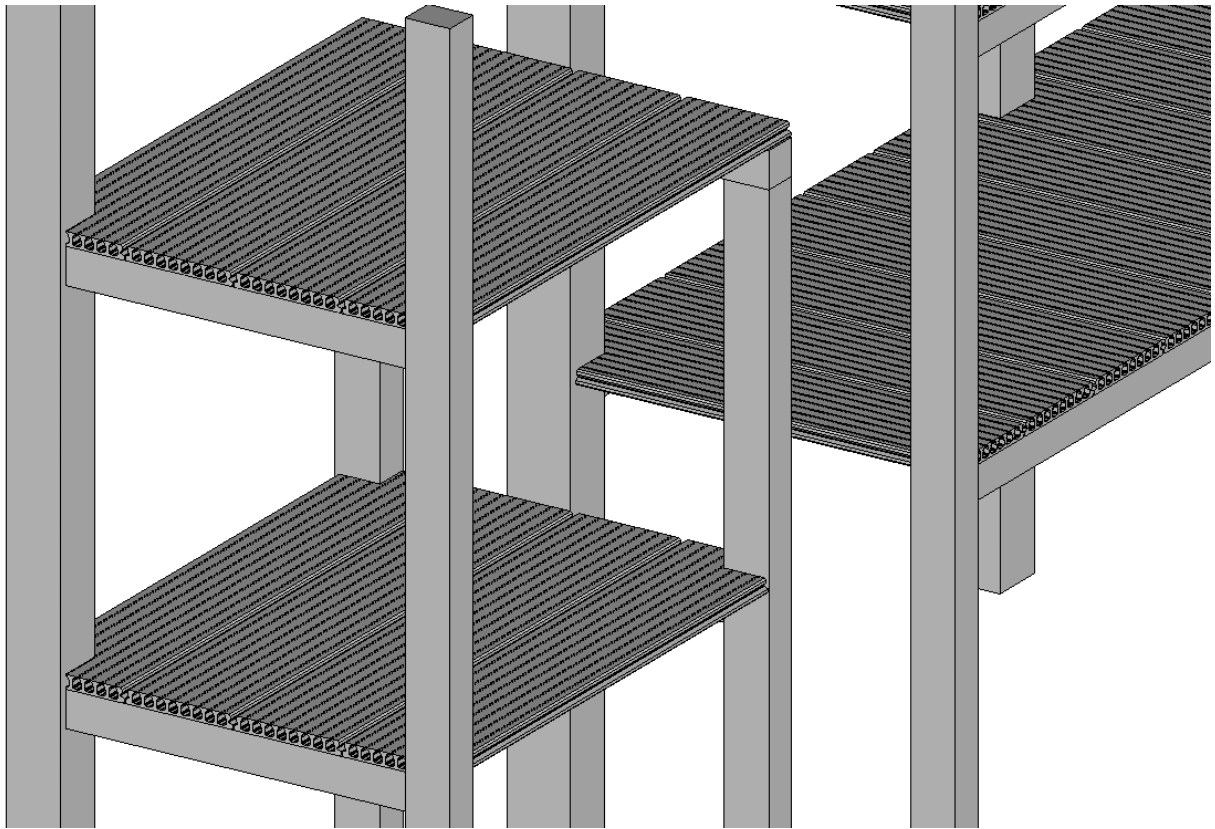


Figura 135 Forjados estructura interior. Placas alveolares. Detalle cambio de dirección y disposición 1

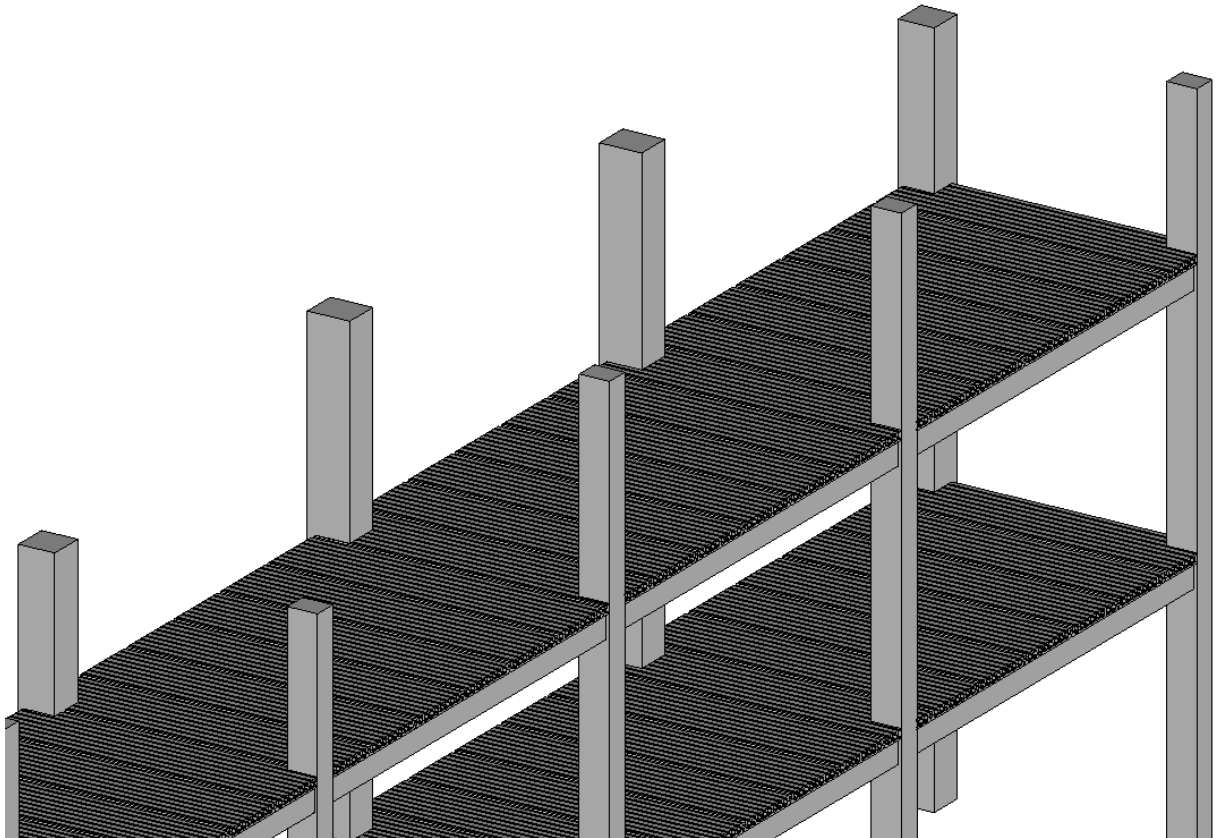


Figura 136 Forjados estructura interior. Placas alveolares. Detalle cambio de dirección y disposición 2

Una vez colocadas todas las placas alveolares, se procede a colocar la capa de compresión, el suelo estructural que va inmediatamente sobre éstas. Como ya se ha visto, los hay de dos espesores distintos, uno de 5 y otro de 10 cm. Ambos (tipos) tendrán que generarse a partir de un suelo estructural por defecto que ya tiene Revit.

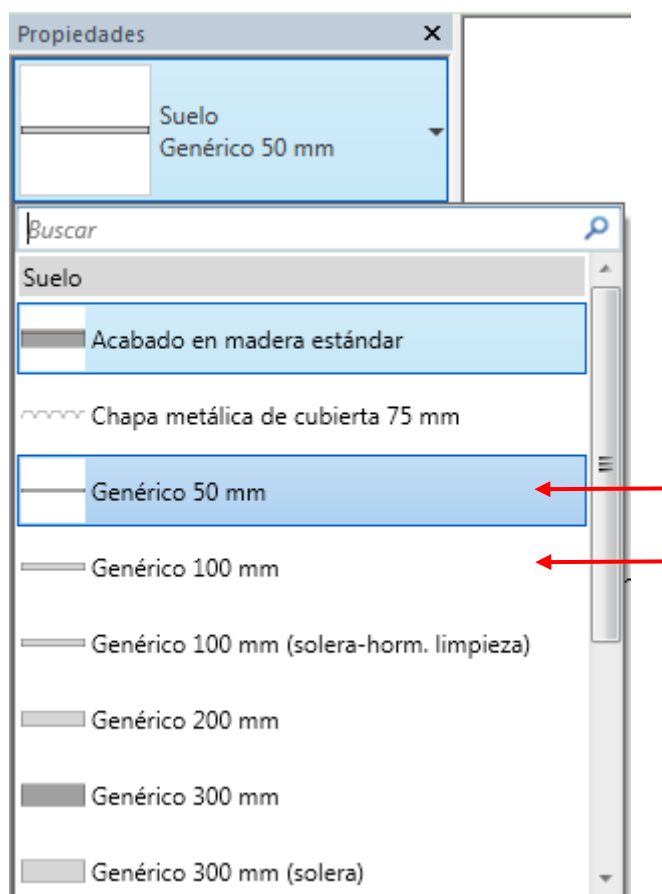


Figura 137 Desplegable Categorías y tipos de suelos. 50mm y 100 mm para el modelo

El espesor de cada uno de ellos se modifica desde la pestaña “Editar tipo” ya vista en otras ocasiones, y desde ahí, accediendo a la pestaña de “Estructura”, previo a haberlo duplicado:

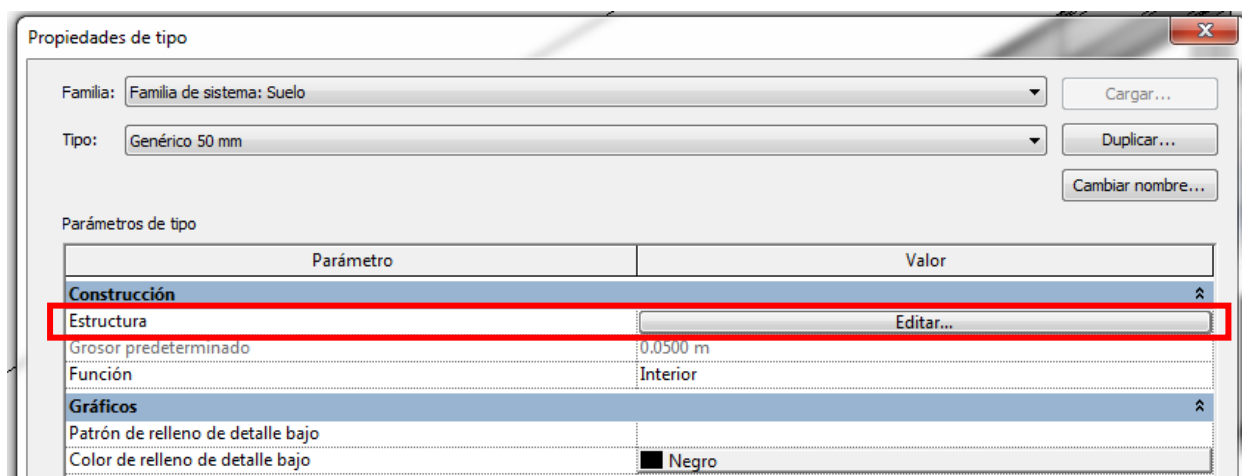


Figura 138 Propiedades de tipo de suelo 50 mm

En ésta, se pueden generar los suelos por medio de capas, en nuestro caso, es única, y de hormigón.

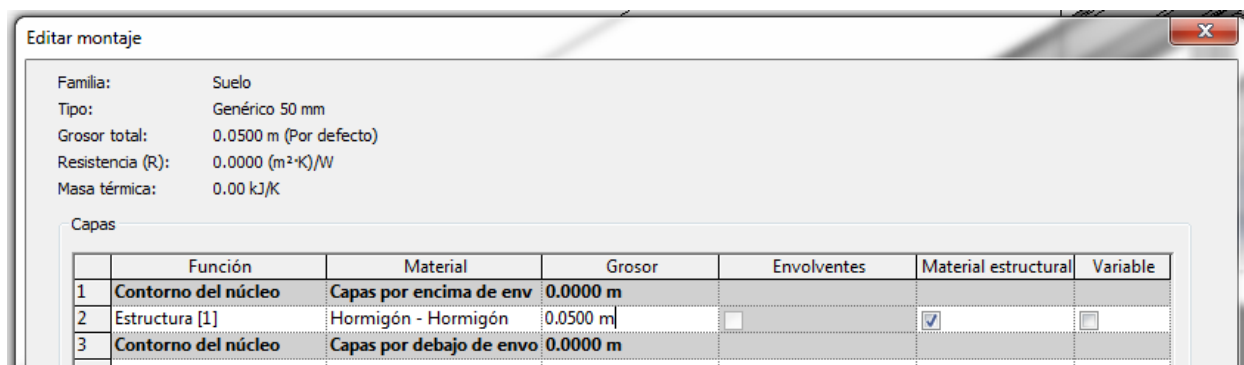


Figura 139 Ventana Editar estructura de montaje del suelo 50 mm

Generados ambos, queda pendiente colocarlos. Esto se hace mediante el comando Estructura – Suelo estructural:

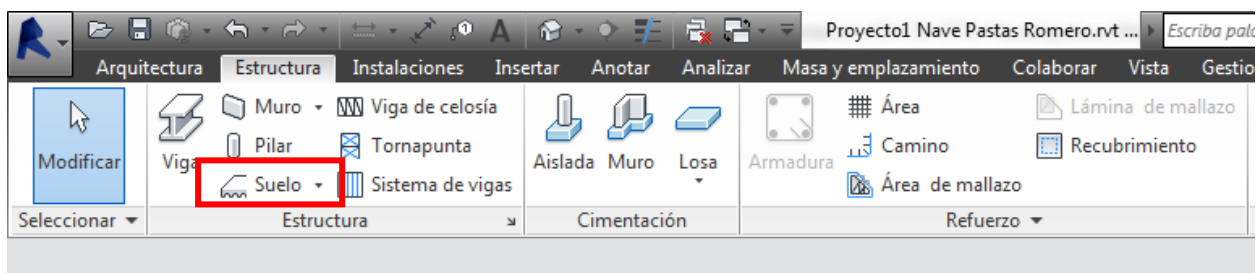


Figura 140 Localización comando Suelo estructural

Esta opción funciona mediante la generación del contorno, desde una vista en planta, del suelo que queramos generar, esto es:

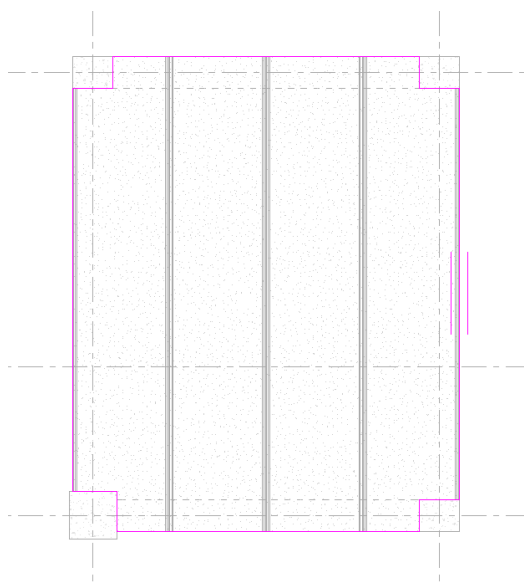
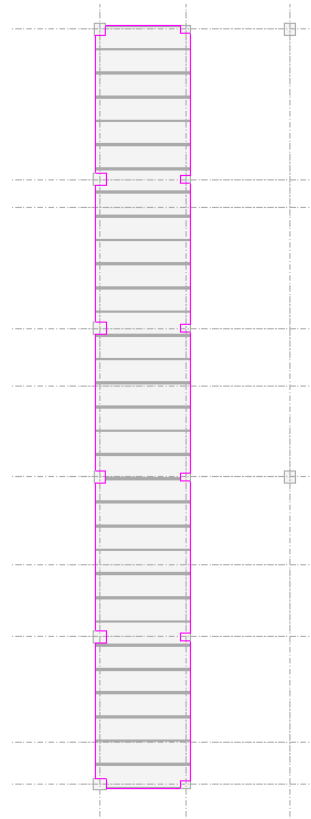
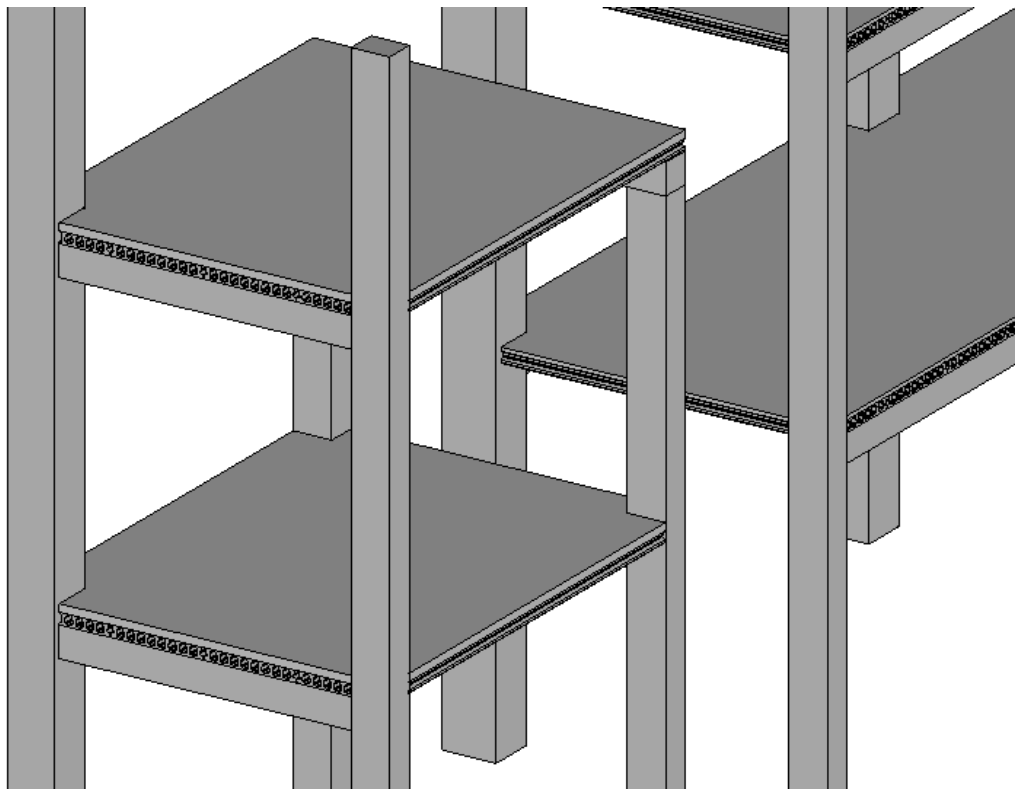


Figura 141 Contorno suelo forjado 15+10



*Figura 142 Contorno suelo forjado 15+5*

Una vez colocados, la estructura interior de forjados toma la siguiente forma, ya completada:



*Figura 143 Forjados estructura interior. Placas alveolares y suelo 15+10*



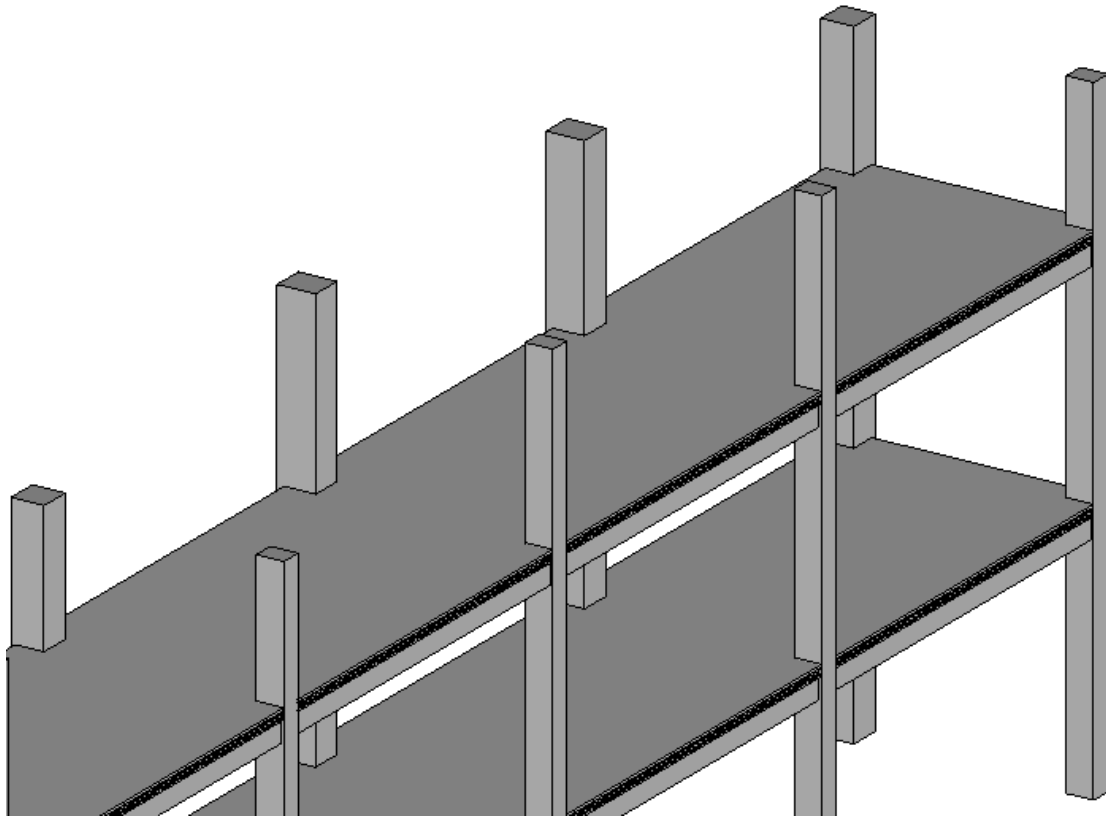


Figura 144 Forjados estructura interior. Placas alveolares y suelo 15+5

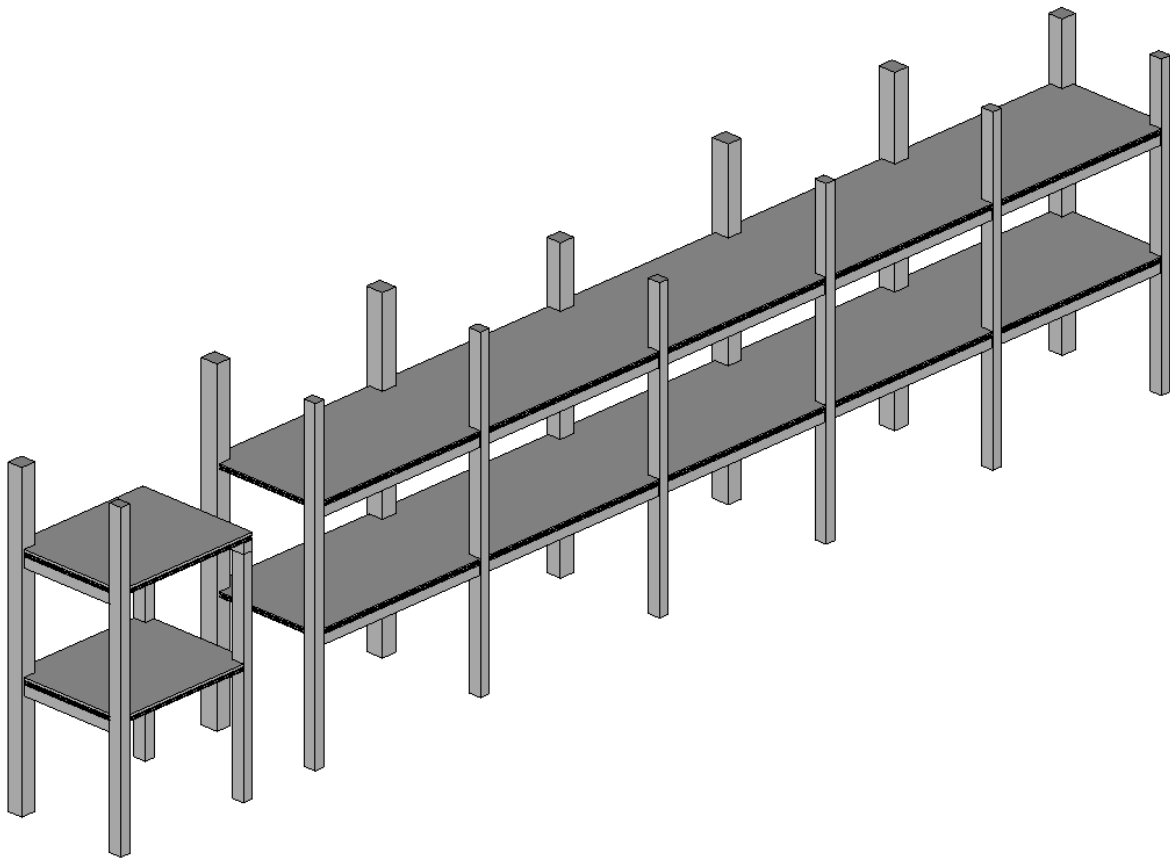


Figura 145 Estructura interior de forjados. Vista 3D

## 6 Materiales

Aquí viene donde la metodología BIM empieza a brillar. El modelo como tal no sólo son elementos en 3D, son elementos en 3D que tienen características propias: material, acabados, etc. Se sigue completando ahora la información del modelo añadiendo los materiales correspondientes que venían indicados en los planos de ARTEPREF, y que aparecen ya generados en las bibliotecas de materiales de Revit. Para ello, basta con seleccionar un elemento y dentro de su panel de propiedades buscar la etiqueta “Material estructural”:

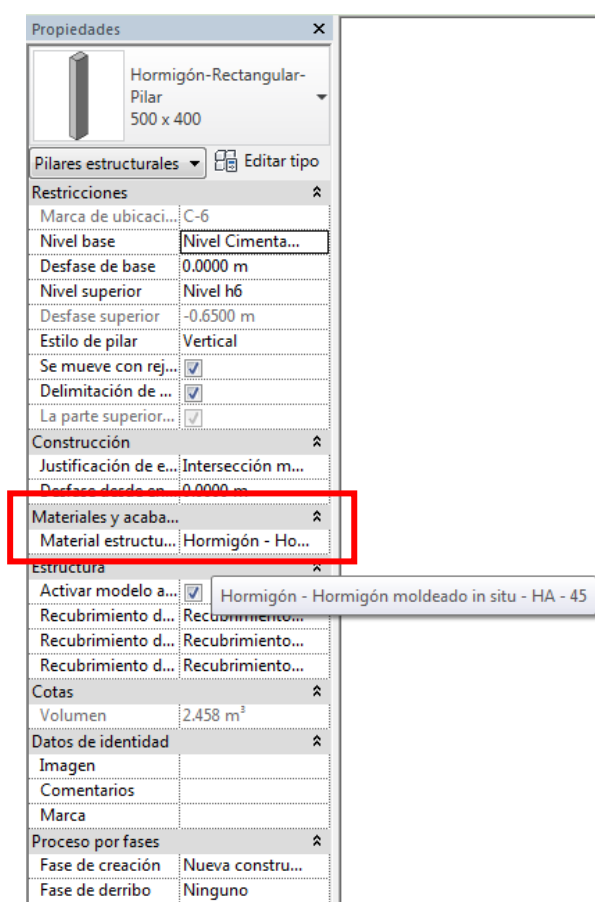


Figura 146 Localización “Material estructural” en panel de propiedades

Como por el momento el modelo no está calculado, no existen barras de acero presentes a las que asignarle un material concreto, así que sólo se asignarán los tipos de hormigón a pilares, vigas y suelos generados.

Por el momento, y como ya se ha mencionado, se asignarán sólo los tipos de hormigón conocidos, y se usarán los que trae Revit por defecto, habiendo dado ARTEPREF el visto bueno a las características físicas y mecánicas que presentan:

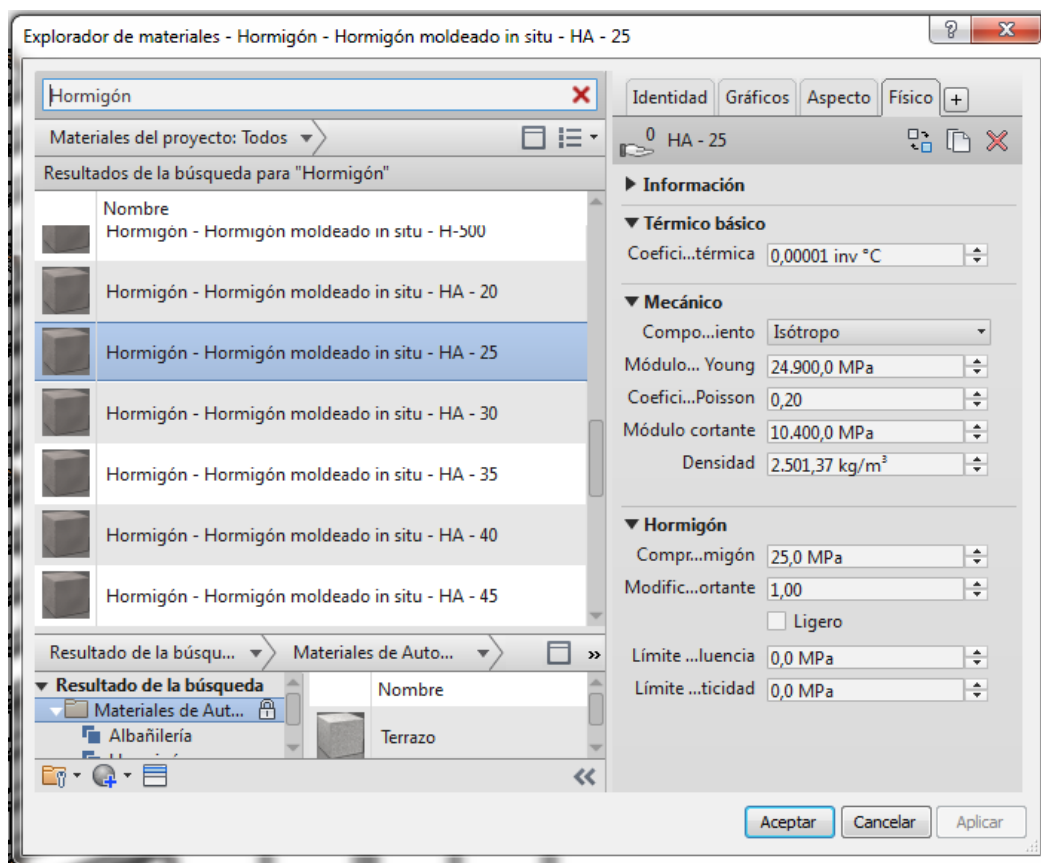


Figura 147 Características Hormigón HA-25

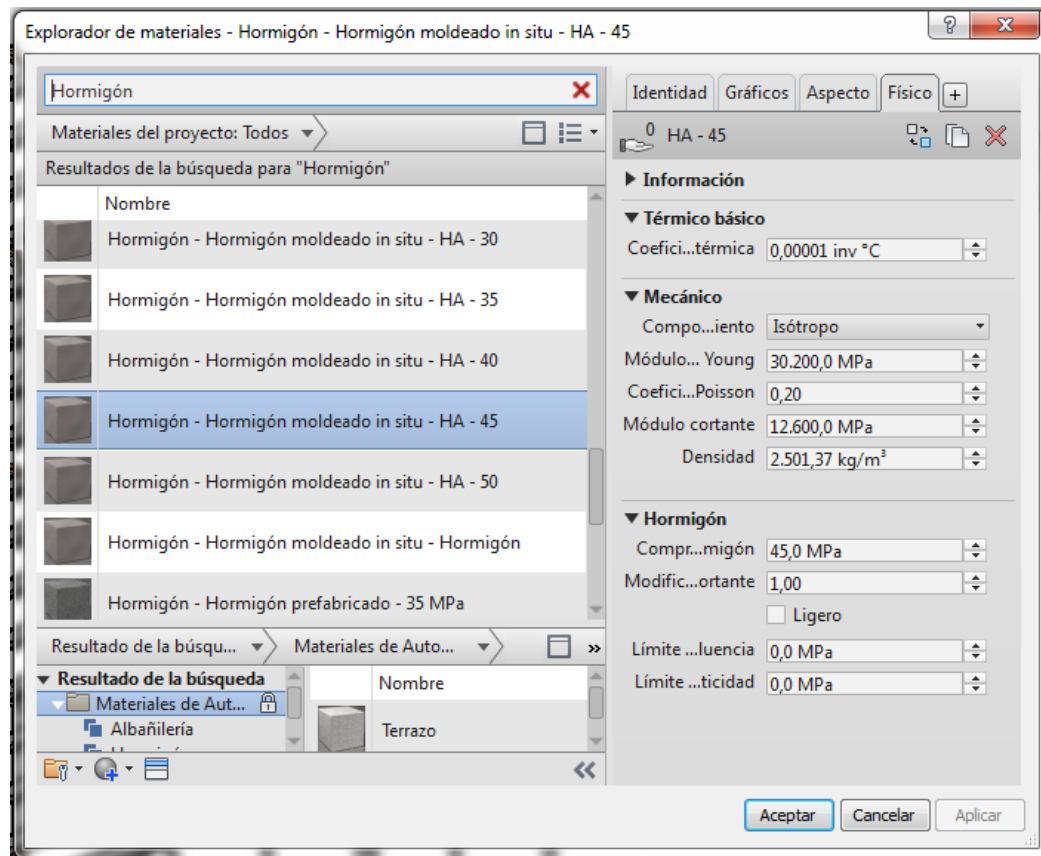
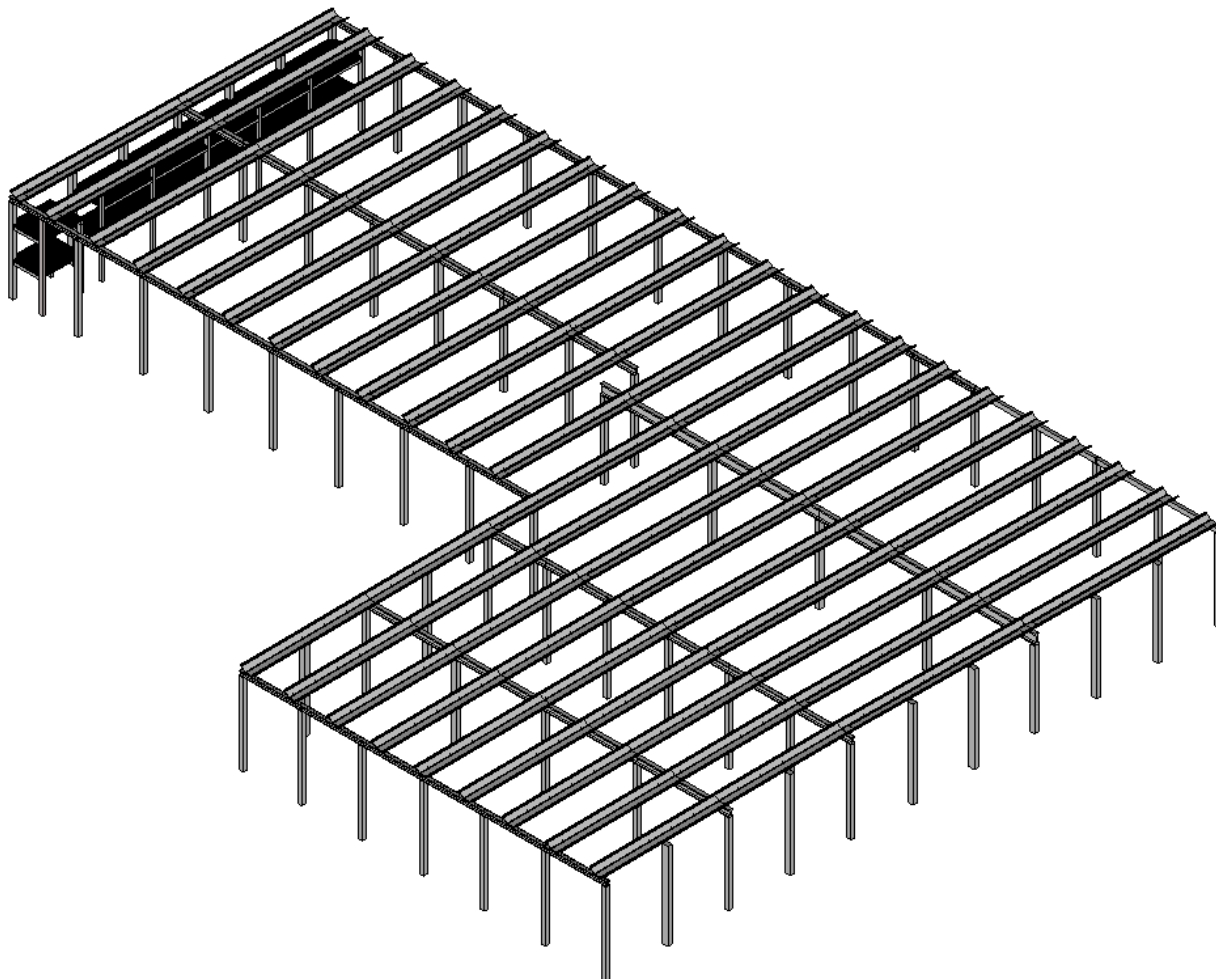


Figura 148 Características Hormigón HA-45

Con los materiales ya asignados, el modelo estructural se tiene ya definido al completo:



*Figura 149 Modelo estructural completo en Revit. Vista 3D*

## 7 Vistas auxiliares

Se adjuntan a continuación toda una serie de imágenes extraídas de los planos que se van generando en Revit a la par que se va modelando. Se deja constancia del gran ahorro de tiempo que se obtiene de cara a labores de delineación posteriores:

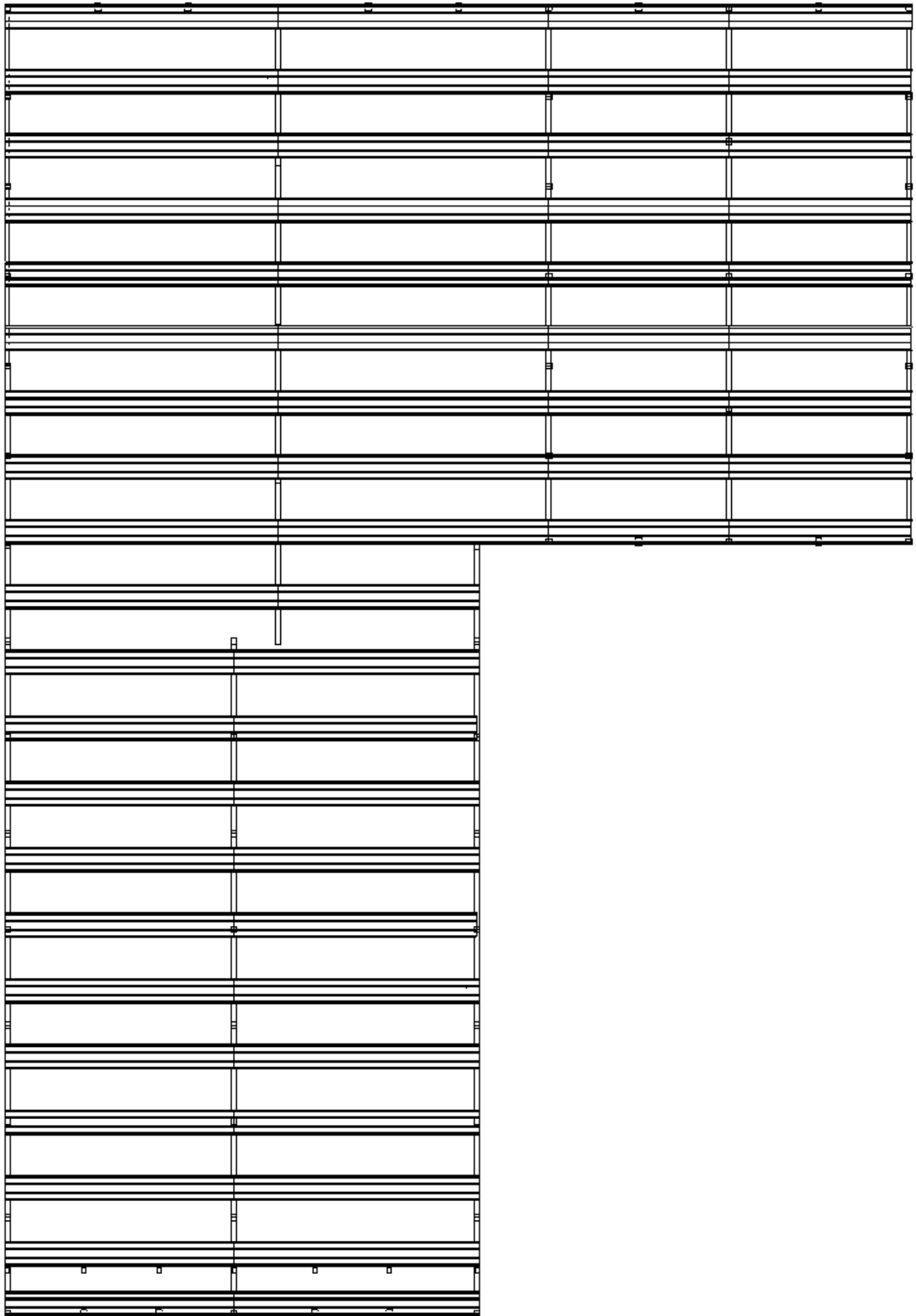


Figura 150 Vista en planta

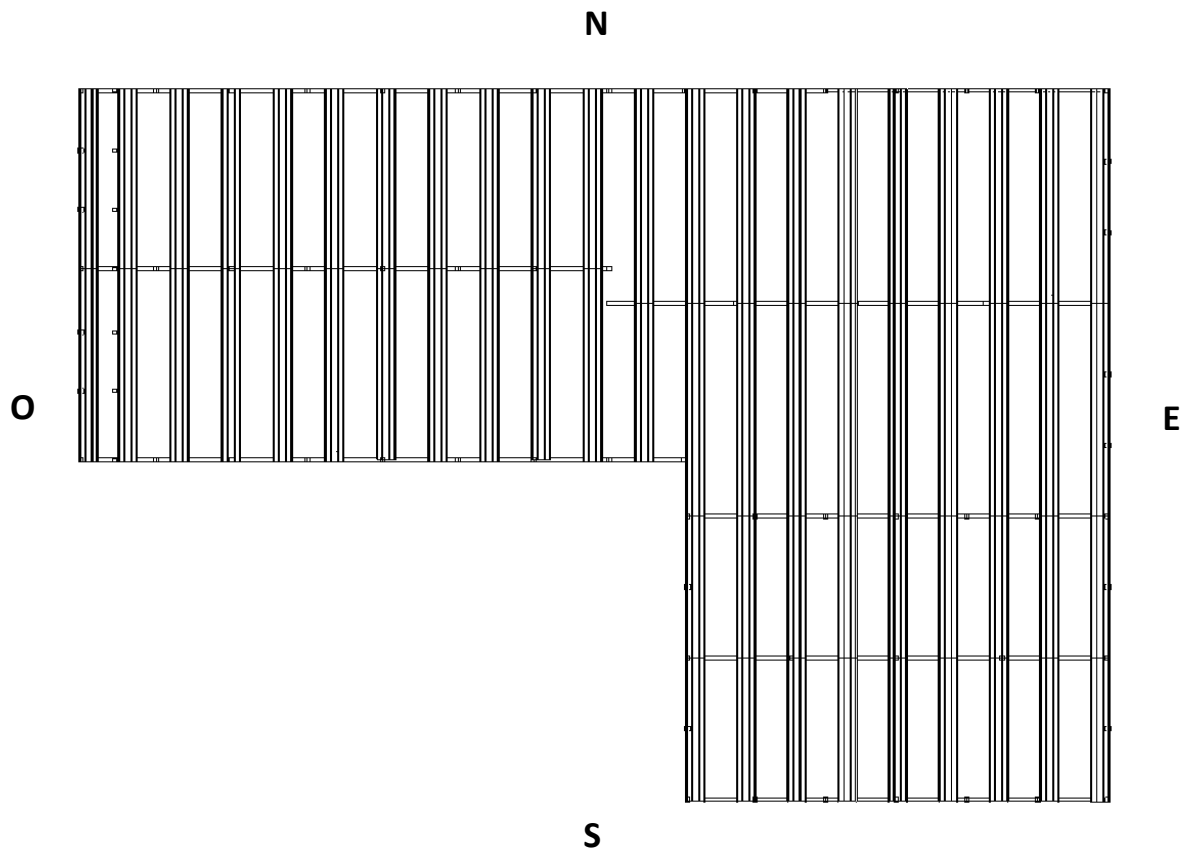


Figura 151 Vista en planta. Convenio Revit nombramiento de alzados

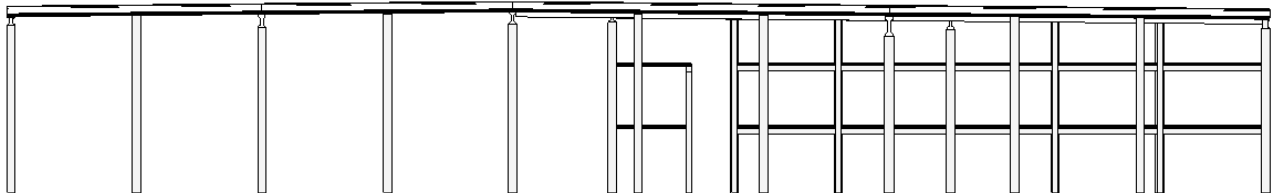


Figura 152 Vista en Revit. Alzado Este

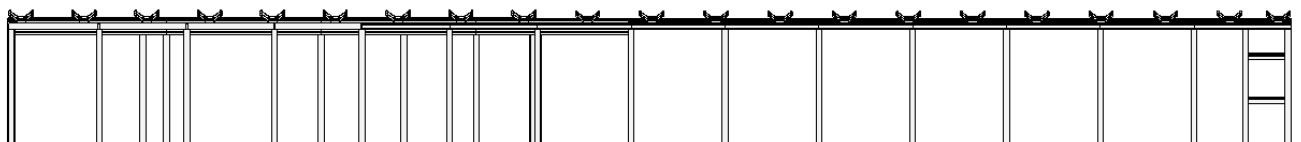
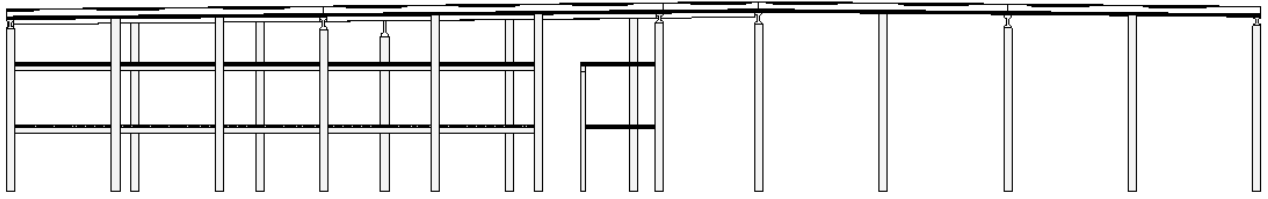
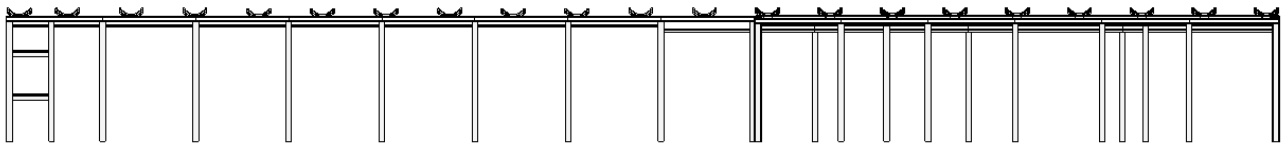


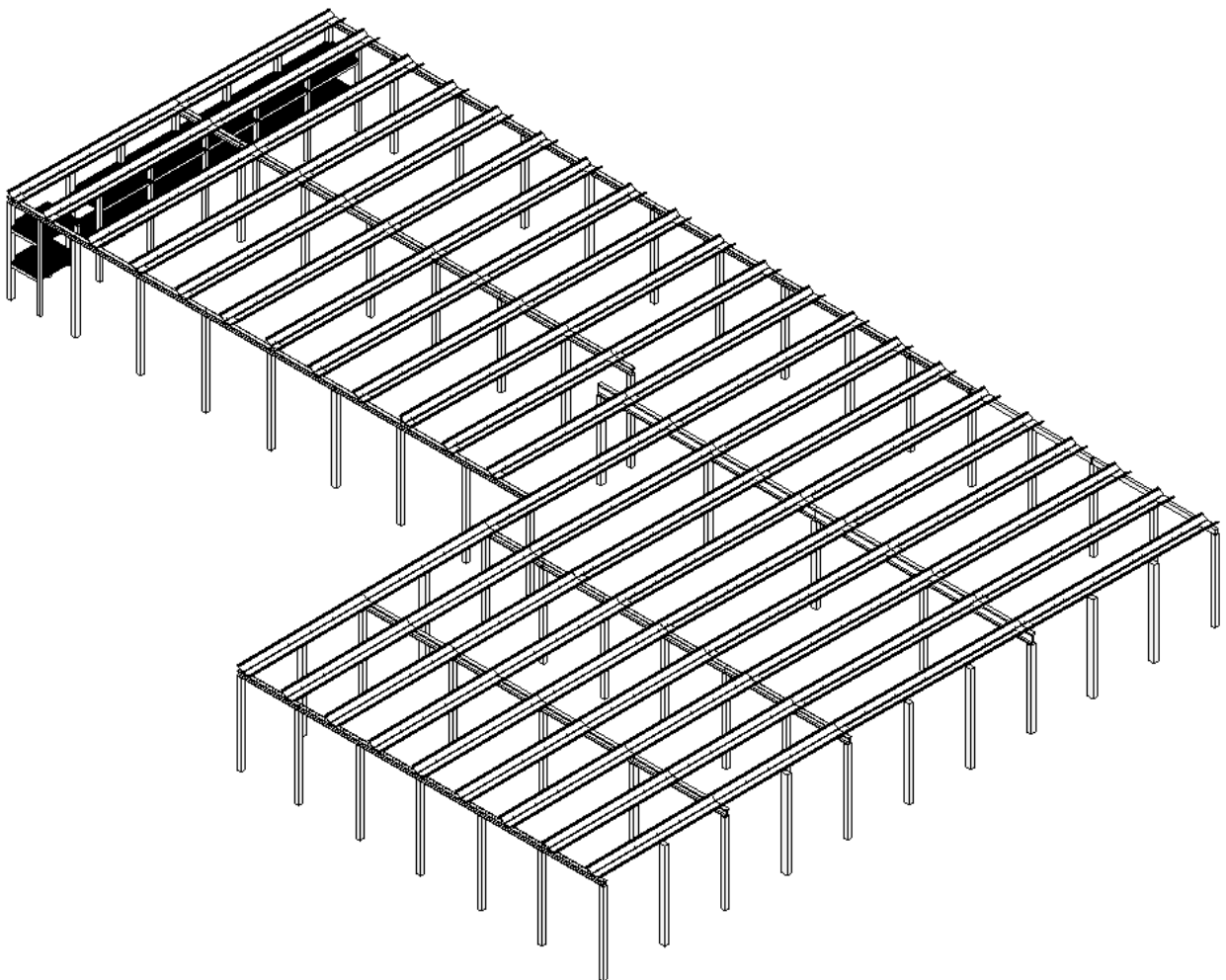
Figura 153 Vista en Revit. Alzado Norte



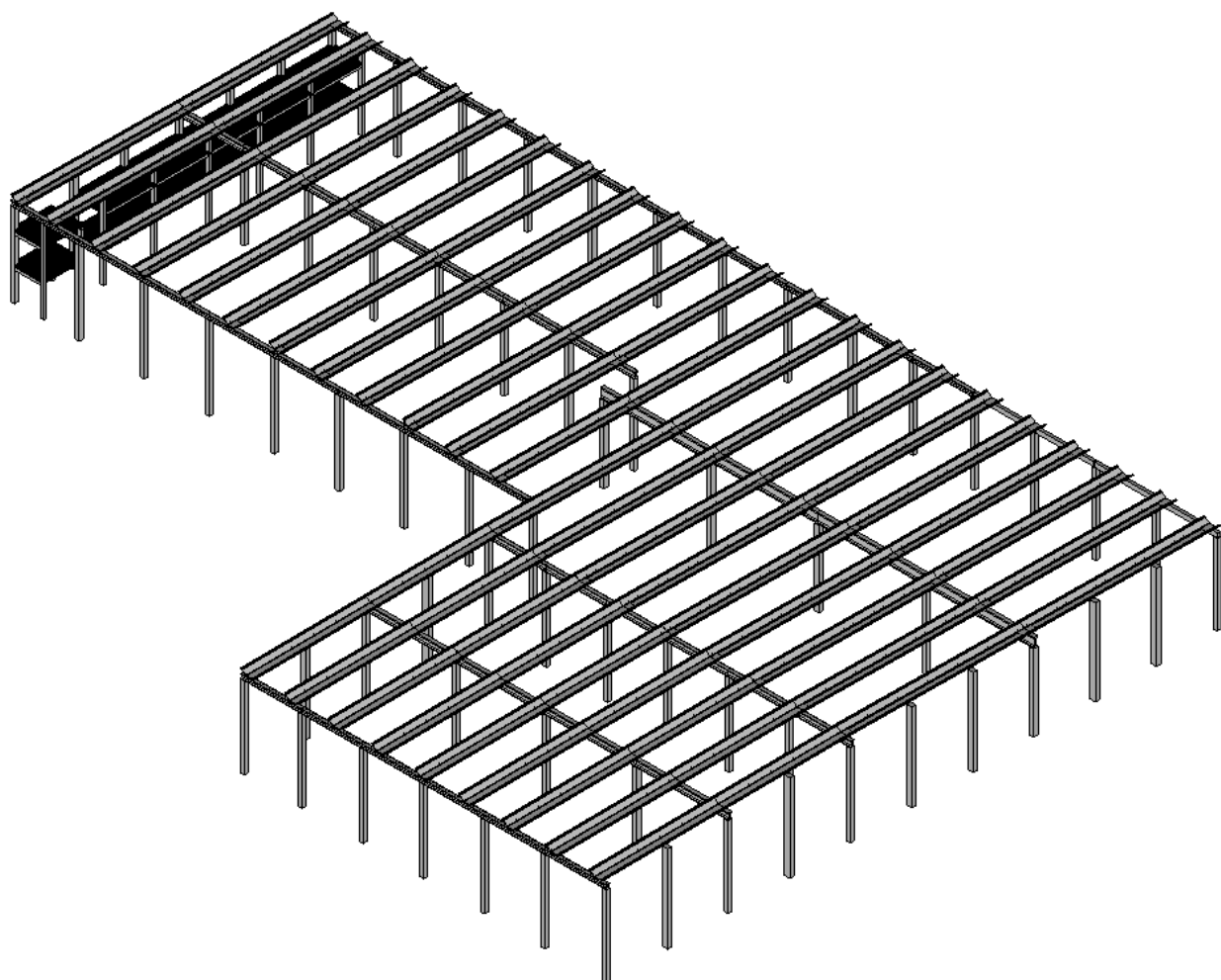
*Figura 154 Vista en Revit. Alzado Oeste*



*Figura 155 Vista en Revit. Alzado Sur*



*Figura 156 Modelo estructural completo (línea oculta). Vista 3D*



*Figura 157 Modelo estructural completo (sombreado). Vista 3D*



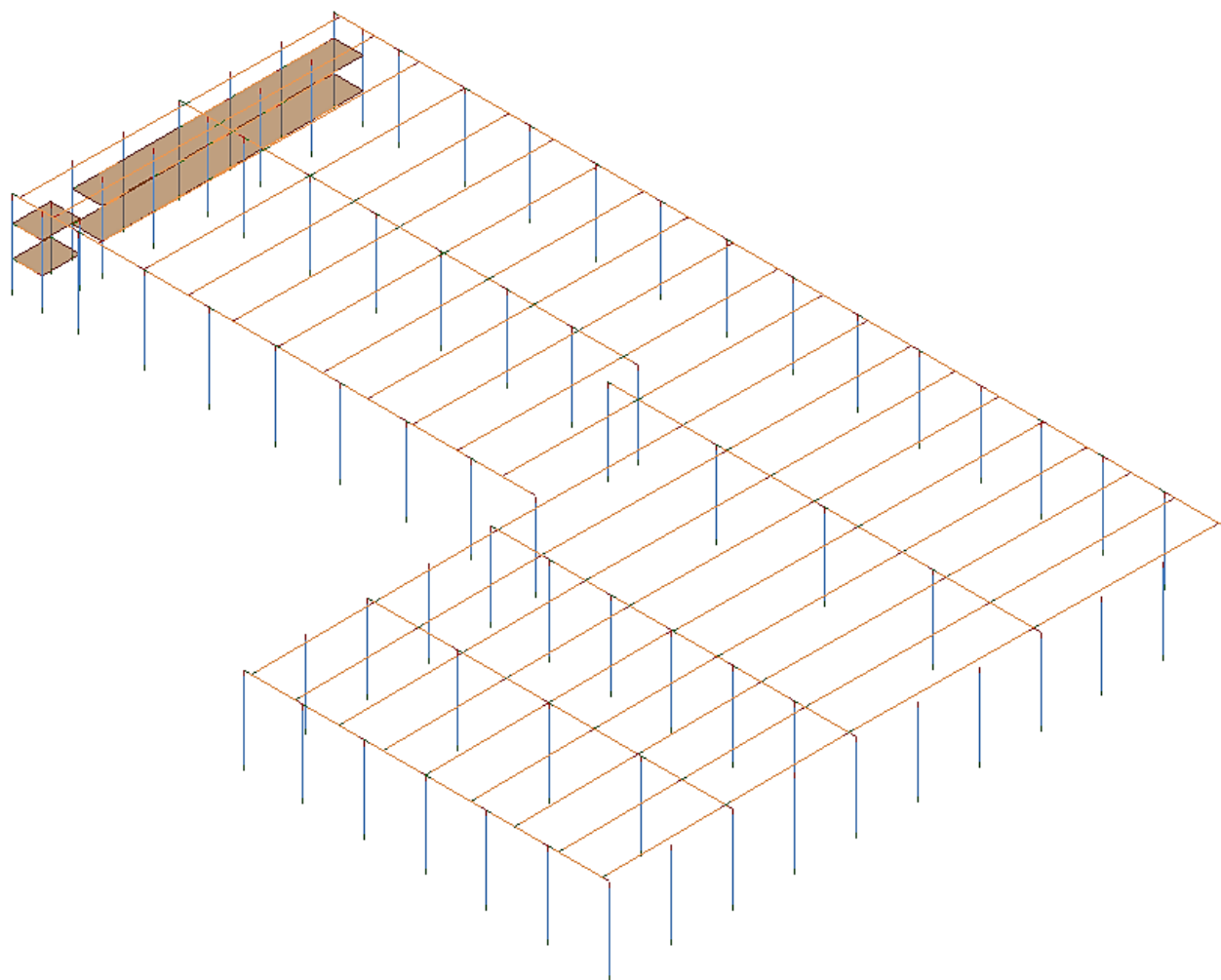
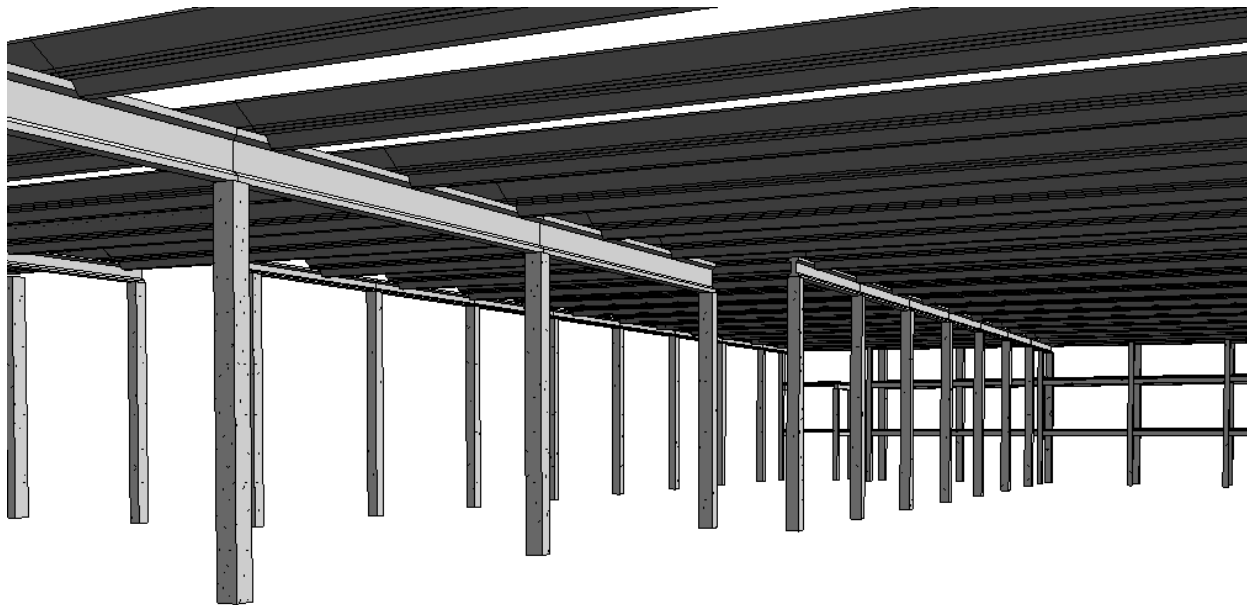
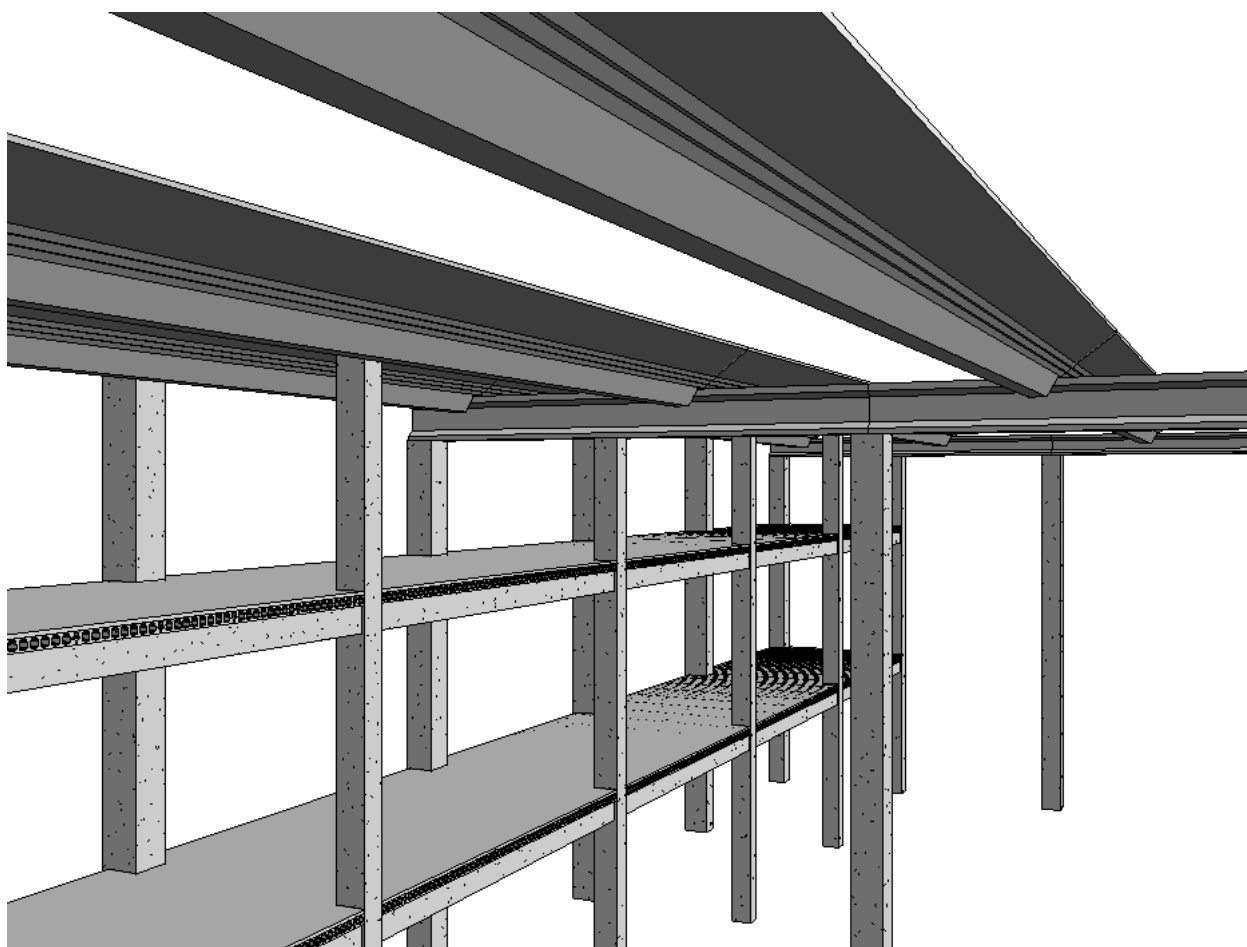


Figura 158 Modelo analítico completo. Vista 3D

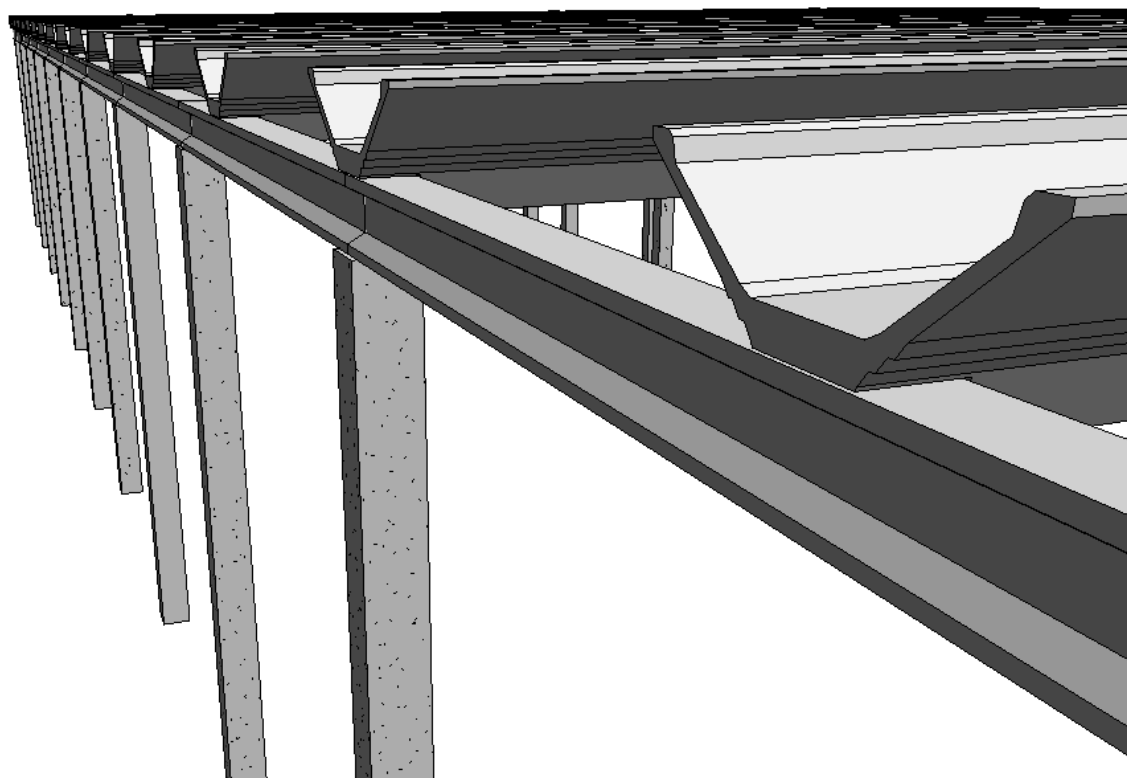
Haciendo uso de la herramienta “Cámara”, en la pestaña Vista – Vistas 3D se pueden generar nuevas vistas rápidamente desde cualquier ángulo, altura, filtro, etc. Se exponen algunos ejemplos:



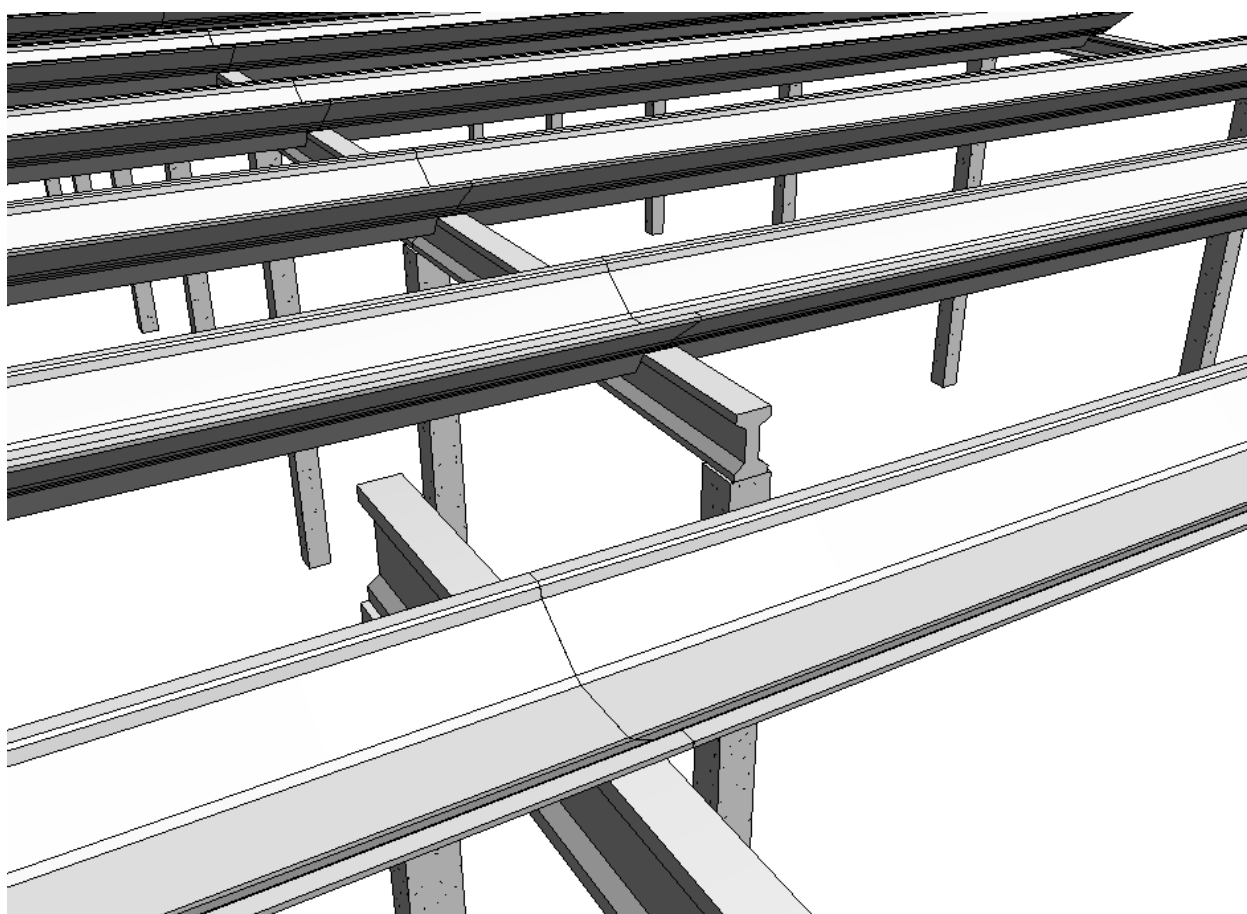
*Figura 159 Vista 3D. Cámara interior 1*



*Figura 160 Vista 3D. Cámara interior 2*



*Figura 161 Vista 3D. Cámara interior 3*



*Figura 162 Vista 3D. Cámara interior 4*



Figura 163 Vista 3D. Cámara interior 5

No es difícil llegar a la conclusión de que con una herramienta así, la comunicación con el cliente se convierte en una mucho más gráfica y visual, con la posibilidad muy temprana de estar tratando con modelos con una gran acercamiento a la realidad. No sería la única parte que se vería beneficiada, pues en la relación constructora-empresa calculista, posibles modificaciones serían visibles mucho más rápido gracias a esta herramienta.

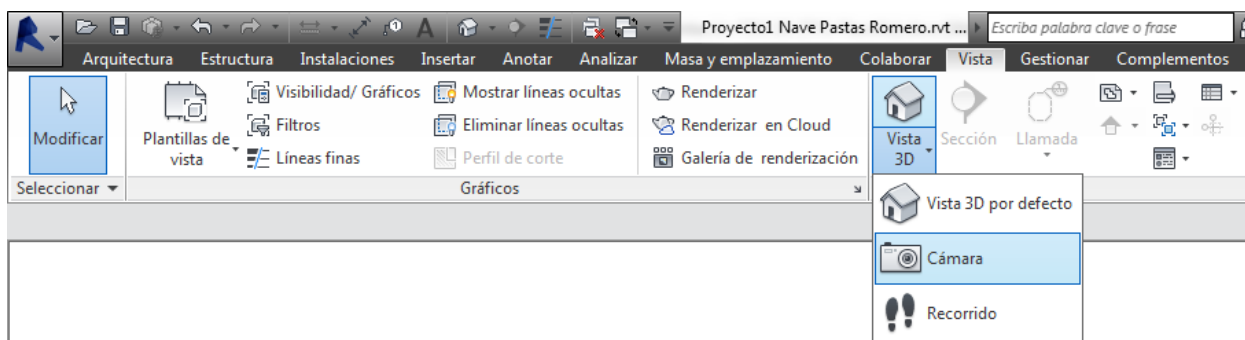


Figura 164 Localización herramienta Cámara

---

# ANEXO III. CARGAS Y CASOS DE CARGA

## 1 Objeto

El presente anexo pretende definir de forma detallada los casos de carga y las cargas consideradas para el modelo en cuestión, así como el proceso de introducción de estas cargas en el mismo desde Revit. Se completa así todavía más la cantidad de información existente en el modelo único.

Se comenzará dejando constancia de todas las cargas a las que deberá ser sometida la estructura, por normativa, para a continuación pasar a ver cómo todas éstas se introducen poco a poco en el modelo de Revit. Quede constancia de que aunque Robot no contiene una normativa EHE actualizada y se han usado Eurocódigos en el programa de cálculo, éstos sólo afectarán a los coeficientes de seguridad y de combinación que se utilizarán para calcular. Por tanto, siendo que la ubicación es en España, se ha considerado pertinente aplicar las cargas de acuerdo a lo que impone el Código Técnico de la Edificación.

## 2 Hipótesis de cargas por normativa

### 2.1 Sismicidad

De acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR-02) se obtiene:

- Localidad: Daroca
- Aceleración sísmica básica: < 0,04 g. Según el Mapa de Peligrosidad Sísmica.
- Periodo de vida: 50 años (construcciones de normal importancia)

$$a_c = \rho \cdot a_b$$

Siendo:  $\rho = 1$   $a_b \leq 0,04 \text{ g}$   $g$ : aceleración de la gravedad

Consecuentemente la aceleración sísmica del cálculo resulta menor que 0,04g por lo que, según la Norma no es necesaria la adopción de medidas estructurales por razón de sismicidad.

## 2.2 Cargas permanentes:

Peso propio

- |                                       |      |                   |
|---------------------------------------|------|-------------------|
| • Cubierta Artwind:                   | 0,20 | kN/m <sup>2</sup> |
| • Instalaciones:                      | 0,25 | kN/m <sup>2</sup> |
| • Cerramiento prefabricado 20 cm: (*) | 2,50 | kN/m <sup>2</sup> |
| • Forjados interiores de la nave:     | 2,00 | kN/m <sup>2</sup> |

(\*) a considerar como carga puntual en las zapatas en el cálculo de las mismas, si hubiese de darse tal cálculo a posteriori.

Así mismo se consideran los pesos propios de los elementos estructurales portantes.

## 2.3 Sobrecargas

Para el cálculo estructural se consideran las siguientes sobrecargas de uso.

- |                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| • Sobrecarga de uso forjado 15+5:    | 5 kN/m <sup>2</sup>   |
| • Sobrecarga de uso forjado 15+10:   | 10 kN/m <sup>2</sup>  |
| • Sobrecarga de uso en cubierta (*): | 0,4 kN/m <sup>2</sup> |

(\*) no concomitante con la nieve.

## 2.4 Sobrecarga de nieve

La sobrecarga de nieve que afecta a la estructura depende de la altura topográfica, la zona en la que se encuentra la construcción y del tipo de cubierta:

- Altitud topográfica (Daroca): 797 m
- Localización: Zona 2
- Forma de la cubierta: Inclinação de un 1% (aproximadamente 0º) y con impedimento al deslizamiento de la nieve.

Carga de nieve ( $S_k$ )	1,1 kN/m <sup>2</sup>
Coeficiente de forma ( $\mu$ )	1
Sobrecarga de nieve	$q_n = \mu \cdot S_k = 1,1 \text{ kN/m}^2$

## 2.5 Acción del viento

La sobrecarga de viento que afecta a la estructura depende de la presión dinámica del viento, del coeficiente de exposición, variable con la altura considerada, y del coeficiente eólico, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Daroca (Zaragoza), Zona B

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 455 \text{ N/m}^2 = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

- Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas (III)

$$c_e = 2,1 \text{ (altura considerada: 7 m, la mitad de la altura del peto)}$$

La consideración de esta altura lo verifica el CTE en su primer párrafo de este apartado:

### 3.3.3 Coeficiente de exposición

- 1 El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4, siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento. Para alturas superiores a 30 m los valores deben obtenerse de las expresiones generales que se recogen en el Anejo D. Para paneles prefabricados de gran formato el punto a considerar es su punto medio.

Figura 165 Coeficiente de exposición(3.3.3) apartado 1 CTE

- Coeficiente de presión exterior Nave (cálculo a “grosso modo”):

#### Paramentos verticales:

Viento perpendicular a fachada mayor.

$$e = \min(b, 2h) = \min(132, 28) = 28\text{m}$$

A	h/d	A	B	C	D	E
$\geq 10 \text{ m}^2$	$\leq 0.25$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Viento perpendicular a fachada menor.

$$e = \min(b, 2h) = \min(91, 28) = 28 \text{ m}$$

A	h/d	A	B	C	D	E
$\geq 10 \text{ m}^2$	$\leq 0.25$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3



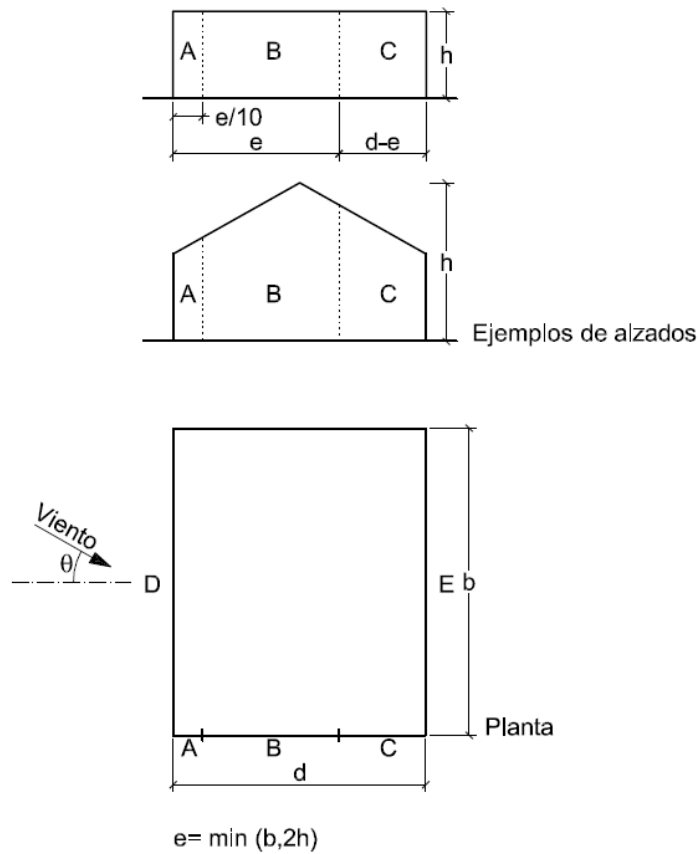


Figura 166 Imagen paramentos verticales

Cubierta plana:

Viento perpendicular a fachada mayor.

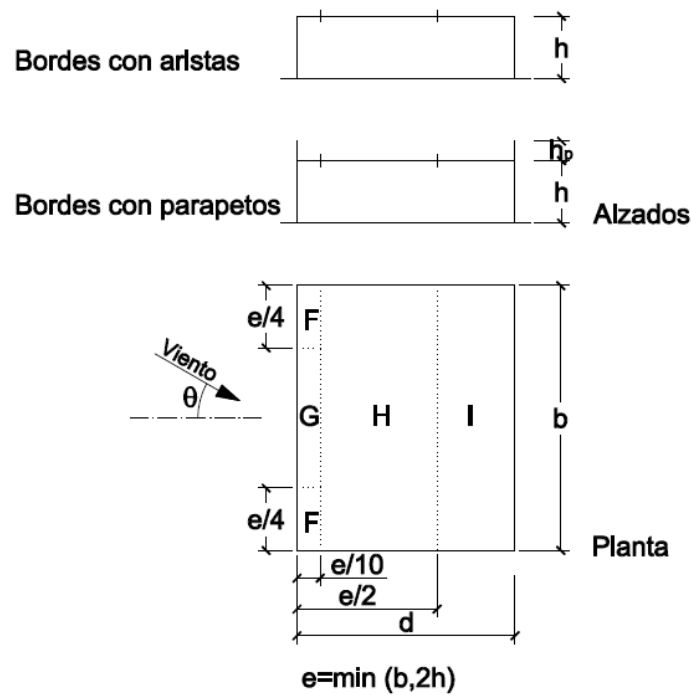
$$e = \min(b, 2h) = \min(132, 28) = 28\text{m}$$

A	F	G	H	I
$\geq 10 \text{ m}^2$	-1,4	-0,9	-0,7	$\pm 0,2$

Viento perpendicular a fachada menor.

$$e = \min(b, 2h) = \min(91, 28) = 28 \text{ m}$$

A	F	G	H	I
$\geq 10 \text{ m}^2$	-1,8	-1,2	-0,7	$\pm 0,2$



## 2.6 Acciones térmicas

No se consideran

## 2.7 Acciones del terreno

No se consideran

# 3 Casos de carga

Es como Revit denomina a las hipótesis de cargas. Desde la pestaña de Analizar, en “Modelo analítico” puede encontrarse esta opción:

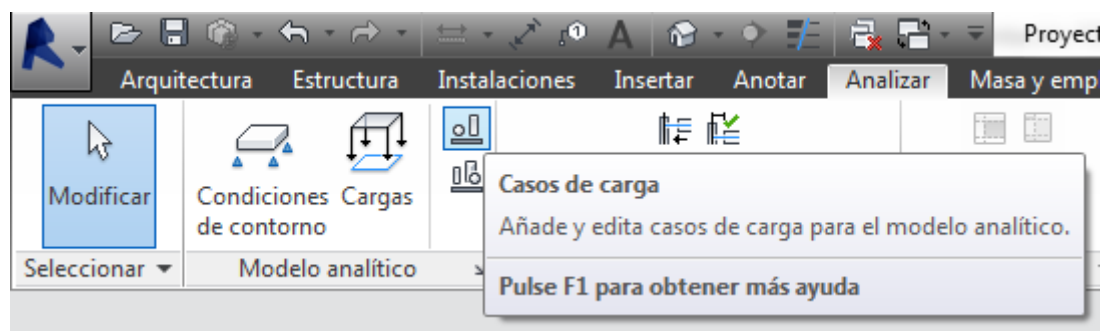


Figura 167 Localización pestaña Casos de Carga

En ésta, se puede observar que Revit ya trae una serie de casos preparados por defecto:

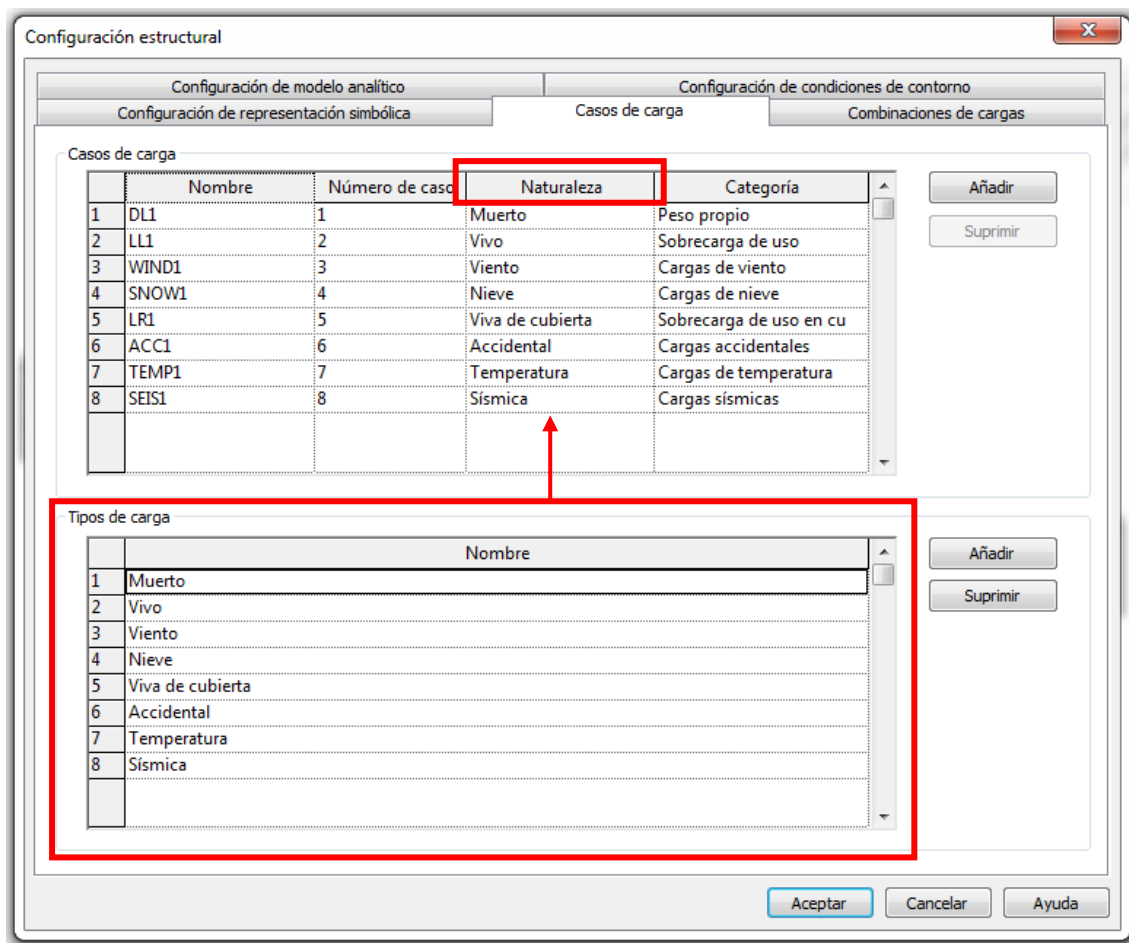


Figura 168 Ventana de Casos de carga en Revit

Los Tipos de carga (resaltados en la imagen previa) definirán la Naturaleza de los Casos de carga, y en ésta se basará la combinación que de ellas se haga en el programa de cálculo.

Como se puede ver, se tienen ya las hipótesis de carga más significativas: Peso Propio, Sobrecargas de uso, Viento, Nieve, SU de cubierta,... Faltaría, no obstante, añadir al menos 3 casos más de viento, por las 4 direcciones que se han considerado del mismo en el cálculo.

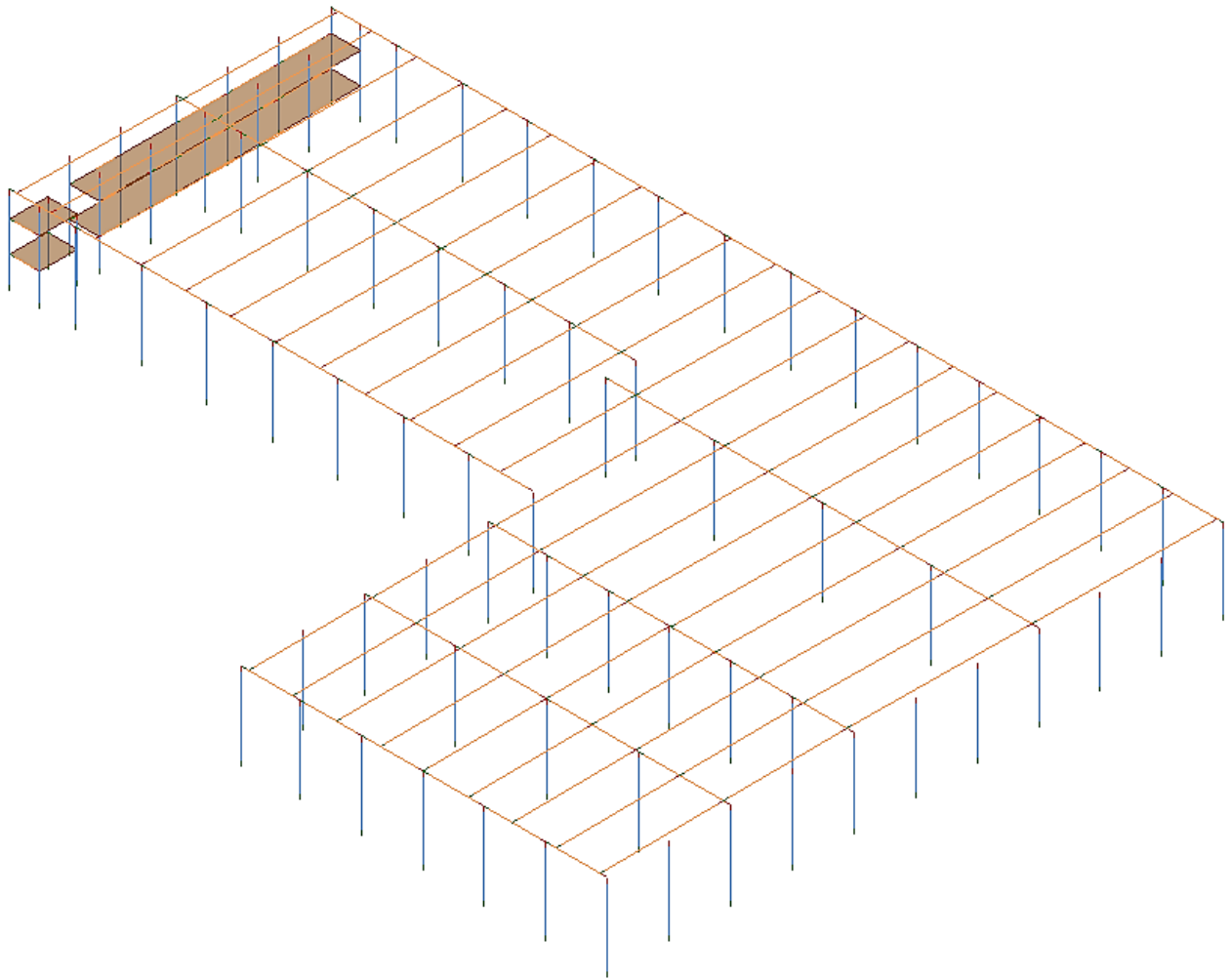
Añadidos estos 3 nuevos casos, y con su nombre modificado para una localización más sencilla de los mismos, los casos de carga quedan de la siguiente manera:

Casos de carga				
	Nombre	Número de caso	Naturaleza	Categoría
2	LL1	2	Vivo	Sobrecarga de uso
3	WIND1 X+	3	Viento	Cargas de viento
4	SNOW1	4	Nieve	Cargas de nieve
5	LR1	5	Viva de cubierta	Sobrecarga de uso en cu
6	ACC1	6	Accidental	Cargas accidentales
7	TEMP1	7	Temperatura	Cargas de temperatura
8	SEIS1	8	Sísmica	Cargas sísmicas
9	WIND2 Y-	9	Viento	Cargas de viento
10	WIND3 X-	10	Viento	Cargas de viento
11	WIND4 Y	11	Viento	Cargas de viento

Figura 169 Casos de carga en Revit. Hipótesis de viento completas

## 4 Cargas

Se va a proceder a explicar, siguiendo el orden utilizado en el apartado 2 para especificar las cargas por normativa, el proceso detallado de colocación de las cargas en el modelo analítico de la nave en Revit:



*Figura 170 Vista 3D isométrica. Modelo analítico completo*

Se ha visto conveniente hacer un estudio geométrico de la cubierta y de los laterales para definir las distancias que serán de aplicación a las cargas superficiales para convertirlas en cargas lineales y proceder a su introducción en el modelo.

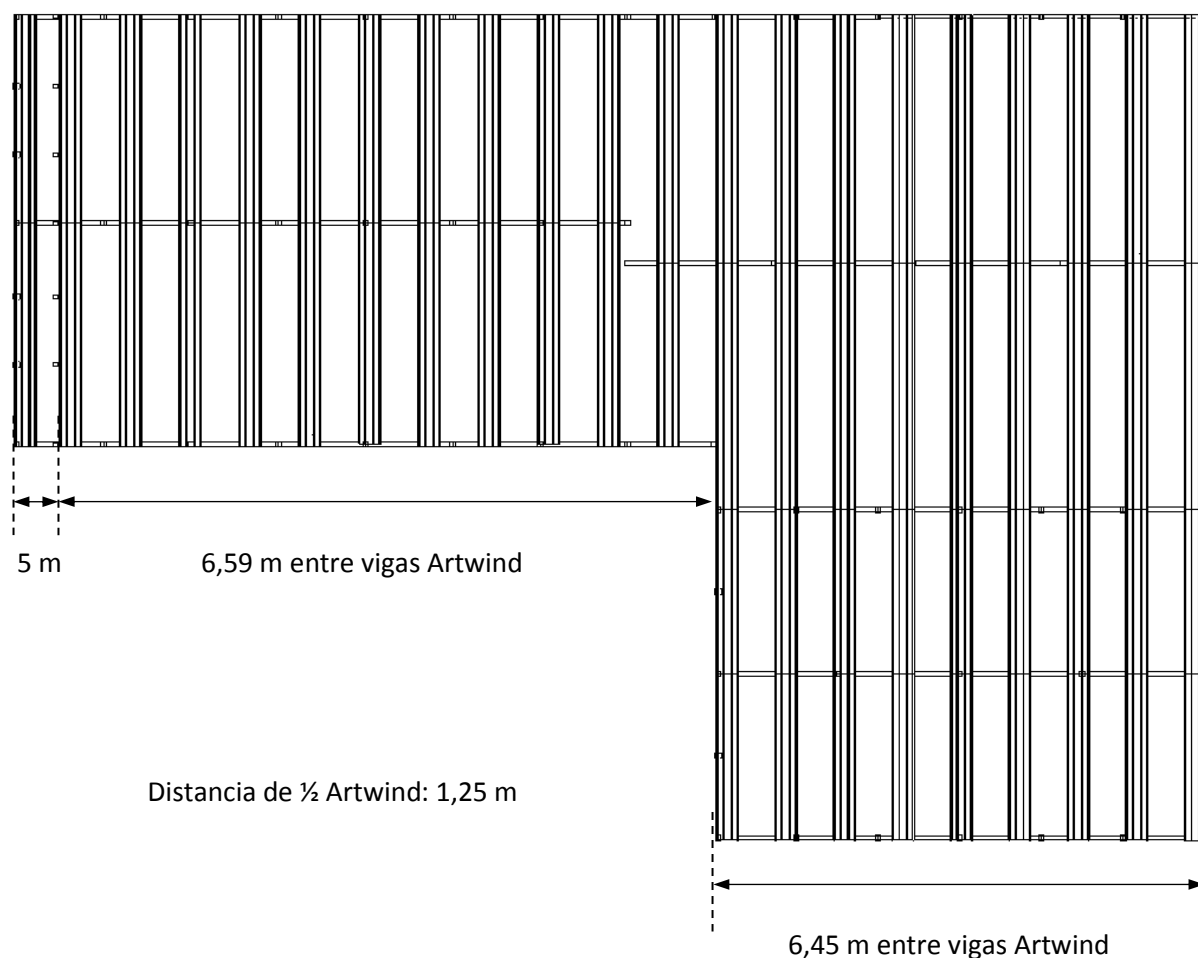


Figura 171 Datos geométricos de cubierta (aplicación de cargas)

Distancia correspondiente a la viga Artwind del extremo de los forjados:

$$1,25 + 5/2 = 3,75 \text{ m}$$

Distancia correspondiente a la viga Artwind contigua a ésta:

$$5/2 + 6,59/2 = 5,795 \text{ m}$$

Distancia correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,59:

$$6,59/2 + 6,59/2 = 6,59 \text{ m}$$

Distancia correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,45:

$$6,45/2 + 6,45/2 = 6,45 \text{ m}$$

Distancia correspondiente a las vigas Artwind de los bordes en zona de separación 6,45:

$$1,25 + 6,45/2 = 4,475 \text{ m}$$

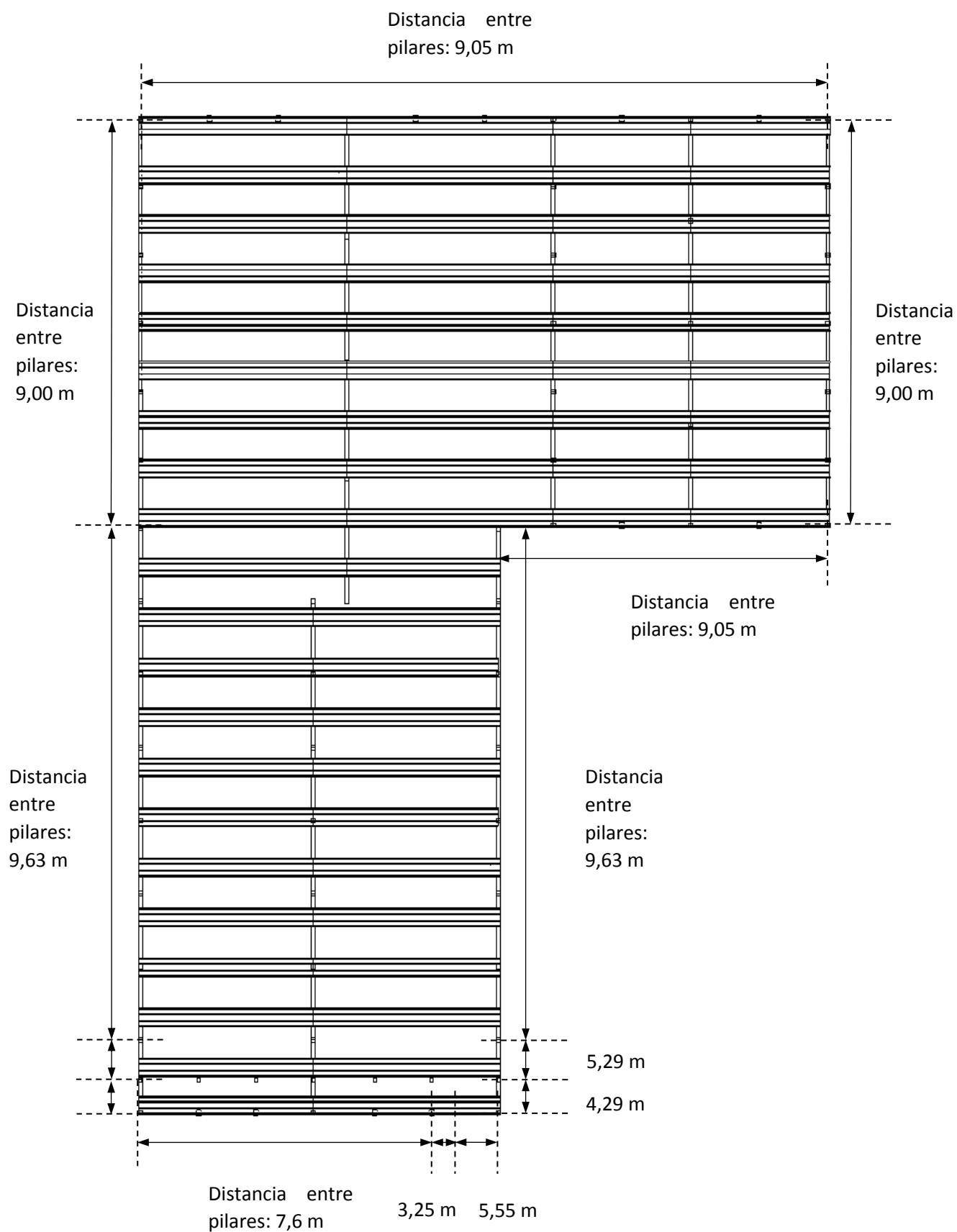


Figura 172 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas)

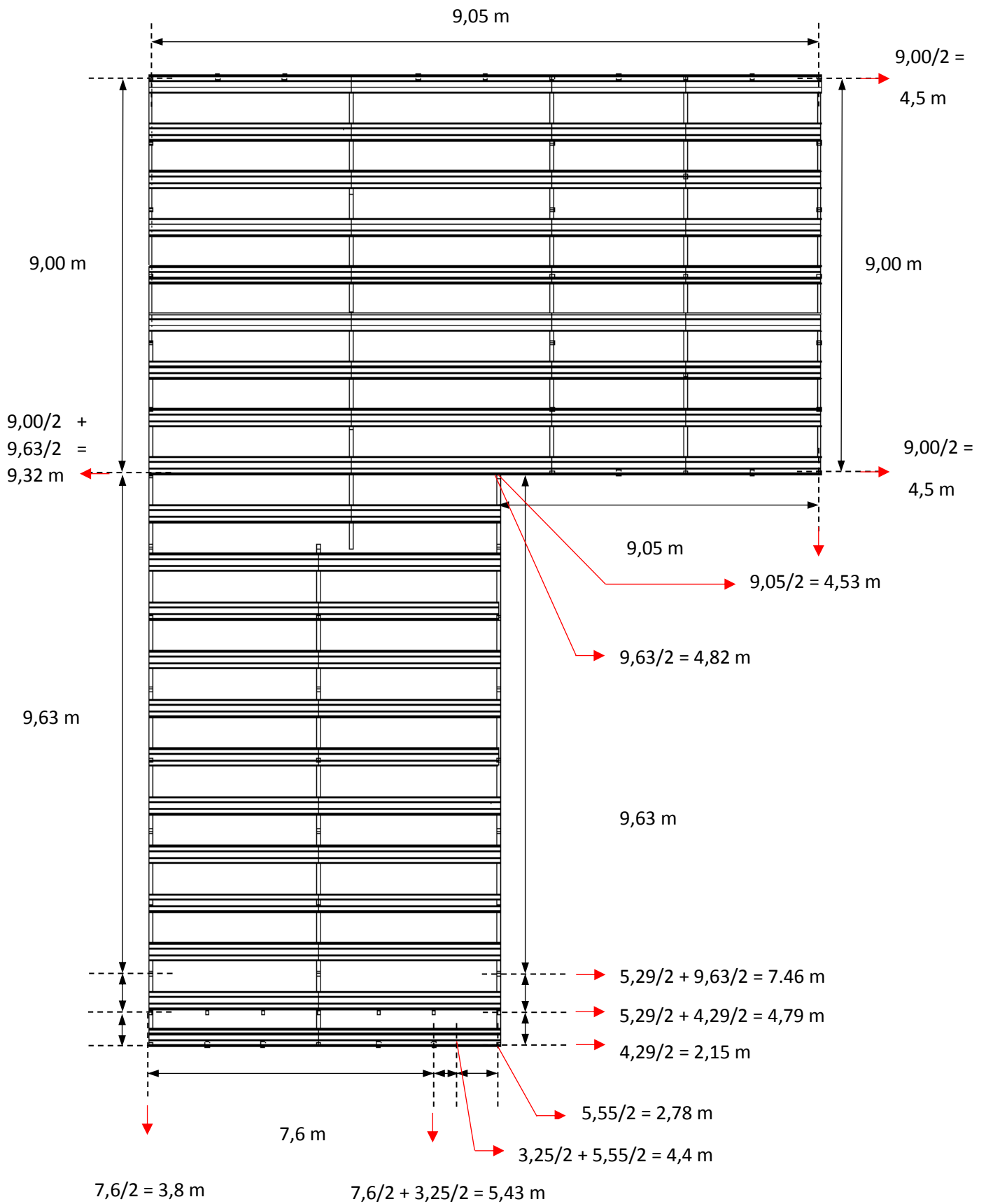


Figura 173 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar

## 4.1 Cargas permanentes

### Cubierta Artwind + Instalaciones (Q = 0,45 kN/m²)

La colocación de esta carga permanente se hará directamente sobre las vigas Artwind. Se usarán por tanto, las distancias expuestas en el estudio geométrico para obtener una carga lineal:

Carga correspondiente a las vigas Artwind del extremo de los forjados:

$$q = 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 3,75 \text{ m} = 1,69 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind contiguas a éstas:

$$q = 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 5,795 \text{ m} = 2,6 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,59:

$$q = 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 6,59 \text{ m} = 2,97 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,45:

$$q = 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 6,45 \text{ m} = 2,9 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind de los bordes en zona de separación 6,45:

$$q = 0,45 \text{ kN/m}^2 \times 4,475 \text{ m} = 2 \text{ kN/m}$$

Para colocar una carga, en Revit puede localizarse la opción Cargas en la ventana de Analizar – Modelo Analítico, donde se había entrado antes a ver los casos de carga:

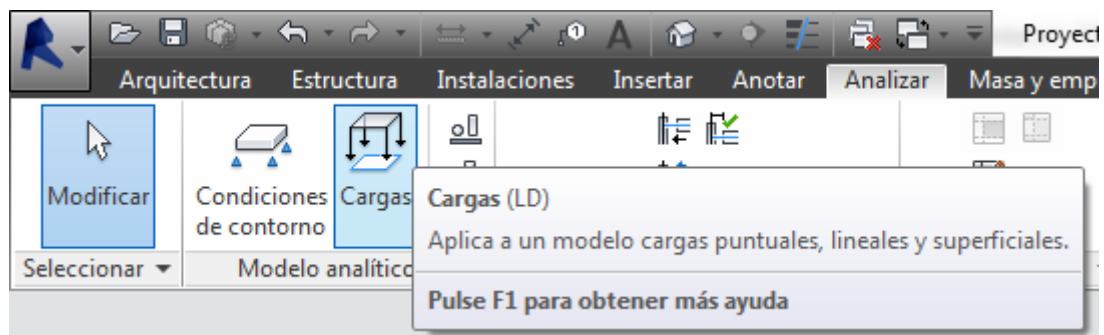


Figura 174 Localización opción Cargas

Seleccionada ésta, Revit propone una serie de posibilidades de tipos de carga a introducir:

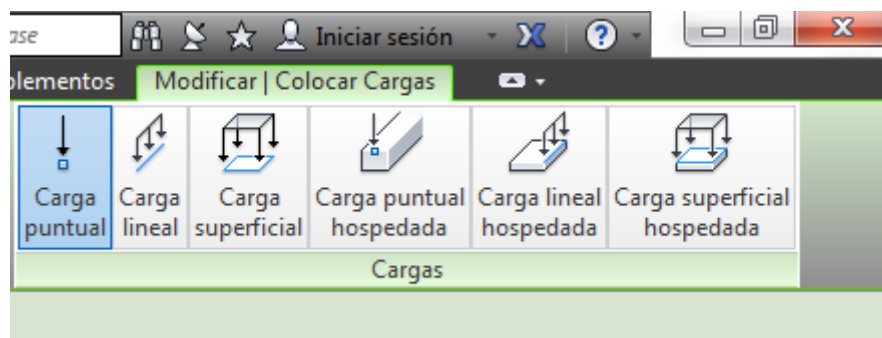


Figura 175 Localización tipos de carga



De entre éstas, se ha utilizado la lineal hospedada (para ligarla al elemento barra), y uno a uno se van colocando los valores calculados en las correspondientes vigas Artwind de cubierta. Desde la ventana de propiedades se selecciona el caso de carga, en este caso permanente (DL1), se le da valor a la carga en la dirección deseada, y en la interfaz se busca la viga a la que corresponda. Se adjuntan imágenes del proceso de colocación:

Propiedades	
Cargas lineales Carga de línea 1	
Cargas lineales (1)	Editar tipo
<b>Análisis estructural</b>	
Caso de carga	DL1 (1)
Naturaleza	Muerto
Orientar a	Proyecto
Carga uniforme	<input checked="" type="checkbox"/>
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
<b>Fuerzas</b>	
Fx 1	0.00 kN/m
Fy 1	0.00 kN/m
Fz 1	-1.69 kN/m
<b>Momentos</b>	
Mx 1	0.00 kN-m/m
My 1	0.00 kN-m/m
Mz 1	0.00 kN-m/m

Figura 176 Propiedades de carga lineal (1,69 kN/m) en dirección -Z

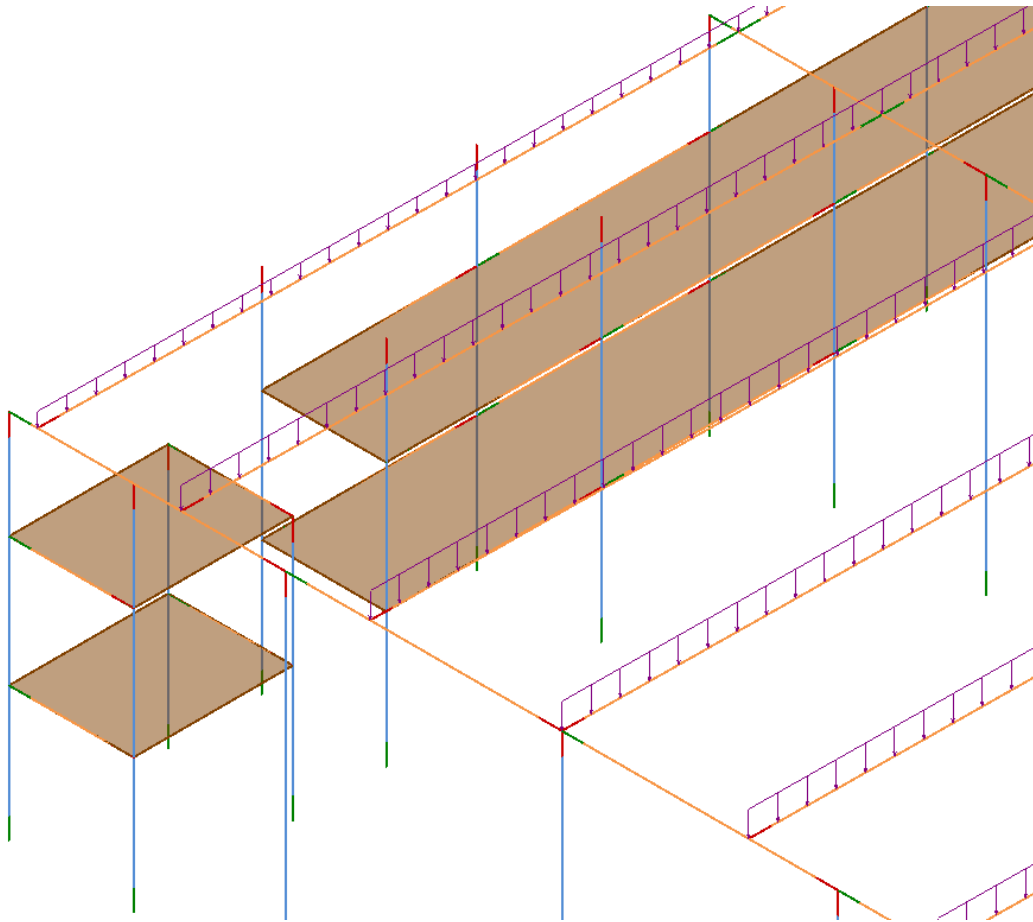


Figura 177 Carga Permanente cubierta + instalaciones colocadas en vigas de cubierta

### **Forjados interiores de la nave ( $2 \text{ kN/m}^2$ )**

Para este caso, se utilizará la opción de carga superficial hospedada, y bastará con seleccionar los forjados:

Propiedades	
Cargas superficiales Carga de área 1	
Nuevo Cargas super	Editar tipo
Análisis estructural	
Caso de carga	DL1 (1)
Naturaleza	Muerto
Orientar a	Proyecto
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
Fuerzas	
Fx 1	0.00 $\text{kN/m}^2$
Fy 1	0.00 $\text{kN/m}^2$
Fz 1	-2.00 $\text{kN/m}^2$

Figura 178 Propiedades de carga superficial ( $2 \text{ kN/m}^2$ ) en dirección -Z

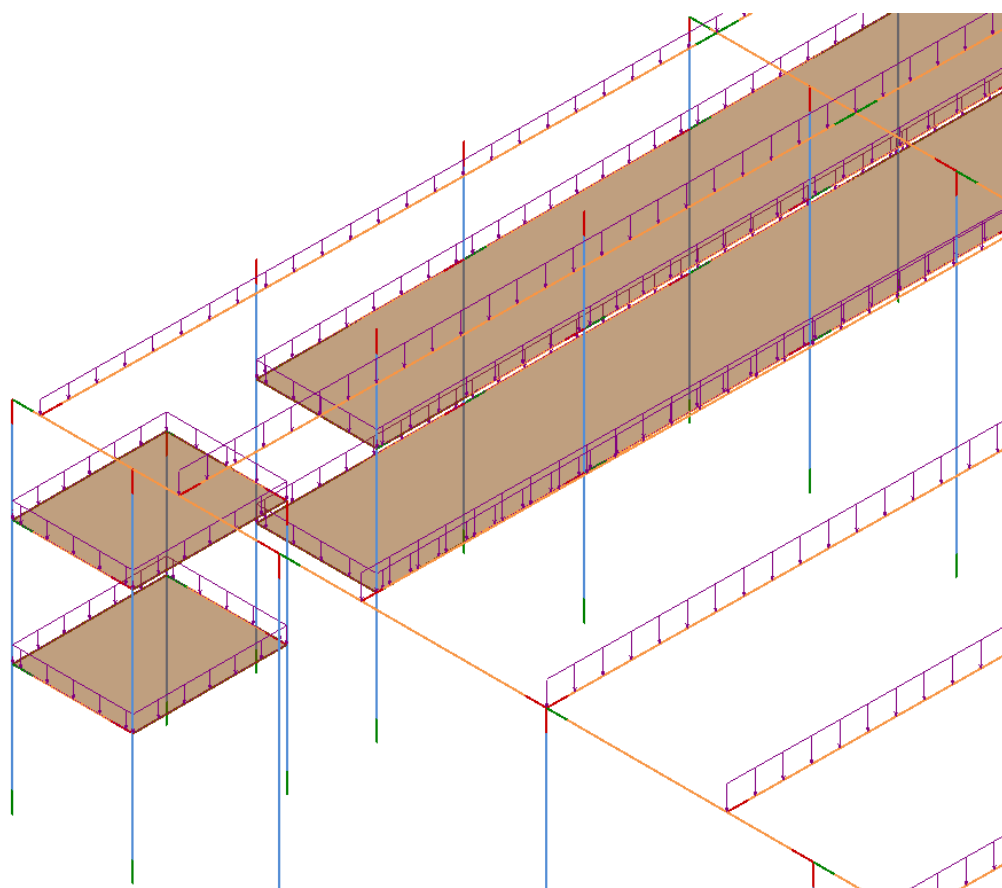


Figura 179 Carga Permanente cubierta + instalaciones y de forjados

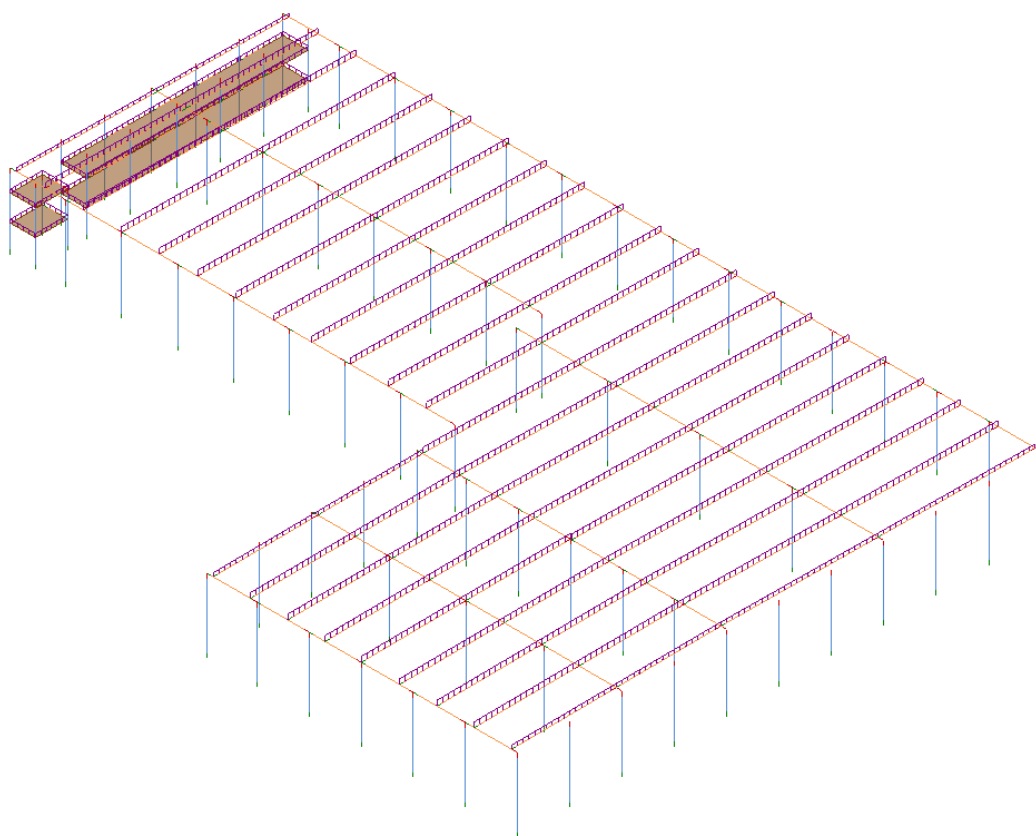


Figura 180 Caso de cargas permanentes. Modelo analítico completo

## 4.2 Sobrecargas

### Sobrecargas de uso en forjados (5 kN/m<sup>2</sup> y 10 kN/m<sup>2</sup>)

Se introducen ambas cargas en sus forjados correspondientes de acuerdo a lo definido en los planos proporcionados por ARTEPREF, haciendo uso de la opción de carga superficial hospedada ya vista en la introducción de cargas permanentes.

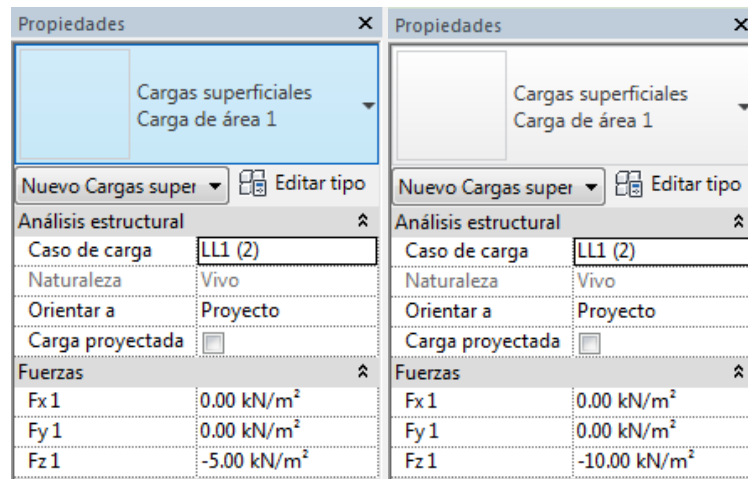


Figura 181 Propiedades de carga superficial (5 y 10 kN/m<sup>2</sup>) en dirección -Z

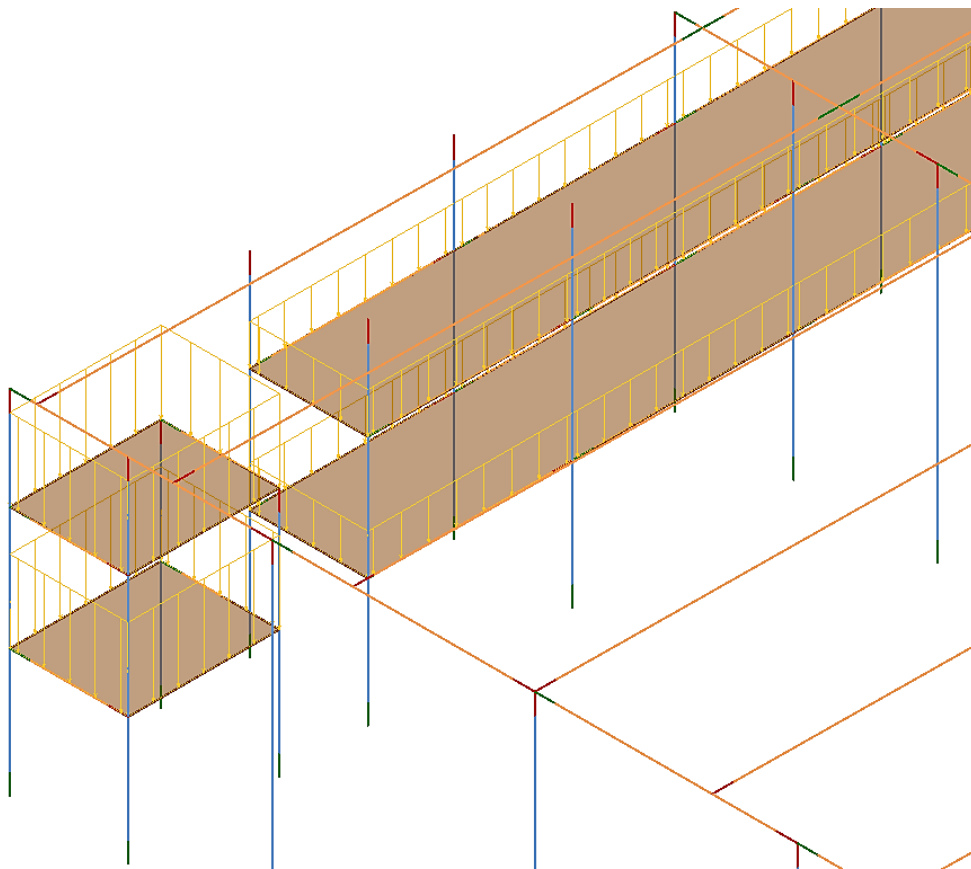


Figura 182 Sobrecargas en forjados

**Sobrecargas de uso de cubierta (0.4 kN/m<sup>2</sup>)**

Igual que pasaba con las cargas permanentes en cubierta, se procede a dar los valores a colocar en cada agrupación de vigas Artwind, por la diferencia de separación de éstas en el modelo:

Carga correspondiente a las vigas Artwind del extremo de los forjados:

$$q = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 3,75 \text{ m} = 1,5 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind contiguas a éstas:

$$q = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 5,795 \text{ m} = 2,32 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,59:

$$q = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 6,59 \text{ m} = 2,64 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,45:

$$q = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 6,45 \text{ m} = 2,6 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind de los bordes en zona de separación 6,45:

$$q = 0,4 \text{ kN/m}^2 \times 4,475 \text{ m} = 1,8 \text{ kN/m}$$

Se aporta un ejemplo de cómo quedaría una de ellas:

Propiedades	
Cargas lineales Carga lineal 1	
Cargas lineales (1)	Editar tipo
<b>Análisis estructural</b>	
Caso de carga	LR1 (5)
Naturaleza	Viva de cubierta
Orientar a	Proyecto
Carga uniforme	<input checked="" type="checkbox"/>
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
<b>Fuerzas</b>	
Fx 1	0.000 kN/m
Fy 1	0.000 kN/m
Fz 1	-1.500 kN/m
<b>Momentos</b>	
Mx 1	0.00 kN-m/m
My 1	0.00 kN-m/m
Mz 1	0.00 kN-m/m

Figura 183 Propiedades de carga lineal (1,5 kN/m) en dirección -Z

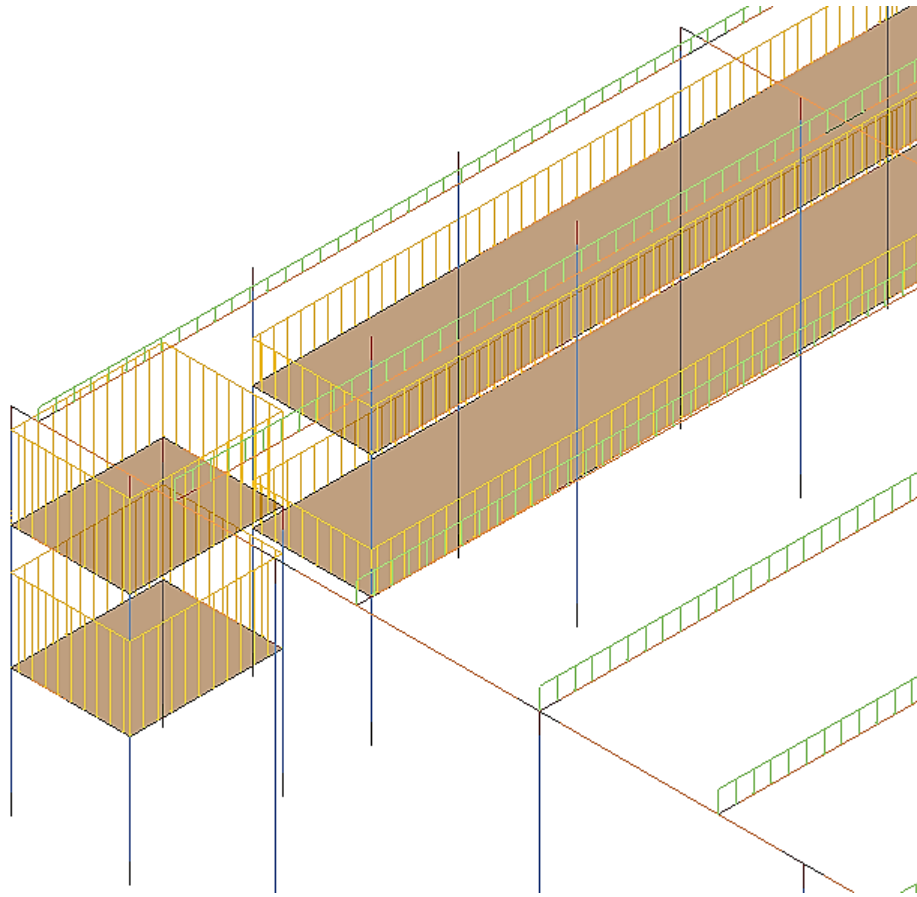


Figura 184 Sobrecargas de uso en cubierta y forjados

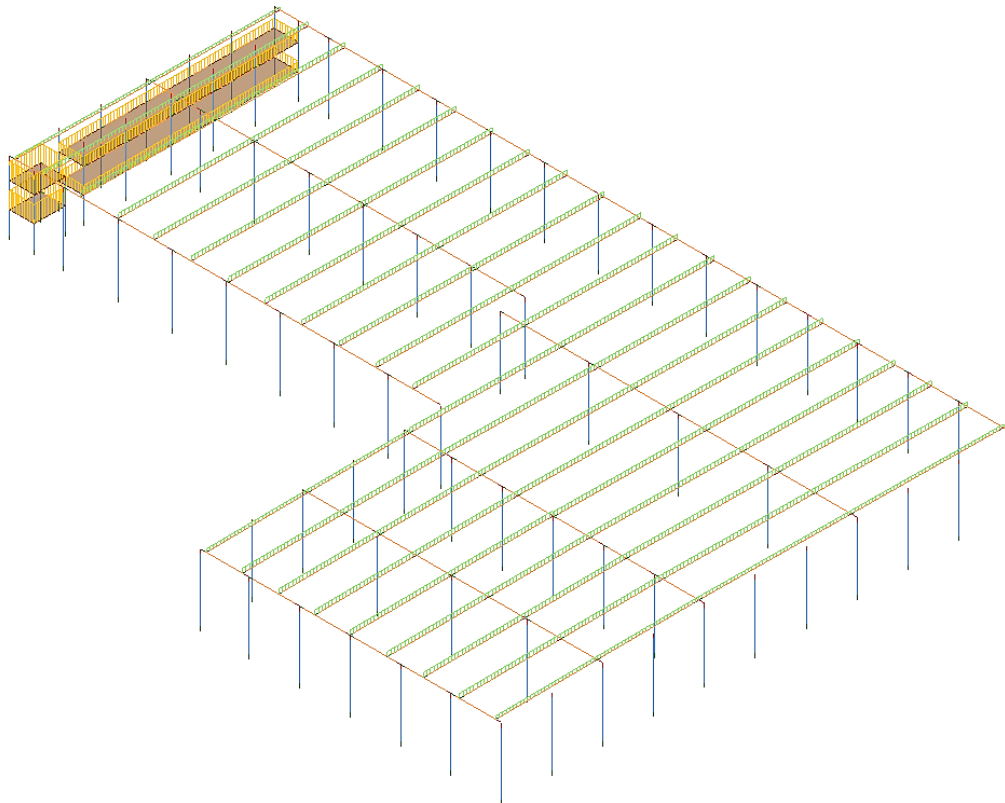


Figura 185 Caso de sobrecargas. Modelo analítico completo

### 4.3 Nieve

Se aplicará exactamente igual que las cargas permanentes de cubierta y las de sobrecarga de uso de cubierta, como una carga lineal, que se transformará desde la superficial mediante el área correspondiente a cada Artwind:

Carga correspondiente a las vigas Artwind del extremo de los forjados:

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \times 3,75 \text{ m} = 4,13 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind contiguas a éstas:

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \times 5,795 \text{ m} = 6,37 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,59:

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \times 6,59 \text{ m} = 7,25 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind separadas 6,45:

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \times 6,45 \text{ m} = 7,1 \text{ kN/m}$$

Carga correspondiente a las vigas Artwind de los bordes en zona de separación 6,45:

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \times 4,475 \text{ m} = 4,92 \text{ kN/m}$$

Ejemplo de propiedades de una de ellas en Revit:

Propiedades	
Cargas lineales	
Carga lineal 1	
Cargas lineales (1)	Editar tipo
Análisis estructural	
Caso de carga	SNOW1 (4)
Naturaleza	Nieve
Orientar a	Proyecto
Carga uniforme	<input checked="" type="checkbox"/>
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
Fuerzas	
Fx 1	0.00 kN/m
Fy 1	0.00 kN/m
Fz 1	-4.13 kN/m
Momentos	
Mx 1	0.00 kN-m/m
My 1	0.00 kN-m/m
Mz 1	0.00 kN-m/m

Figura 186 Propiedades de carga lineal (4,13 kN/m) en dirección -Z

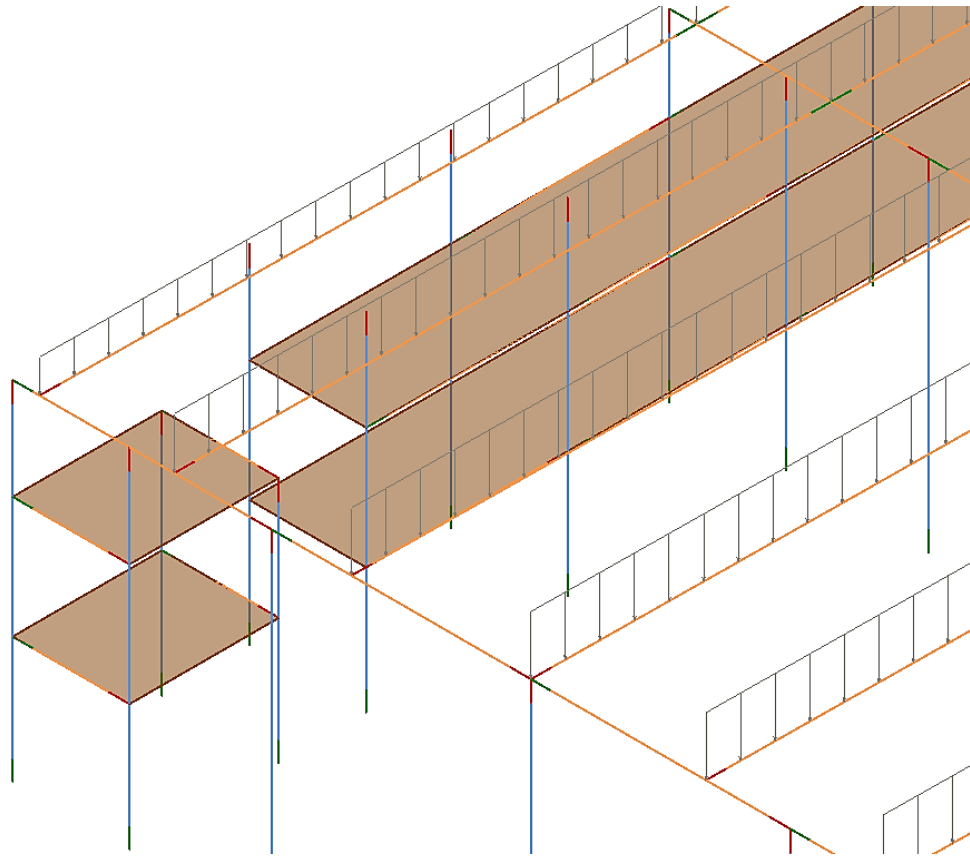


Figura 187 Carga de nieve en cubierta

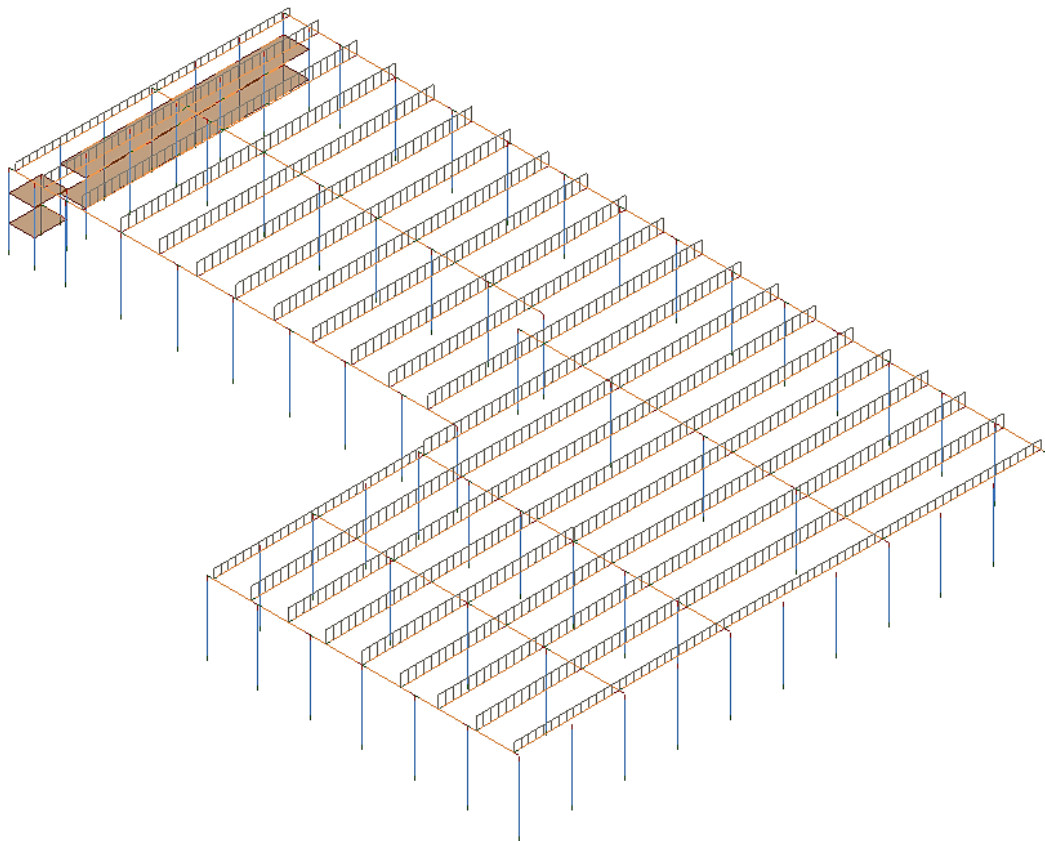


Figura 188 Caso de cargas de nieve. Modelo analítico completo



## 4.4 Viento

Para el caso de las cargas de viento, sólo se han considerado las cargas horizontales, esto es, las de las distintas fachadas de la nave. No se considerarán las cargas verticales proyectadas en cubierta por la tipología de la misma y el material que la compone, además de que se trata de una cubierta prácticamente plana (pendiente 1%). El CTE permite hacer esta aproximación siempre que se haga sabiendo que es lo más desfavorable, y las cargas de succión que se generan en la misma no hacen sino favorecer una ligera descarga de las vigas

Si la estructura fuese de acero, esta suposición no se podría haber realizado, puesto que los efectos del viento en cubierta son mucho más notables en estructuras de este tipo. Siendo que se trata de una estructura de hormigón prefabricado de grandes piezas en cubierta, supondremos que la aportación de las mismas al cálculo puede despreciarse.

Las cargas se colocarán como cargas lineales en los pilares de acuerdo a la carga superficial que le corresponda a cada uno por estar en una zona u otra, así como su distancia de separación. El error que se comete al estar considerando la parte entre -0,4 m y la cota 0 de los pilares es ínfimo, y se supone aceptable de cara al cálculo.

Si bien éstas podrían colocarse no como cargas lineales, sino como planos de carga (cargas superficiales sin hospedar), una vez colocados éstos se concluye también transmitirían fuerza a las vigas salvapilar de las distintas fachadas, y éste sí supone un error no permisible. Pese a la cantidad de tiempo que habría ahorrado, se decidió realizar la colocación de cargas de forma lineal directamente en cada pilar.

De acuerdo a lo que considera el CTE, la carga de viento toma la forma:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

$q_e$  - presión estática

$q_b$  - presión dinámica

$c_e$  - coeficiente de exposición

$c_p$  - coeficiente eólico o de presión

De los datos del apartado de cargas por normativa en este mismo Anexo se había llegado a:

$$q_b = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e = 2,1$$

El coeficiente de presión se ve a continuación para una de las 4 direcciones de viento que han de tenerse en cuenta en el análisis del modelo:

Las direcciones de viento consideradas se han denominado siguiendo la nomenclatura de los casos de carga. Éstas son:

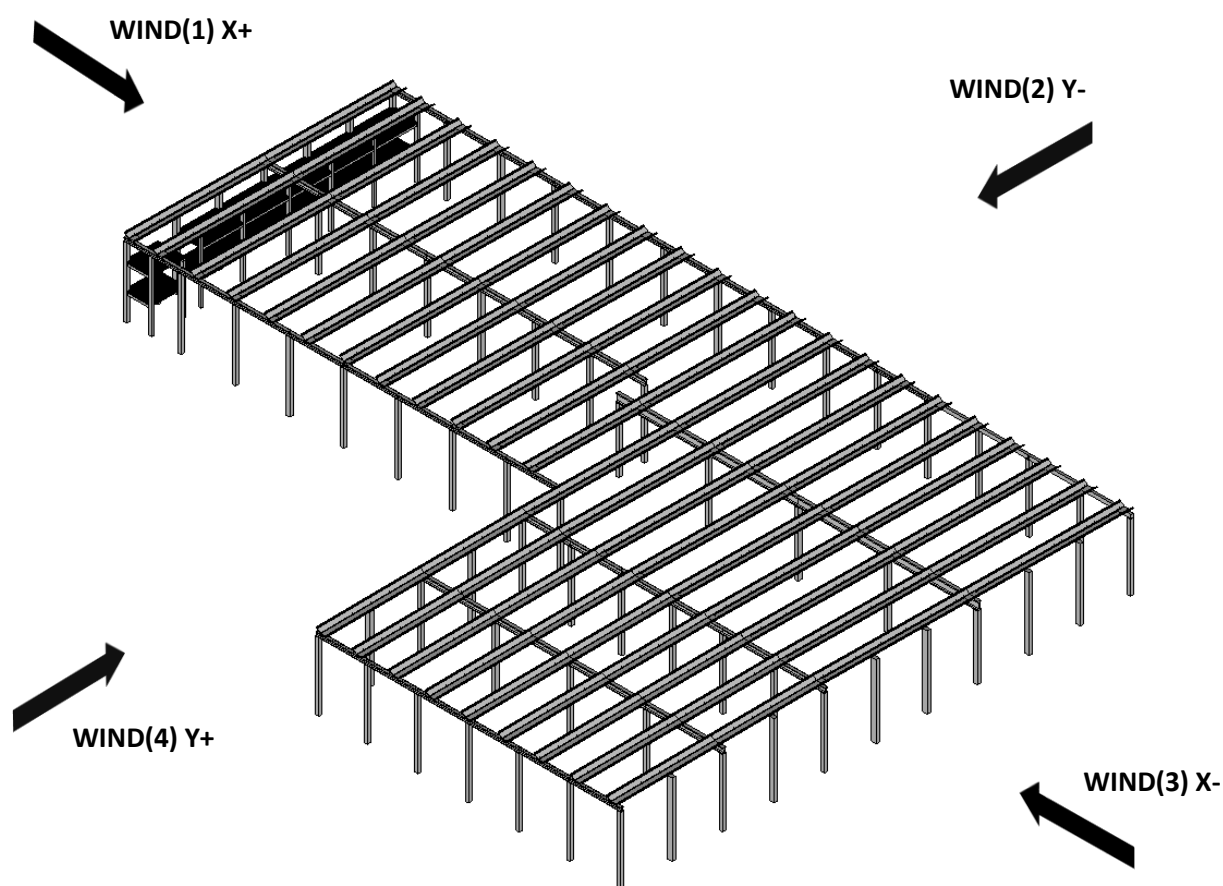


Figura 189 Modelo geométrico completo en Revit. Direcciones de viento

Se procede a analizar cada uno de estos casos por separado, y en orden:

### WIND (1) X+

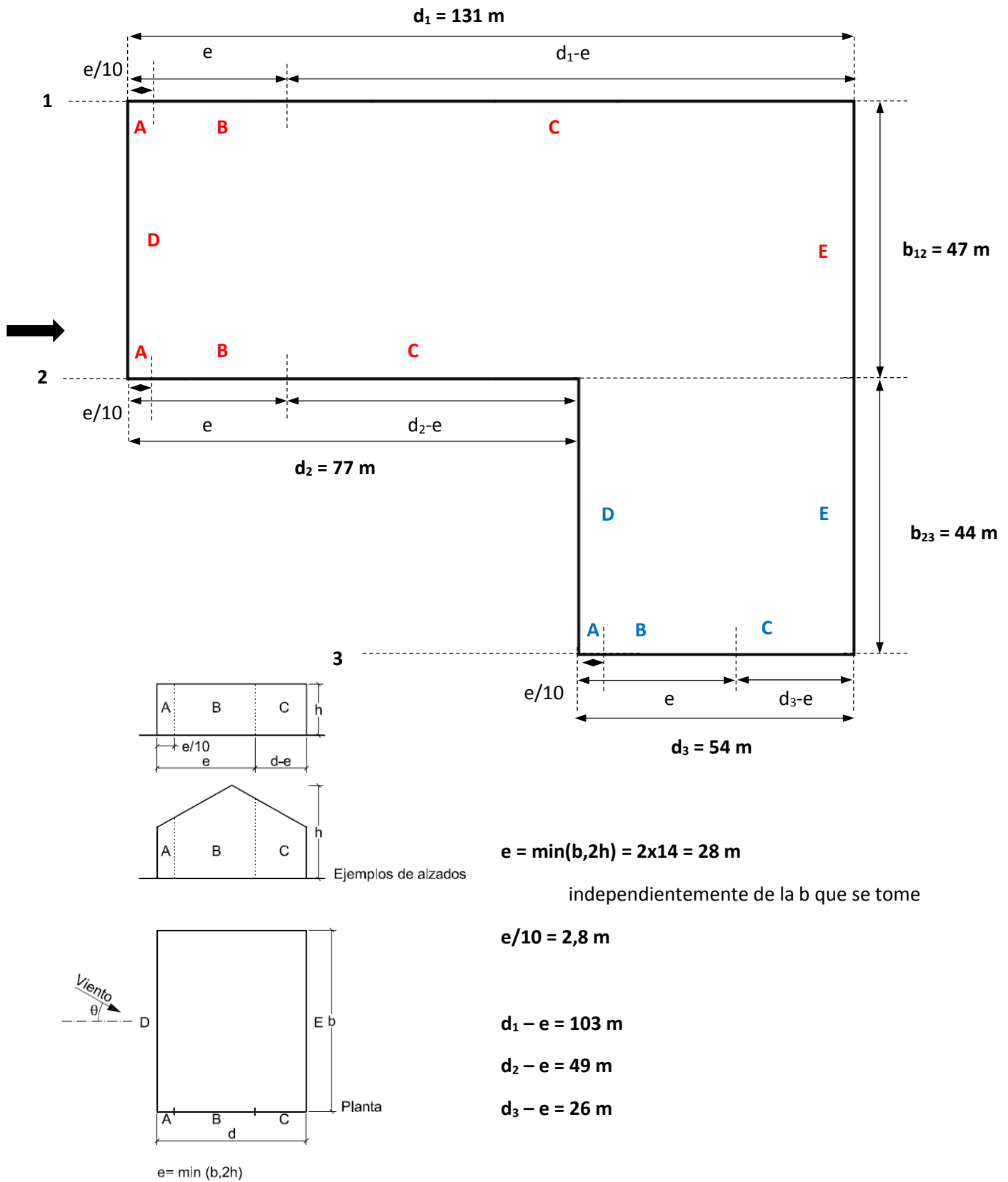


Figura 190 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W1

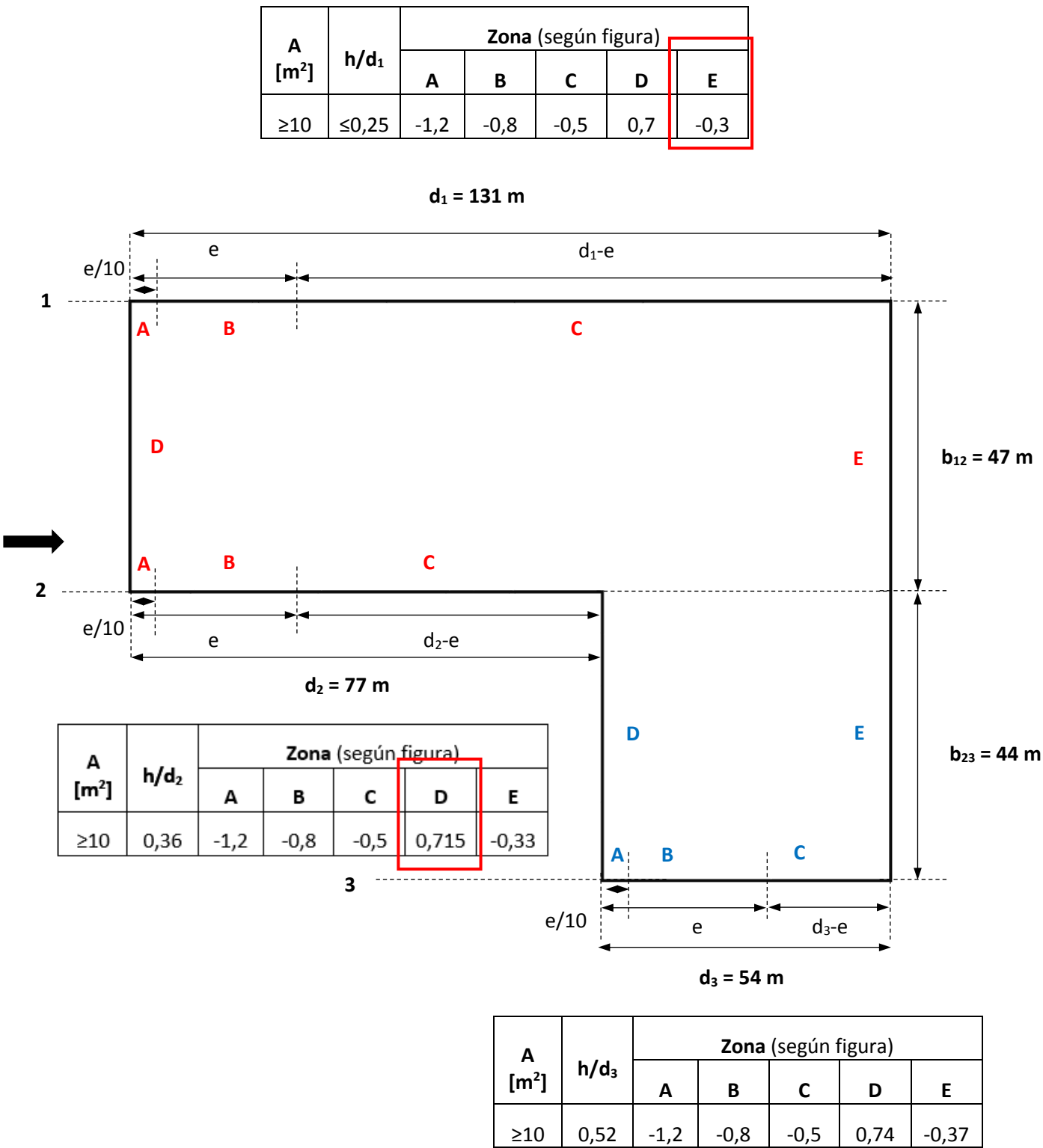
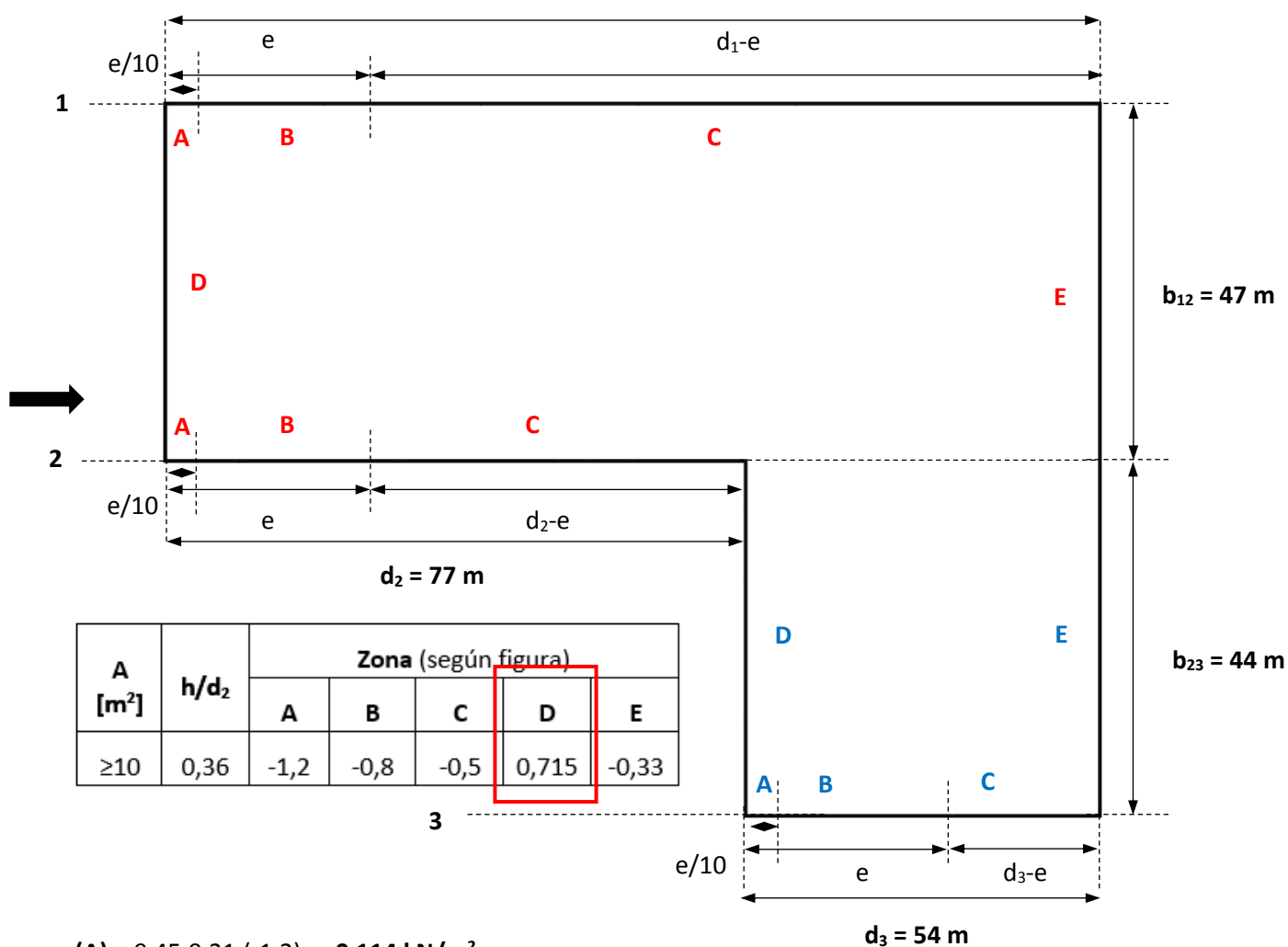


Figura 191 Valores de  $C_p$  para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W1

Se usará el valor de D más desfavorable, y el valor de E correspondiente a la única fachada de las dos que llega hasta el final de la nave.

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	≤0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

 $d_1 = 131 \text{ m}$ 

$$q_e(A) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-1,2) = -0,114 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(B) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,8) = -0,076 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(C) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,5) = -0,05 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(D) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (0,715) = 0,068 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(E) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,3) = -0,03 \text{ kN/m}^2$$

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,52	-1,2	-0,8	-0,5	0,74	-0,37

$$q_e(D) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (0,74) = 0,07 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(E) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,37) = -0,035 \text{ kN/m}^2$$

Figura 192 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W1

Calculadas las cargas de viento, se introducen en la estructura aproximando, siempre quedándose del lado de la seguridad, el área tributaria asignada a cada una; esto es:

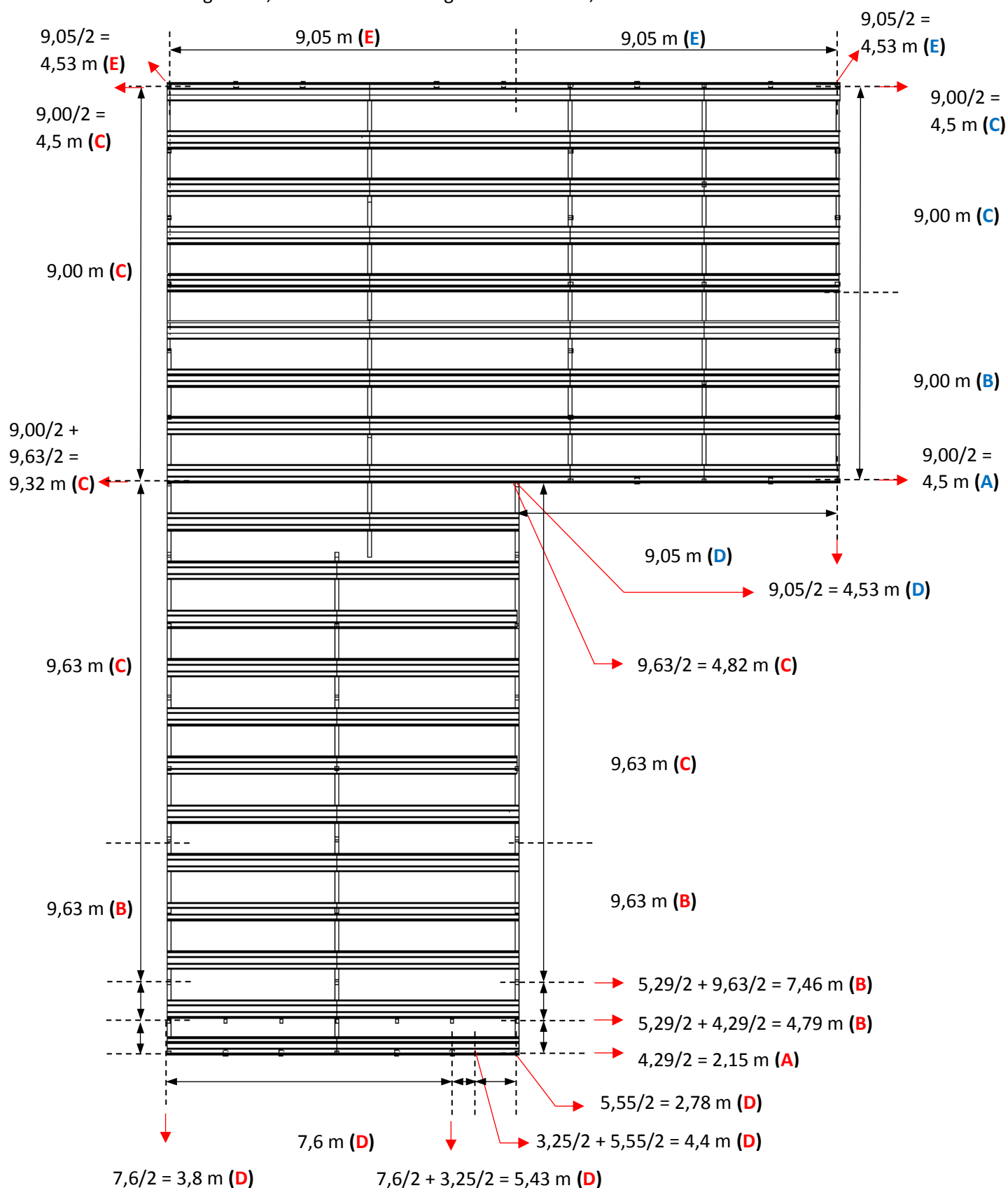


Figura 193 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W1

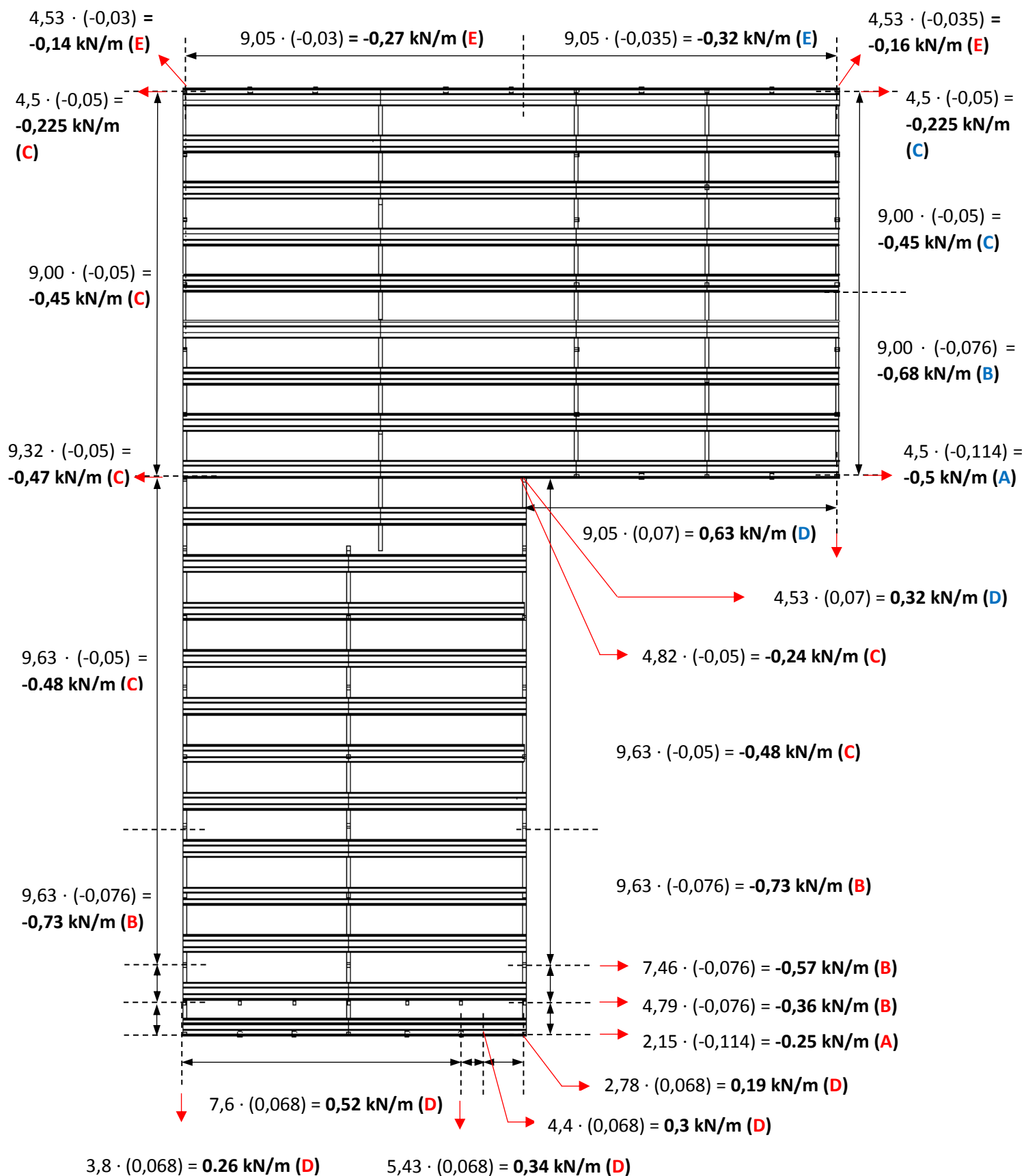



Figura 194 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W1

Ejemplo de colocación de una de ellas en Revit (Propiedades):

Propiedades

Cargas lineales  
Carga lineal 1

Cargas lineales (1)  Editar tipo

**Análisis estructural**

Caso de carga WIND1 X+ (3)

Naturaleza Viento

Orientar a Proyecto

Carga uniforme ☒

Carga proyectada ☐

**Fuerzas**

Fx 1 0.000 kN/m

Fy 1 -0.570 kN/m

Fz 1 0.000 kN/m

**Momentos**

Mx 1 0.00 kN-m/m

My 1 0.00 kN-m/m

Mz 1 0.00 kN-m/m

Figura 195 Propiedades de carga lineal (0,57 kN/m) en dirección -Y

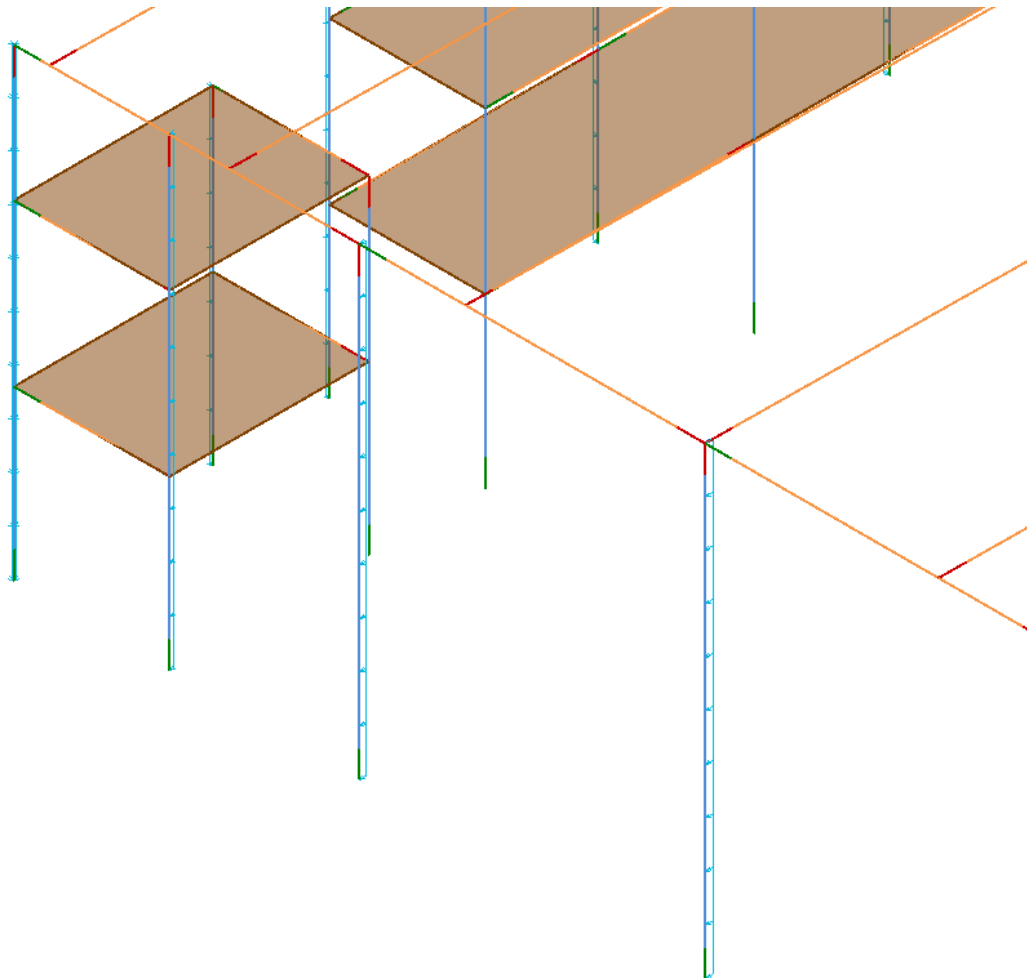
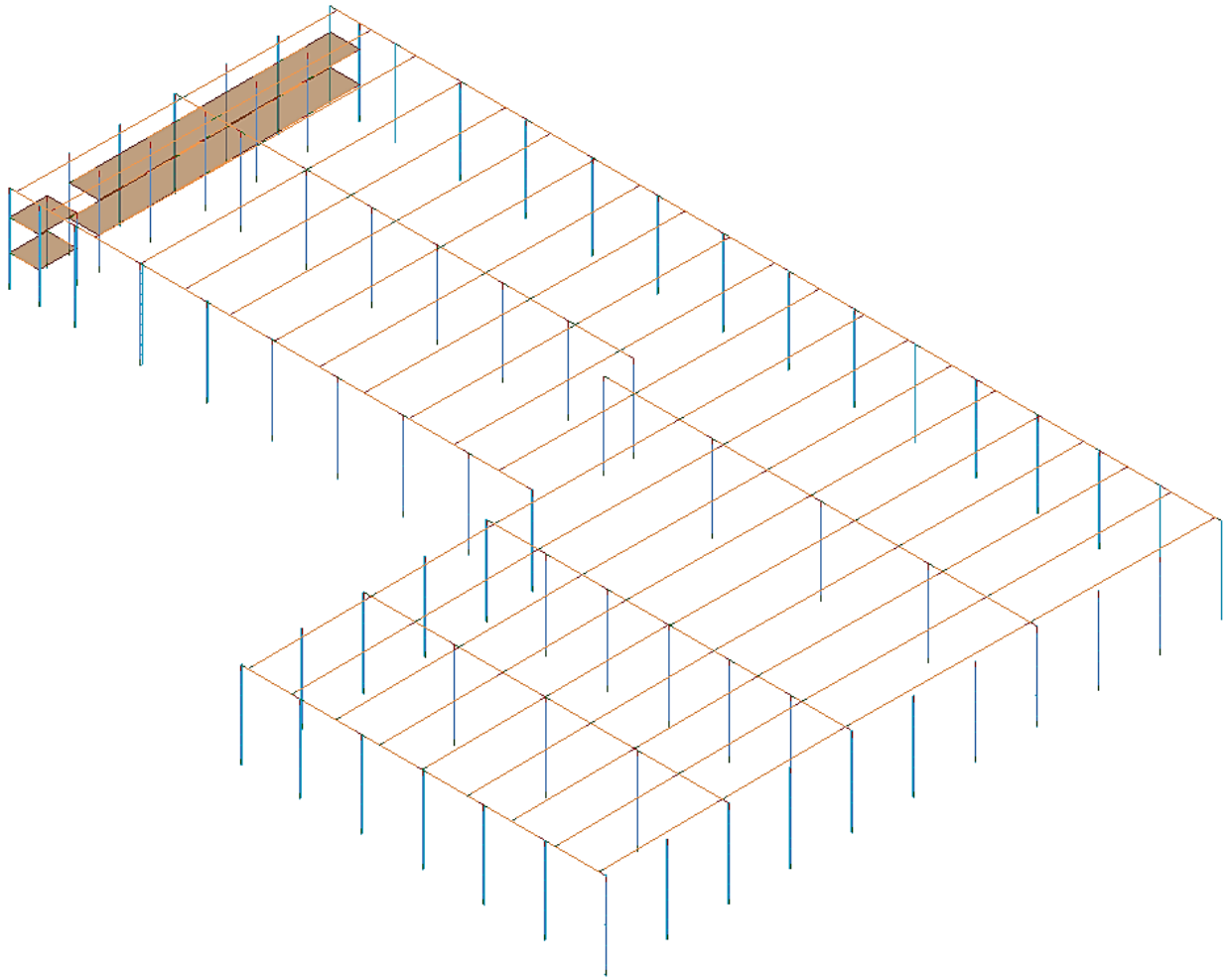


Figura 196 Carga de viento en fachadas. WIND1 X+





*Figura 197 Caso de cargas de viento X+ (WIND1). Modelo analítico completo*

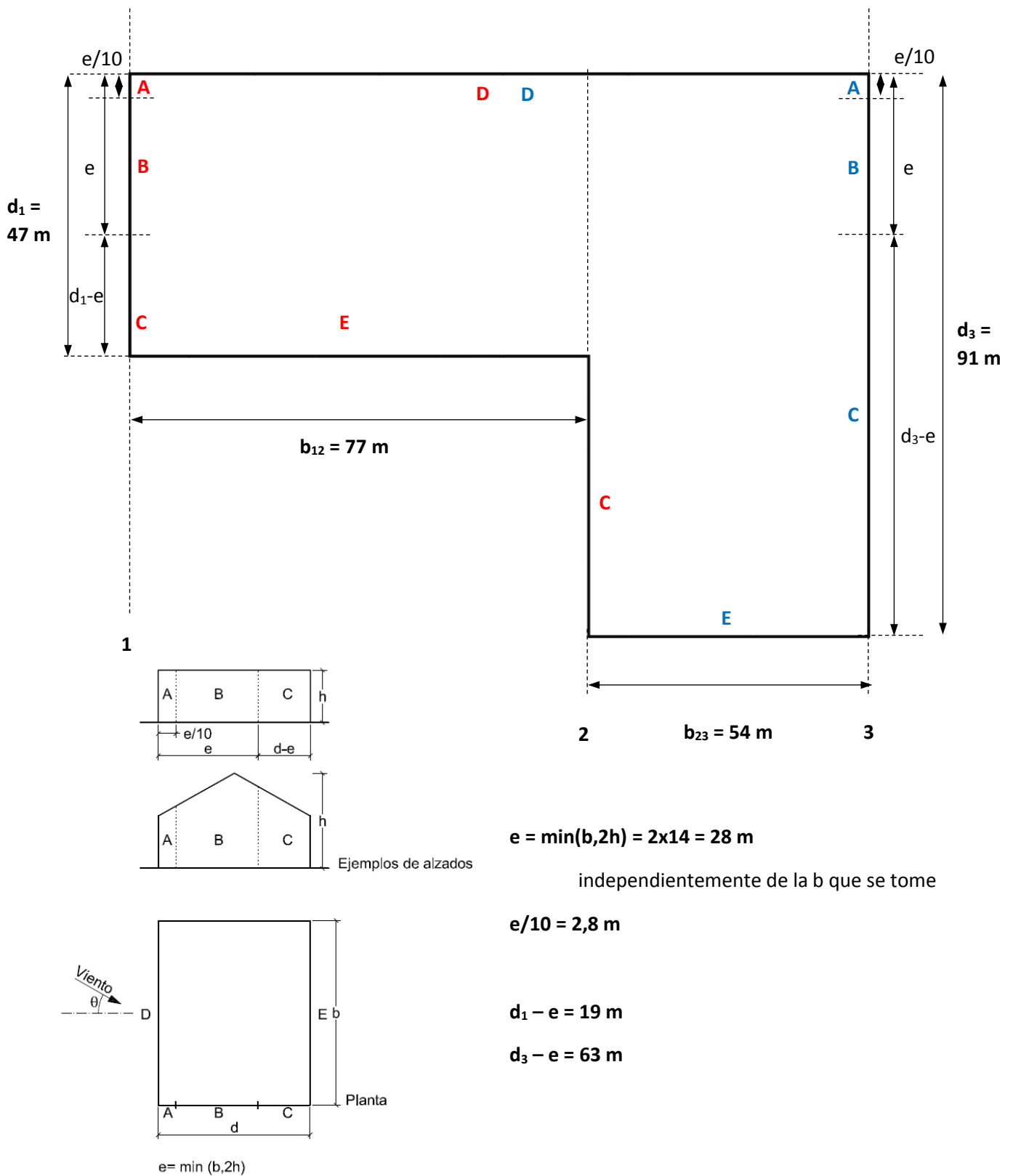
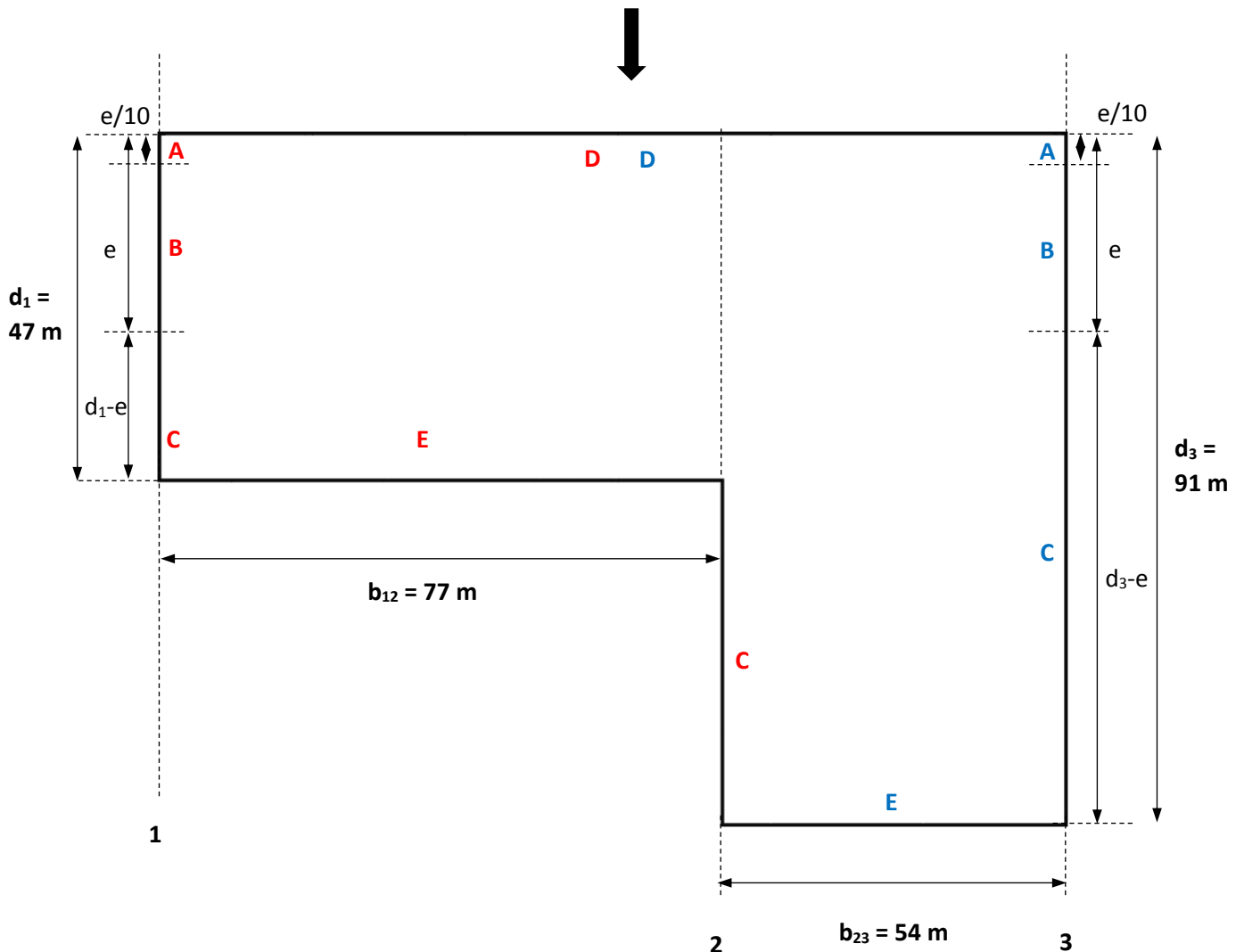
**WIND (2) Y-**

Figura 198 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W2

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4

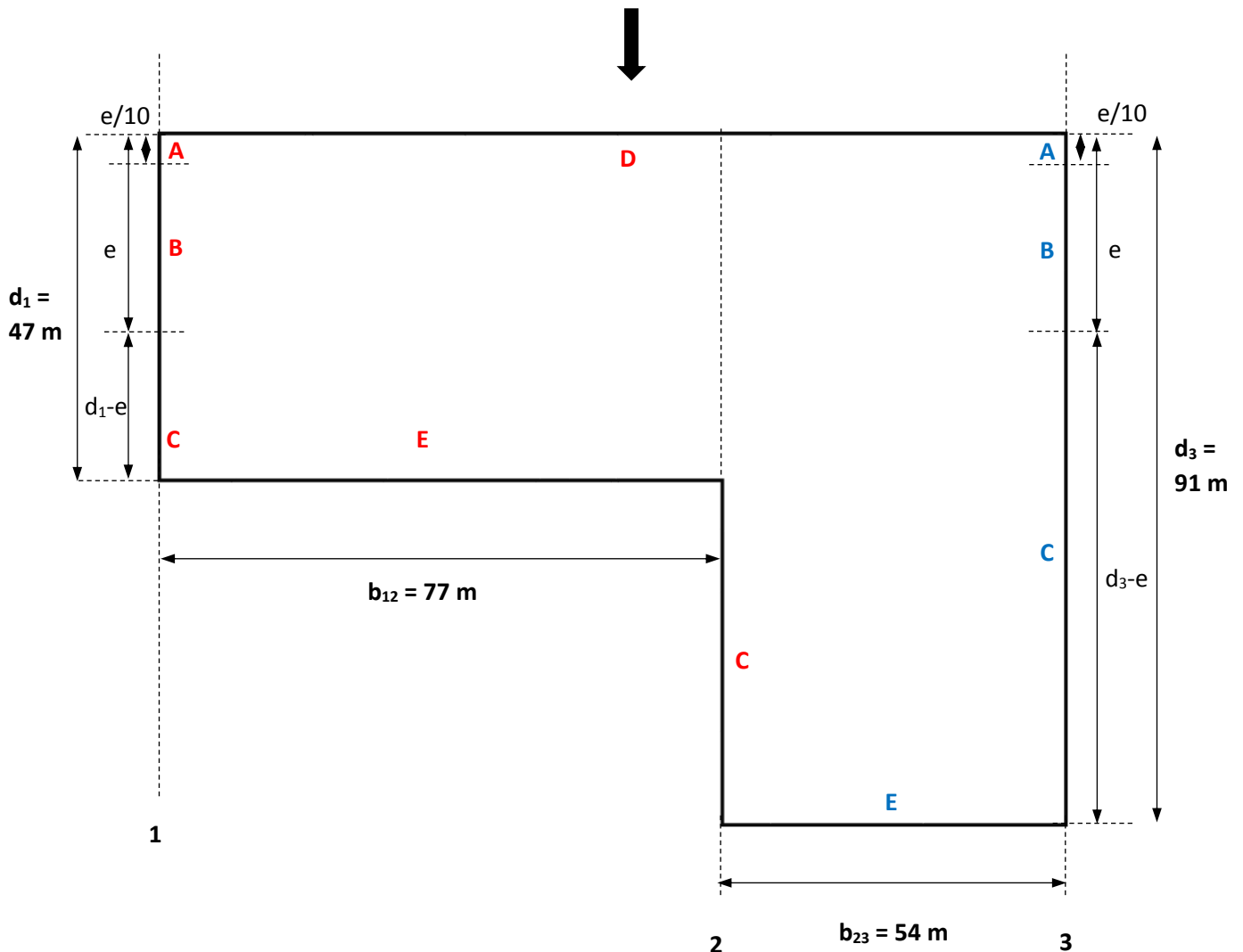


A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,3	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Figura 199 Valores de  $C_p$  para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W2

Se utilizará el valor de  $D=0,75$  por ser el más desfavorable a lo largo de toda la fachada correspondiente.

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4



$$q_e(\mathbf{A}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-1,2) = -0,114 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\mathbf{B}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,8) = -0,076 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\mathbf{C}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,5) = -0,05 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\mathbf{D}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (0,75) = 0,068 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\mathbf{E}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,4) = -0,038 \text{ kN/m}^2$$

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,3	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

$$q_e(\mathbf{E}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,3) = -0,03 \text{ kN/m}^2$$

Figura 200 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W2

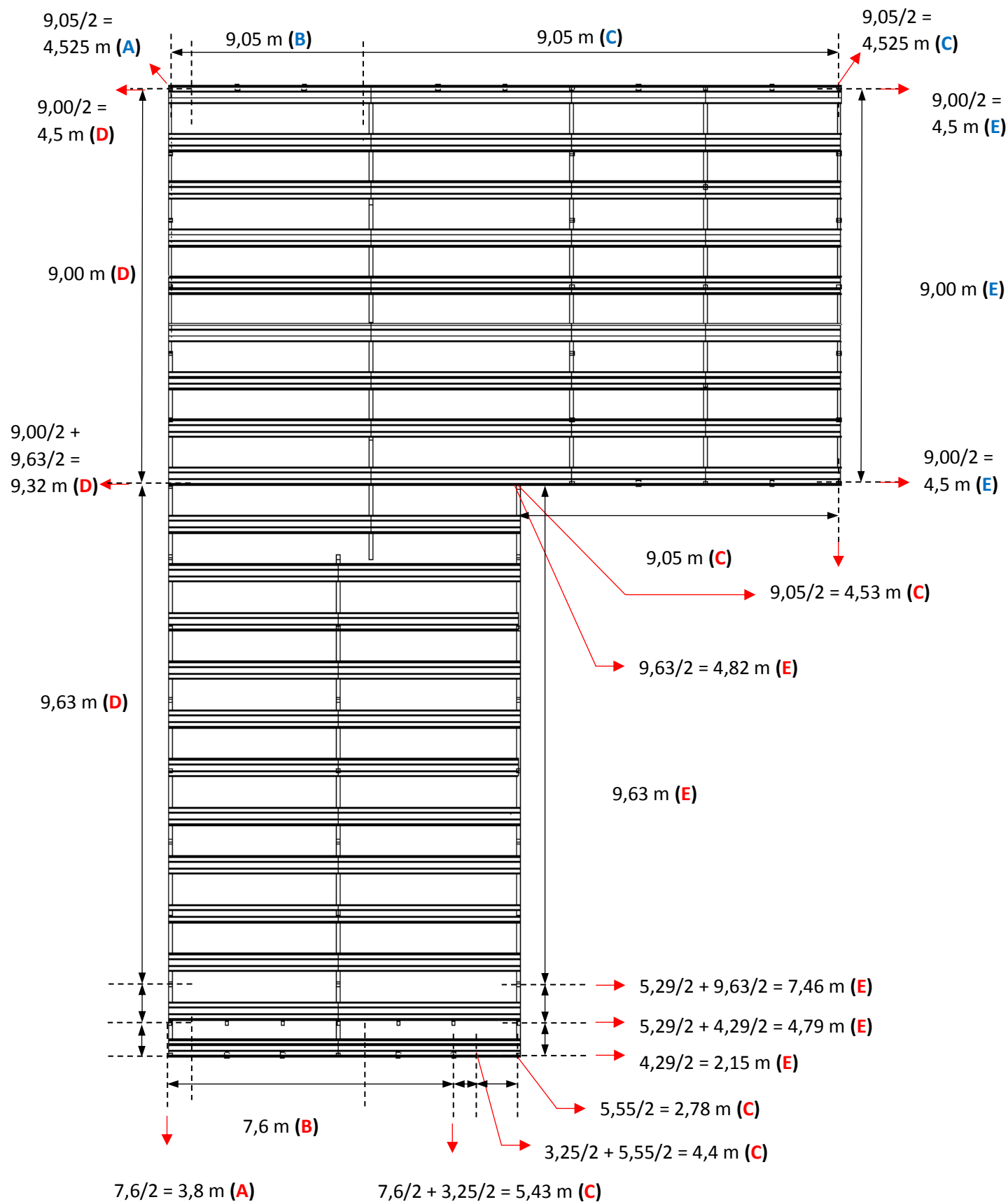


Figura 201 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W2

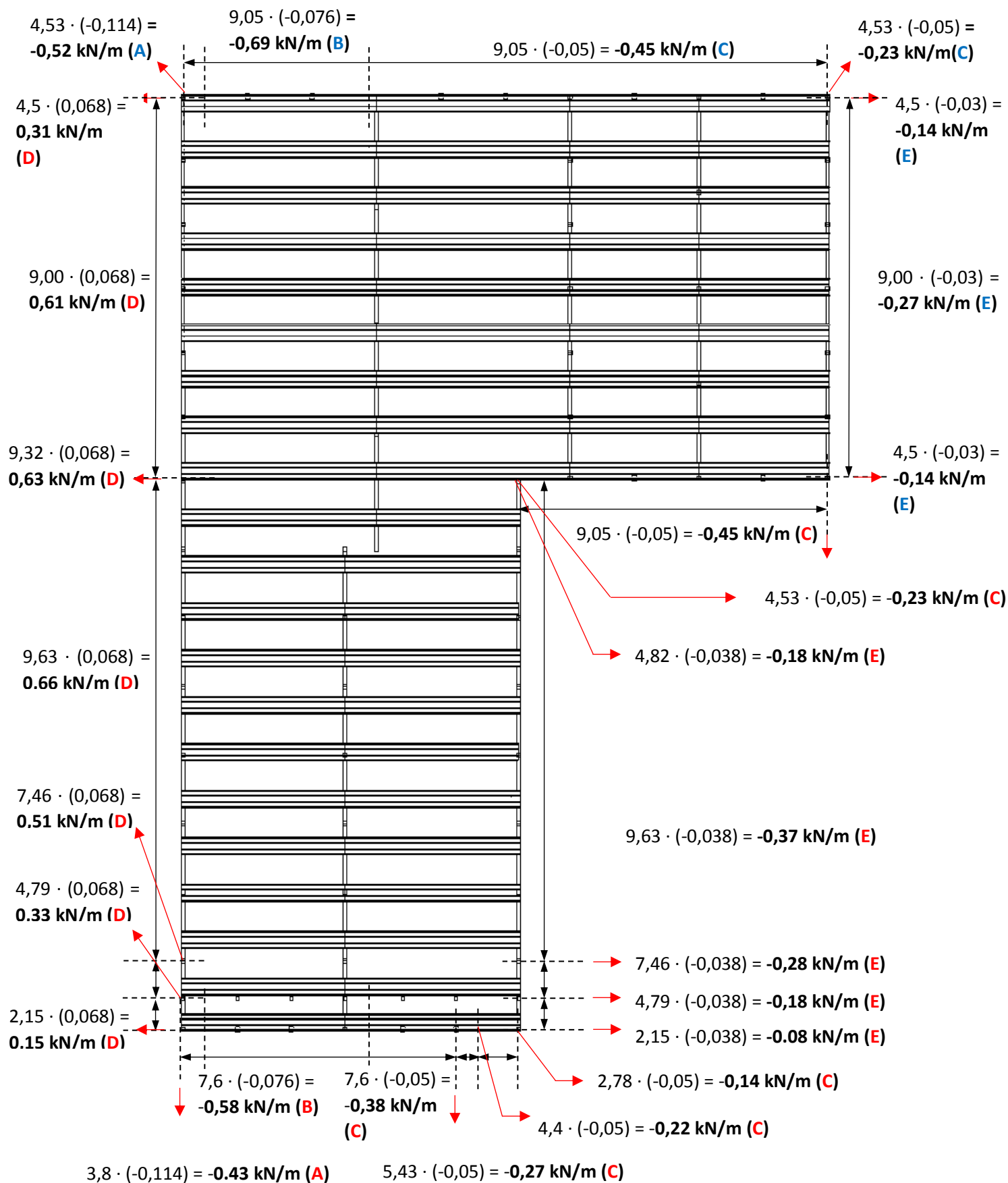


Figura 202 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W2

Ejemplo de colocación de una de ellas en Revit (Propiedades):

Propiedades	
Cargas lineales Carga lineal 1	
Cargas lineales (1)	Editar tipo
Análisis estructural	
Caso de carga	WIND2 Y- (9)
Naturaleza	Viento
Orientar a	Proyecto
Carga uniforme	<input checked="" type="checkbox"/>
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
Fuerzas	
Fx1	0.000 kN/m
Fy1	-0.150 kN/m
Fz1	0.000 kN/m
Momentos	
Mx1	0.00 kN-m/m
My1	0.00 kN-m/m
Mz1	0.00 kN-m/m

Figura 203 Propiedades de carga lineal (0,15 kN/m) en dirección -Y

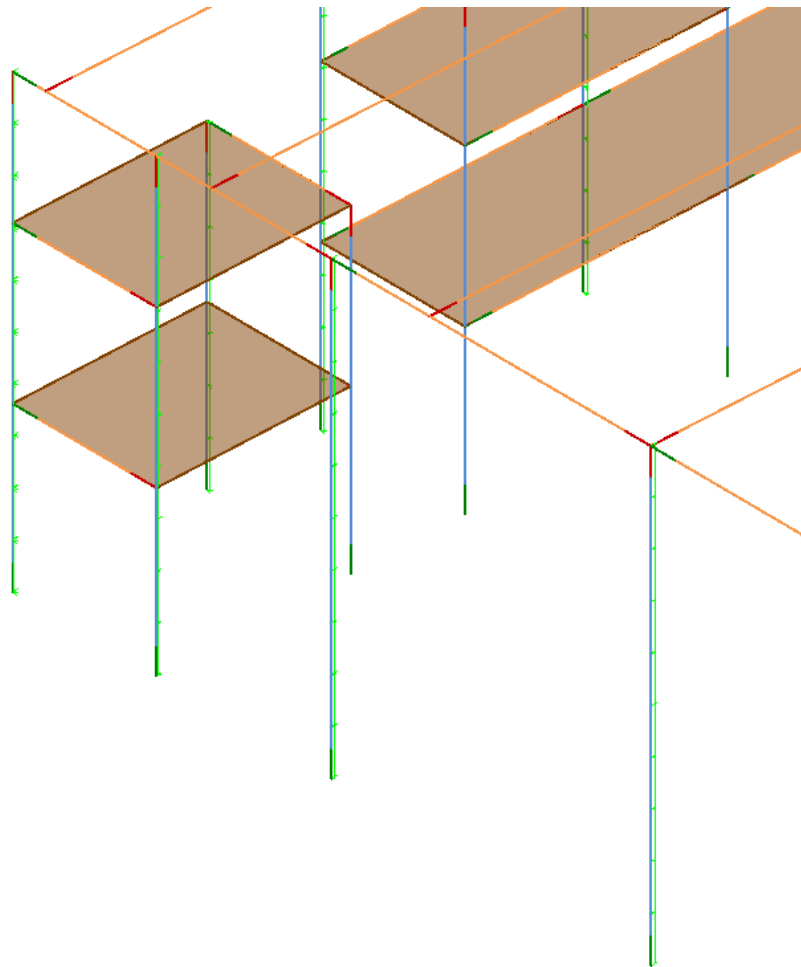


Figura 204 Carga de viento en fachadas. WIND2 Y-

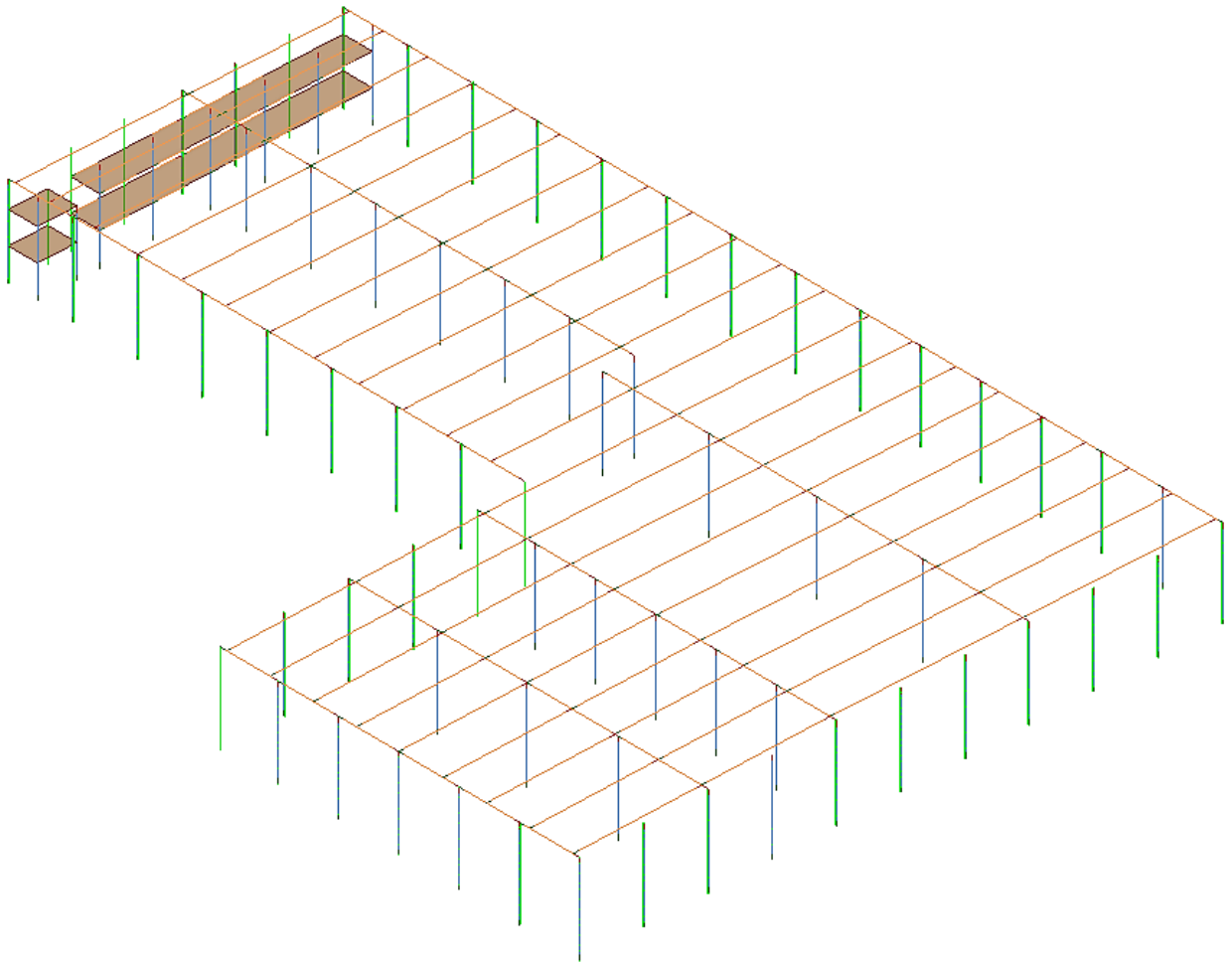
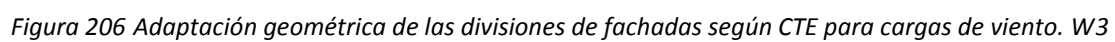
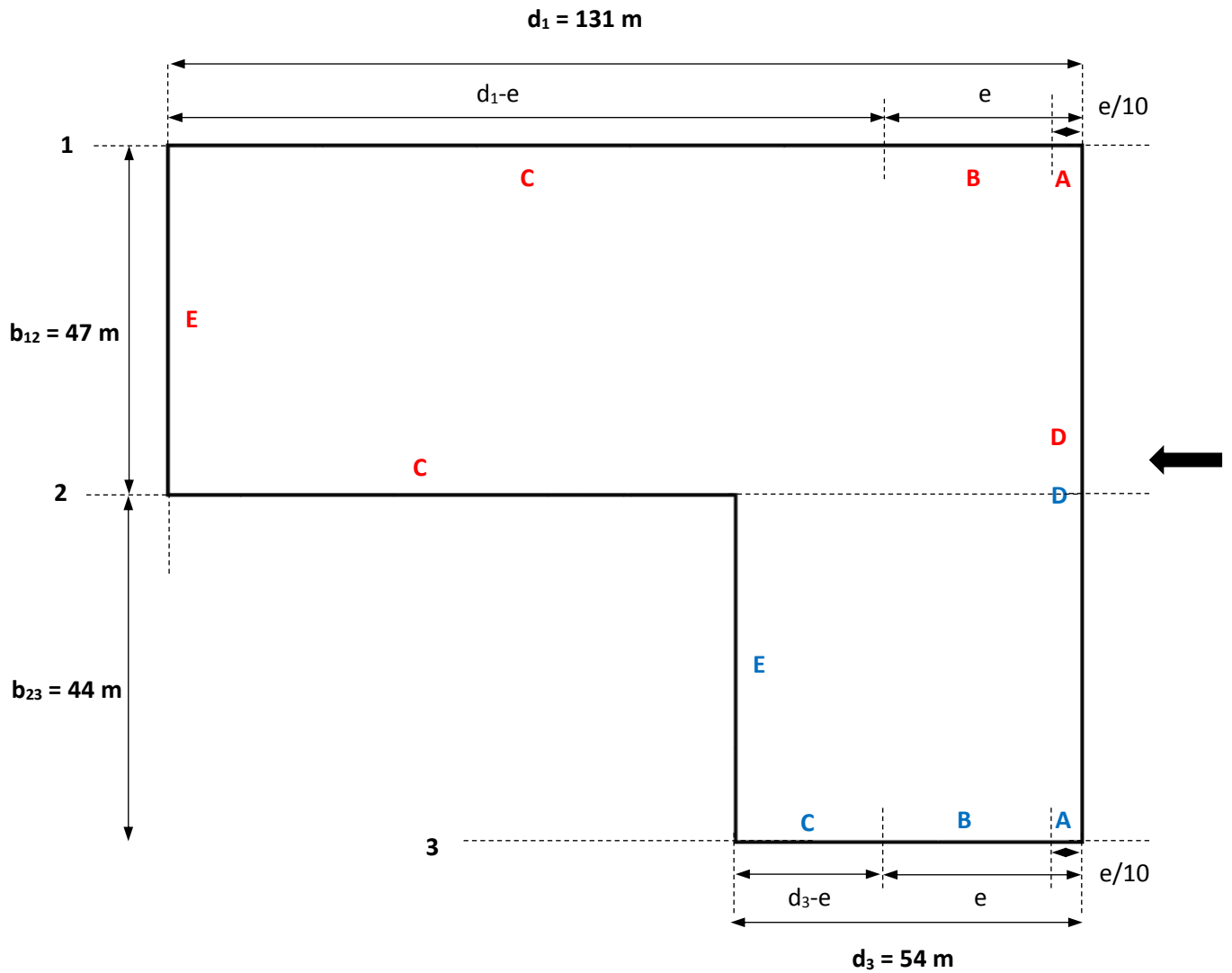


Figura 205 Caso de cargas de viento Y- (WIND2). Modelo analítico completo





A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	≤0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

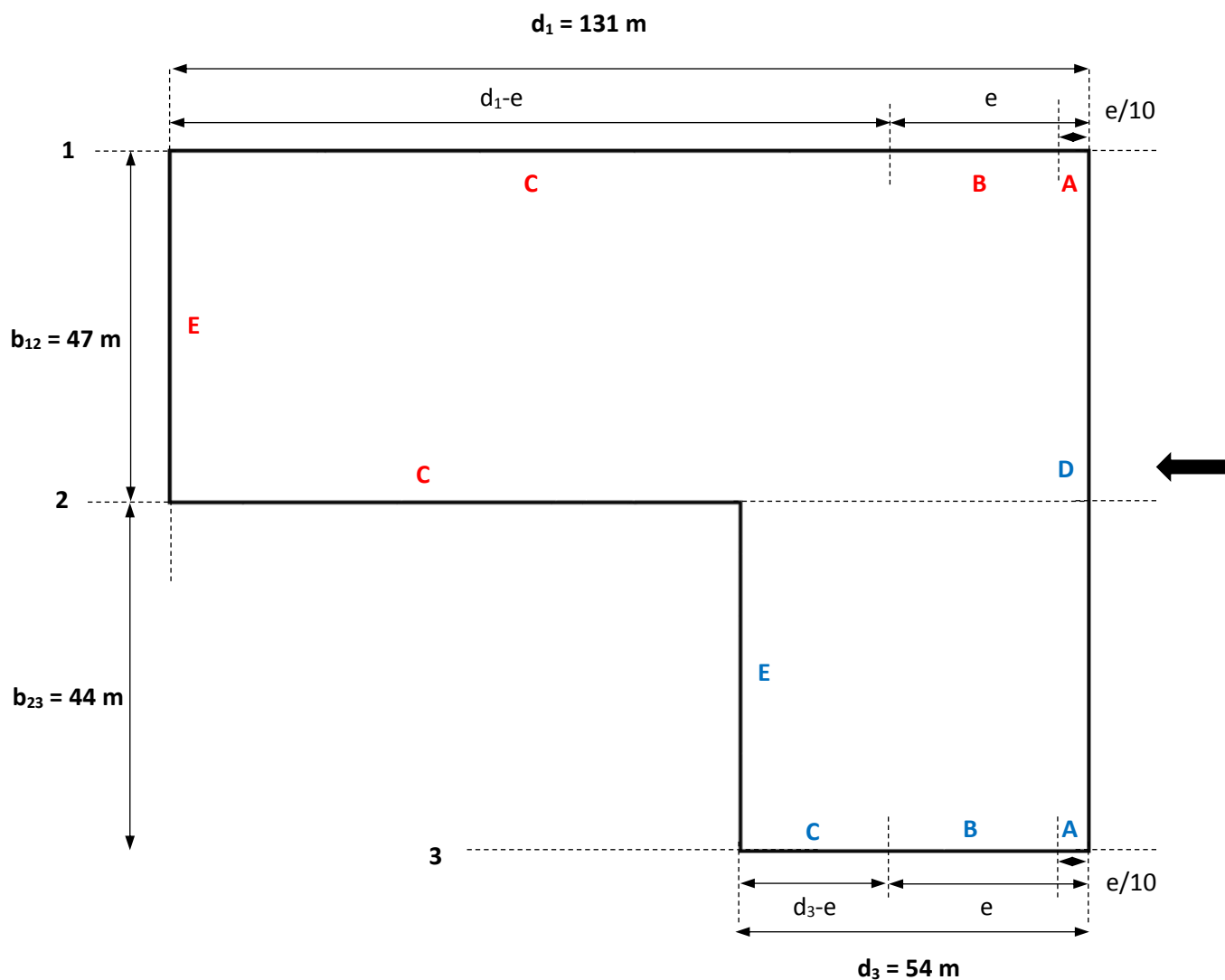


A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,52	-1,2	-0,8	-0,5	0,74	-0,37

Figura 207 Valores de  $C_p$  para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W3

Se tomará  $D=0,74$  para toda la fachada correspondiente por ser la más desfavorable de las dos.

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	≤0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3



$$q_e(\text{A}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-1,2) = -0,114 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\text{B}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,8) = -0,076 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\text{C}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,5) = -0,05 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\text{E}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,3) = -0,03 \text{ kN/m}^2$$

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,52	-1,2	-0,8	-0,5	0,74	-0,37

$$q_e(\text{D}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (0,74) = 0,07 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\text{E}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,37) = -0,035 \text{ kN/m}^2$$

Figura 208 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W3

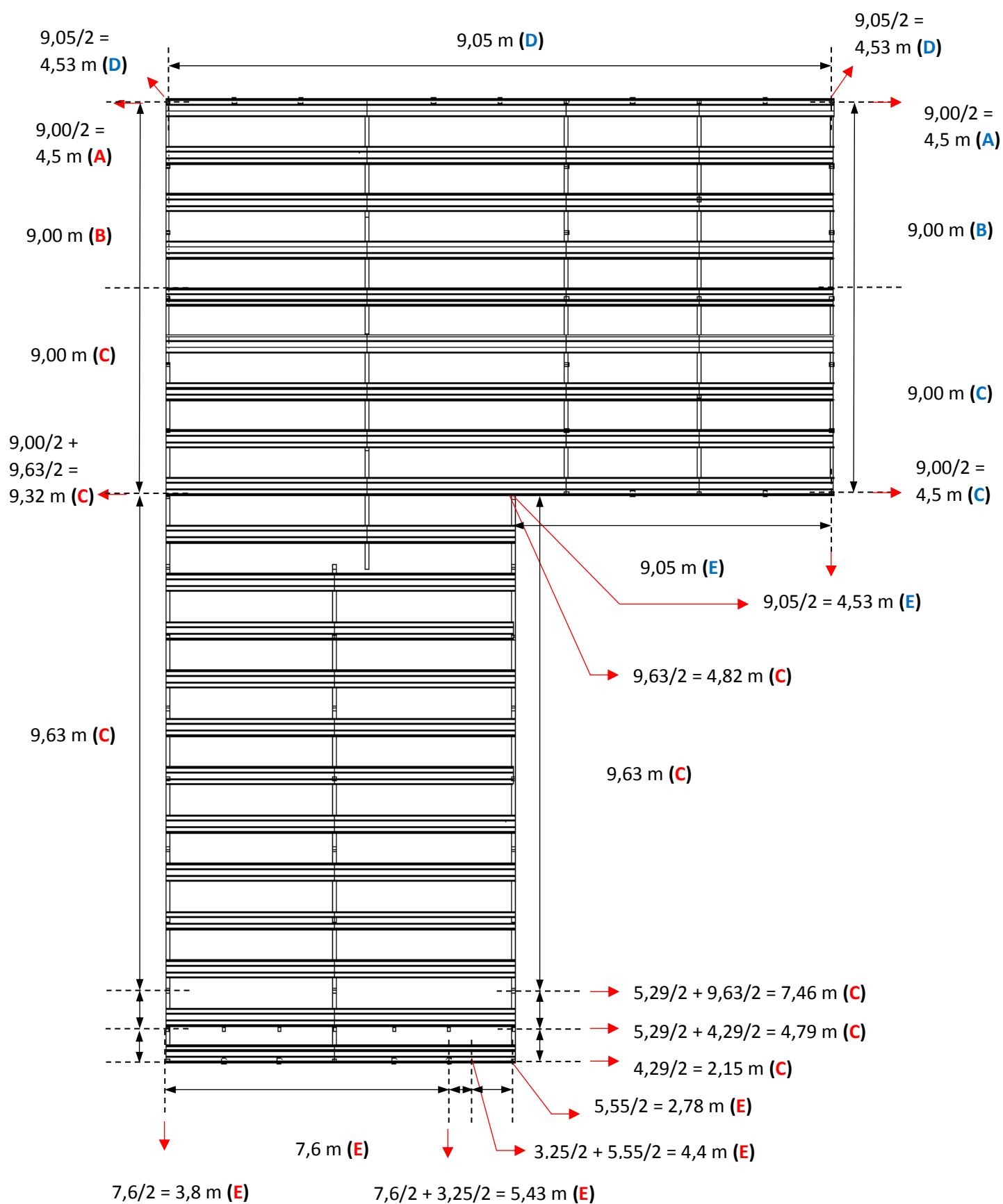


Figura 209 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W3

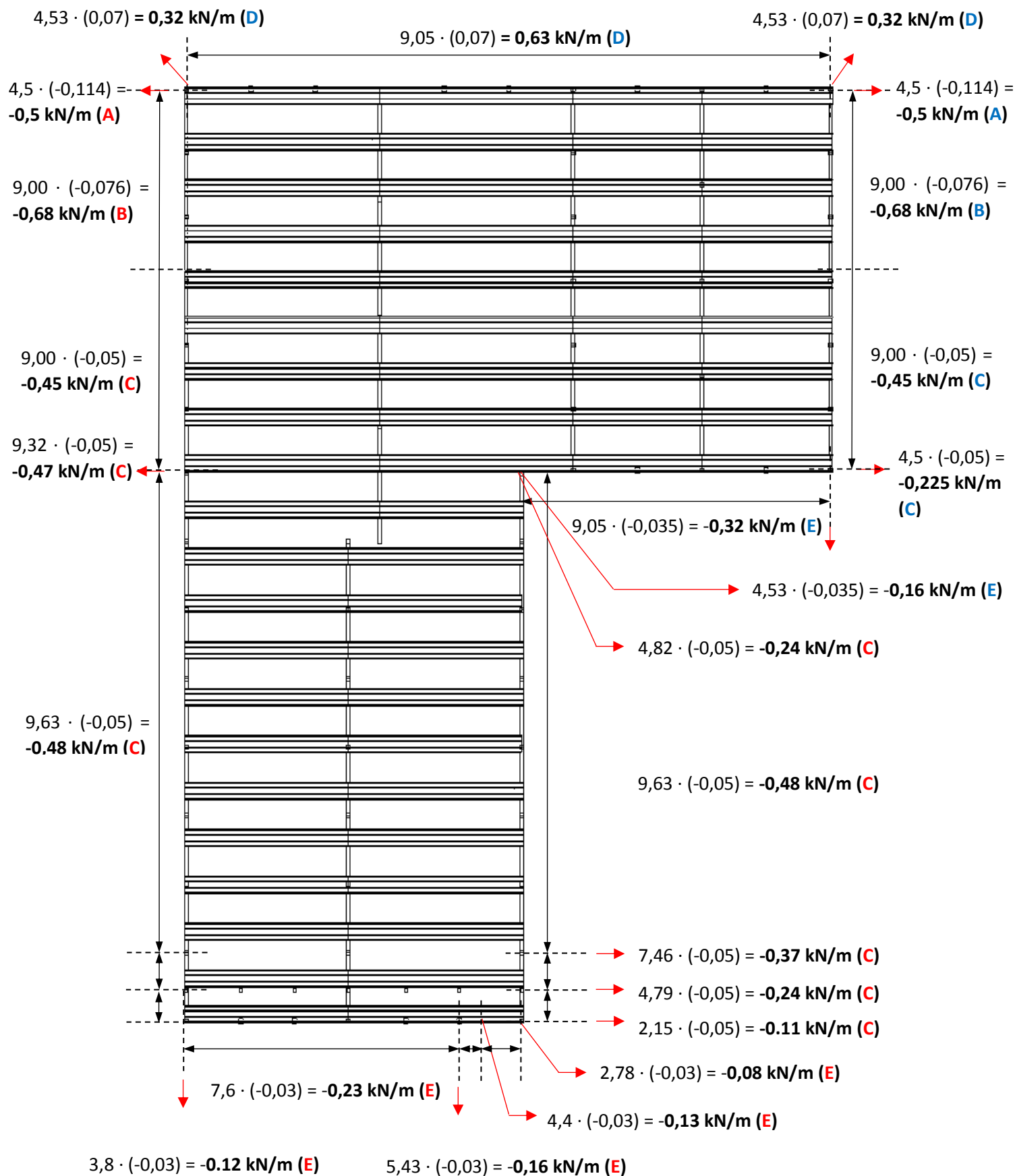


Figura 210 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W3

Ejemplo de colocación de una de ellas en Revit (Propiedades):

Propiedades

Cargas lineales  
Carga lineal 1

Cargas lineales (1) Editar tipo

**Análisis estructural**

Caso de carga WIND3 X- (10)

Naturaleza Viento

Orientar a Proyecto

Carga uniforme ☒

Carga proyectada ☐

**Fuerzas**

Fx1 0.000 kN/m

Fy1 -0.110 kN/m

Fz1 0.000 kN/m

**Momentos**

Mx1 0.00 kN-m/m

My1 0.00 kN-m/m

Mz1 0.00 kN-m/m

Figura 211 Propiedades de carga lineal (0,11 kN/m) en dirección -Y

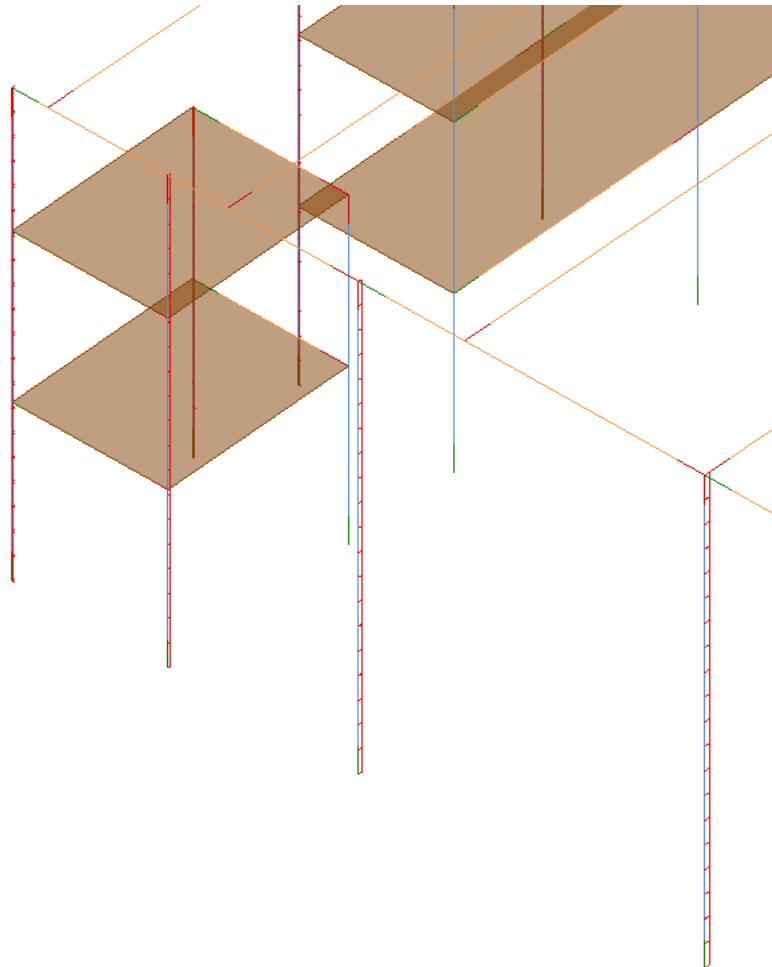


Figura 212 Carga de viento en fachadas. WIND3 X-

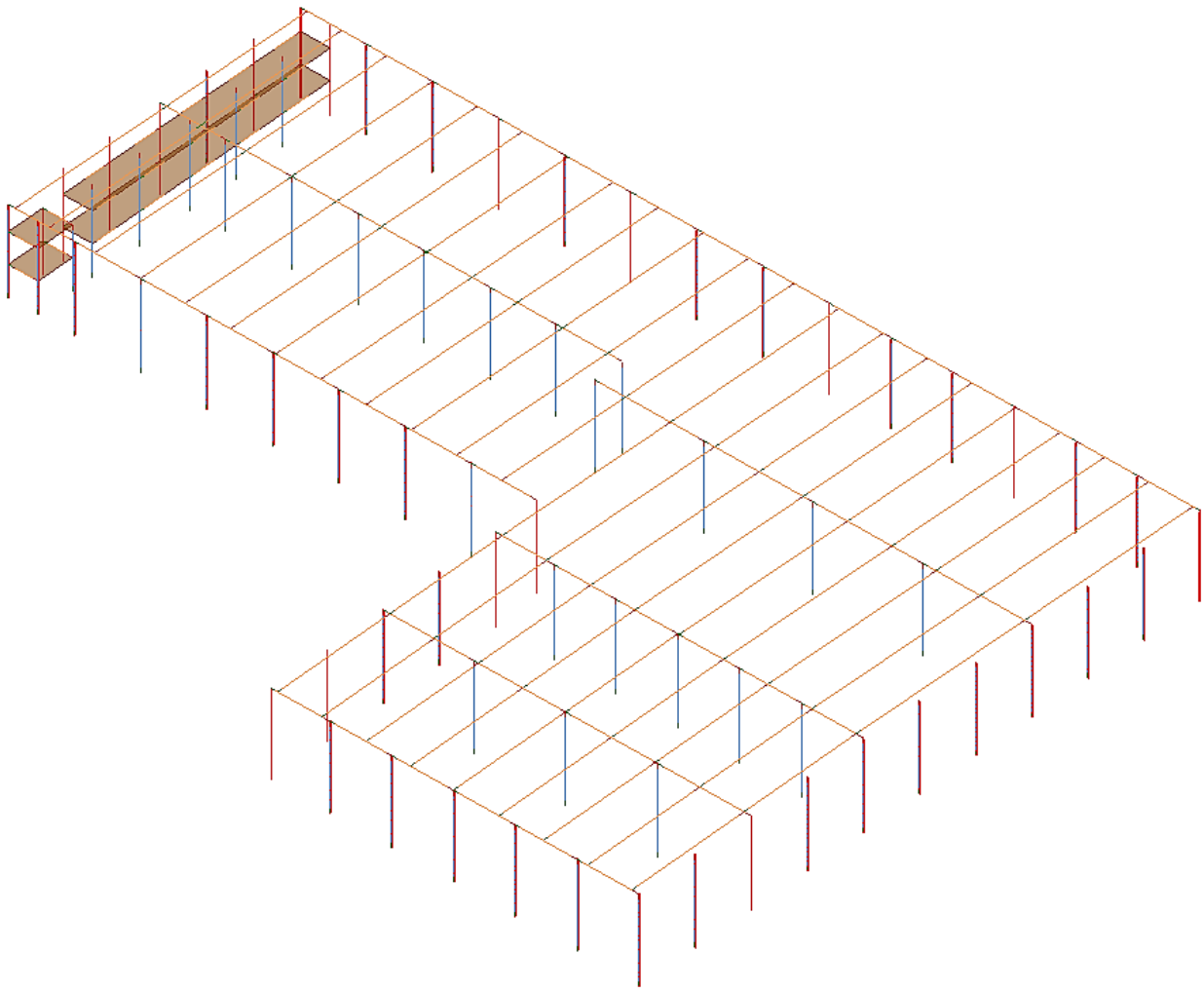
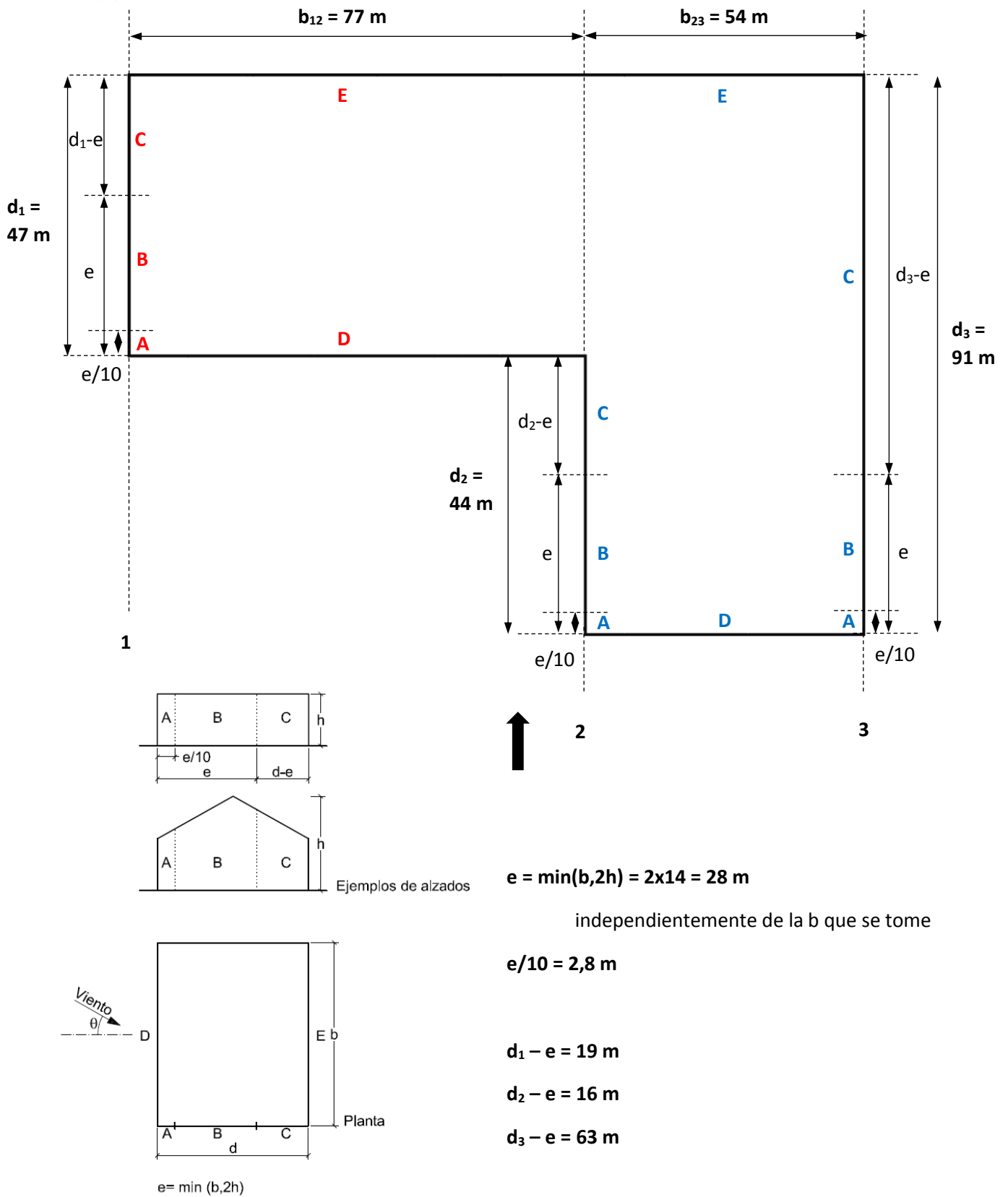


Figura 213 Caso de cargas de viento X- (WIND3). Modelo analítico completo

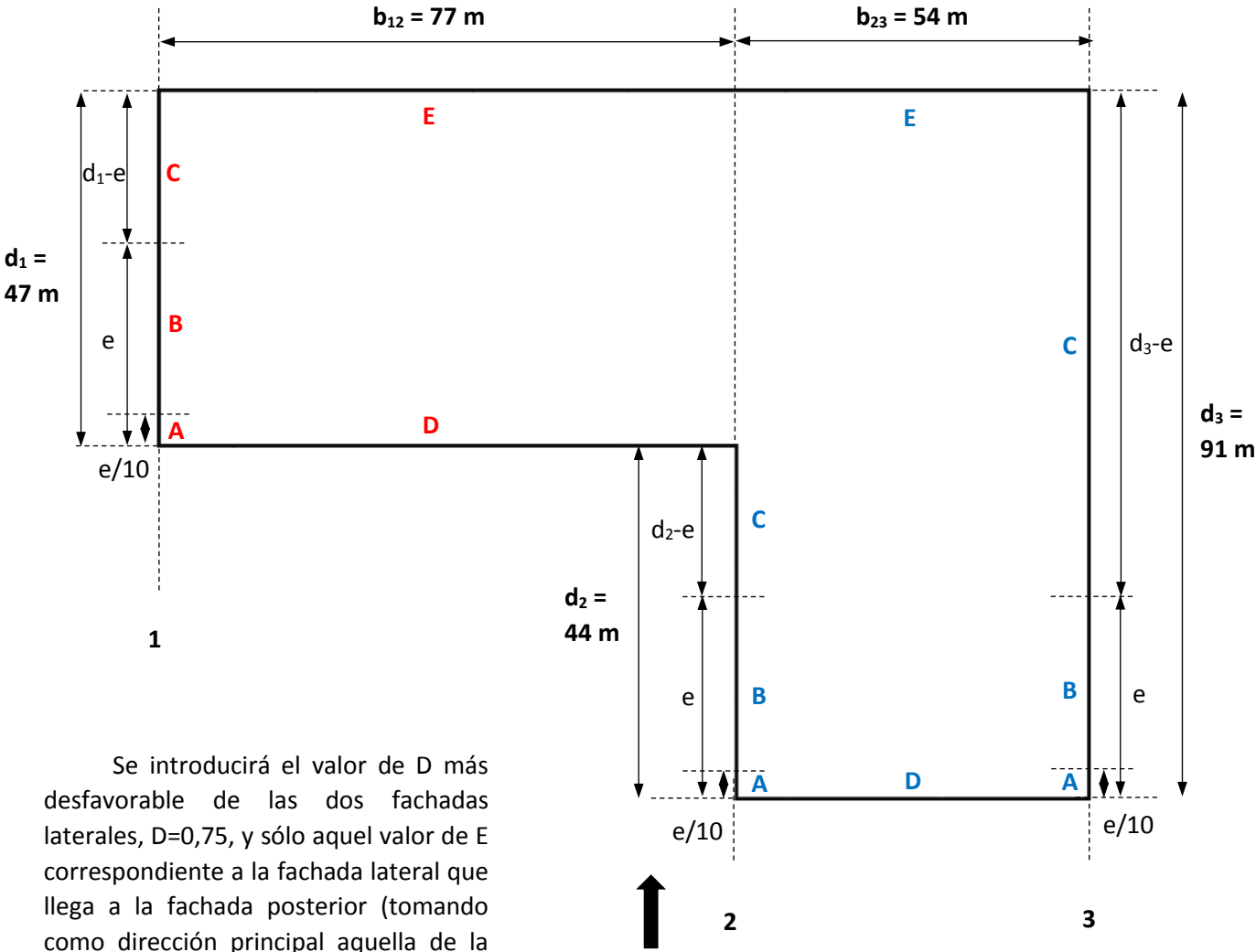
**WIND (4) Y+**





A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,3	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

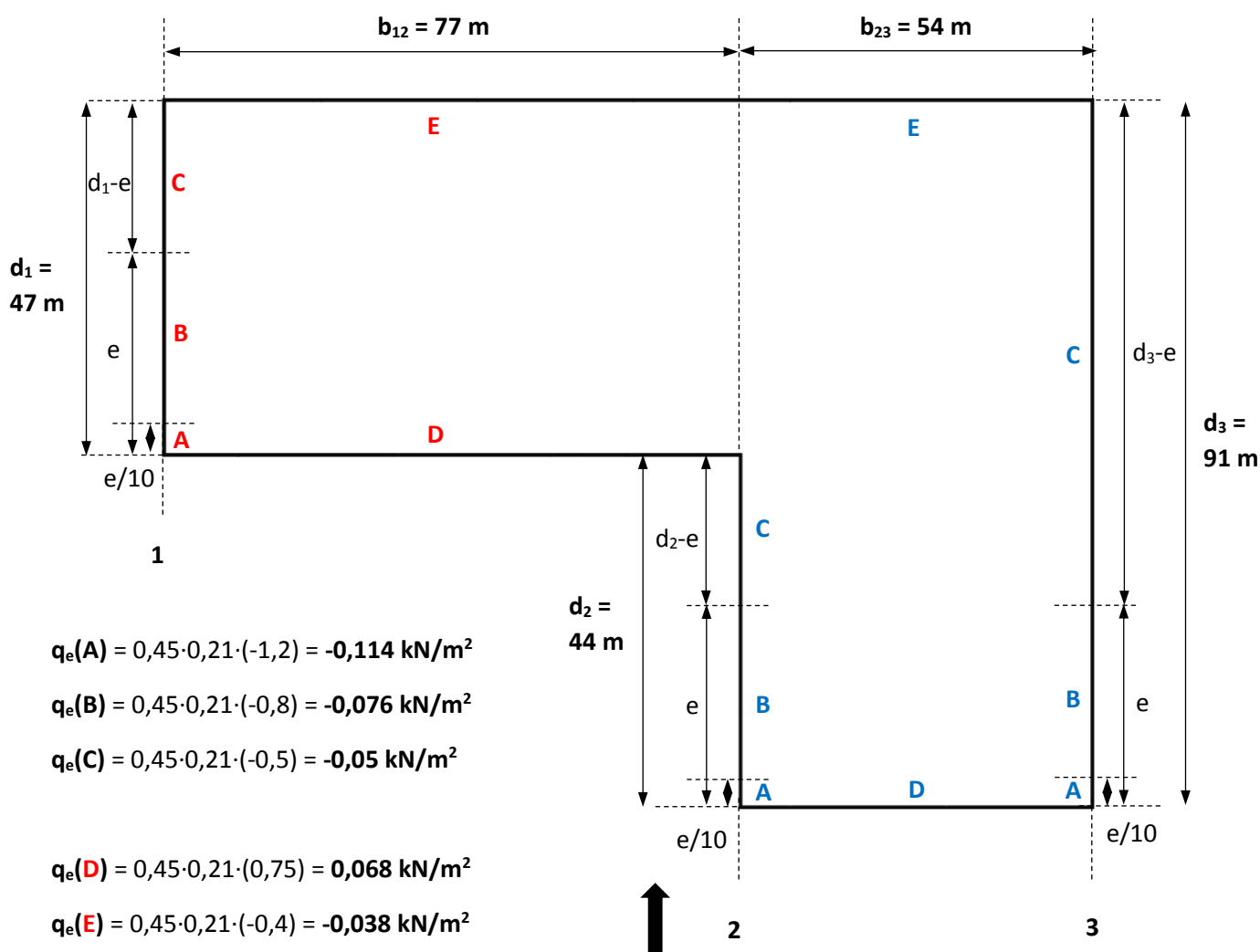


A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>2</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4

Figura 215 Valores de Cp para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W4

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>1</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>3</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,3	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3



$$q_e(\text{D}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (0,75) = 0,068 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e(\text{E}) = 0,45 \cdot 0,21 \cdot (-0,3) = -0,03 \text{ kN/m}^2$$

A [m <sup>2</sup> ]	h/d <sub>2</sub>	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
≥10	0,6	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4

Figura 216 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W4

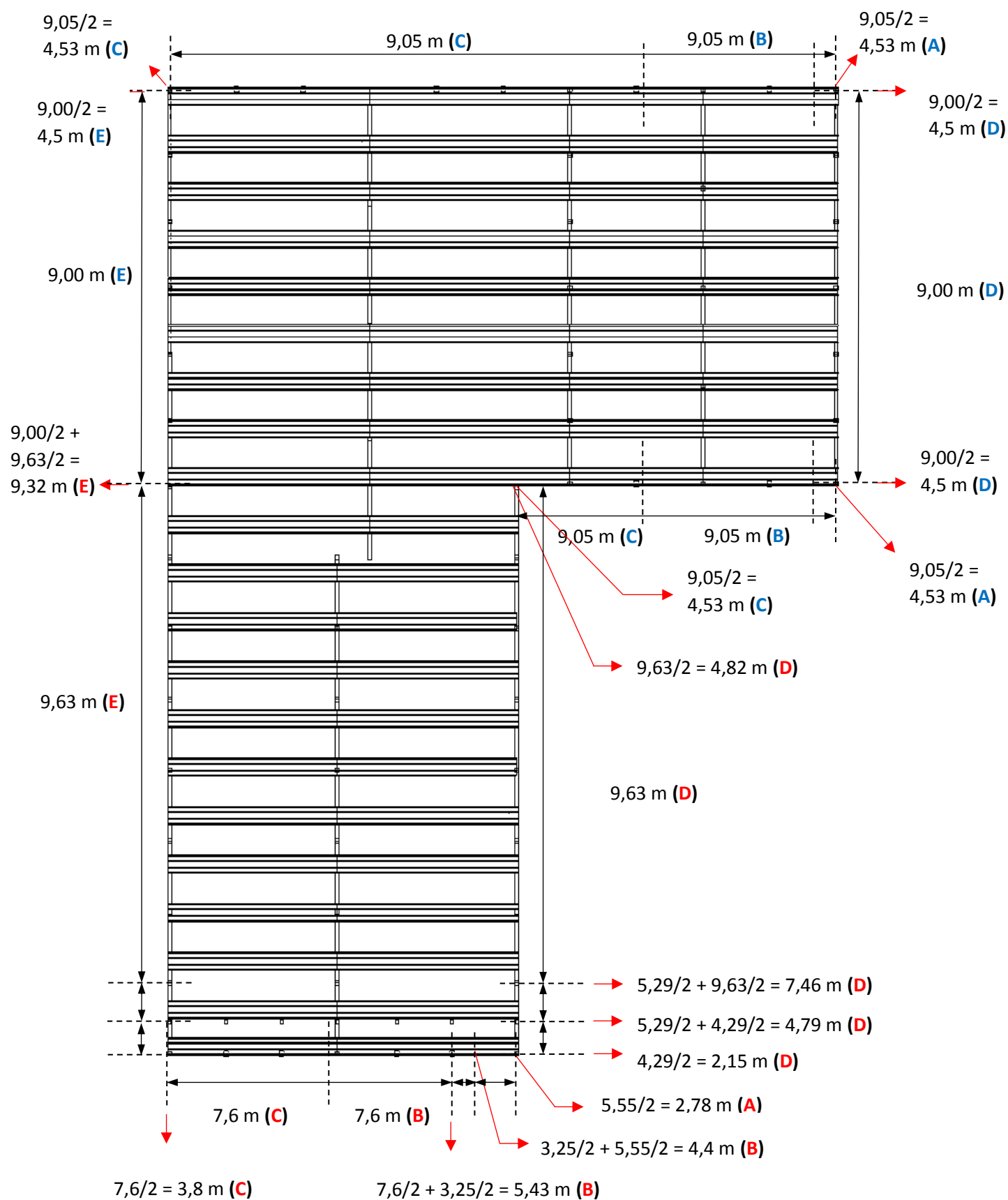


Figura 217 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W4

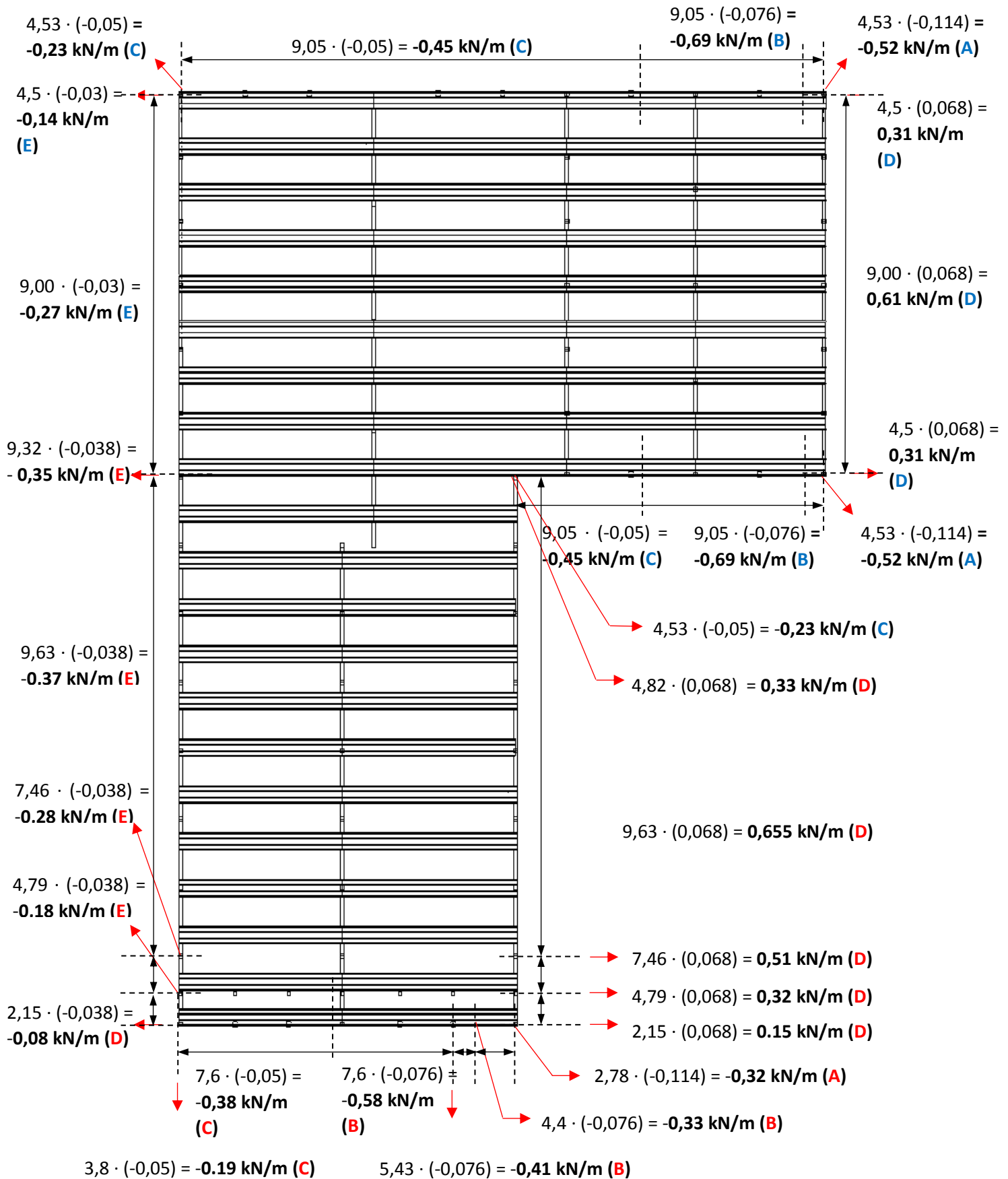



Figura 218 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W4

Ejemplo de colocación de una de ellas en Revit (Propiedades):

Propiedades

Cargas lineales  
Carga lineal 1

Cargas lineales (1)  Editar tipo

**Análisis estructural**

Caso de carga WIND4 Y (11)

Naturaleza Viento

Orientar a Proyecto

Carga uniforme ☒

Carga proyectada ☐

**Fuerzas**

Fx1 0.000 kN/m

Fy1 0.080 kN/m

Fz1 0.000 kN/m

**Momentos**

Mx1 0.00 kN-m/m

My1 0.00 kN-m/m

Mz1 0.00 kN-m/m

Figura 219 Propiedades de carga lineal (0,08 kN/m) en dirección +Y

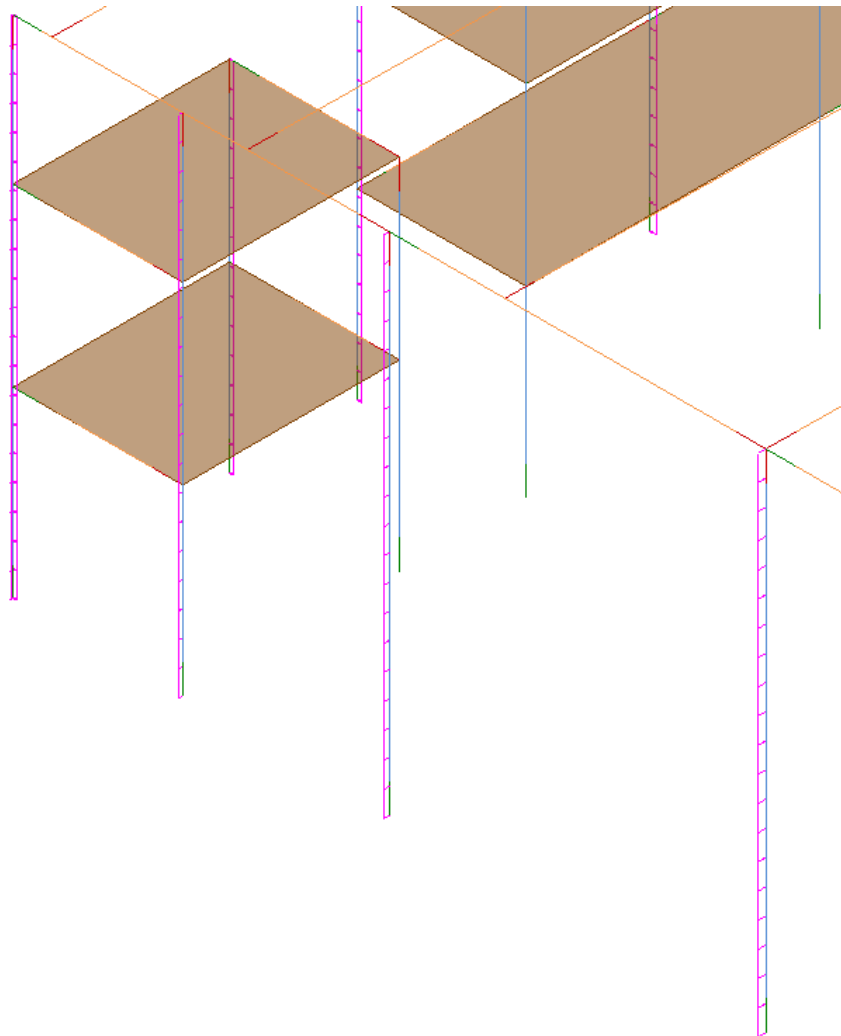
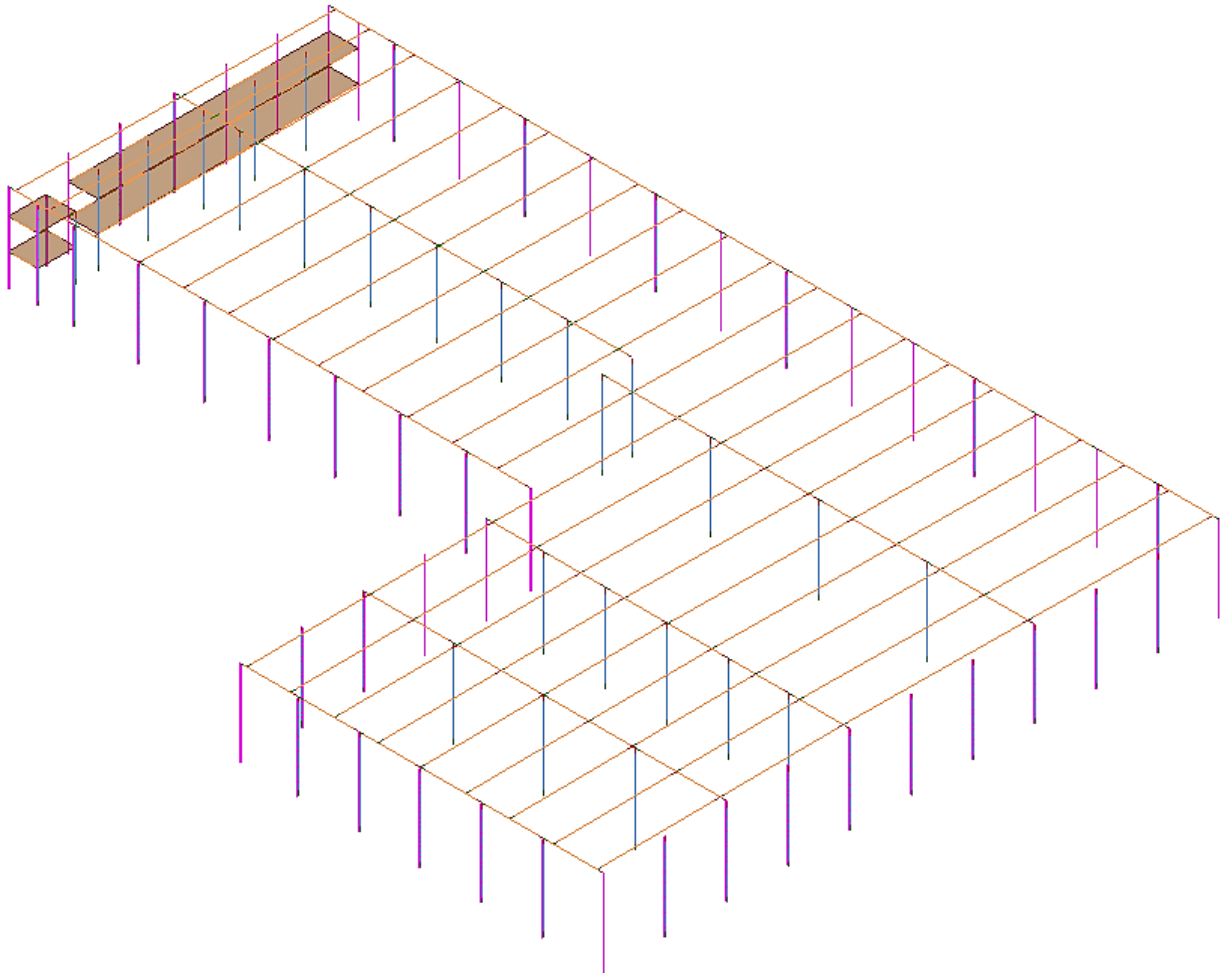


Figura 220 Carga de viento en fachadas. WIND4 Y+



*Figura 221 Caso de cargas de viento Y+ (WIND4). Modelo analítico completo*

Las cargas de viento finalizan el proceso de introducción de cargas. Se da por terminado el anexo, no sin antes adjuntar imágenes del modelo analítico con todas las cargas colocadas:

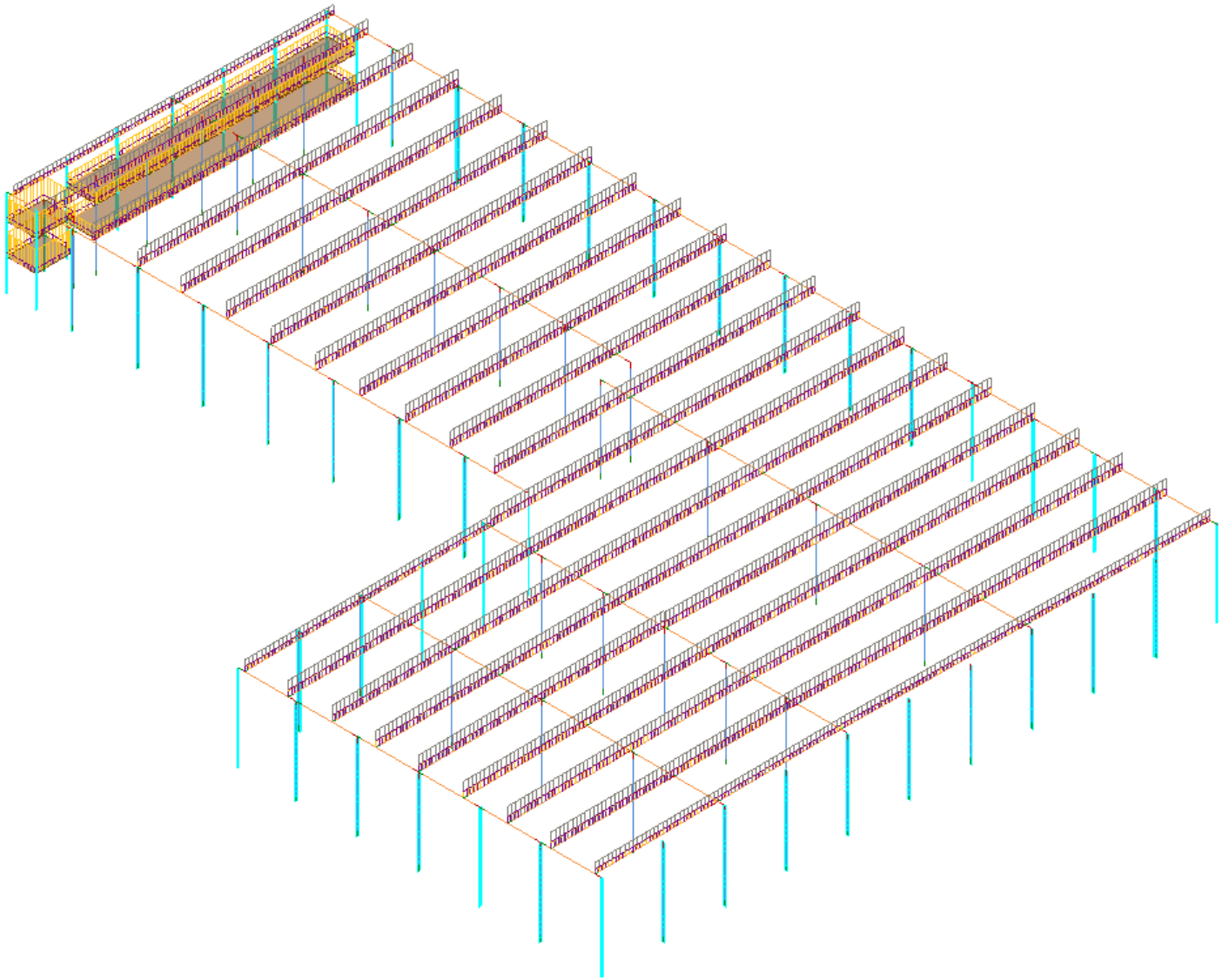
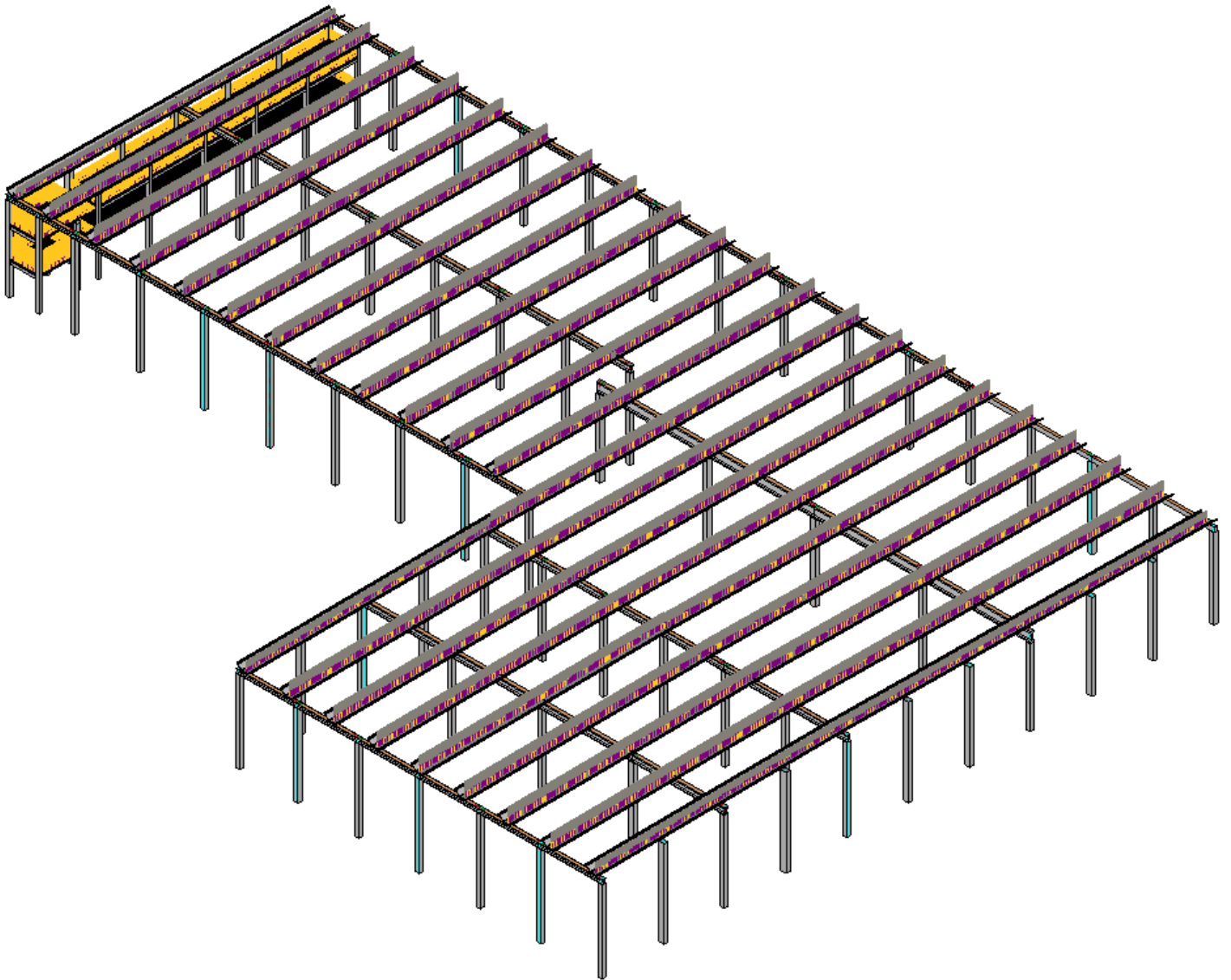


Figura 222 Modelo analítico completo con todas las cargas introducidas (\*)

(\*) Las cargas de viento se fueron modificando de color para diferenciarlas a lo largo de la colocación de las mismas. De cara al programa, son todas hipótesis de viento y no permite mayor división de coloración. Aunque sólo aparezcan en color cian, quede constancia que en la imagen previa están presentes ya las cuatro hipótesis de viento.

Una colocación del modelo geométrico sobre el analítico da lugar a la siguiente figura:



*Figura 223 Modelo analítico completo en conjunto con el geométrico con todas las cargas introducidas*



---

# ANEXO IV. ACONDICIONAMIENTO DEL MODELO EN ROBOT

## 1 Objeto

En este anexo a la memoria se exponen la serie de tareas que fueron necesarias para dejar el modelo obtenido de la lectura desde Robot preparado para proceder al cálculo de la estructura.

Éstas consisten en la generación de los perfiles personalizados que ya se hicieron en Revit para poder tenerlos también en el modelo de Robot, la adaptación de los forjados, para que su forma se asemeje a la que se consigue con las placas + capa de compresión que hay en el modelo geométrico real, y la colocación de empotramientos en las bases de los pilares como condición de contorno.

## 2 Modelo previo al acondicionamiento

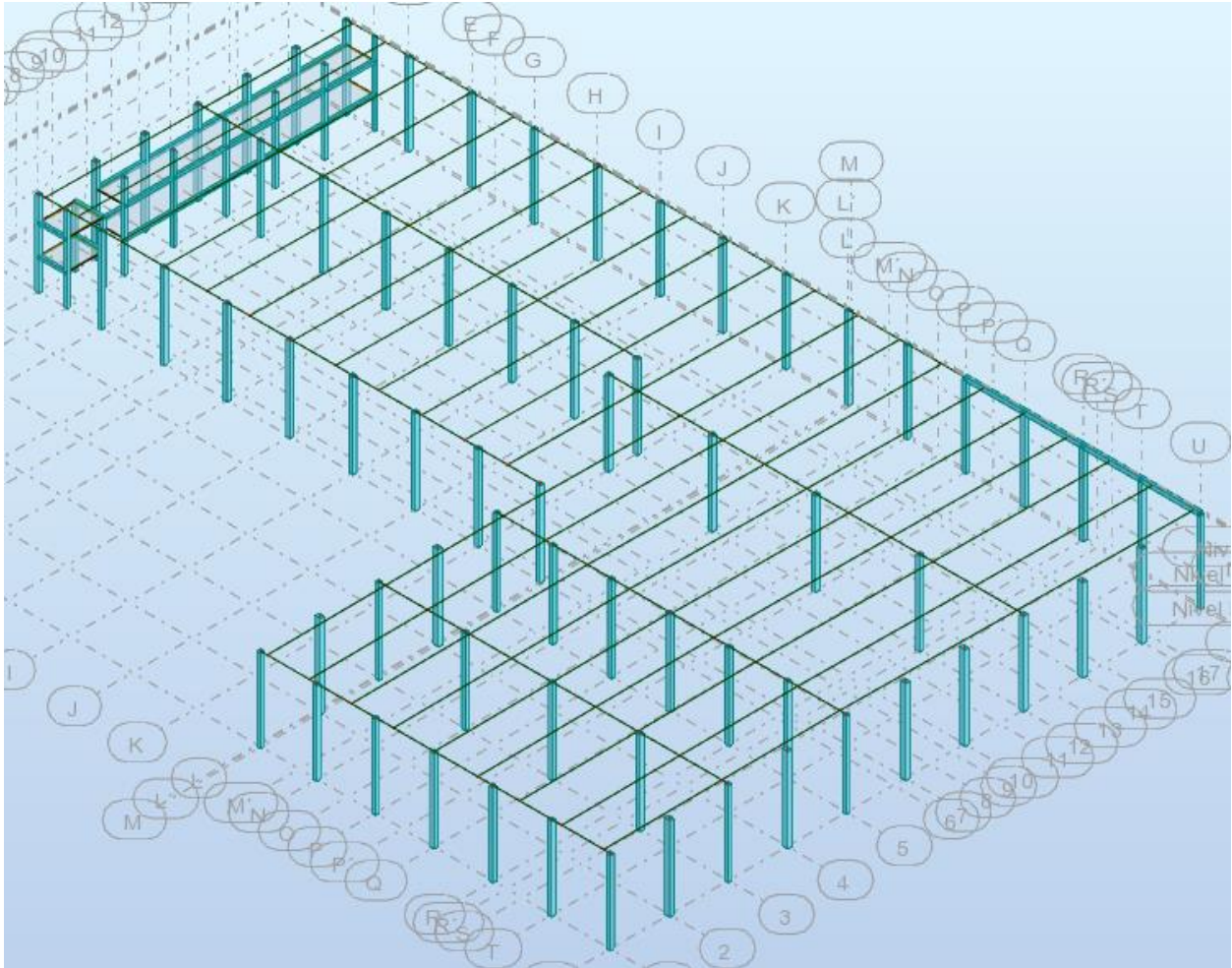


Figura 224 Modelo de la estructura en Robot tras el proceso de lectura

Ya se ha visto en el apartado correspondiente de la memoria el mismo resultado de la lectura. Un modelo en que la sección de todas aquellas vigas que se generaron en Revit de manera personalizada (vigas salvapilar en I y los dos modelos de Artwind) es inexistente en el programa.

### 3 Generación de perfiles personalizados

Se comienza con la tarea que antes requiere la atención del programa, dar sección a aquellas barras cuya sección Robot ha “perdido” en el proceso de lectura. Éstas son todas las que en Revit se generaron a partir de familias personalizadas.

En la interfaz de Robot, en la pestaña de Herramientas, se puede acceder al creador de secciones del que dispone. Éste introducirá las secciones generadas a los catálogos internos del programa y podrán ser accesibles desde el proyecto para introducirlas donde corresponde.

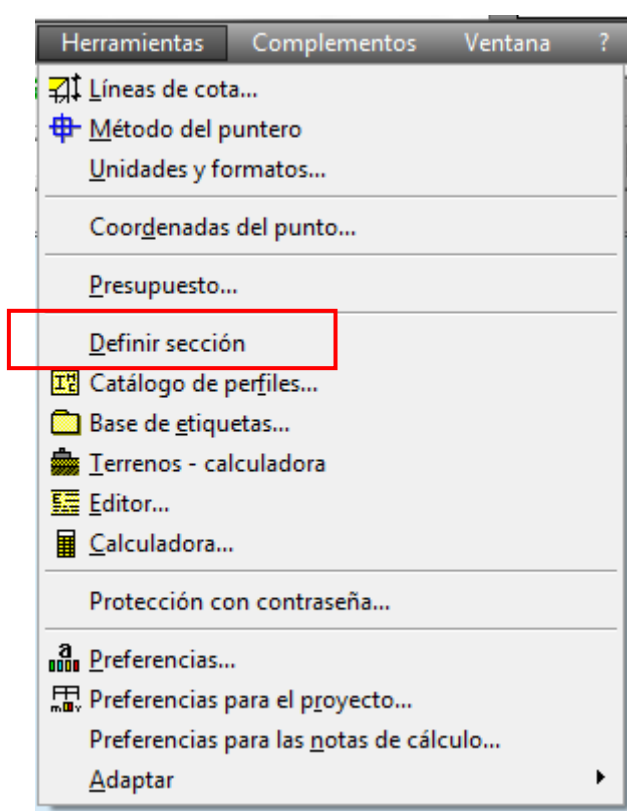


Figura 225 Localización del generador de secciones en Robot

El proceso se diferencia de lo que se hizo en Revit en que aquí simplemente se generará una sección única para toda la longitud de las barras, no se está generando el elemento barra como tal. Así pues, las vigas Artwind 110 no tendrán secciones distintas en función de si se mira sus extremos, la sección inmediatamente contigua a éstas (sin hueco en zona colgante), o su centro, ya con hueco aligerante.

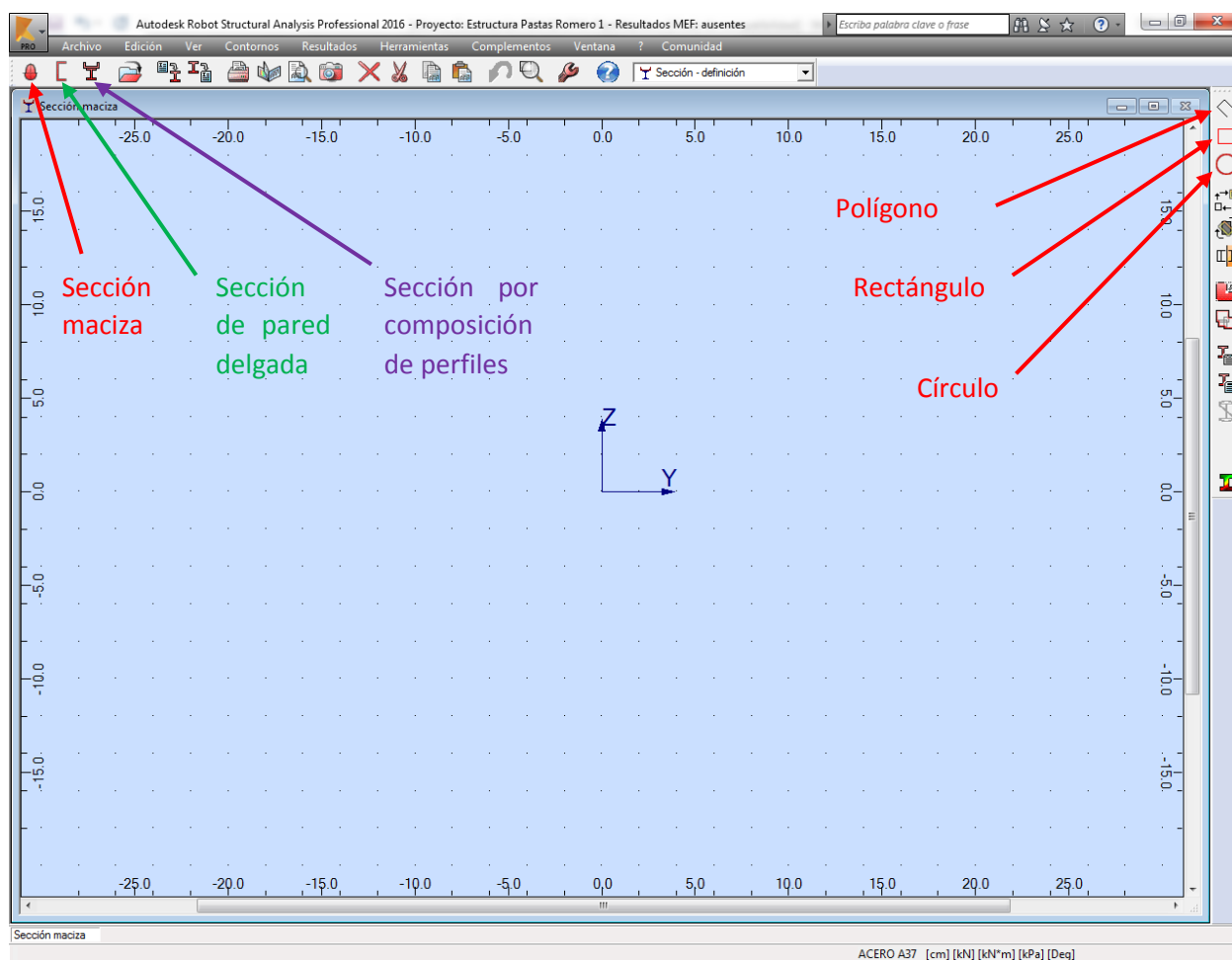


Figura 226 Interfaz del creador de secciones de Robot. Sección maciza

En la interfaz del creador de secciones se encuentran los tres tipos posibles de secciones a generar: secciones macizas, de pared delgada, o por composición de perfiles, como serían los que se generan para servir de apoyo a puentes grúa, con una IPE y una UPN en su parte superior.

Para generar las secciones que se necesitan no será necesario moverse fuera de la opción de sección maciza. Se puede ver también, que una vez seleccionada ésta, hay varias posibilidades de generar la sección que se desea, mediante rectángulos, mediante círculos, o la forma que se utilizará para todas las secciones que se hagan, mediante polígono.

Utilizando esta última opción, uno puede ir generando el perímetro de la sección que busca crear a base de puntos y rectas cuya localización en el plano la dan las dimensiones proporcionadas por ARTEPREF y que ya se vieron en el anexo previo de creación del modelo geométrico.

Siguiendo esas dimensiones, se vuelven a generar, esta vez en Robot, las secciones personalizadas:

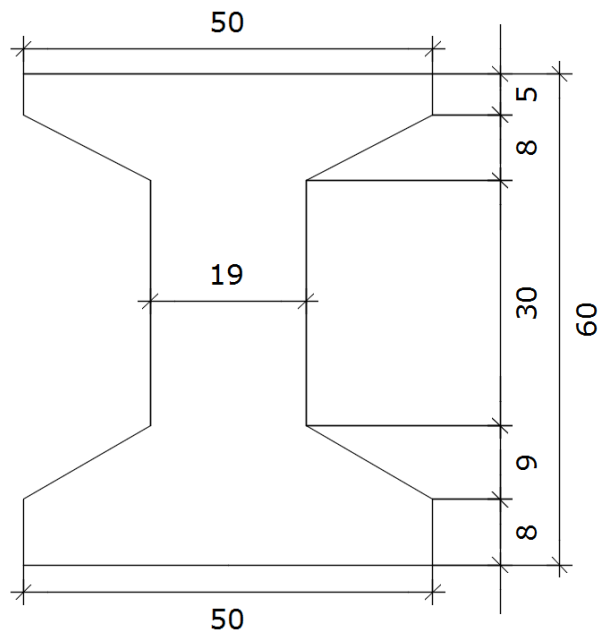


Figura 227 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF

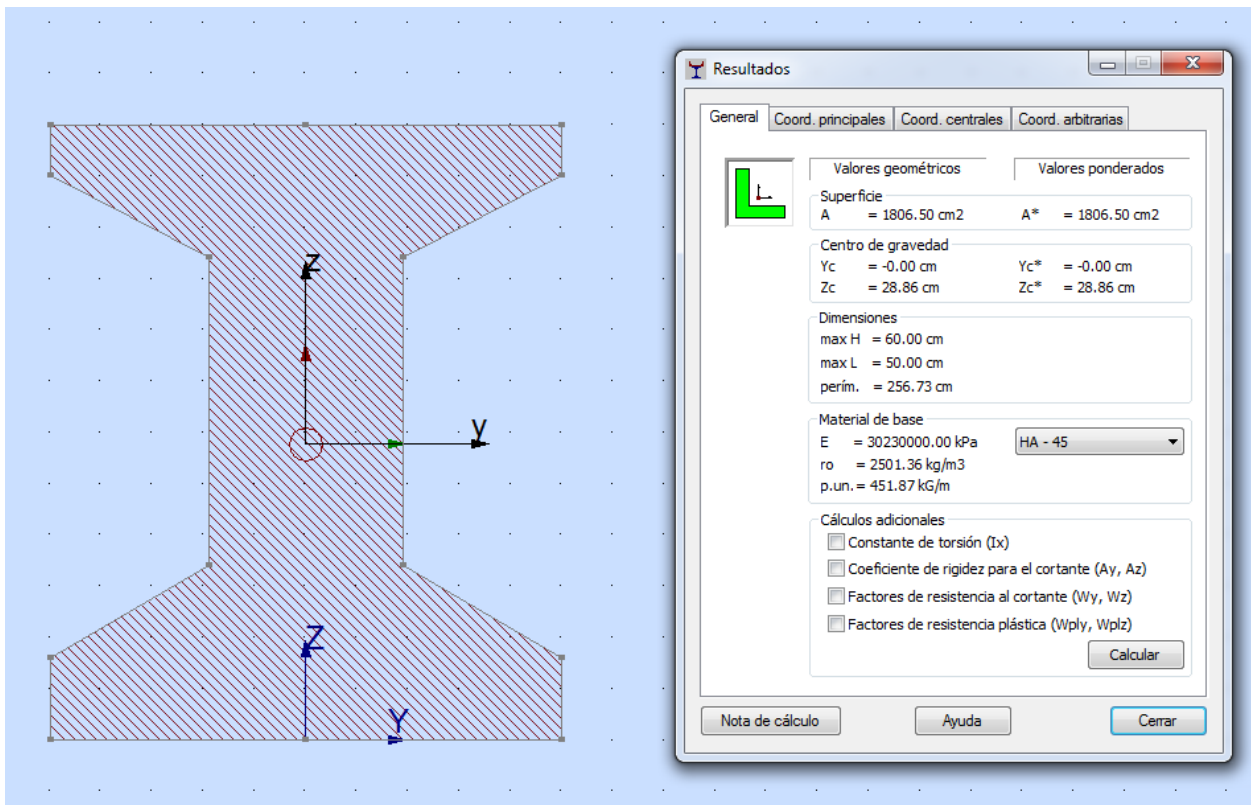


Figura 228 Sección viga salvapilar I-60, generada en Robot

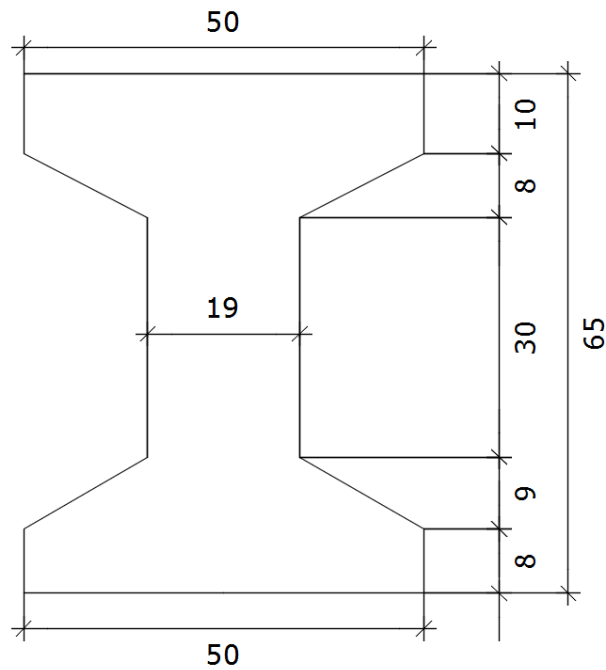


Figura 229 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF

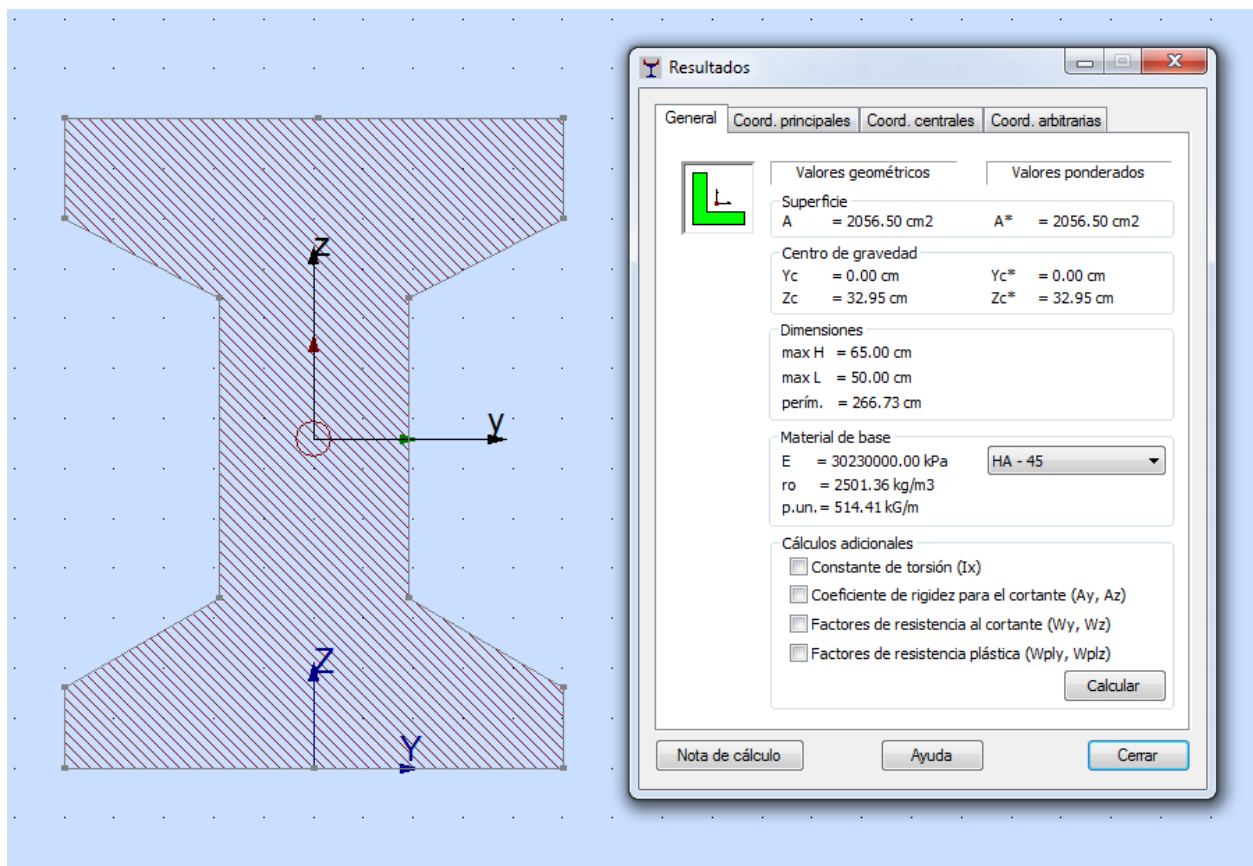


Figura 230 Sección viga salvapilar I-65, generada en Robot

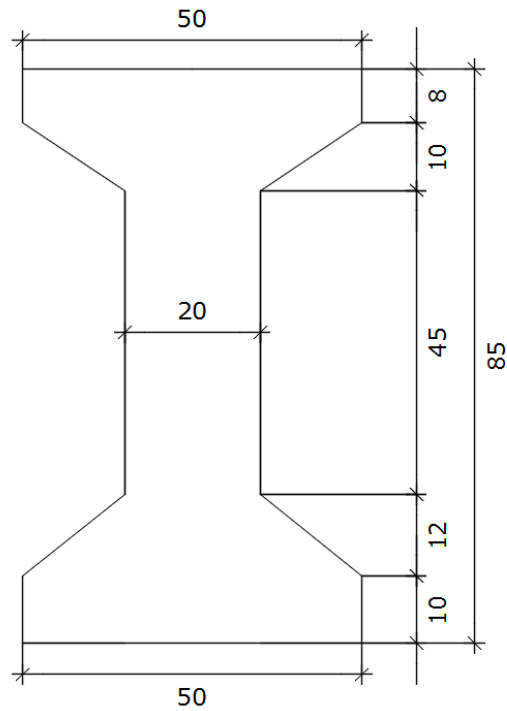


Figura 231 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF

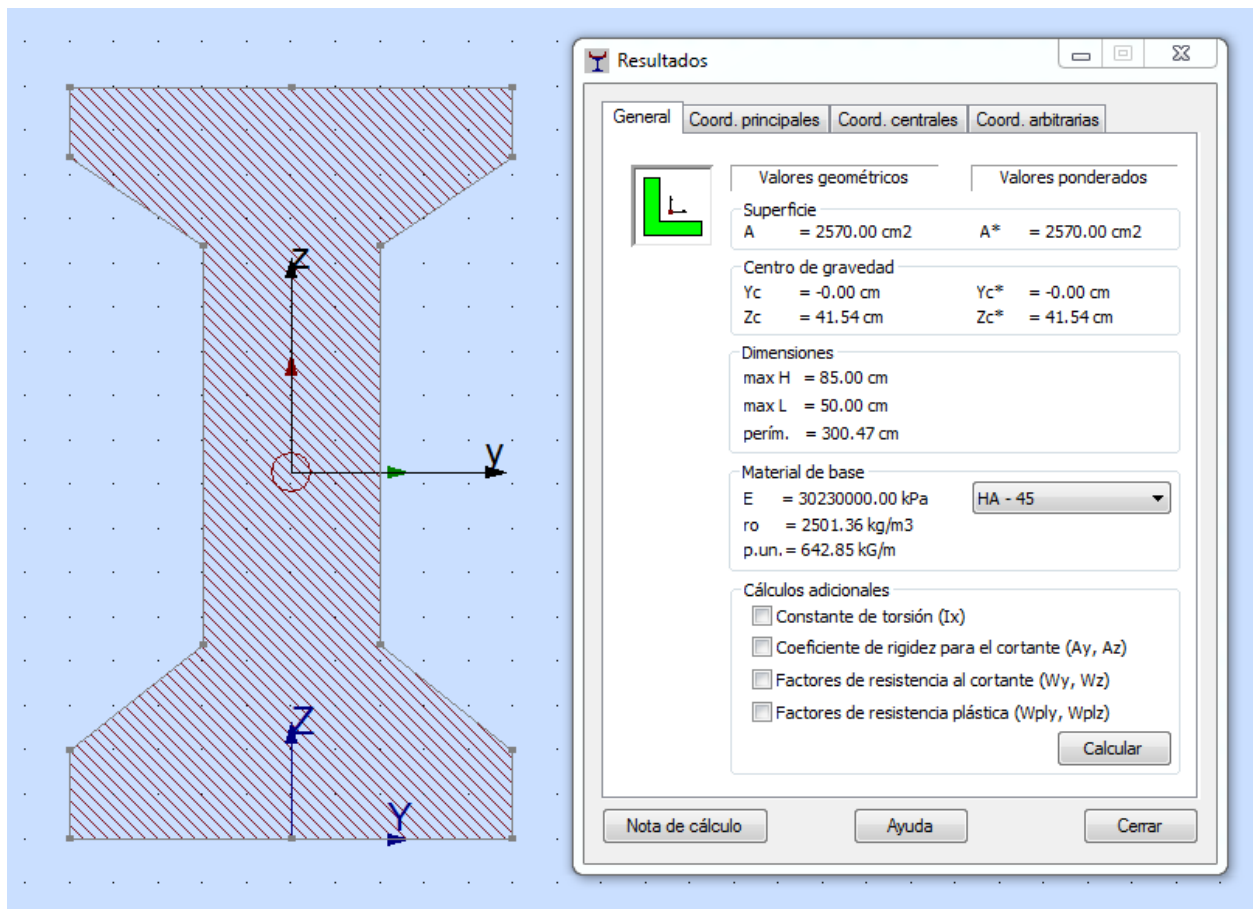


Figura 232 Sección viga salvapilar I-85, generada en Robot



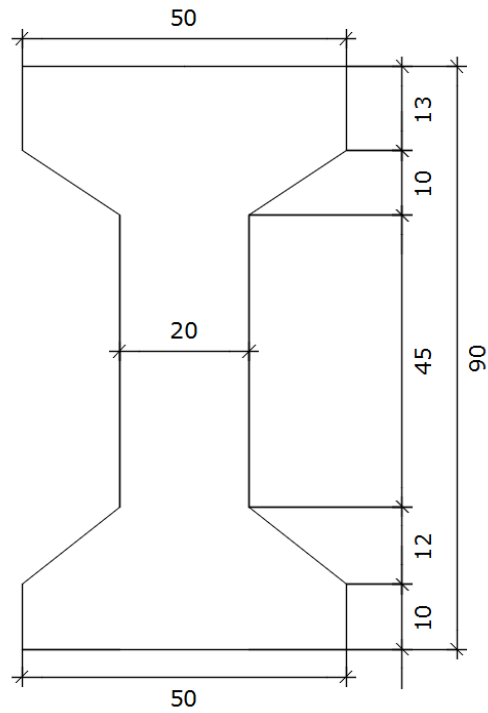


Figura 233 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF

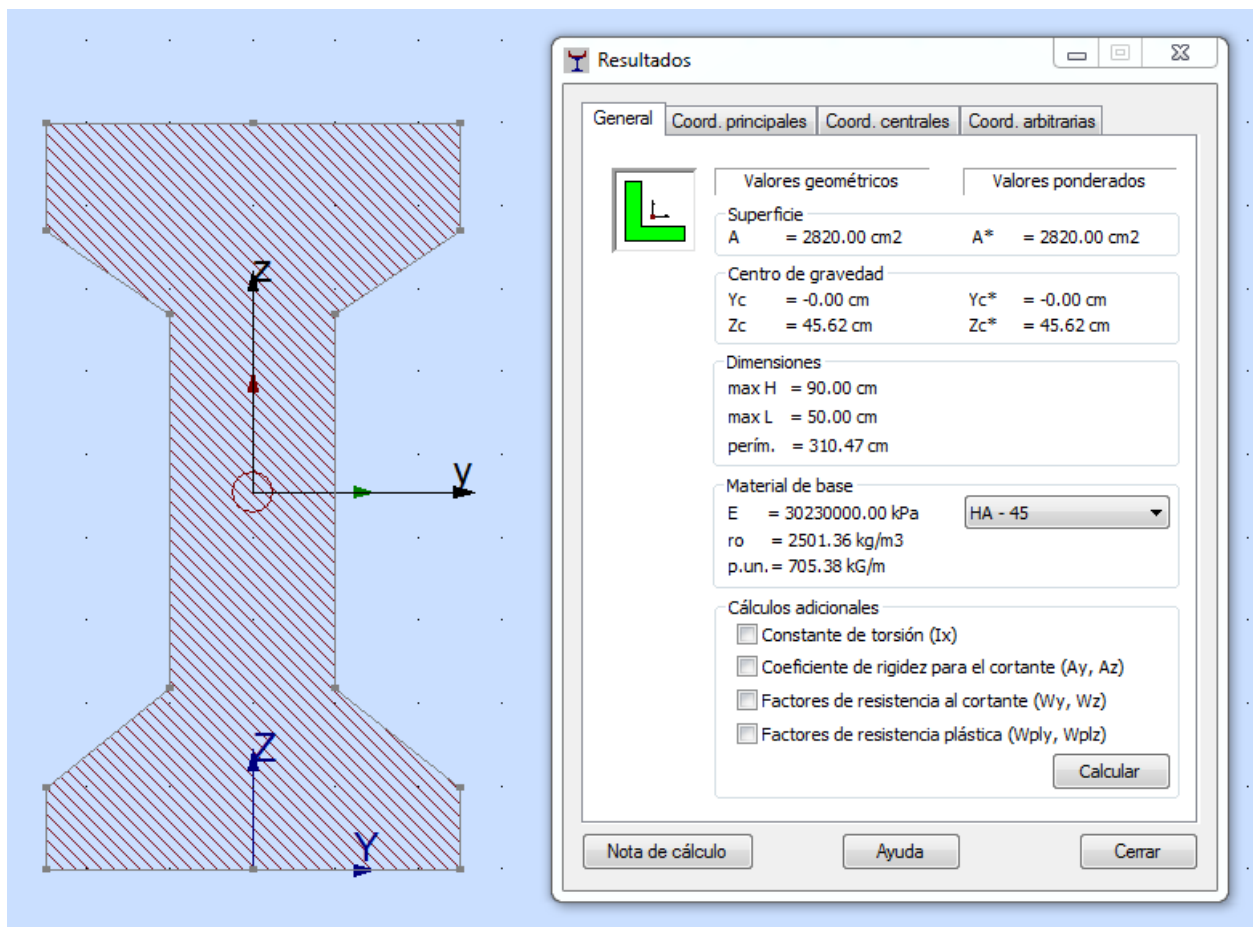


Figura 234 Sección viga salvapilar I-90, generada en Robot

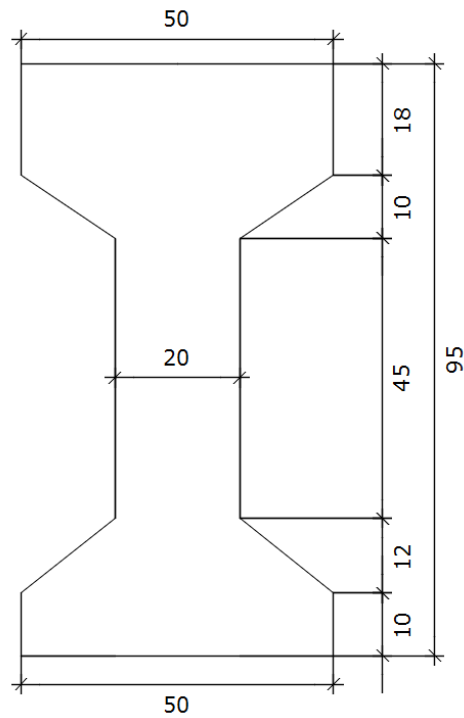


Figura 235 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF

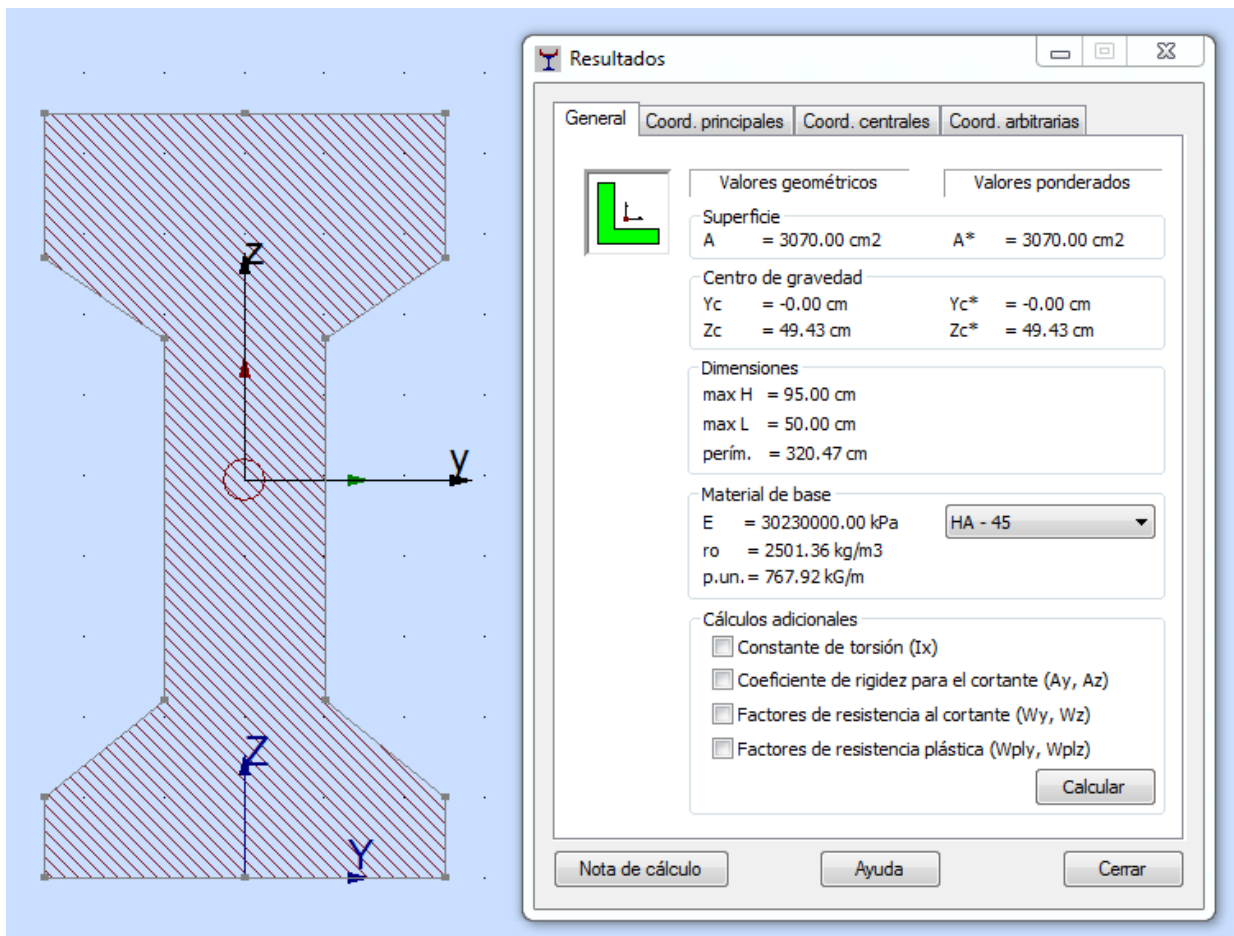


Figura 236 Sección viga salvapilar I-95, generada en Robot

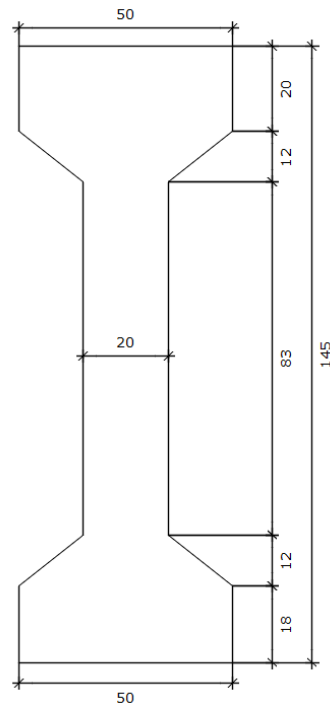


Figura 237 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF

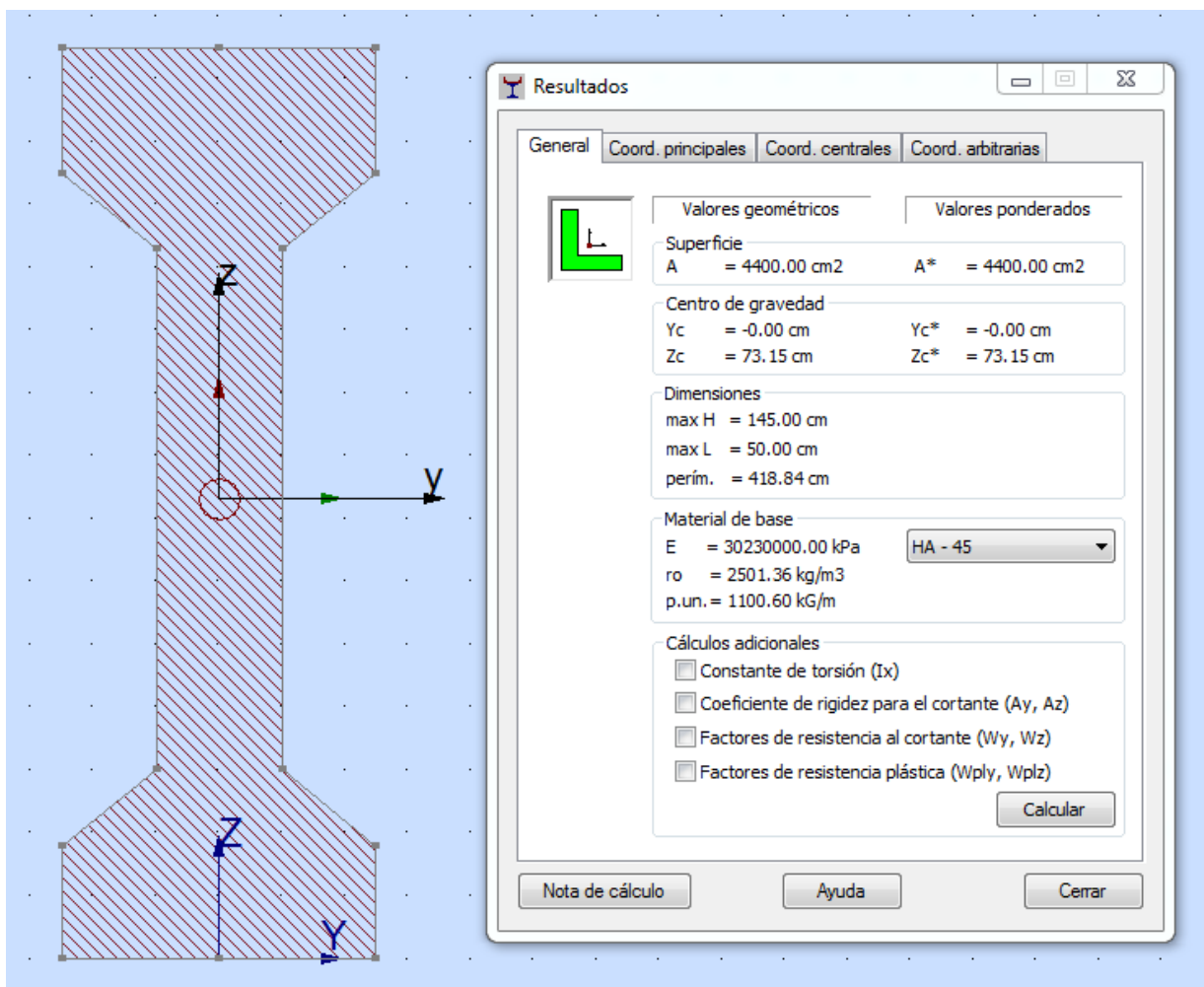


Figura 238 Sección viga salvapilar I-145, generada en Robot

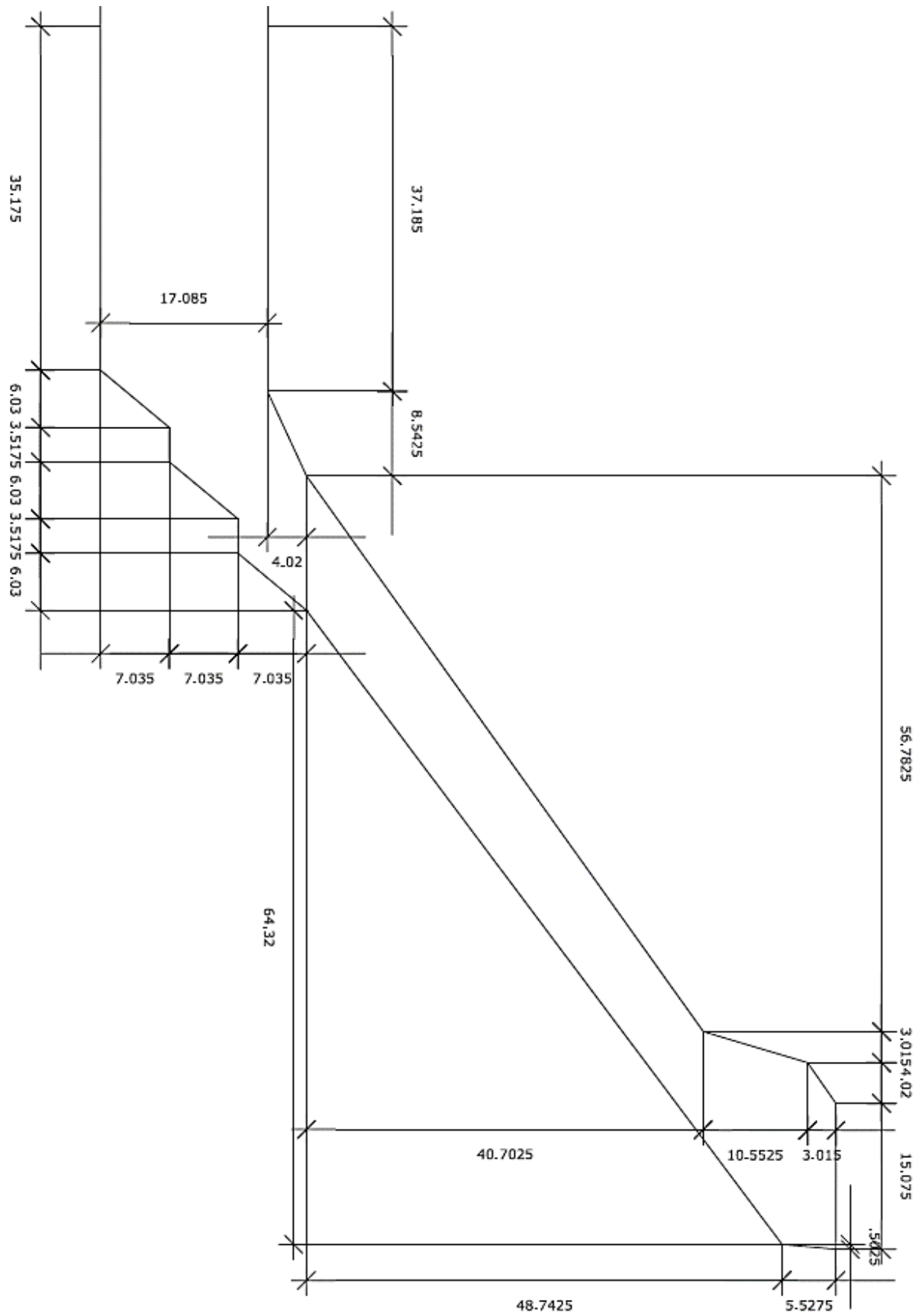


Figura 239 Dimensiones Artwind 75+2, proporcionadas por ARTEPREF

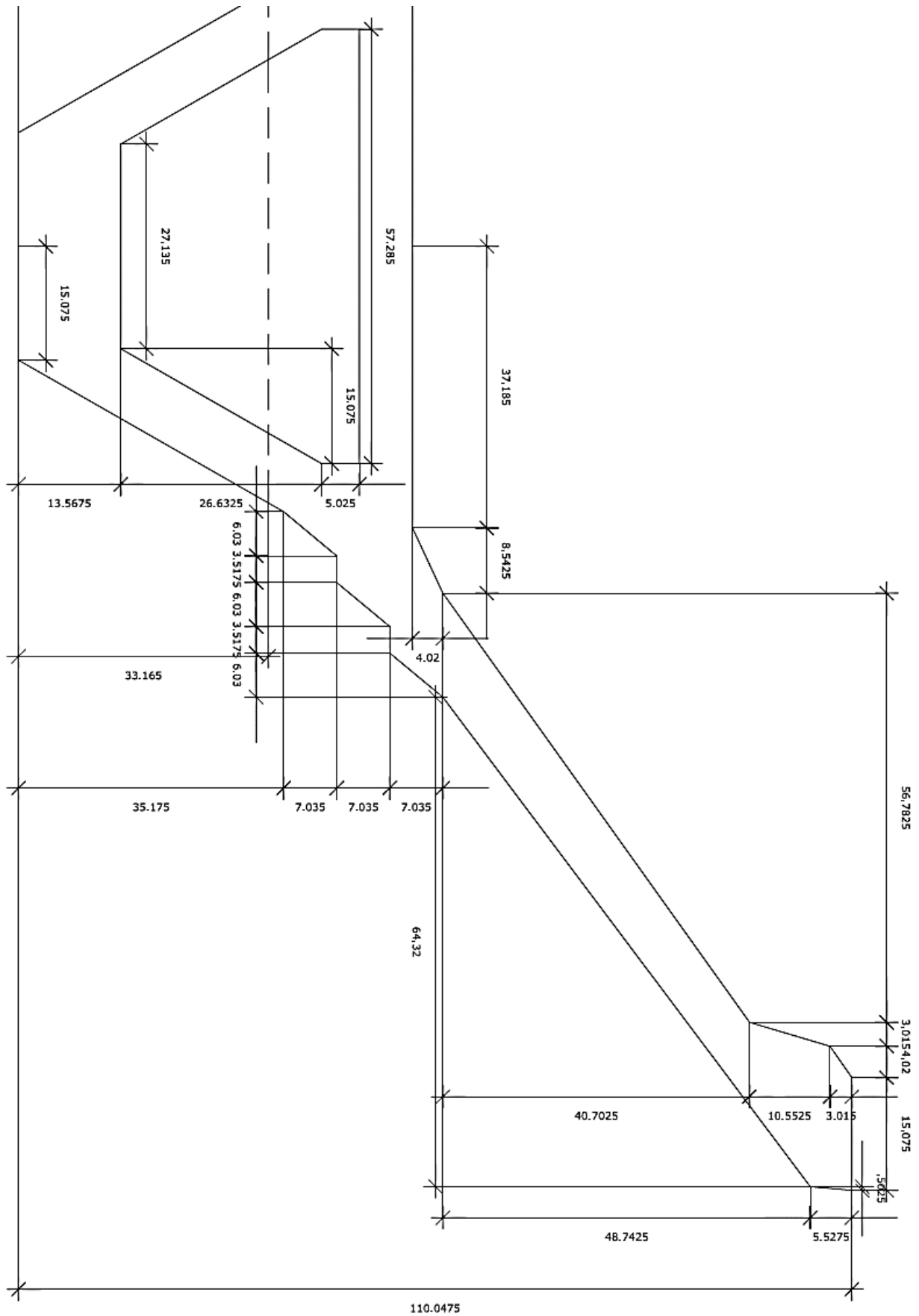


Figura 240 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF

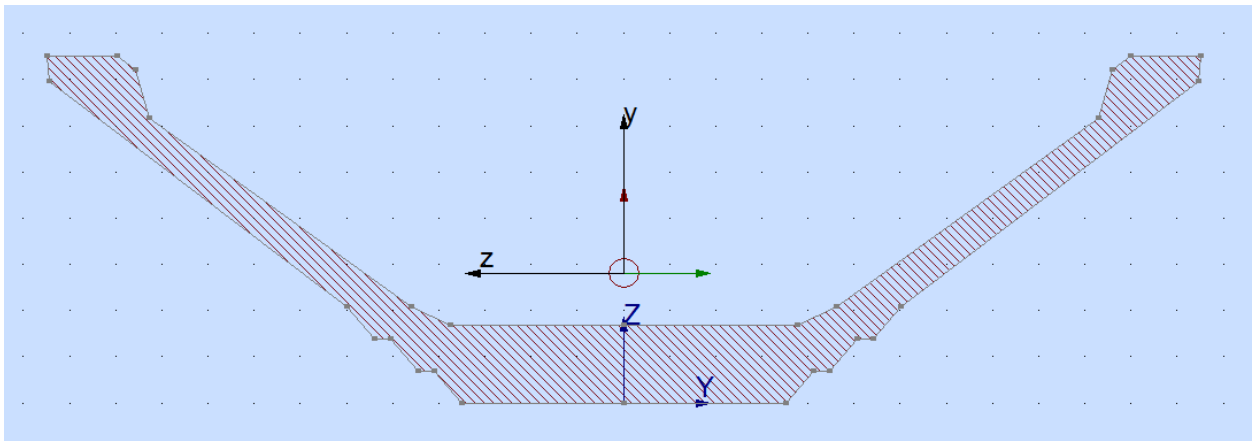



Figura 241 Sección viga Artwind 75+2, generada en Robot

**Resultados**

General   Coord. principales   Coord. centrales   Coord. arbitrarias



Valores geométricos		Valores ponderados	
<b>Superficie</b>			
A	= 3125.83 cm <sup>2</sup>	A*	= 3125.83 cm <sup>2</sup>
<b>Centro de gravedad</b>			
Yc	= 0.00 cm	Yc*	= 0.00 cm
Zc	= 28.26 cm	Zc*	= 28.26 cm
<b>Dimensiones</b>			
max H = 75.30 cm			
max L = 249.80 cm			
perím. = 607.78 cm			
<b>Material de base</b>			
E	= 30230000.00 kPa	HA - 45	
ro	= 2501.36 kg/m <sup>3</sup>		
p.un.	= 781.88 kG/m		
<b>Cálculos adicionales</b>			
<input type="checkbox"/> Constante de torsión (Ix)			
<input type="checkbox"/> Coeficiente de rigidez para el cortante (Ay, Az)			
<input type="checkbox"/> Factores de resistencia al cortante (Wy, Wz)			
<input type="checkbox"/> Factores de resistencia plástica (Wply, Wplz)			
<b>Calcular</b>			
<b>Nota de cálculo</b>		<b>Ayuda</b>	
		<b>Cerrar</b>	

Figura 242 Propiedades sección viga Artwind 75+2, generada en Robot

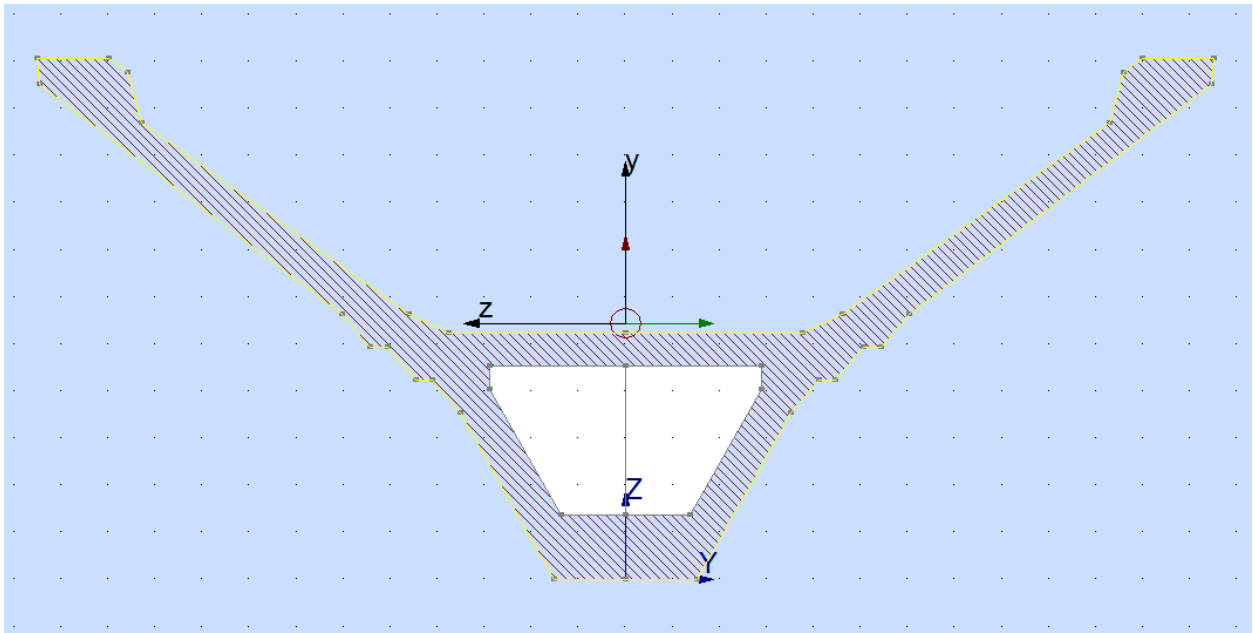



Figura 243 Sección viga Artwind 110+2, generada en Robot

**Resultados**

General    Coord. principales    Coord. centrales    Coord. arbitrarias



Valores geométricos		Valores ponderados	
<b>Superficie</b>			
A	= 3481.29 cm <sup>2</sup>	A*	= 3481.29 cm <sup>2</sup>
<b>Centro de gravedad</b>			
Yc	= -0.00 cm	Yc*	= -0.00 cm
Zc	= 54.35 cm	Zc*	= 54.35 cm
<b>Dimensiones</b>			
max H		= 110.50 cm	
max L		= 250.00 cm	
perím.		= 649.05 cm	
<b>Material de base</b>			
E	= 30230000.00 kPa	HA - 45	
ro	= 2501.36 kg/m <sup>3</sup>		
p.un.	= 870.80 kG/m		
<b>Cálculos adicionales</b>			
<input type="checkbox"/> Constante de torsión (Ix)			
<input type="checkbox"/> Coeficiente de rigidez para el cortante (Ay, Az)			
<input type="checkbox"/> Factores de resistencia al cortante (Wy, Wz)			
<input type="checkbox"/> Factores de resistencia plástica (Wply, Wplz)			
<b>Calcular</b>			
<b>Nota de cálculo</b>		<b>Ayuda</b>	
<b>Cerrar</b>			

Figura 244 Propiedades sección viga Artwind 110+2, generada en Robot

Todas estas secciones se guardan en el catálogo de usuario, para una rápida localización. Desde el propio programa, en Estructura – Propiedades – Sección..., se puede proceder a cargar todos los perfiles que se han generado:

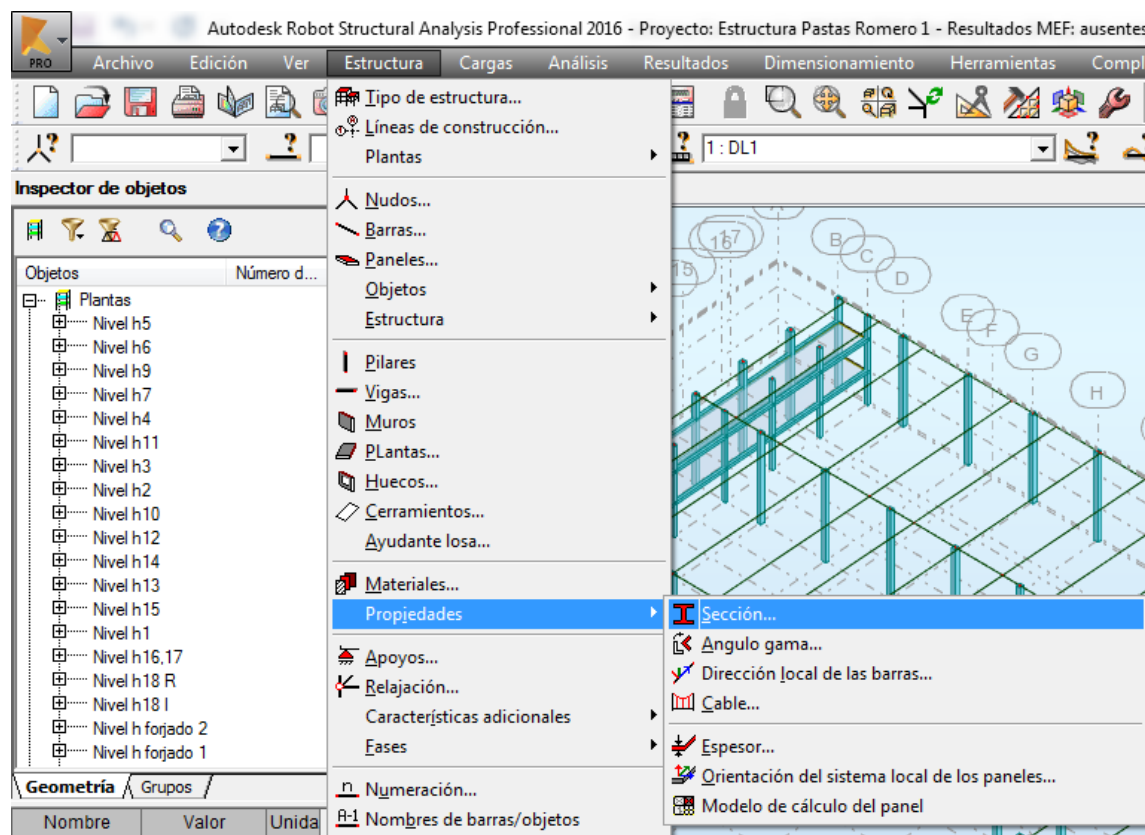


Figura 245 Localización opción Sección en Robot

En un principio, encontramos las secciones de los pilares, y de las vigas rectangulares, aquellas que sabe reconocer de Revit, así como algunas que vienen por defecto al crear una estructura cualquiera.

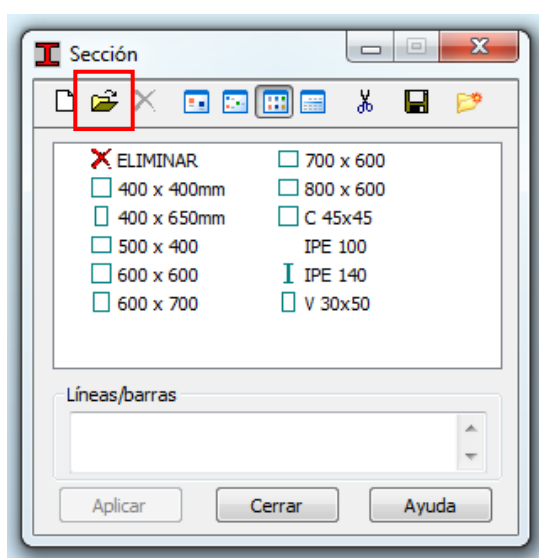


Figura 246 Menú Sección. Secciones iniciales



Desde la opción “Selección de perfiles del catálogo”, marcada en la imagen previa, se procede a cargar todas las secciones generadas previamente. El botón con la imagen de unas tijeras sirve para eliminar de este menú de secciones disponibles aquéllas que no se estén utilizando actualmente en el modelo; se clicará en él para dejar el menú algo más limpio.

Moverse por esta opción es relativamente sencillo, simplemente se selecciona el catálogo de Usuario (RUSER), y se procede a añadir las secciones guardadas a las secciones disponibles:

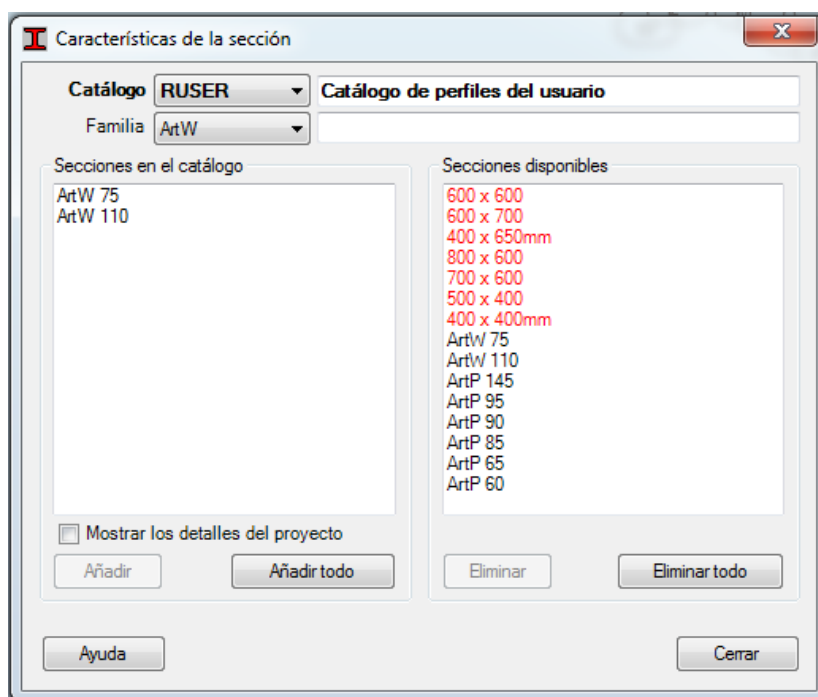


Figura 247 Menú búsqueda en catálogos

Una vez se han cargado todas las secciones que se querían, en el menú ya estarán disponibles para su asignación a elementos barra:

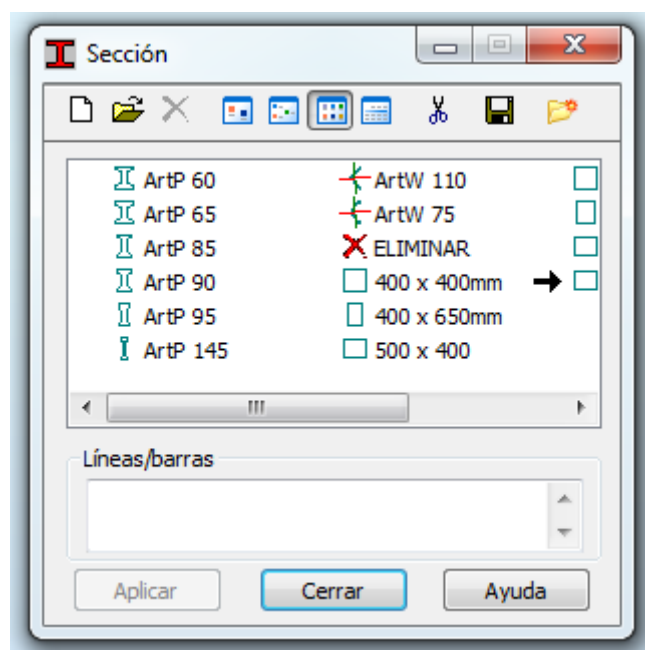


Figura 248 Menú Sección. Secciones personalizadas cargadas de catálogo

Seleccionando una barra cualquiera, en su menú de propiedades, se puede encontrar como característica un subapartado de sección. Caso de que sea una barra en las que el programa no ha sabido cargar la sección en el proceso de lectura de Revit, se podrá leer “No hay” en esta pestaña:

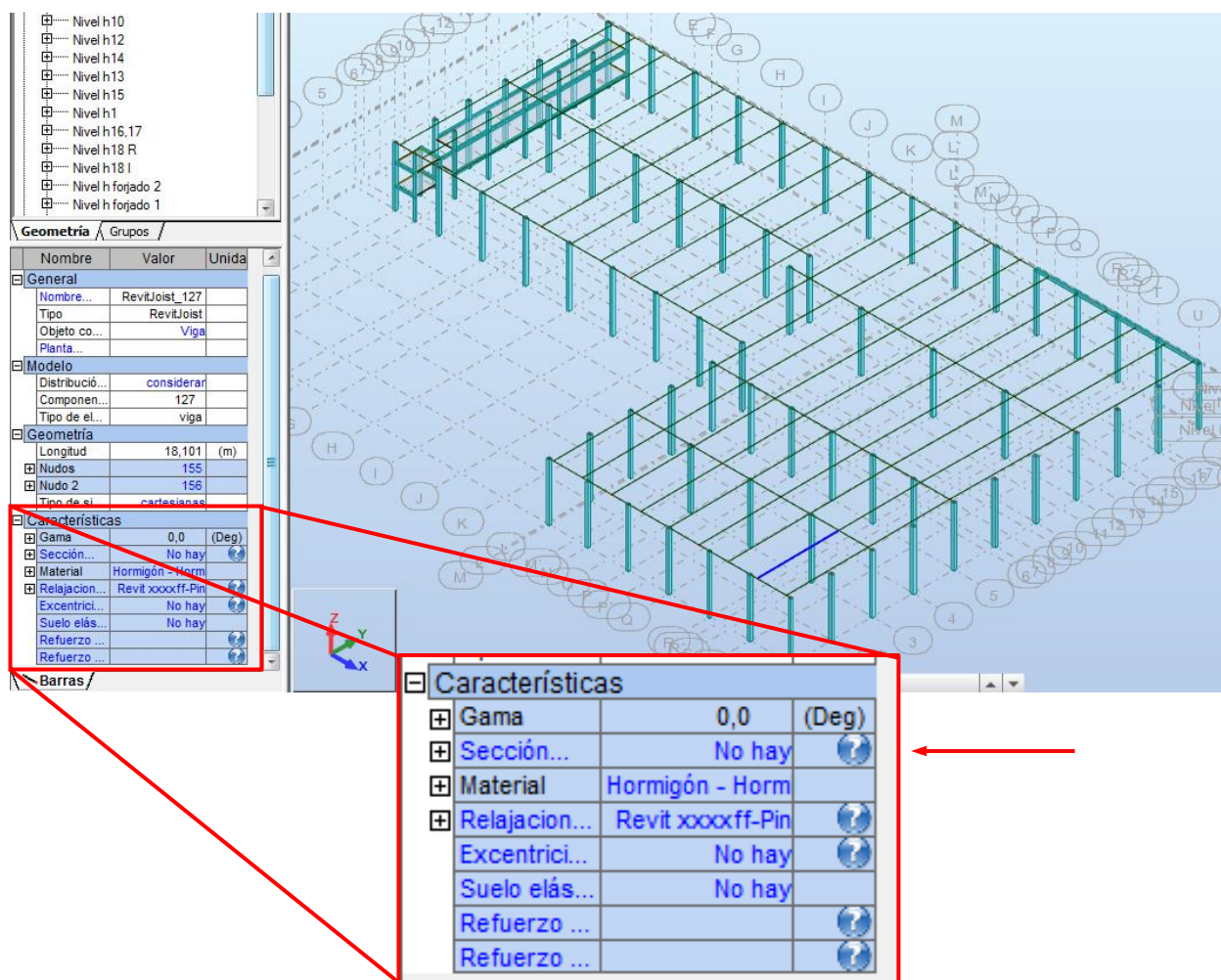


Figura 249 Localización pestaña Sección en características de barras

Seleccionando grupos de barras que se sepa van a tener la misma sección, se puede ir rellenando este apartado con las secciones personalizadas recién cargadas en el programa.

Igual que ocurría en Revit, la asignación responderá a lo dispuesto por la empresa de prefabricados y a la información que hay en sus planos. Se recuerda esta disposición:

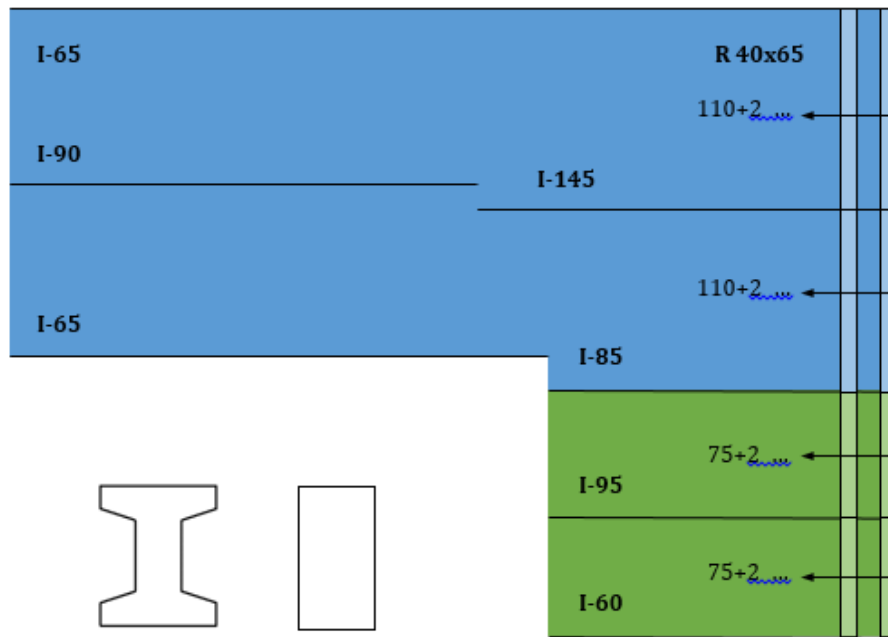


Figura 250 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar

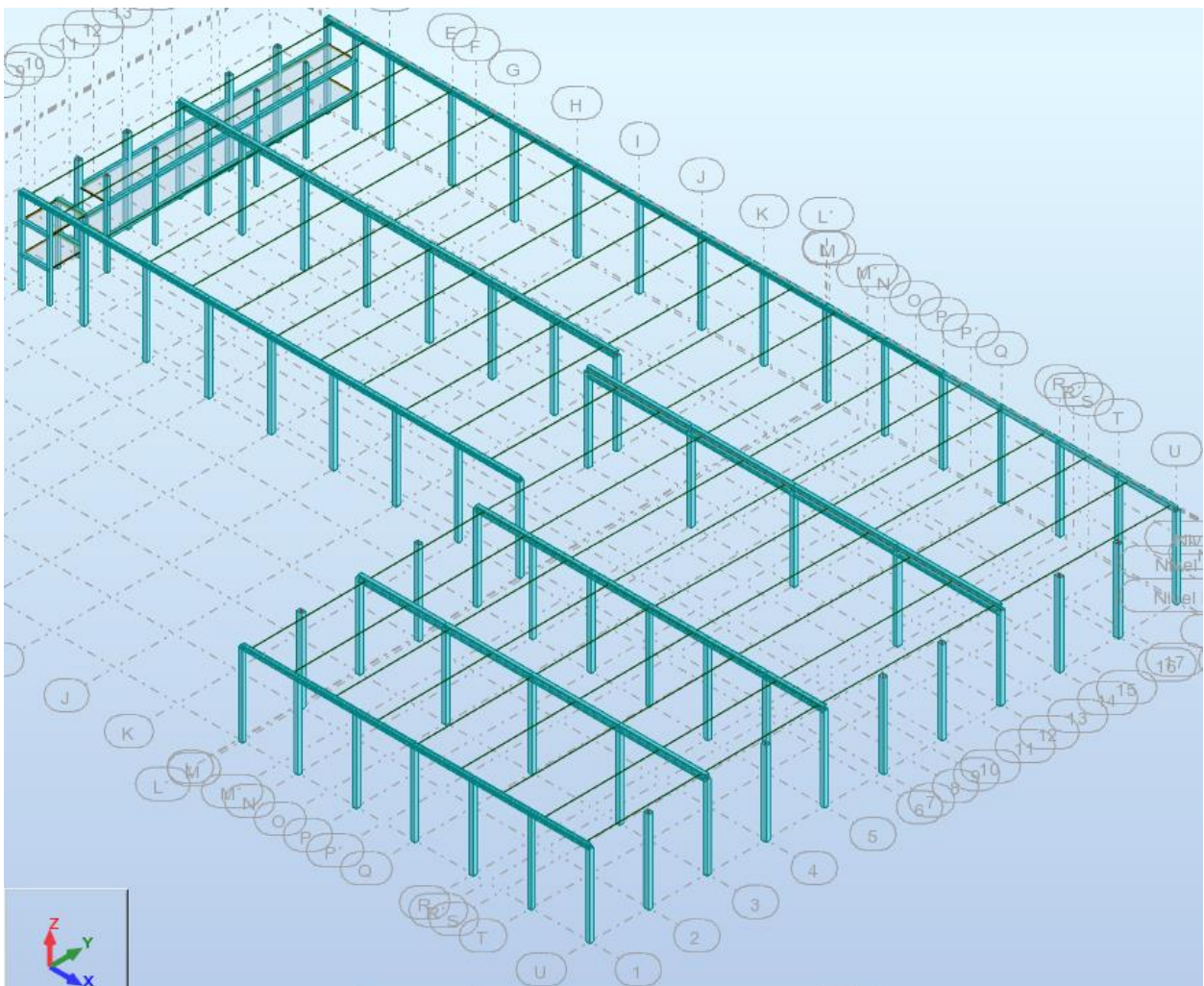
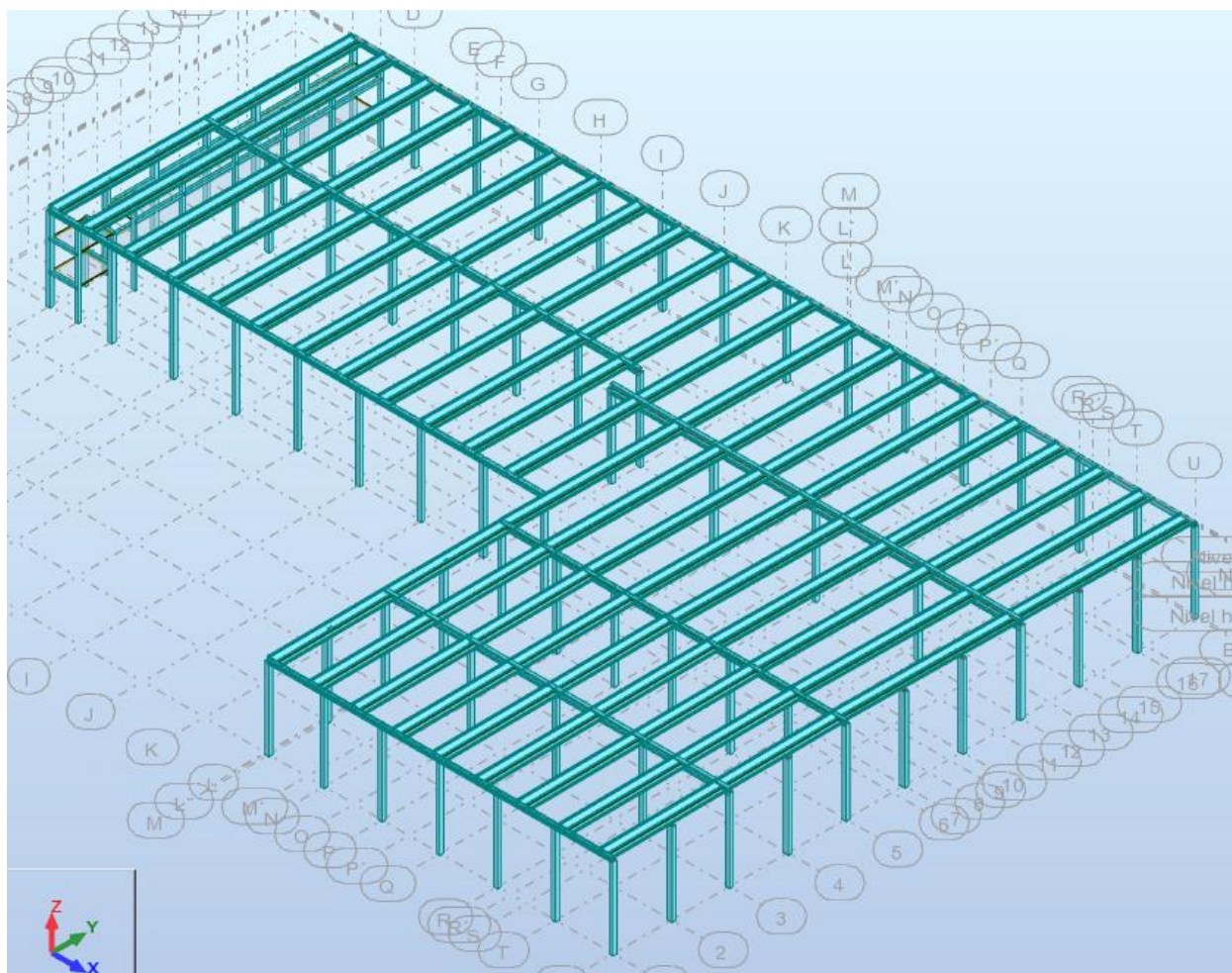


Figura 251 Vigas salvapilar con sección asignada en Robot. Modelo completo





*Figura 252 Vigas Artwind con sección asignada en Robot. Modelo completo*

Con la sección asignada, Robot ya puede generar la correspondiente carga de peso propio en cada elemento barra, algo vital previo a comenzar el cálculo, y que ahorra posibles alternativas numéricamente más costosas, como por ejemplo colocar este peso propio a mano.

La opción elegida, la creación de los perfiles de nuevo en el programa, permite, además, generar un modelo que, si bien ha perdido la capacidad de entenderse bidireccionalmente con el que se tenía en Revit, a nivel visual son prácticamente idénticos. Este nivel de visualización, característico del entorno BIM, ayuda al posterior planteamiento de posibles cambios, resolución de problemas, etc.

Se puede observar en la imagen siguiente, que ni mucho menos se alcanza el nivel de detalle que se consigue con el programa de modelización. No es el objetivo de éste el presentar futuros planos, preparación de instalaciones, elementos arquitectónicos... y por tanto no es algo imperativo. Para calcular, este nivel de representación es más que suficiente; al fin y al cabo, no deja de ser una lectura directa del modelo analítico.

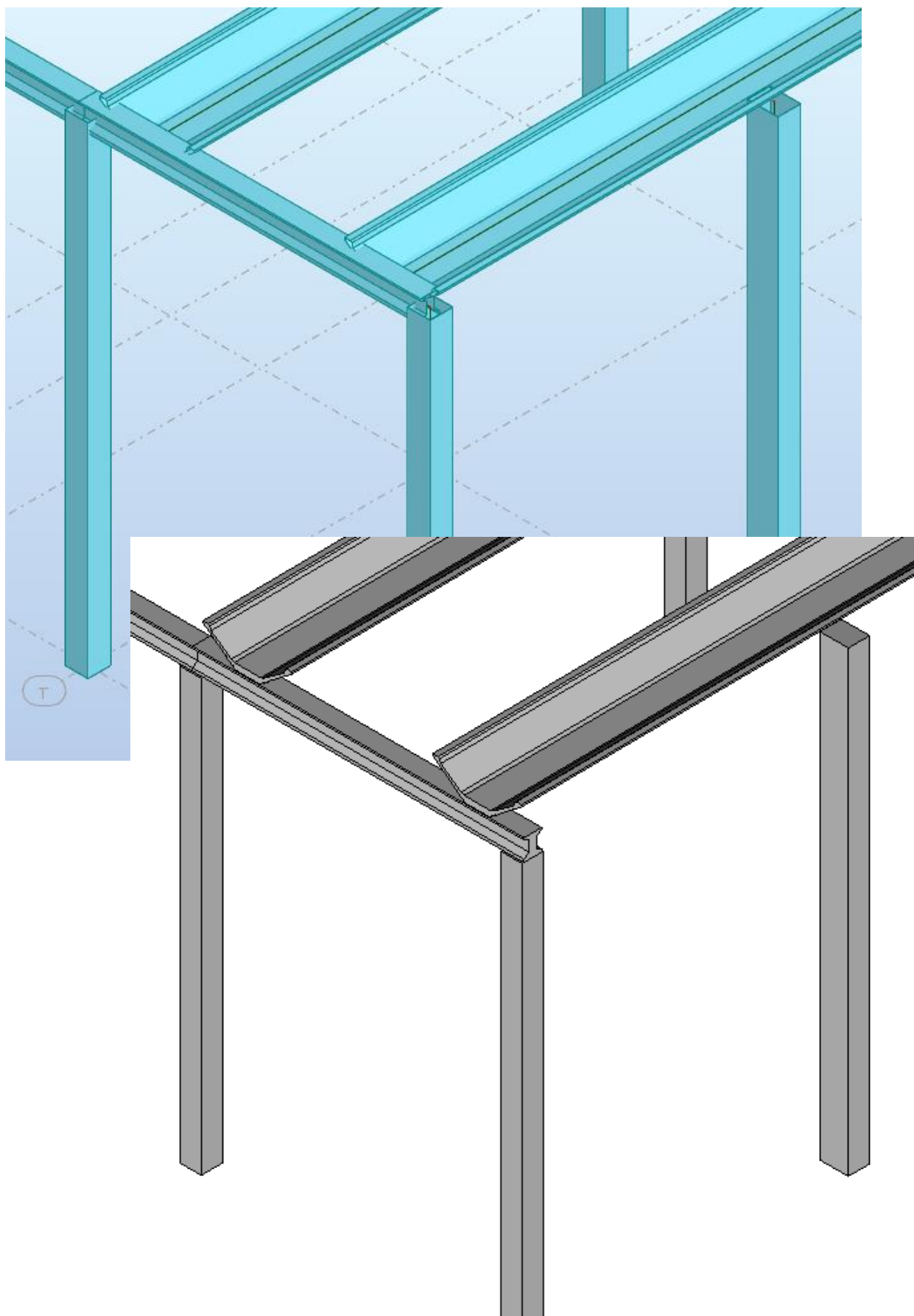


Figura 253 Ejemplo nivel de detalle Robot vs Revit

## 4 Condiciones de contorno

Una vez preparadas las secciones, se procede a dotar de un “suelo” al modelo de cálculo, y éste consiste en un empotramiento en la base de los pilares como condición de contorno.

Como se ha mencionado en la memoria, Robot no dispone de la metodología de cálculo necesaria para calcular las los encepados que se pretenden proyectar para esta estructura, y el problema se abordará en el apartado de Refinamiento del modelo.

Para acceder al menú de condiciones de contorno, en la interfaz se puede encontrar en el margen derecho la opción “Apoyos”, o dentro de la pestaña estructuras, éste también tiene un apartado para acceder:

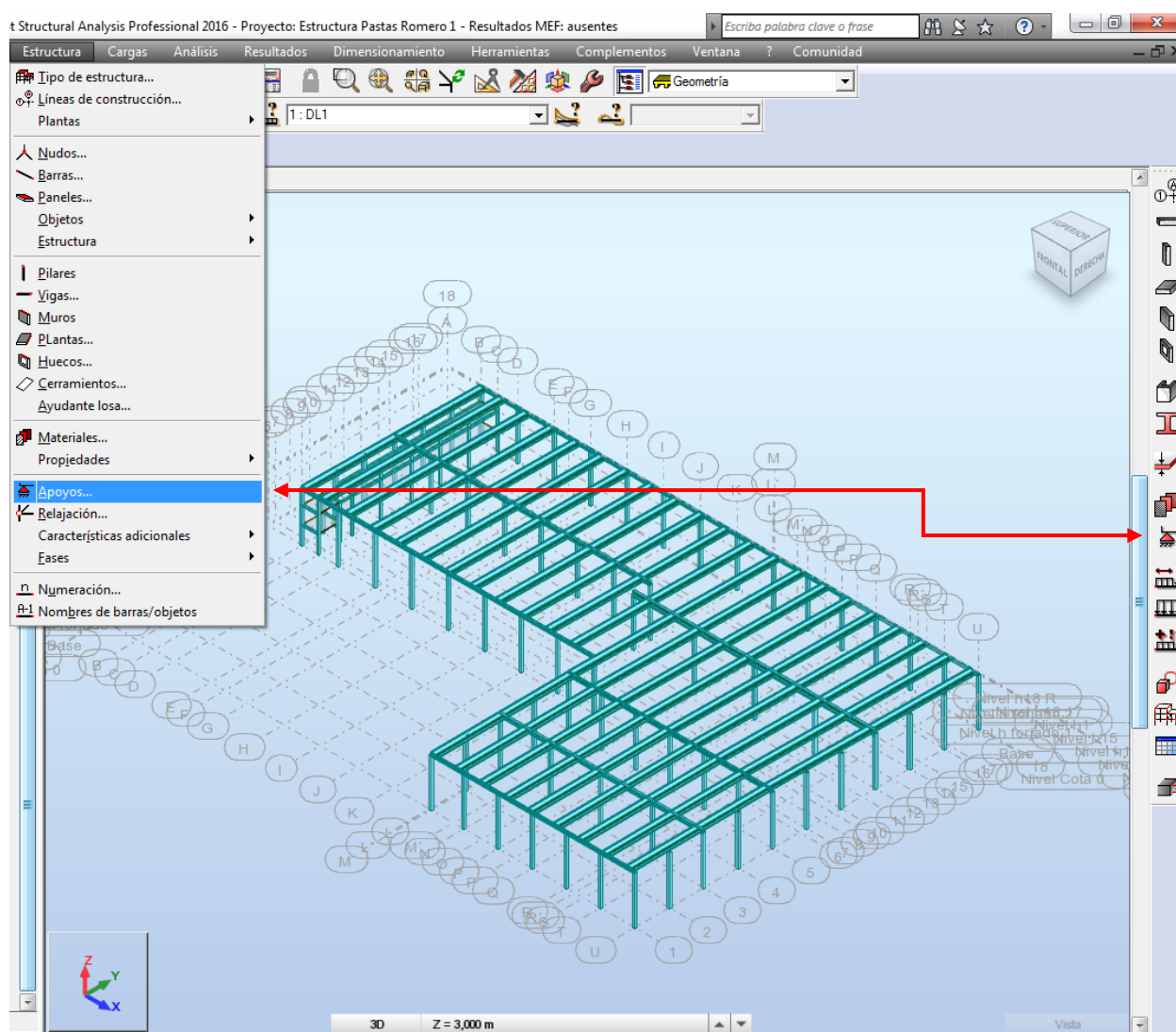


Figura 254 Localización opción Apoyos



Este menú, muy similar al que se ha visto de las secciones, viene por defecto con dos condiciones de contorno:

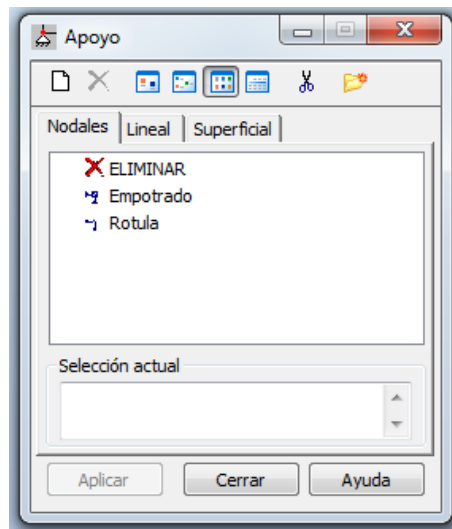


Figura 255 Menú Apoyo. Condiciones de contorno por defecto

El empotramiento aparece ya entre los disponibles, por lo que no se hace necesario generar un nuevo tipo de apoyo. Desde esta ventana, se selecciona el apoyo empotrado y se procede a asignarlo a cada parte inferior de los pilares:

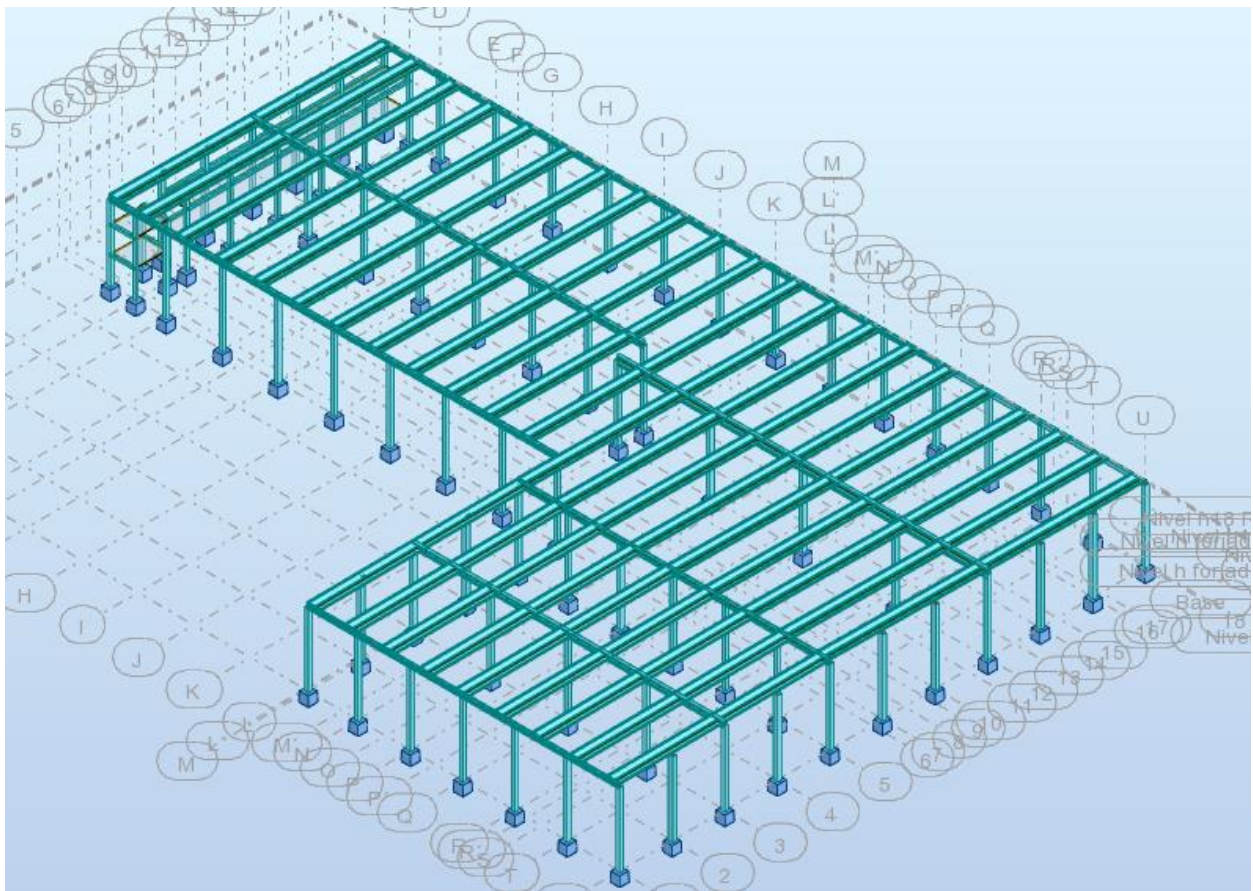
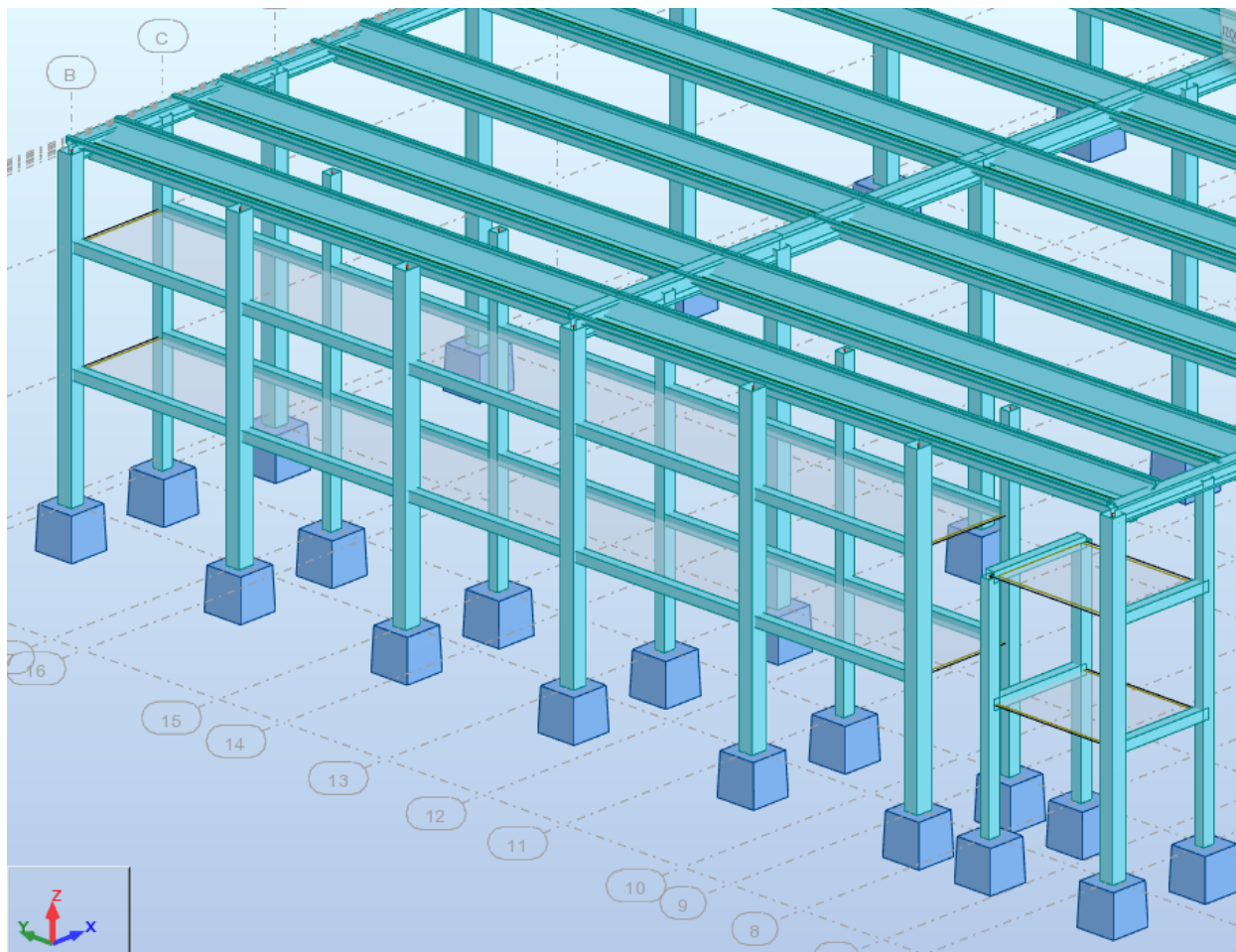


Figura 256 Empotramiento de pilares. Modelo completo

## 5 Modificación de forjados

Se recuerda que a la hora de crear los forjados con placa alveolar y capa de compresión en Revit, se eliminó el elemento analítico y por tanto, como puede verse en Robot, los suelos existentes no apoyan en ningún tipo de sistema de viguetas:



*Figura 257 Forjados de la estructura interna en Robot*

Tras haber hecho numerosas pruebas, porque Robot no reconocía el perfil de las placas alveolares dispuestas en Revit, ni la función estructural que debían cumplir, se concluyó hacer lo que se ha visto hasta ahora, cancelar el elemento analítico de éstas en Revit para que no pasen a Robot, y una vez en éste, modificar el suelo que se generó para hacer las veces de capa de compresión con el fin de crear un suelo equivalente que cumpla la función que haría el colocado en Revit.

Se puede ver como los suelos actuales poseen características de espesor que se dieron en Revit (imagen siguiente). Éste se desechará para pasar a asignarle el espesor completo del conjunto a cada tipo de forjado:



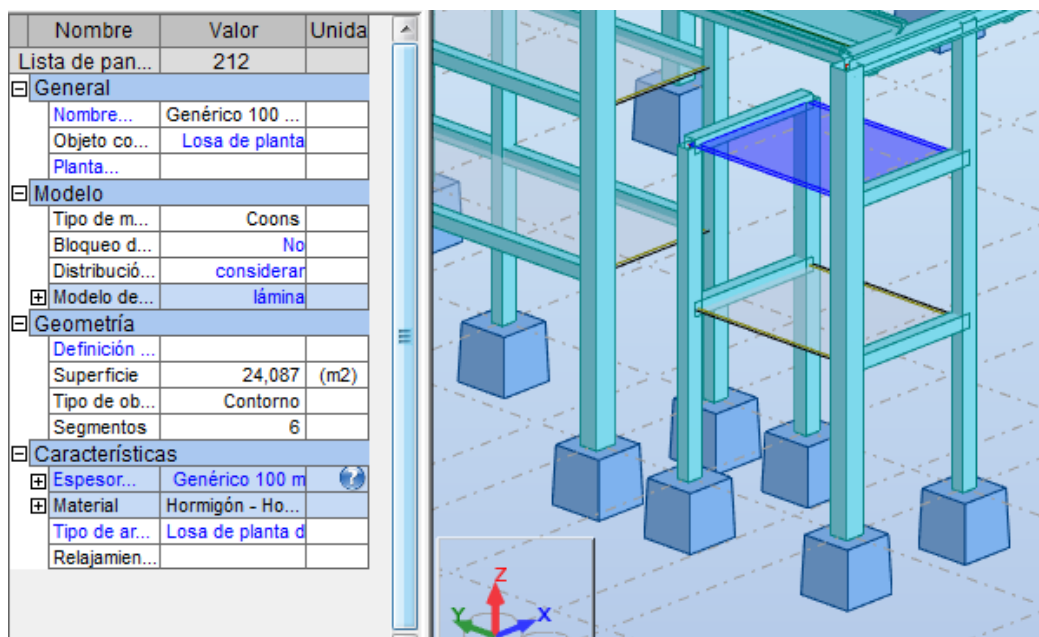


Figura 258 Características suelos actuales, previamente a la modificación

Dado que se van a modificar, y los espesores de 15+5 y 15+10 se generarán a modo de “equivalente”, se procede a localizar el menú de asignación de espesores, cuyo funcionamiento es muy similar a los ya vistos de secciones y apoyos:

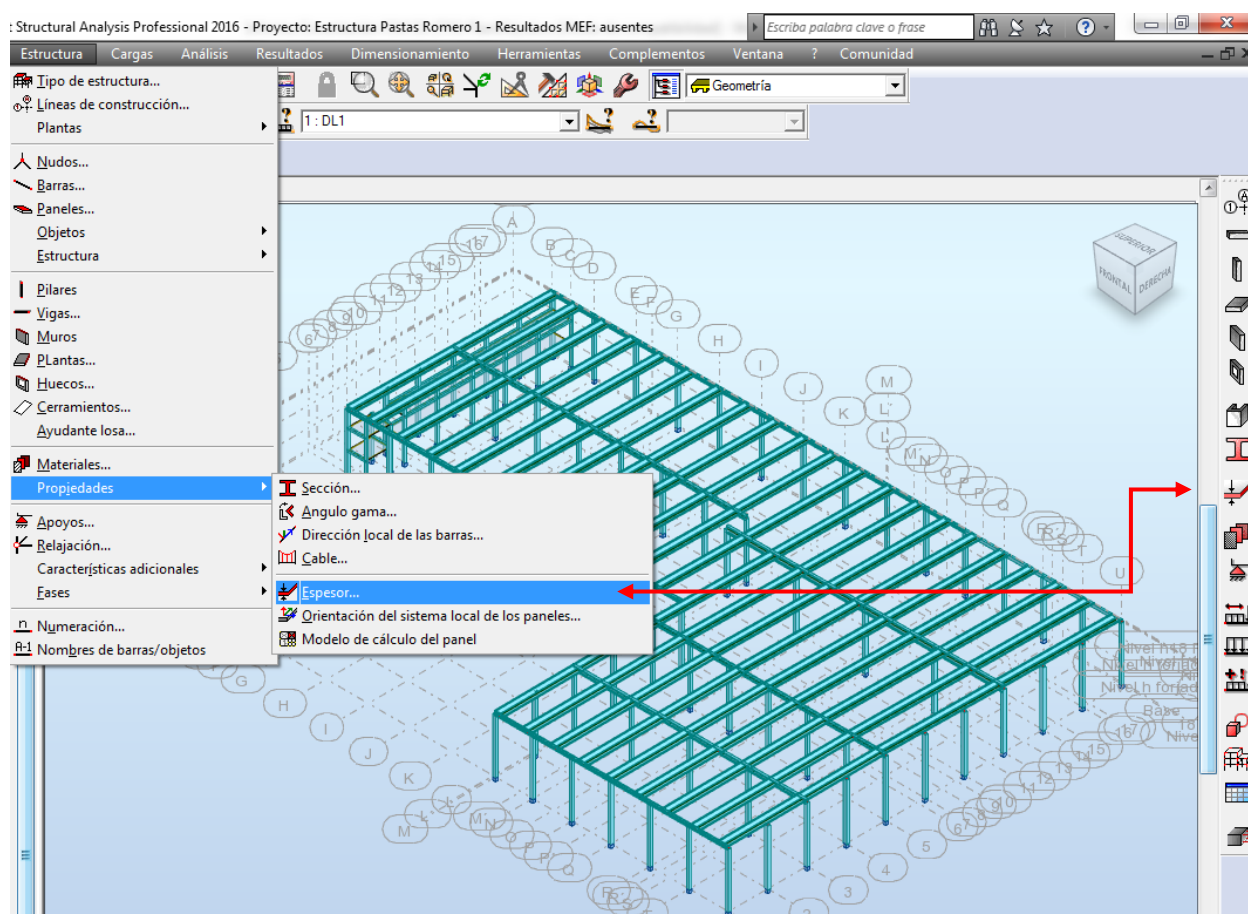


Figura 259 Localización opción Espesor

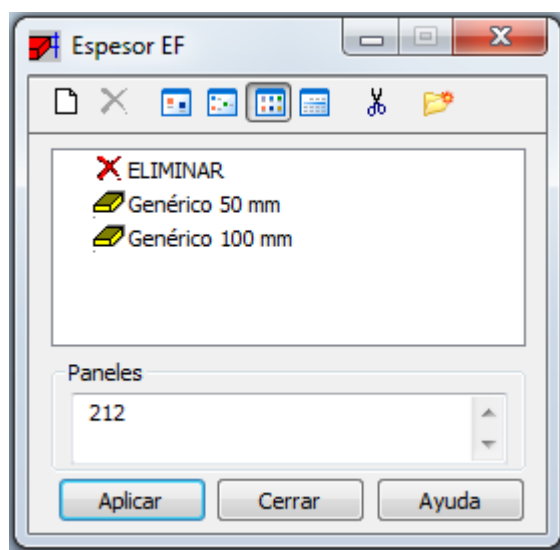


Figura 260 Menú Espesor. Espesores leídos de Revit

Se recuerdan las dimensiones de placas alveolares que ARTEPREF proporcionó para la modelización:

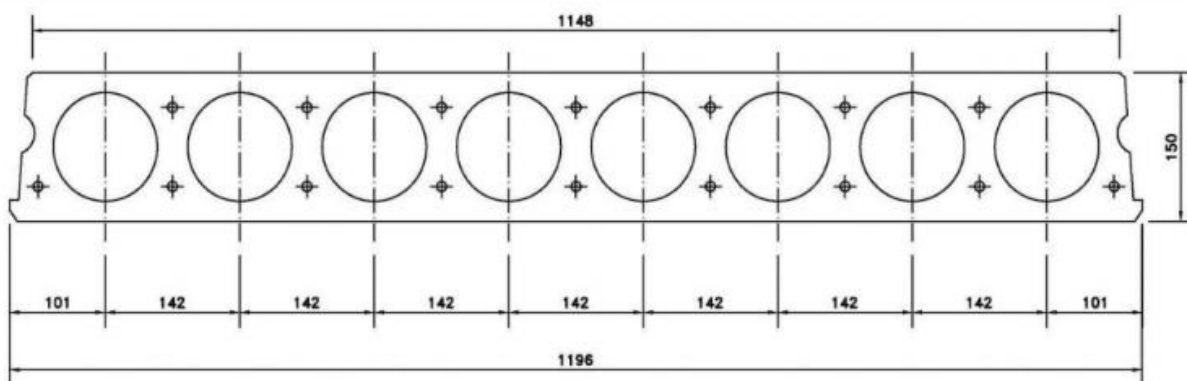


Figura 261 Dimensiones placa alveolar proporcionadas por ARTEPREF

En Robot se ha generado el suelo equivalente mediante la opción de espesor ortótropo de tipo “Losa hueca”. En éste lo que se hace es colocar el espesor completo de cada uno de los forjados (20 cm para el 15+5, y 25 para el 15+10), y se generan los alveolos a la altura que quedarían realmente, a 7,5 cm de la base. Se adjuntan a continuación las propiedades de ambos en el programa, y se procede a adjuntarlos a los forjados correspondientes en el modelo:

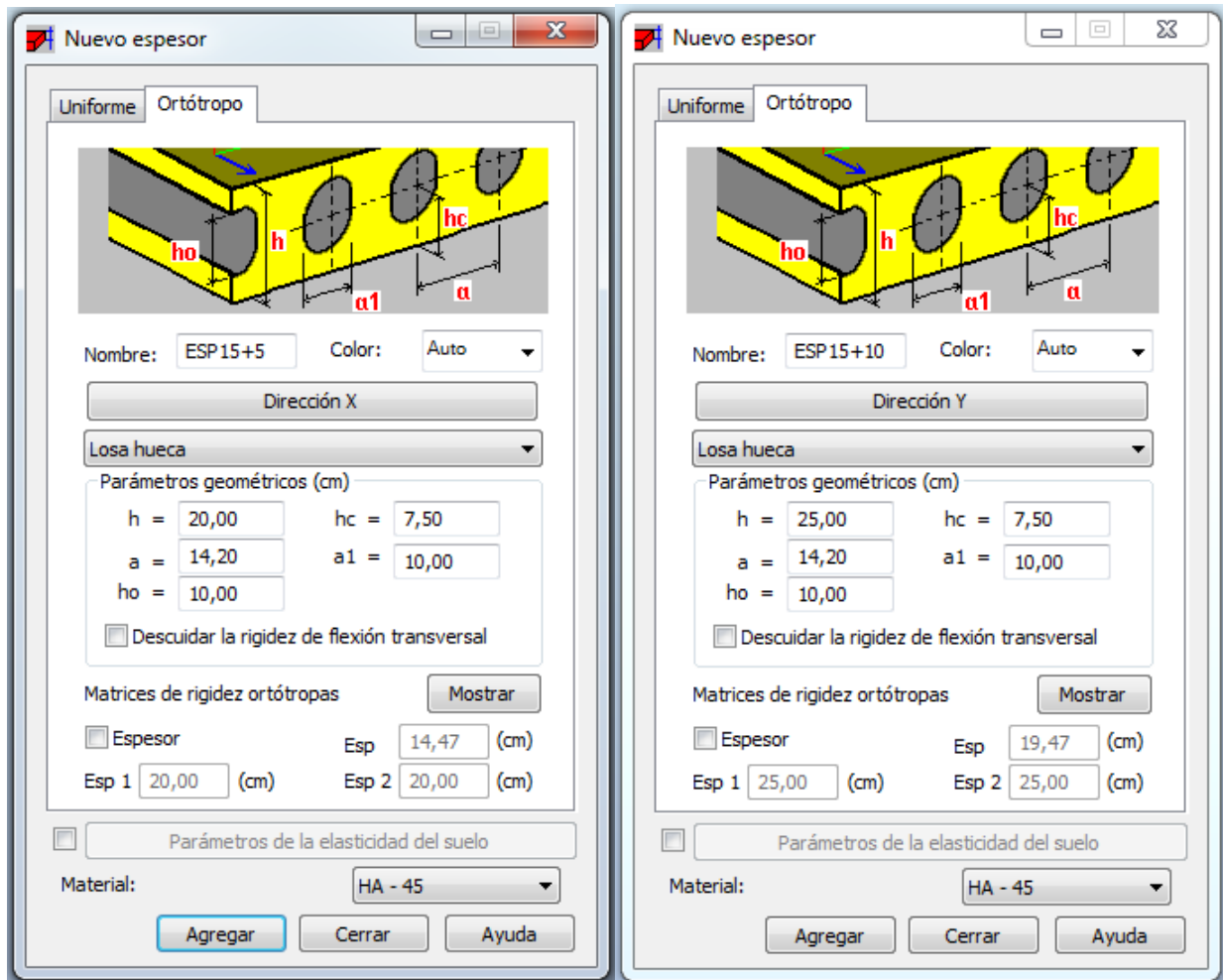


Figura 262 Propiedades de espesores equivalentes en Robot

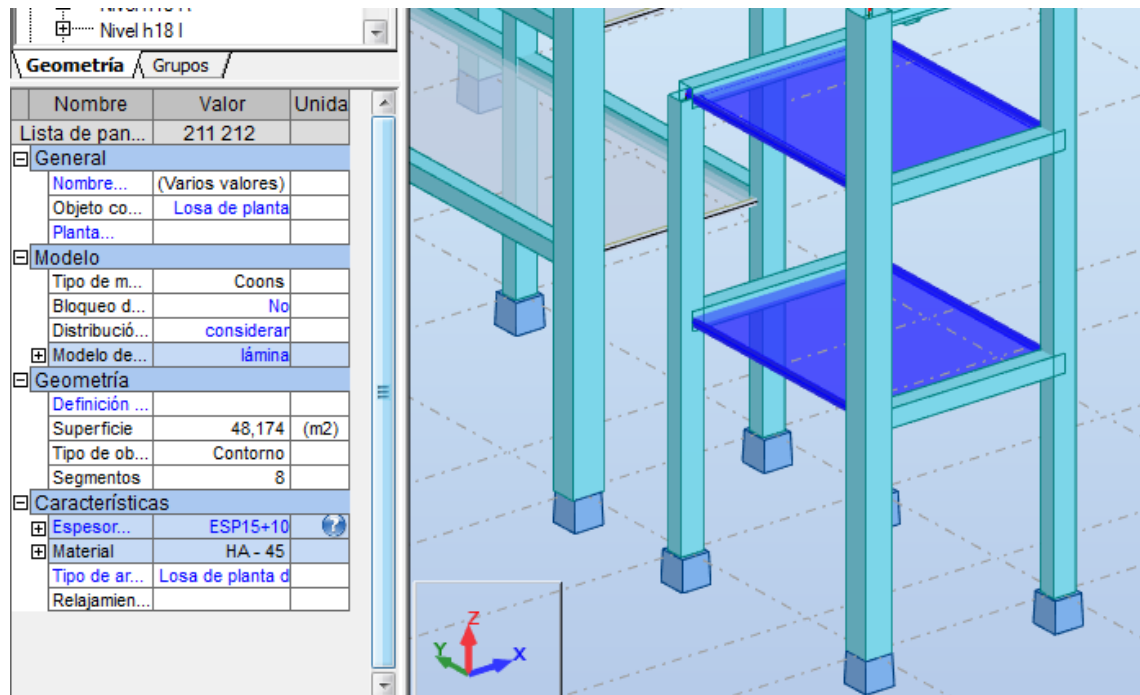


Figura 263 Espesor 15+10 en dirección Y asignado en el modelo

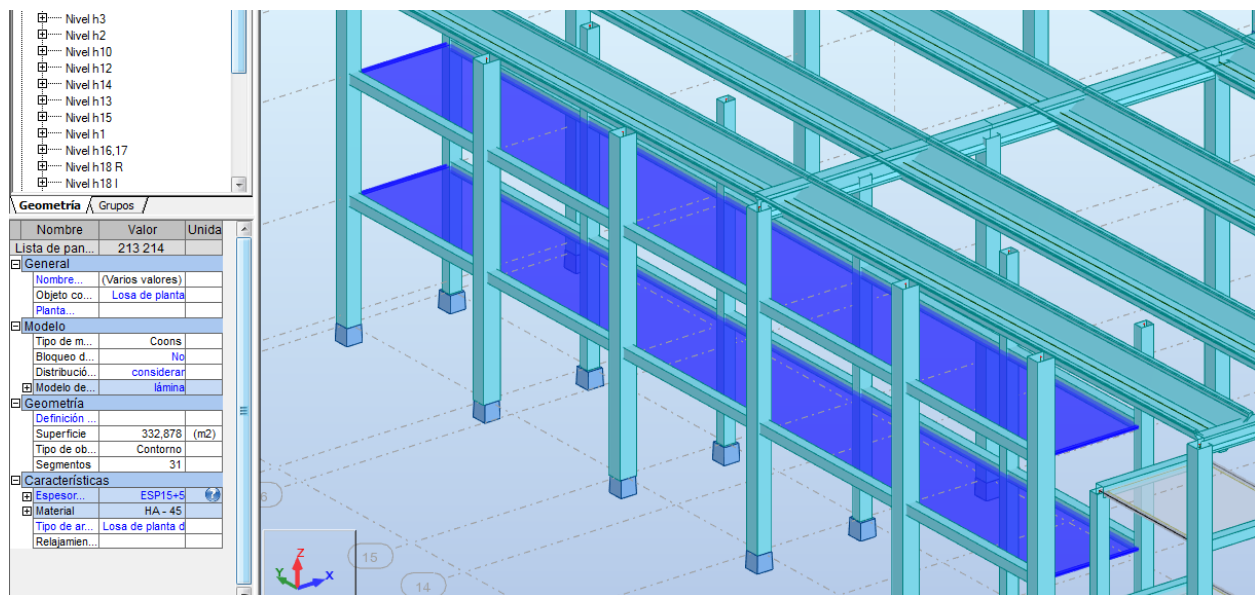
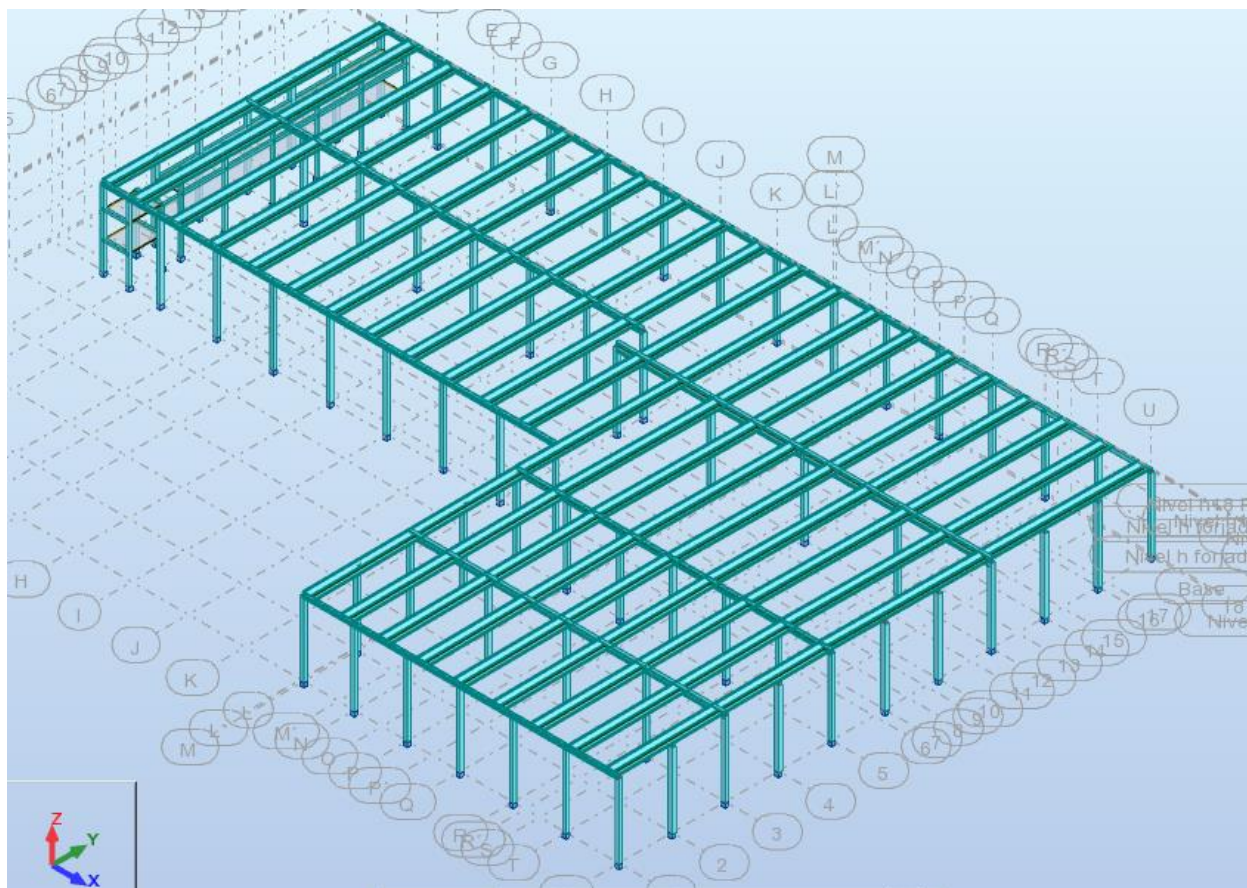


Figura 264 Espesor 15+5 en dirección Y asignado en el modelo

## 6 Modelo acondicionado

Tras los pasos de acondicionamiento del modelo, se obtiene éste perfectamente preparado para pasar al proceso de cálculo.



*Figura 265 Modelo acondicionado*

Pese a haber perdido la relación de bidireccionalidad entre los programas, por los errores de lectura existentes entre ambos, se ha llegado a un modelo que representa con bastante precisión la geometría y el comportamiento estructural que tendrá el modelo real.

Se ha conseguido, por tanto, “salvar” este problema trabajando no bidireccionalmente, sino en paralelo, con modelo de estructura y modelo de cálculo actuando por separado:



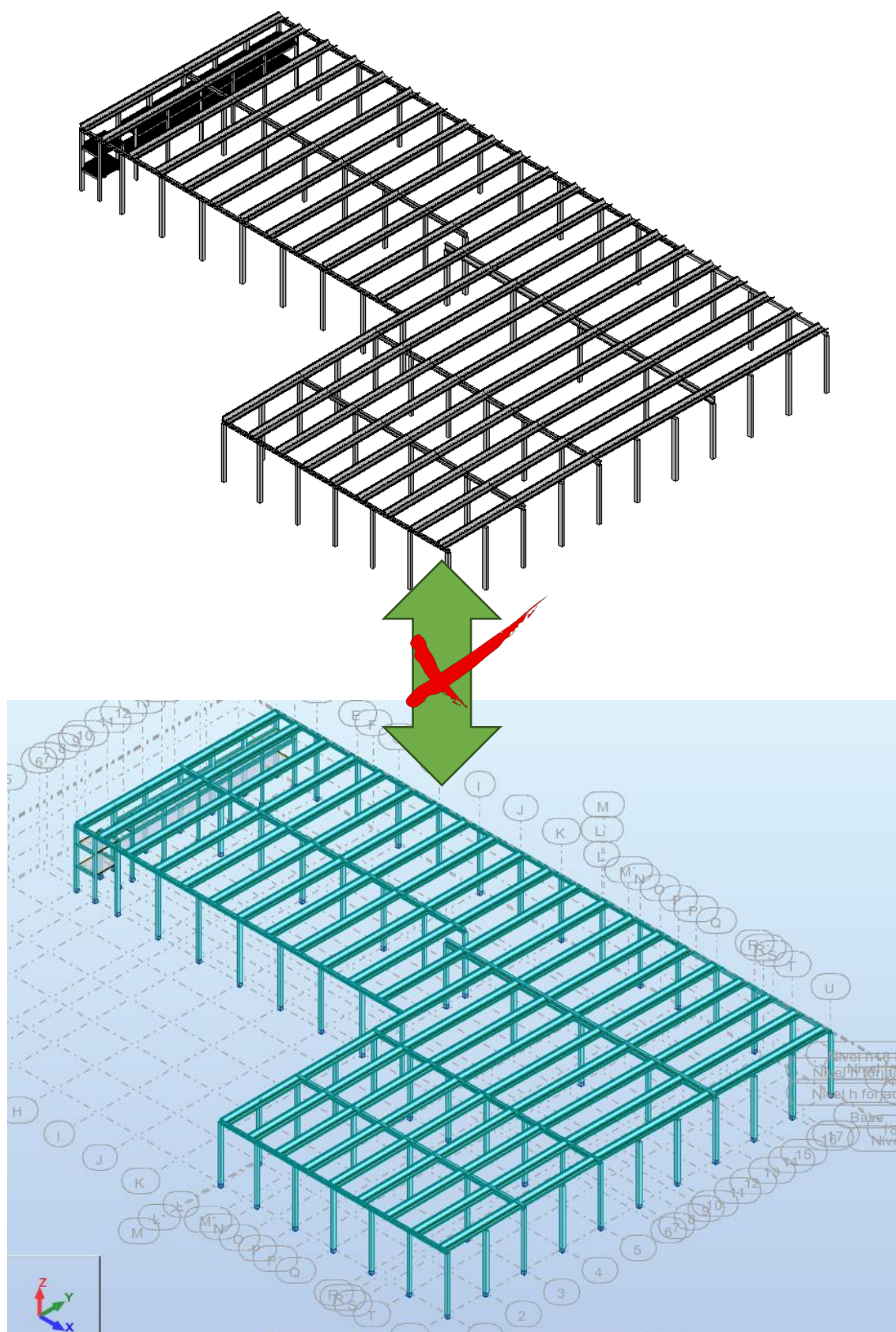


Figura 266 Bidireccionalidad no conseguida

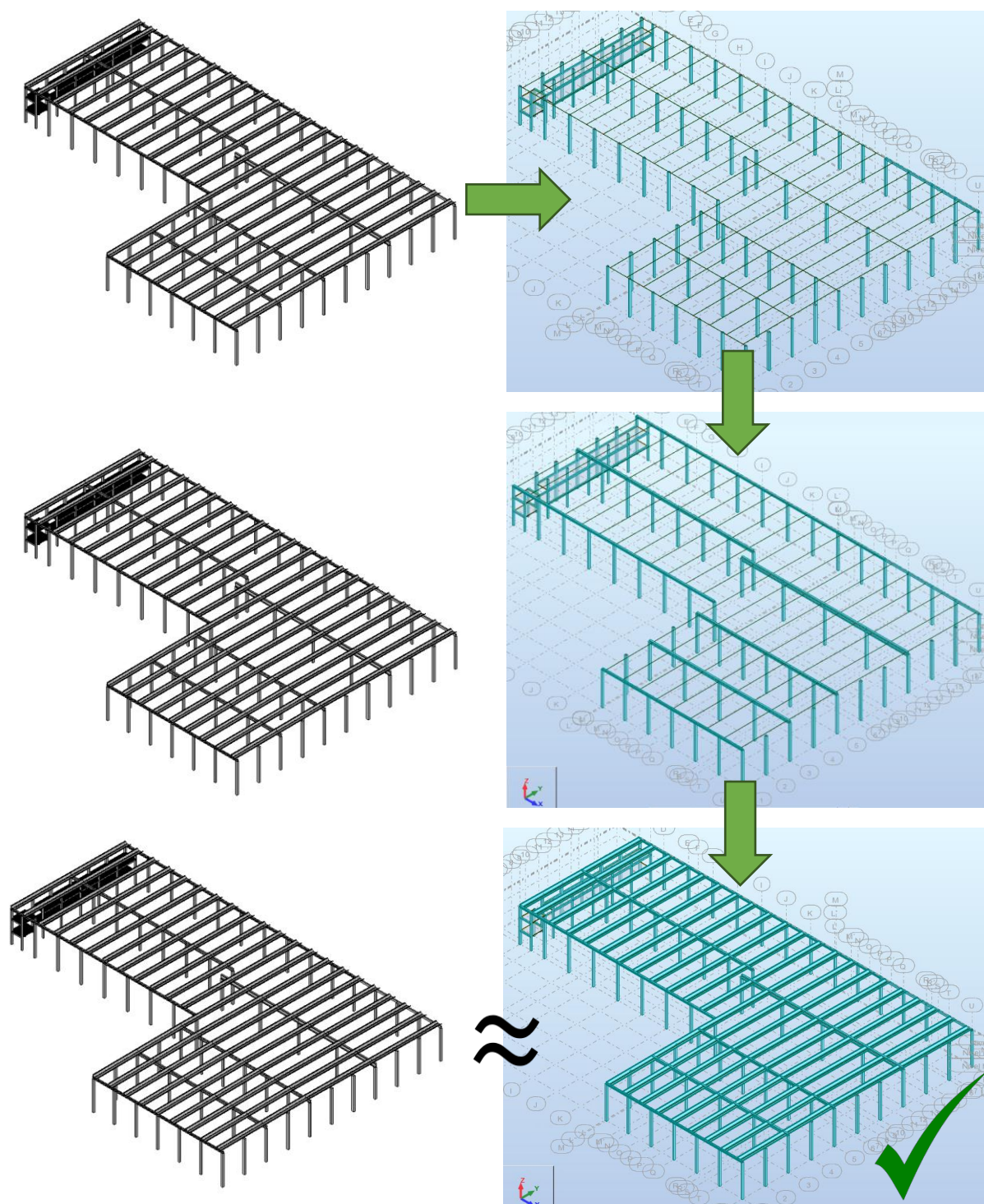


Figura 267 Trabajo en paralelo con ambos modelo

# ANEXO V. RESULTADOS DEL PROCESO DE CÁLCULO EN ROBOT

## 1 Objeto

El presente anexo tiene por objetivo completar la información expuesta en el apartado 5 de la memoria respecto al cálculo de la estructura ofreciendo mucho más en detalle todos los resultados que se obtuvieron del programa de cálculo.

Asimismo, y dado que puede hacerse también con el software Robot, se desarrolla el proceso de cálculo del armado de los pilares (elementos no pretensados de la estructura) y el paso de éstos a Revit mediante un proceso de bidireccionalidad selectiva entre ambos programas.

Ya se ha expuesto en el apartado de la memoria al que complementa este anexo el proceso que ha de llevarse a cabo con el programa para correr el cálculo. Se adjuntan a continuación una serie de capturas de los resultados considerados más importantes que se obtuvieron de éste:



## 2 Ejes locales

Se aportan en primera instancia una captura genérica de los elementos estructurales para dejar constancia de la direccionalidad de los ejes locales de los mismos, puesto que serán a los que irán referenciados los resultados.

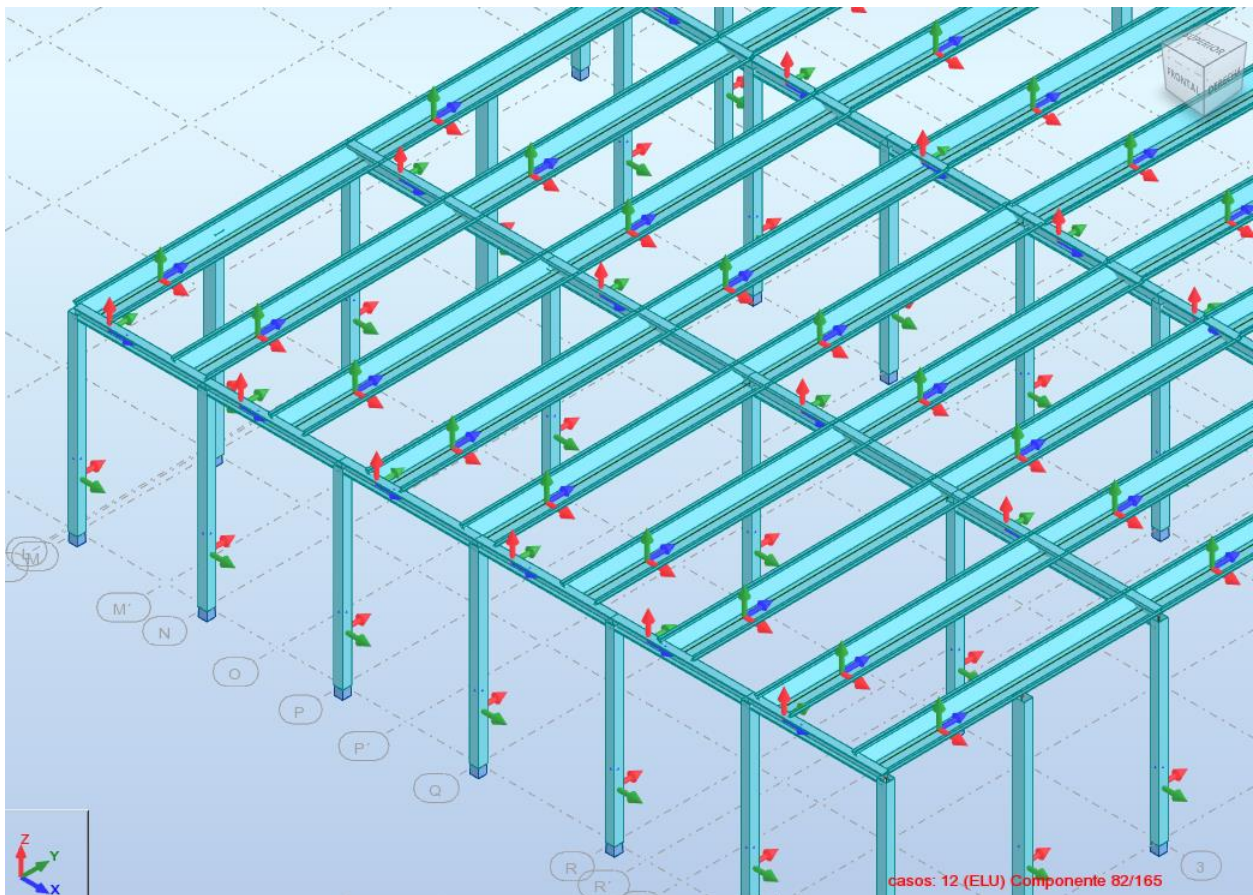


Figura 268 Ejes locales

### 3 Momentos flectores

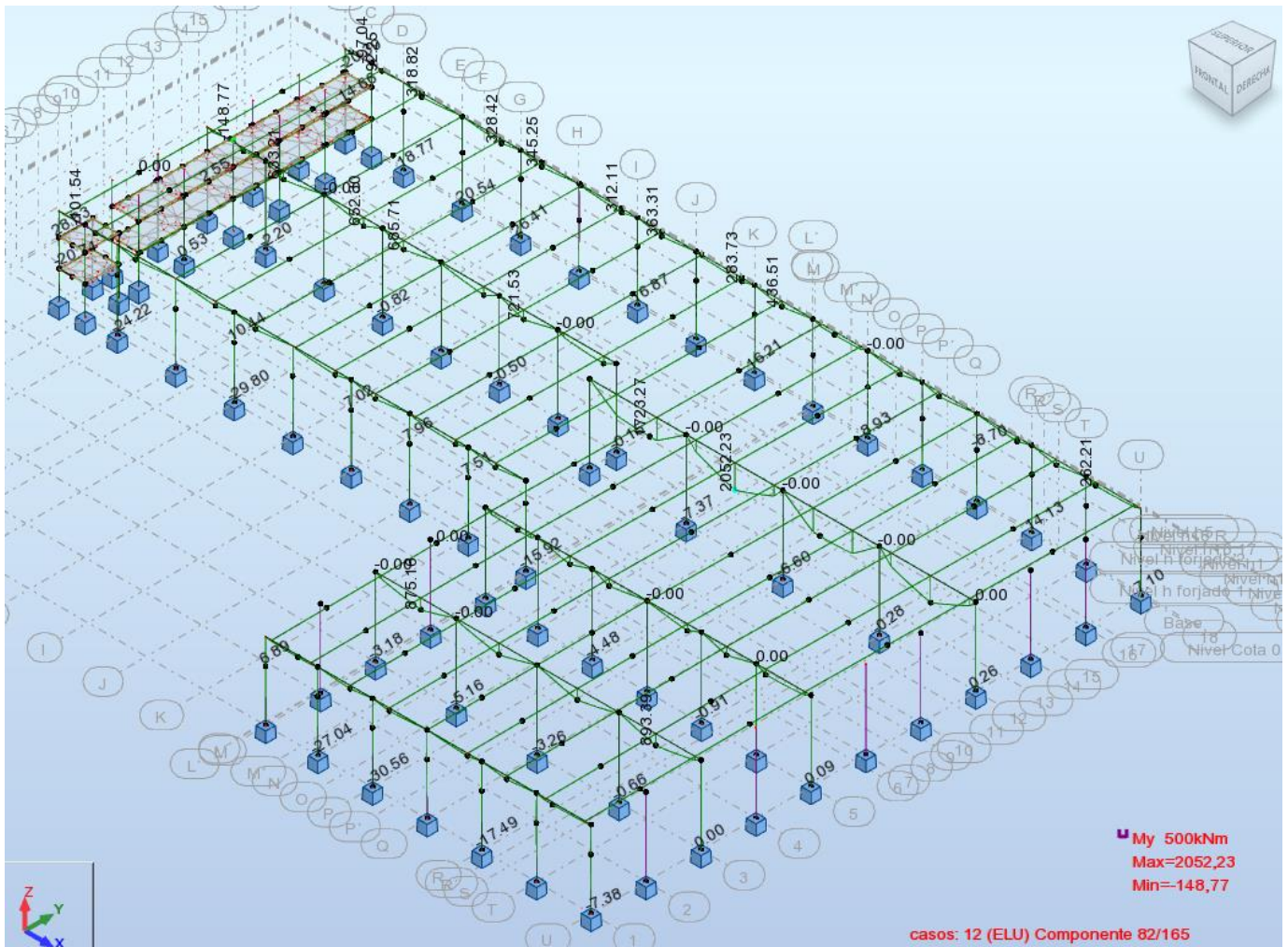


Figura 269 Diagramas de esfuerzos – Momentos flectores My



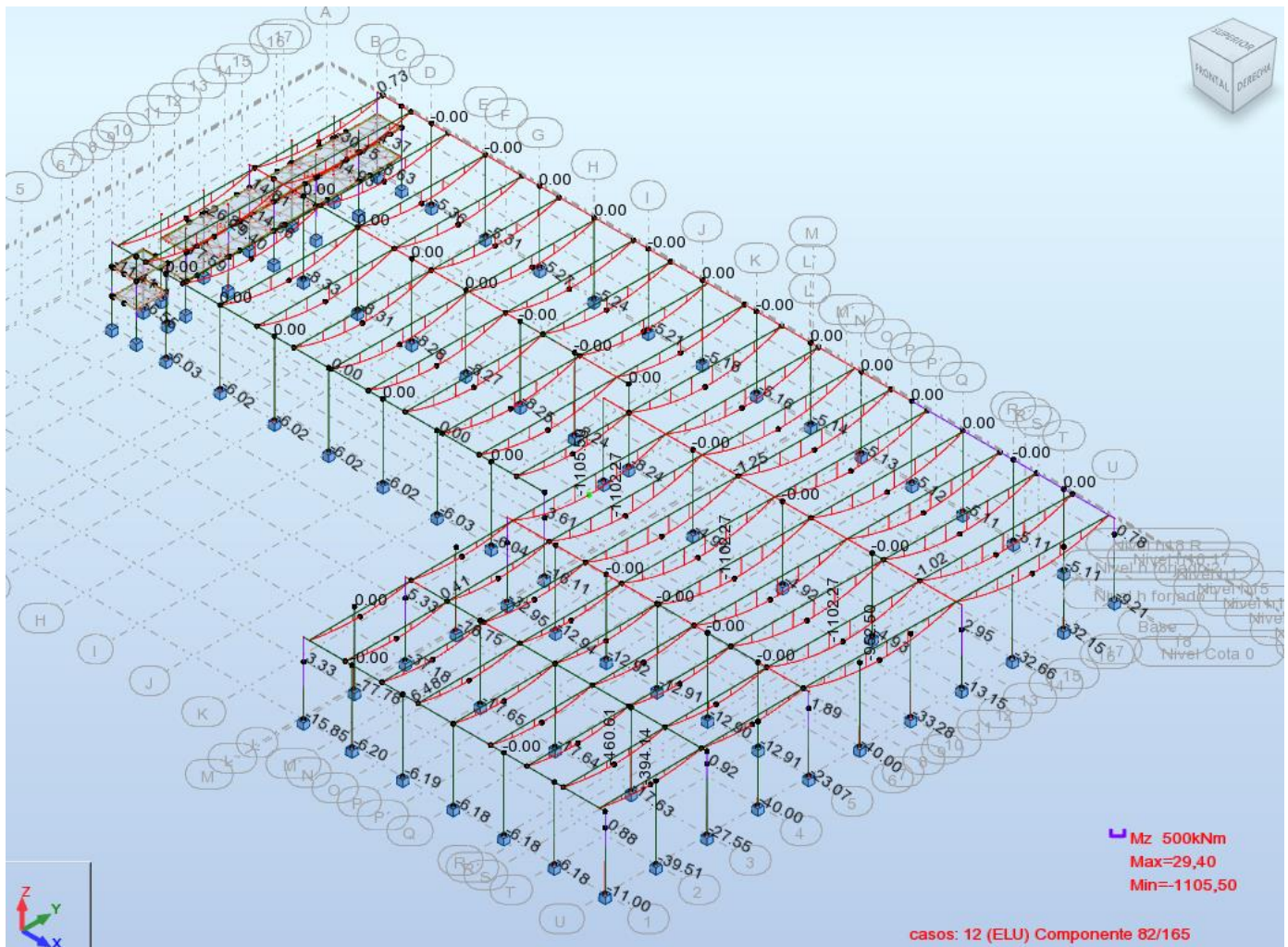


Figura 270 Diagramas de esfuerzos – Momentos flectores  $M_z$

## 4 Axiles

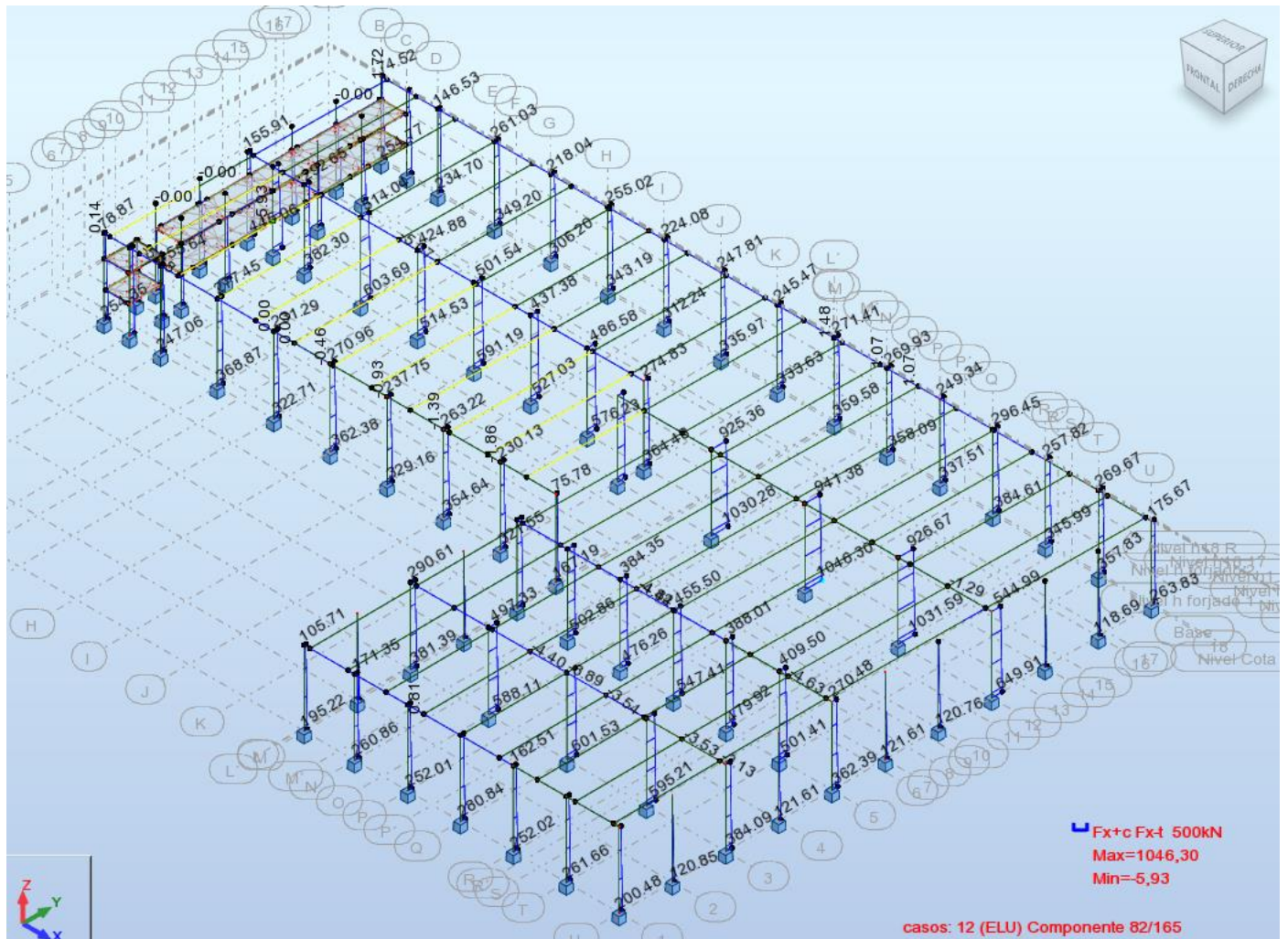


Figura 271 Diagramas de esfuerzos – Axiles  $F_x$



## 5 Cortantes

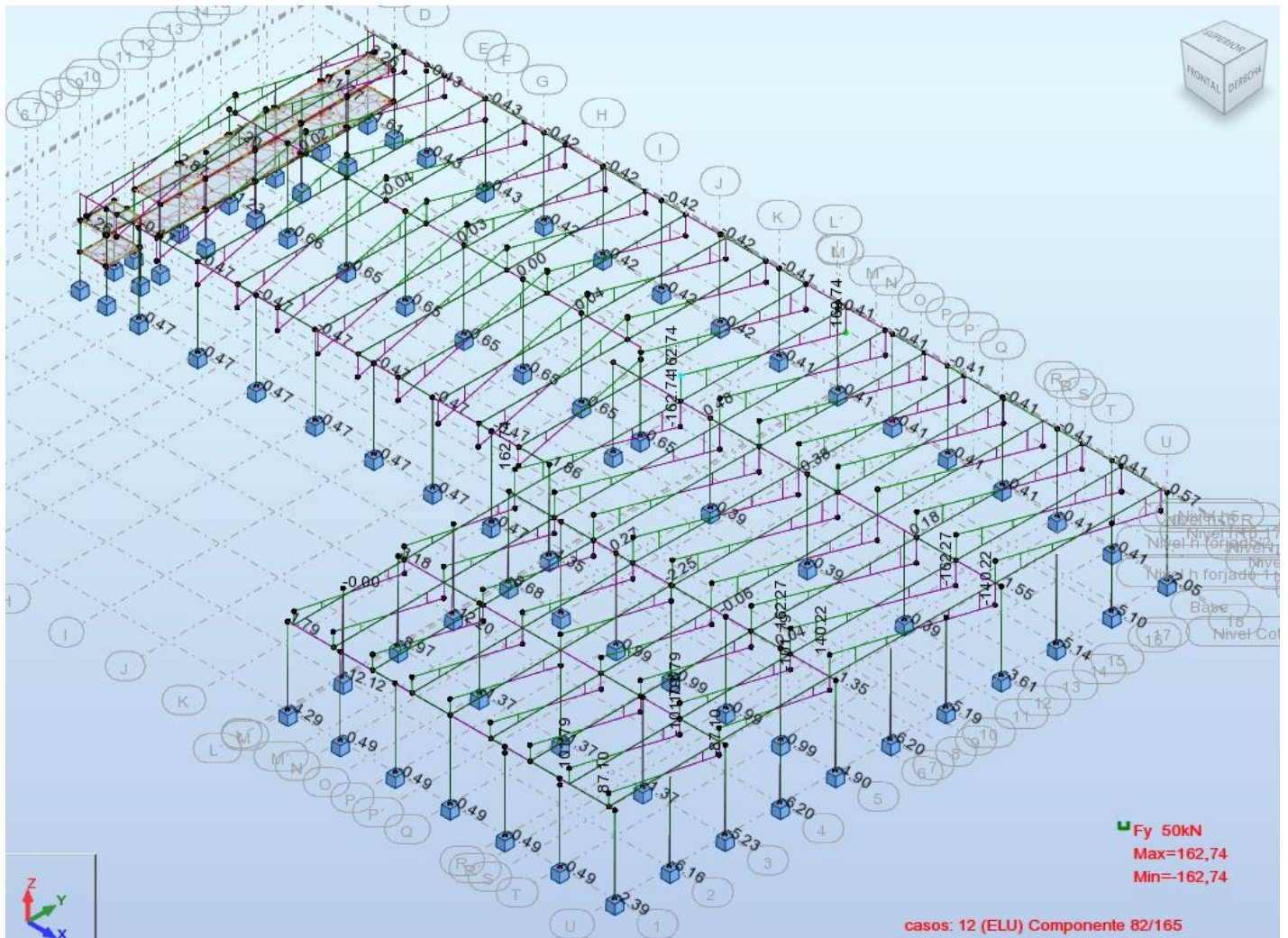


Figura 272 Diagramas de esfuerzos – Cortantes  $F_y$

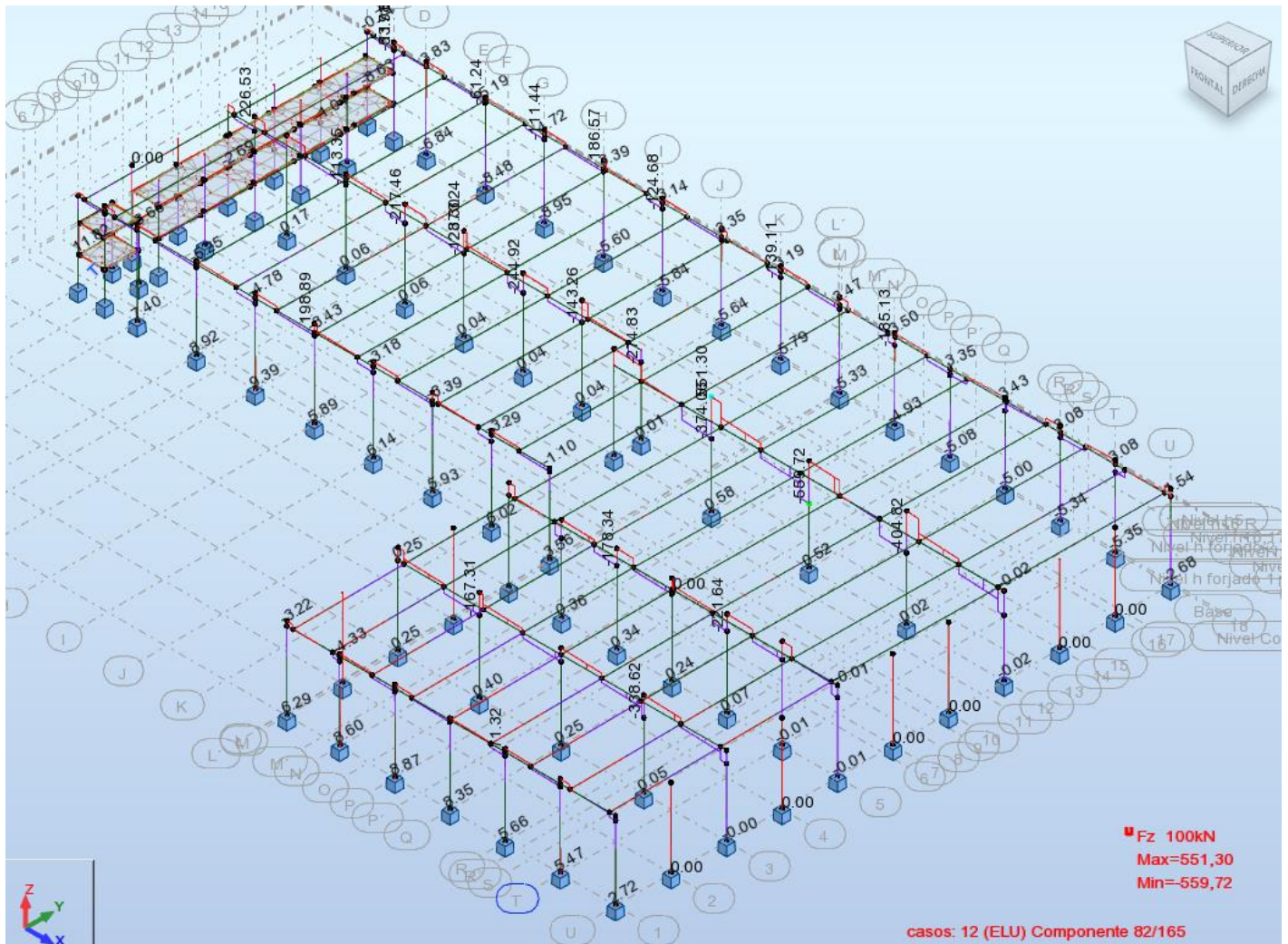


Figura 273 Diagramas de esfuerzos – Cortantes  $F_z$



## 6 Deformaciones

Se aportan resultados para Estado Límite Último, en primera instancia, y en Estado Límite de Servicio, en segundo lugar. A éstos los complementan los diagramas de deformación para cada caso de carga por separado.

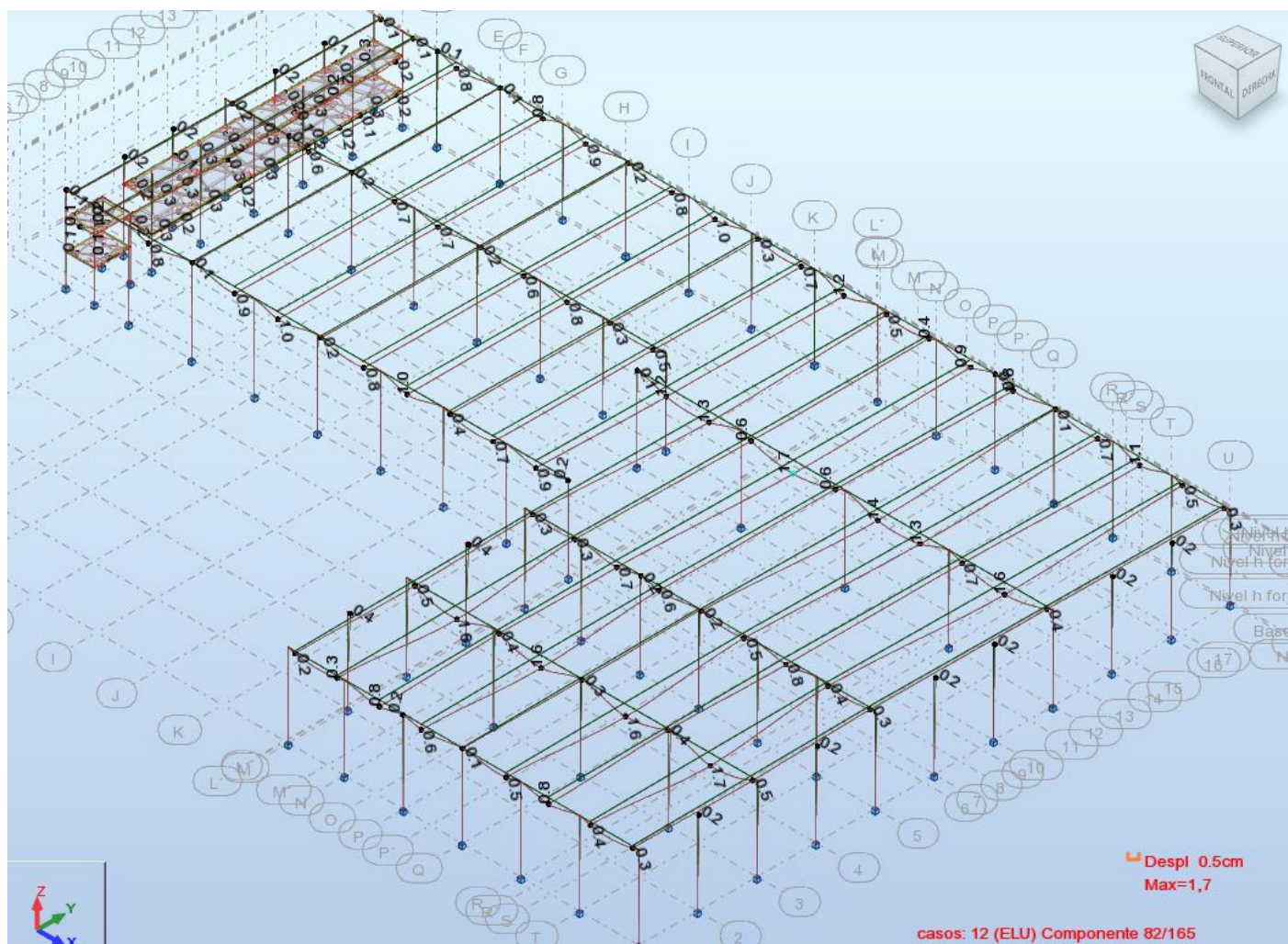


Figura 274 Diagramas de deformación en ELU

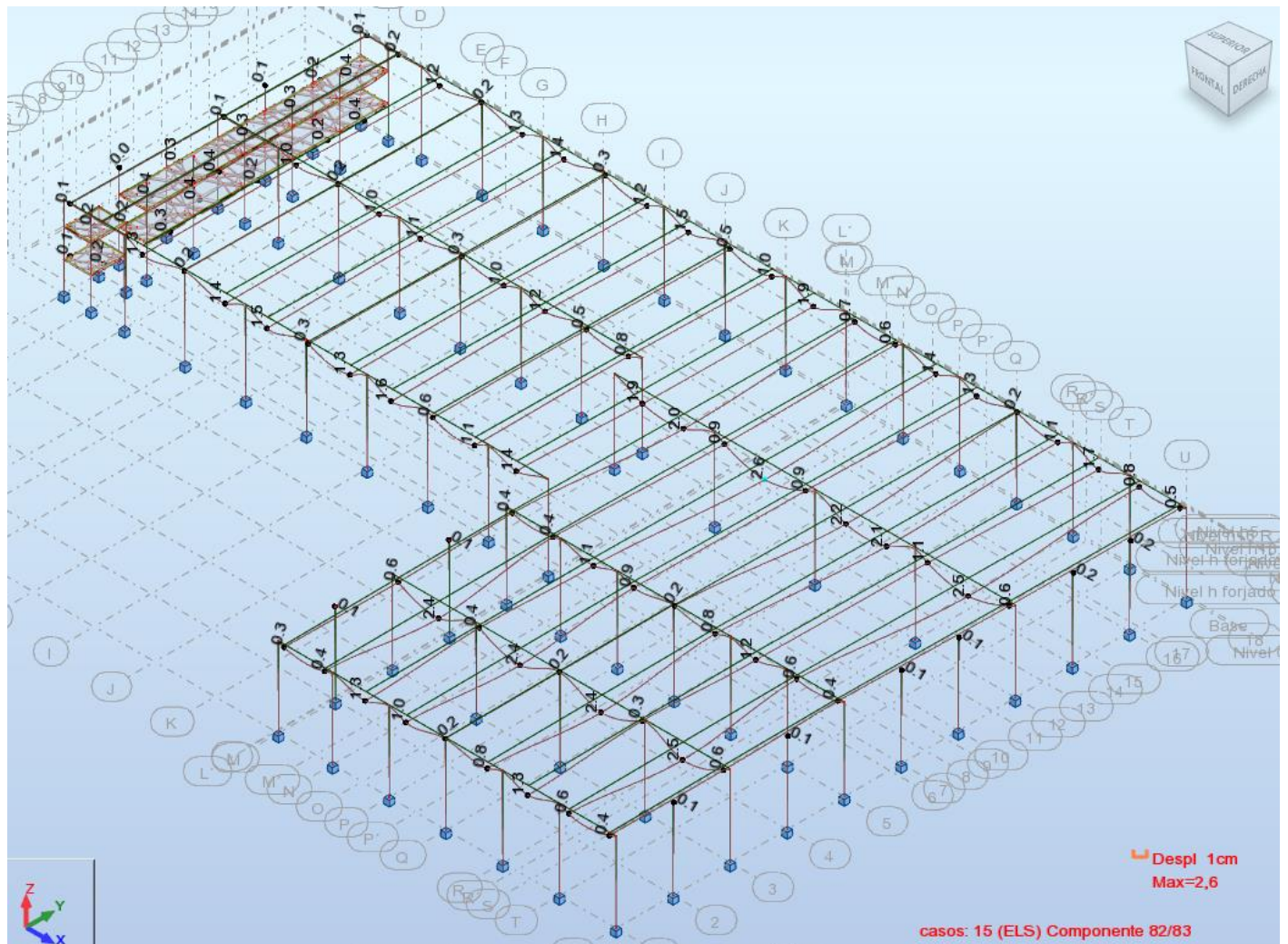


Figura 275 Diagramas de deformación en ELU



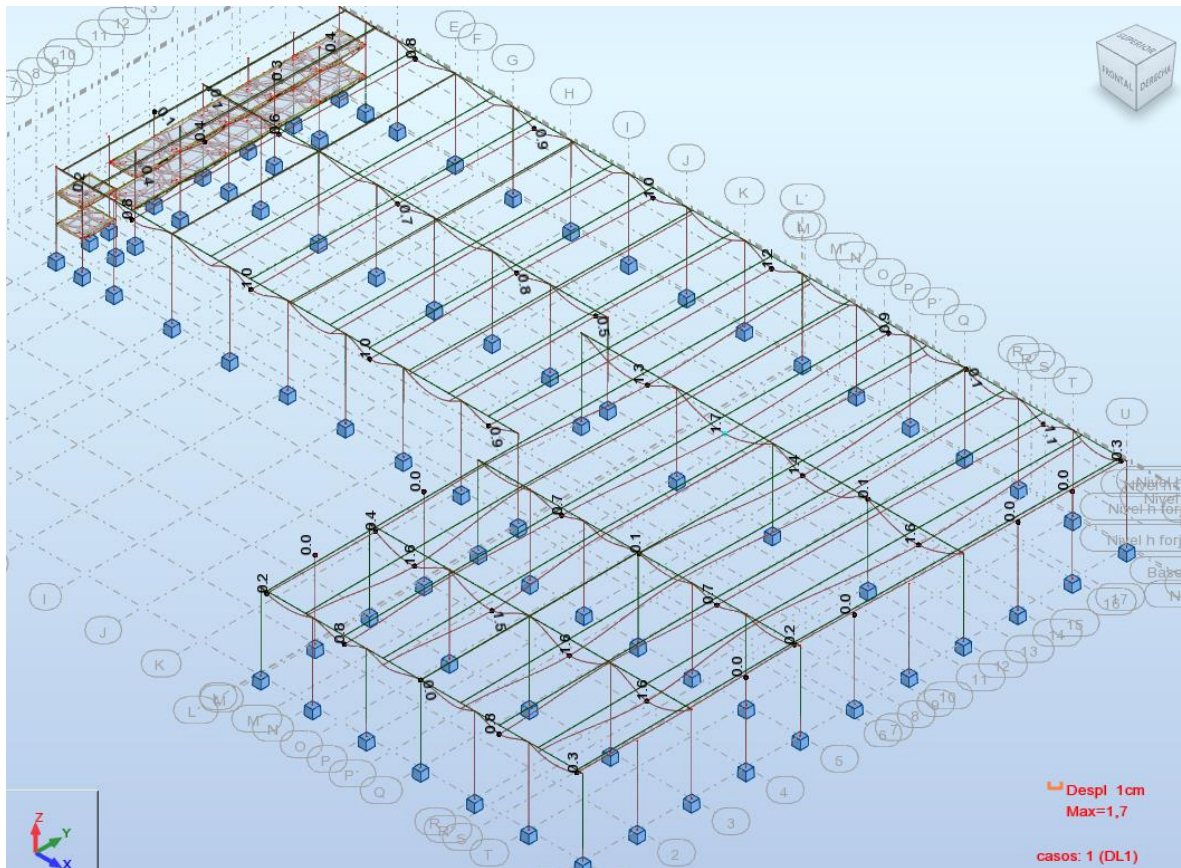


Figura 276 Diagramas de deformación en DL1

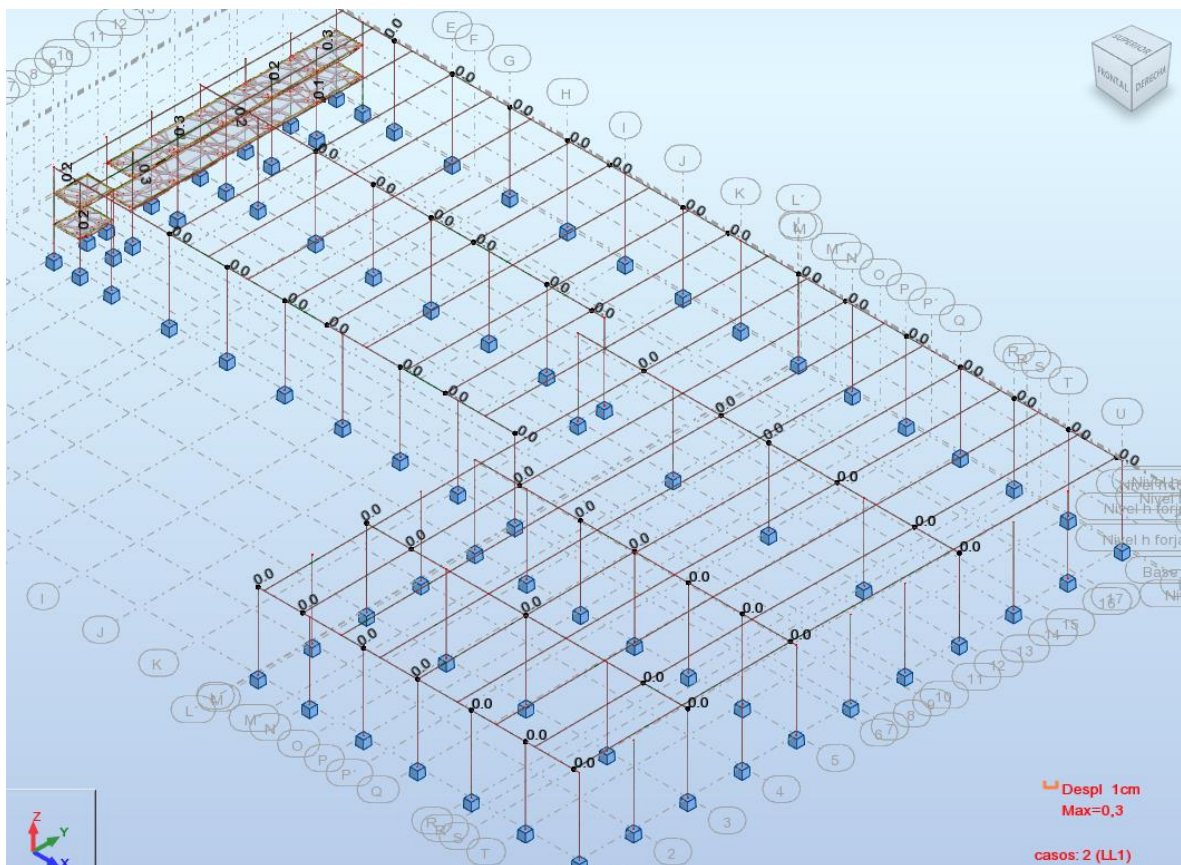


Figura 277 Diagramas de deformación en LL1



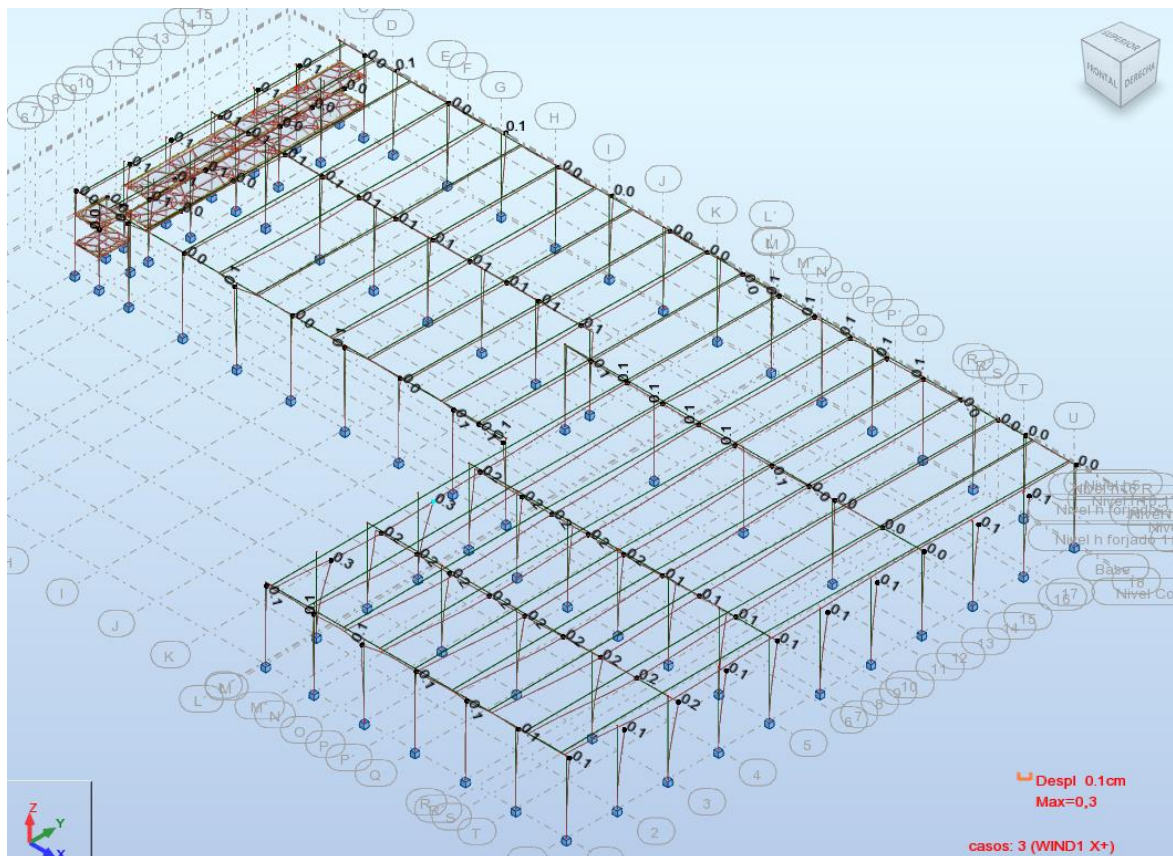


Figura 278 Diagramas de deformación en WIND1

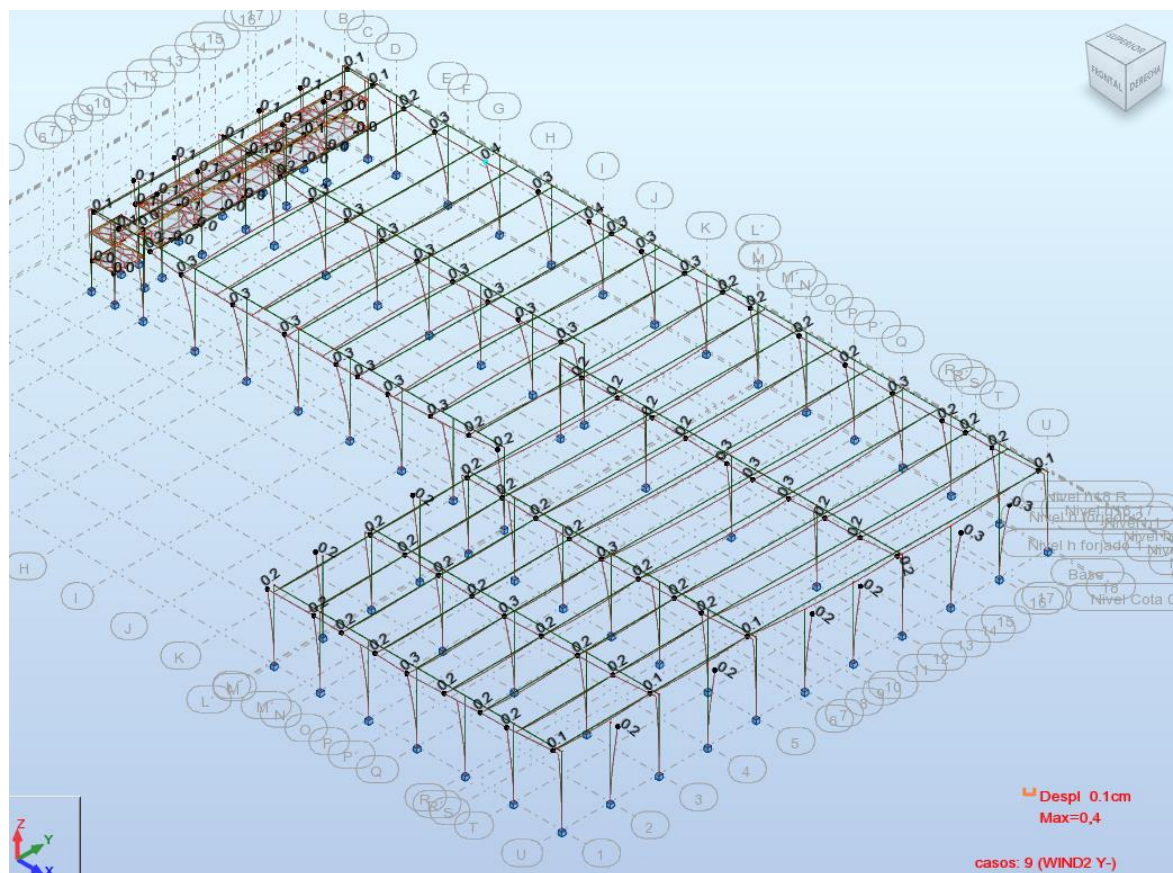


Figura 279 Diagramas de deformación en WIND2



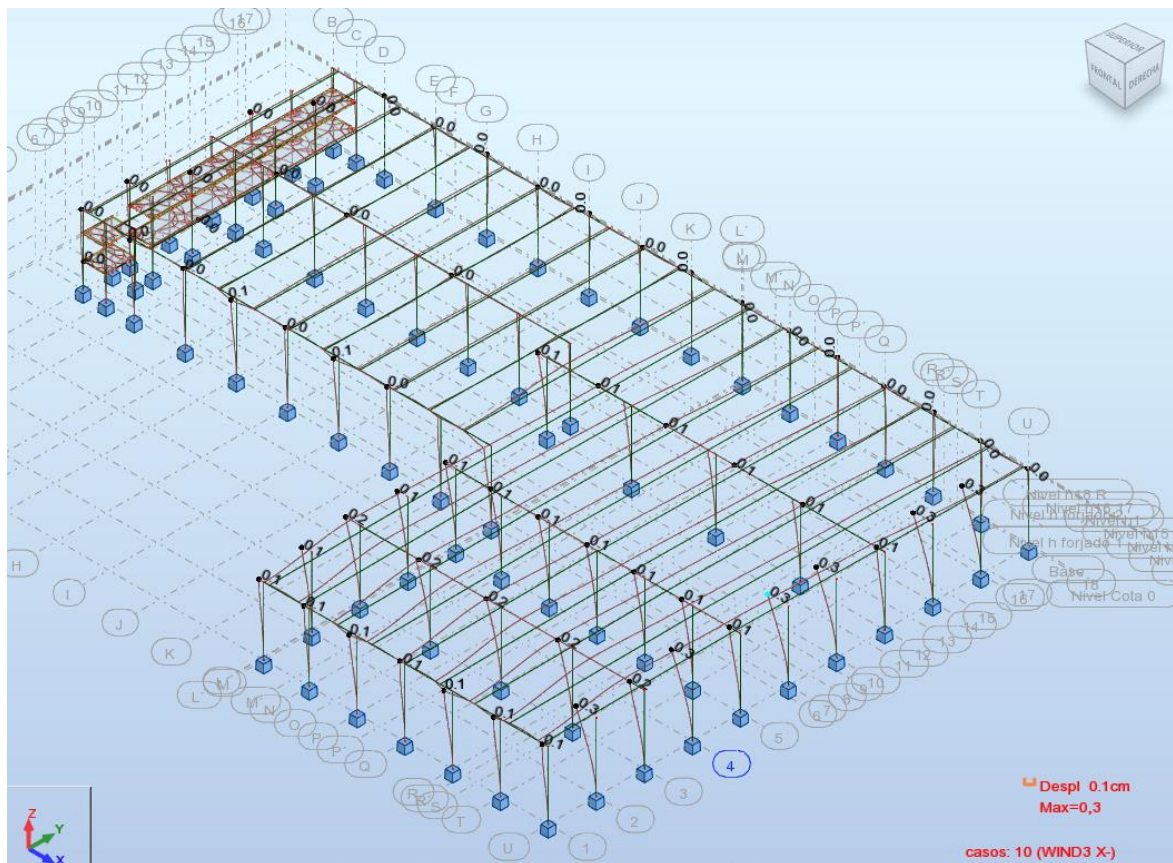


Figura 280 Diagramas de deformación en WIND3

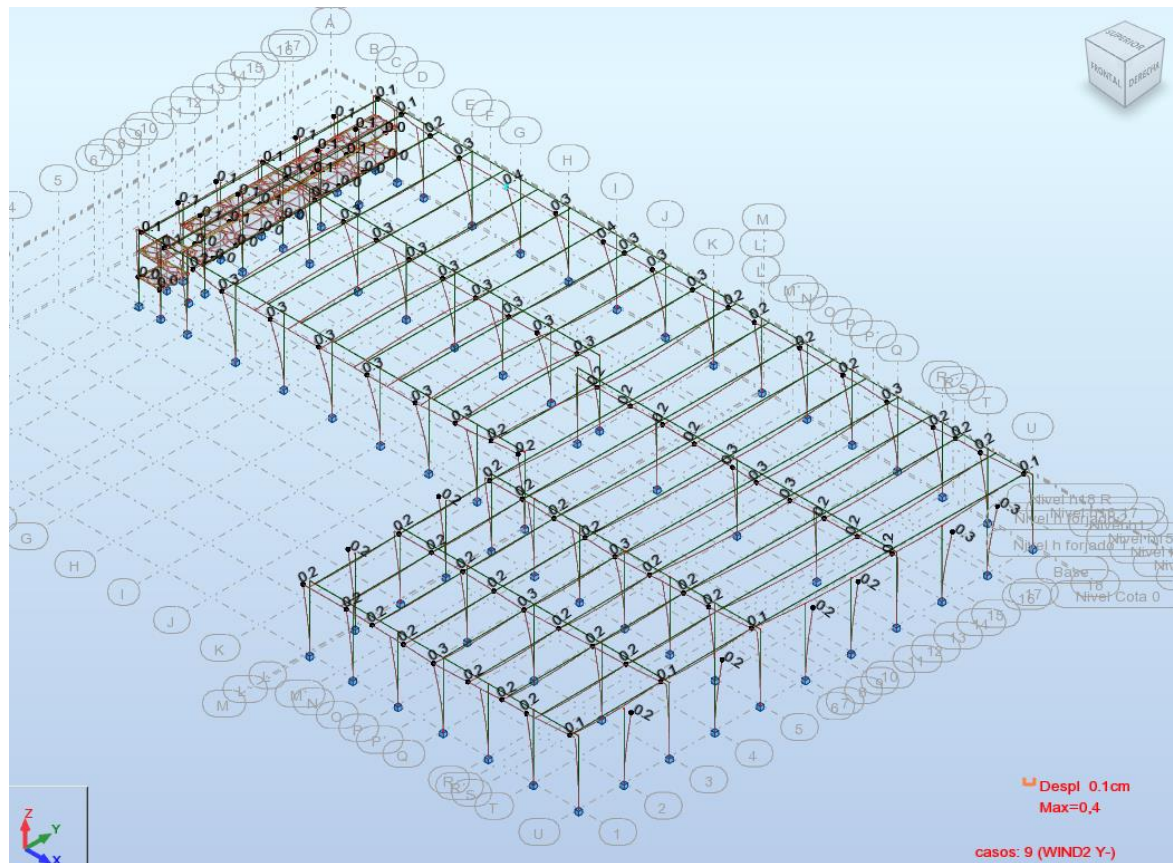


Figura 281 Diagramas de deformación en WIND4



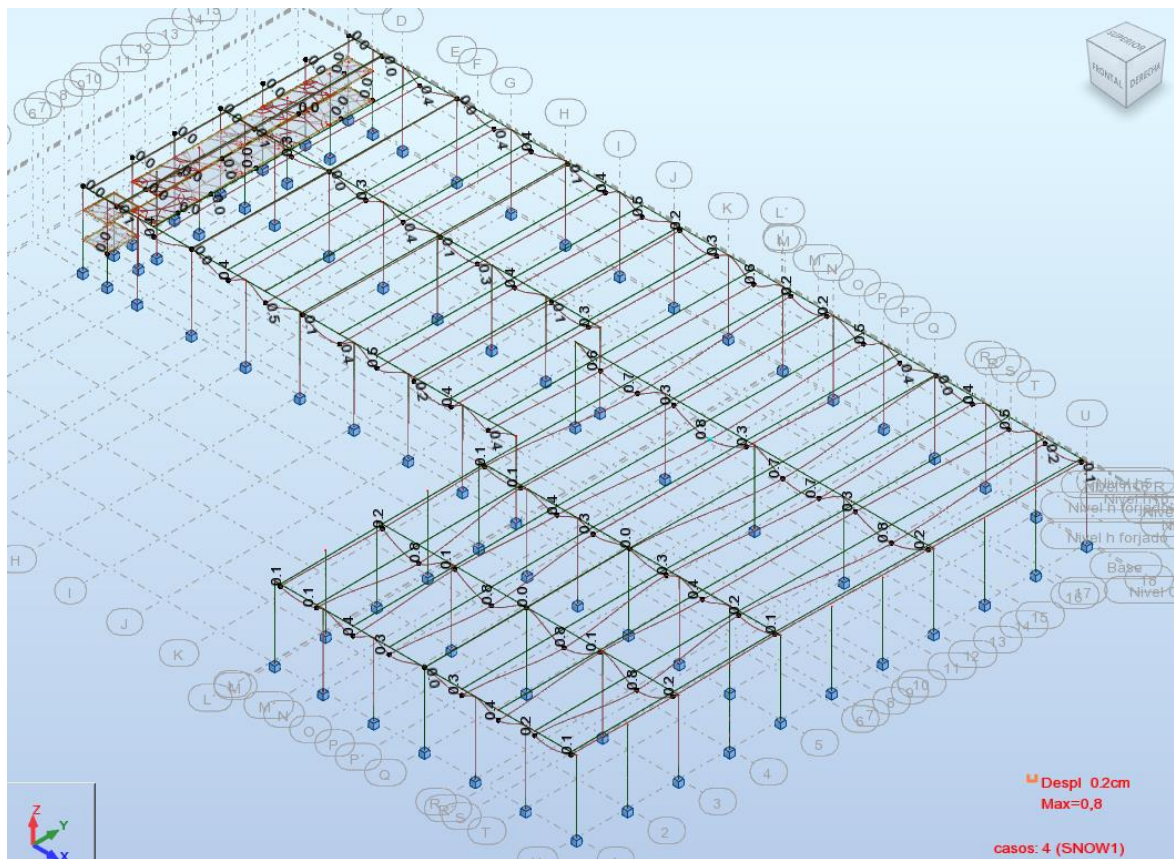


Figura 282 Diagramas de deformación en SNOW1

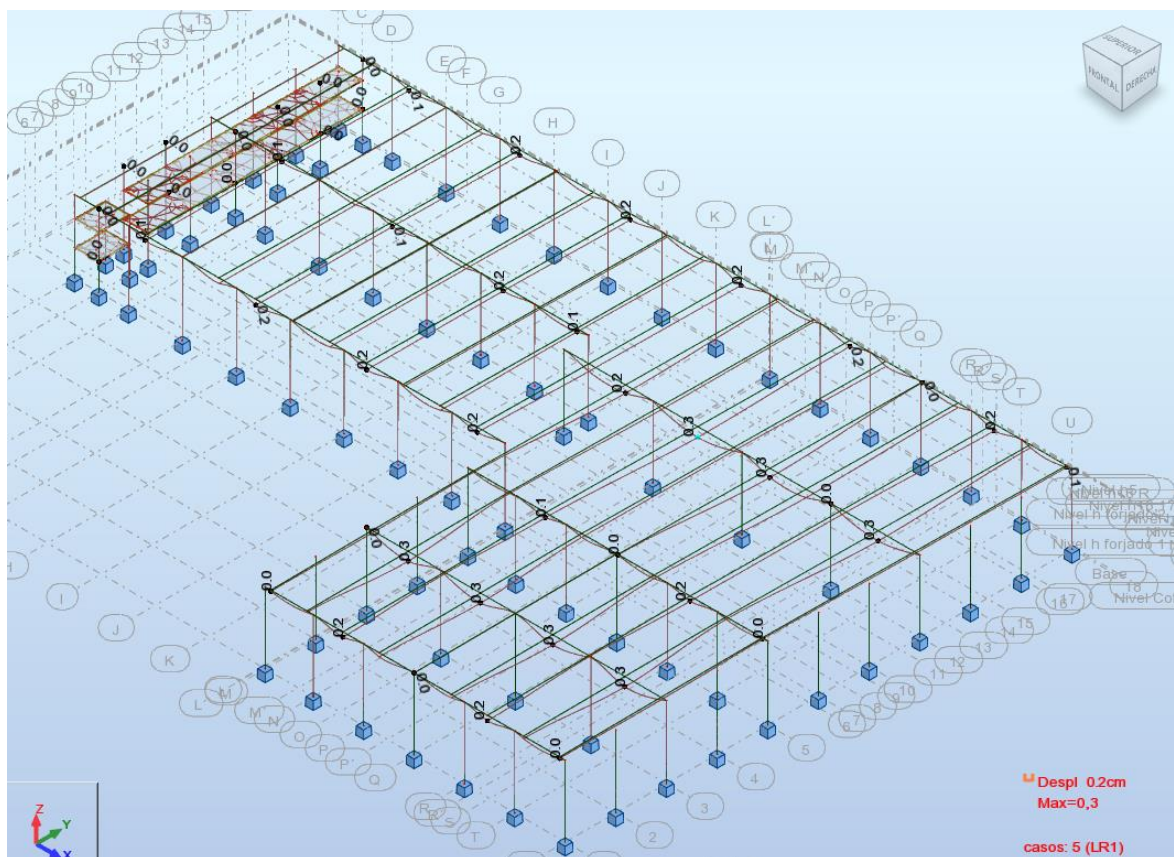


Figura 283 Diagramas de deformación en LR1

## 7 Armado de pilares

Ya se ha mencionado en otros apartados de la memoria que Robot carece de la capacidad para calcular elementos de hormigón pretensado, pero sí que puede calcular el armado de aquellos elementos del modelo que sean simplemente de hormigón armado. En este caso, estos elementos serían los pilares, los cuales han sido analizados buscando aquéllos sometidos a la acción más desfavorable, y generalizando el resultado para el resto de pilares del mismo tipo.

El comando que permite al programa entrar en el cálculo de armaduras se denomina “Refuerzo proporcionado de elementos RC” (Reinforced Concrete), y puede encontrarse entre los comandos de acceso rápido de la ventana localizada a la derecha de la interfaz, o bien entre las opciones que despliega la ventana Dimensionamiento:

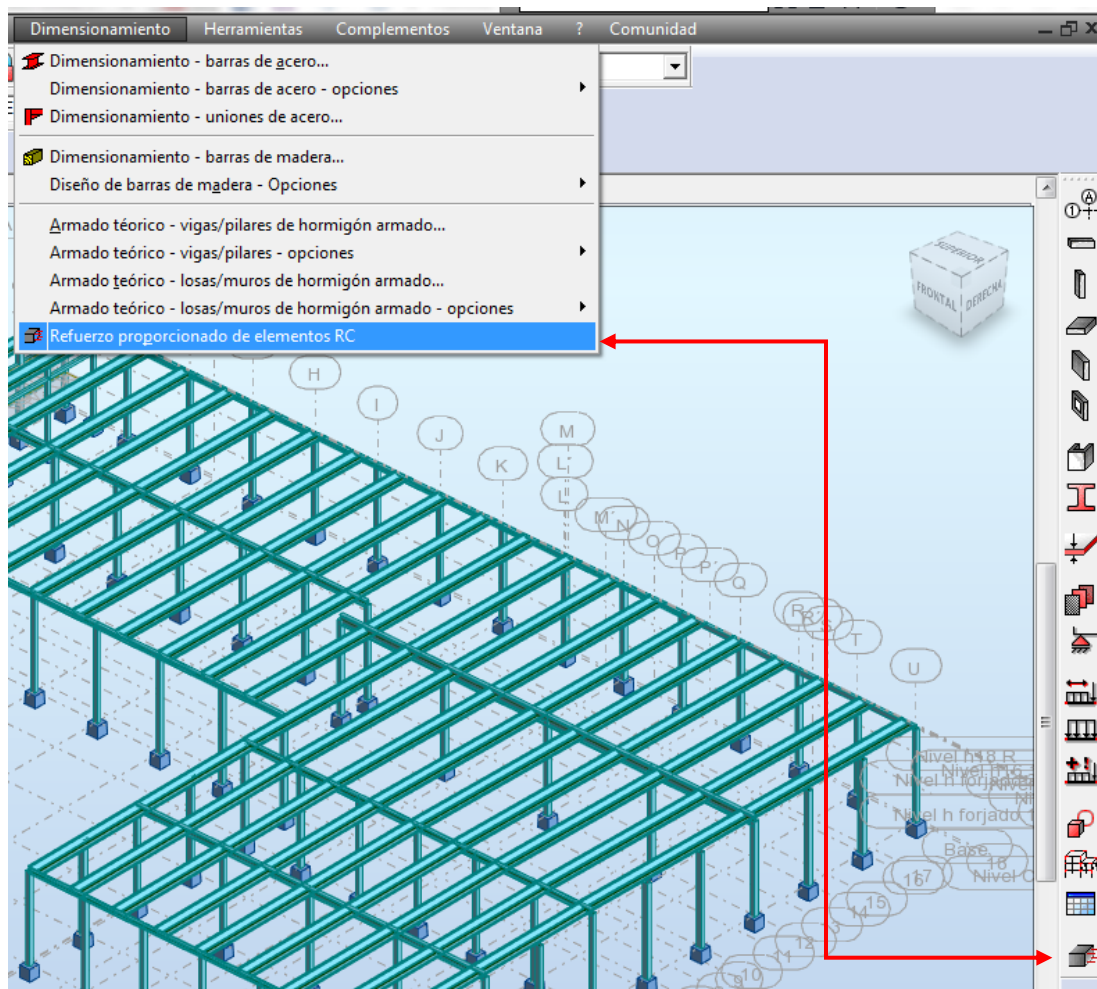


Figura 284 Localización comando Refuerzo proporcionado de elementos RC

Se recuerda a continuación la disposición y sección de todos los tipos de pilares que se encuentran en el modelo, para proceder inmediatamente después con la explicación del proceso de armado para uno de ellos. Después de realizar este primer ejemplo explicativo, se colocarán simplemente las hojas de características del resto de pilares armados, puesto que seguirán la misma metodología.

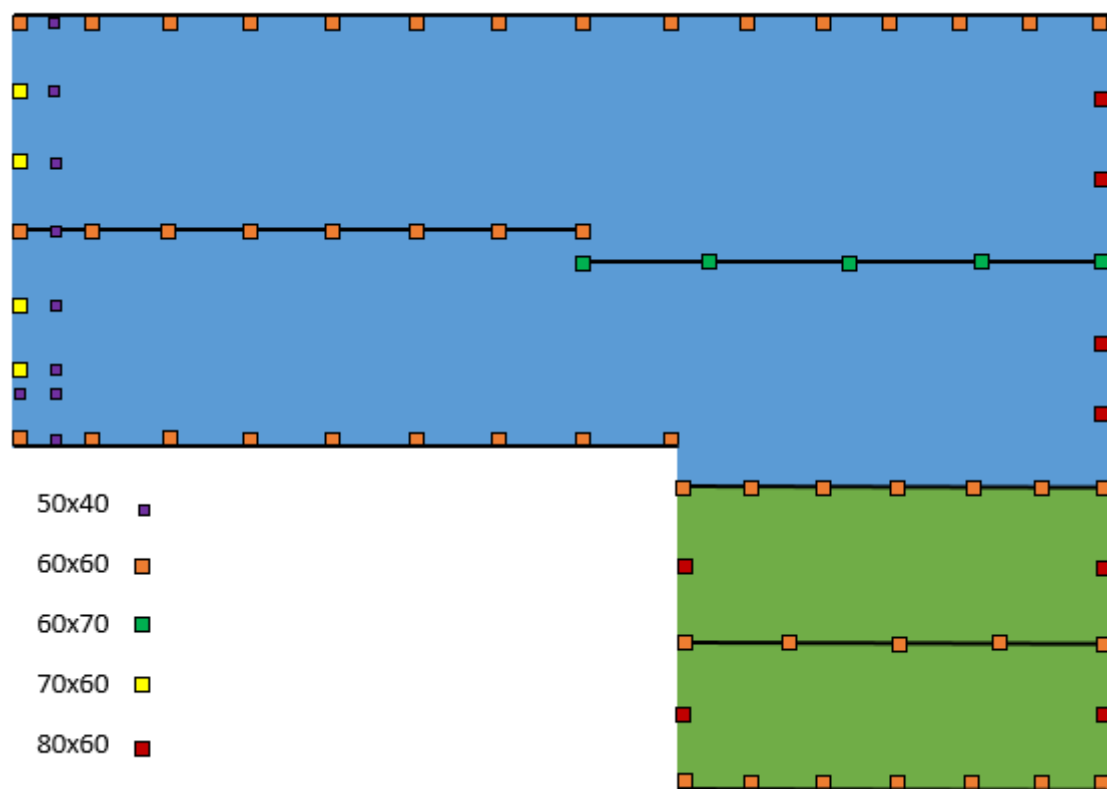


Figura 285 Disposición y sección de pilares

## 7.1 Pilar 50x40

Al seleccionar los pilares 50x40 y acceder al comando de Refuerzo proporcionado de elementos RC, aparece la siguiente ventana:

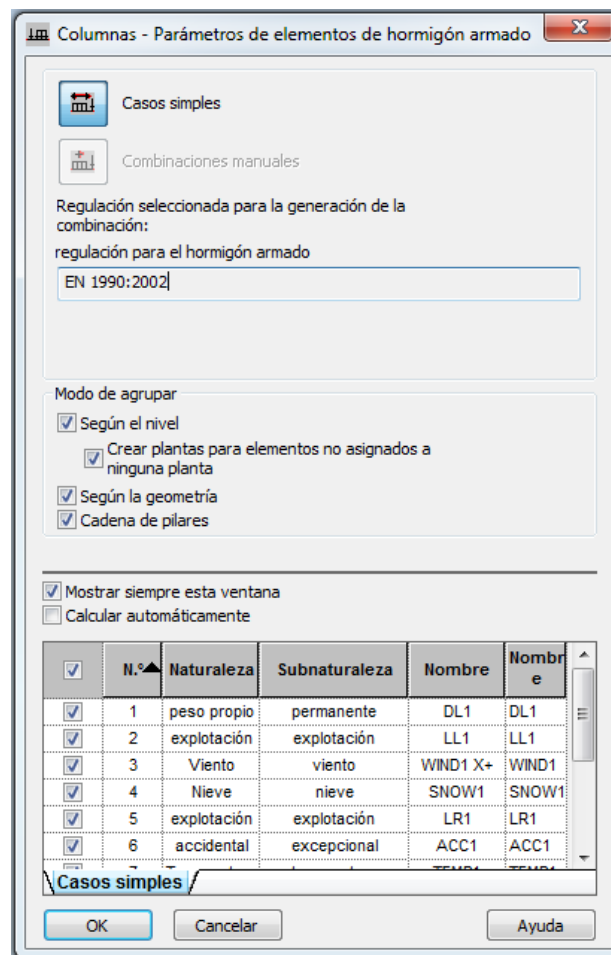


Figura 286 Columnas – Parámetros de elementos de hormigón armado

En ella, simplemente se confirman los casos de cargas que el programa tendrá en cuenta en el cálculo del armado de los elementos. Se puede confirmar, porque se trata de los casos de carga que se generaron en Revit, y cuyas cargas asignadas y características fueron leídas correctamente en el proceso de paso de un programa a otro.

El programa adjuntará los pilares a la interfaz de cálculo de armados, la cual tiene la siguiente forma, con los elementos escogidos en la parte superior izquierda, y con todas las opciones relativas a los armados en la parte derecha de la interfaz:



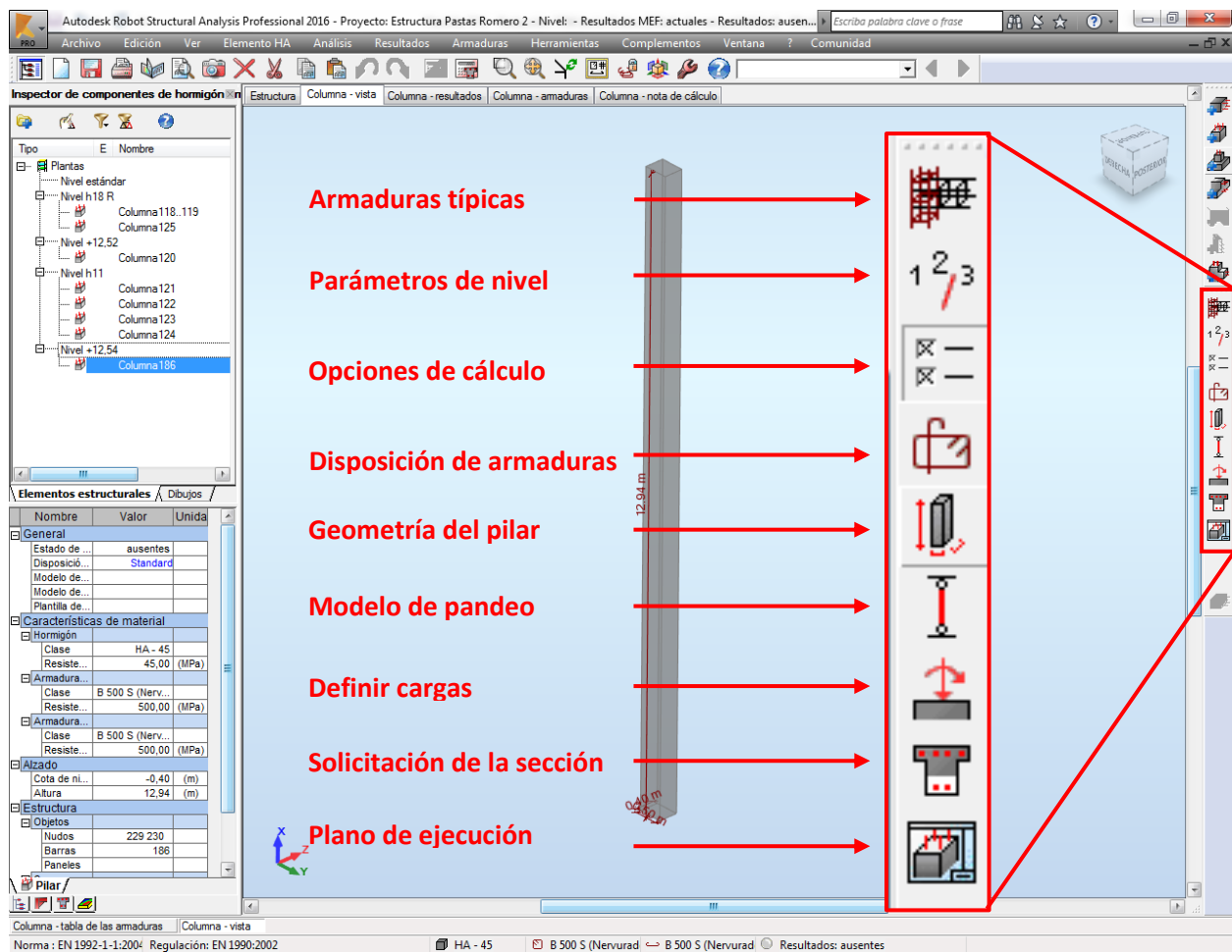


Figura 287 Interfaz Refuerzo proporcionado de elementos de RC

Una vez aquí conviene ir siguiendo las opciones disponibles referentes a los armados en el orden siguiente:

#### Opciones de cálculo



En la mayoría de estas ventanas se cambiarán únicamente los datos que sepamos se vayan del valor u opción estándar que viene por defecto en el programa. La opción de Opciones de cálculo dispone de 4 ventanas: General, Hormigón, Armaduras longitudinales, y Armaduras transversales.

En la primera de ellas se ven aspectos generales como el método de cálculo, el grado de optimización, o el valor del recubrimiento, que es este caso se pondrá de acuerdo a los planos de ARTEPREF (25 mm a estribo). La segunda pestaña es para seleccionar el material, tipo de hormigón que se utilizará, la tercera para restringir los tipos de barras que se vayan a usar en el cálculo de armado respecto a la armadura longitudinal, y la última, respecto al armado transversal.

Opciones de cálculo - EN 1992-1-1:2004 AC:2008; Regulación - EN 1990:2002

General Hormigón Arm. longitudinales Arm. transversales

Método de cálculo de las columnas rectangulares solicitadas por flexión bidire

☐  $\left( M_{Edx} / M_{Rdx} \right)^{\alpha} + \left( M_{Edy} / M_{Rdy} \right)^{\alpha} \leq 1.0$   
☒ resultante de la distribución de tensiones

Método de análisis simplificado de de segundo orden

☒ rigidez nominal  
☐ curva nominal  
☐ Rigidez nominal con módulo eficaz de elasticidad 5.8.7.2 (4)

☒ Columna prefabricada

Grado de optimización del armado

Alto

Resistencia mínima (relativa): 1.00

☐ Dimensionado para le flexión simple  
☒ Dirección My ☐ Dirección Mz

Resistencia al fuego...

Análisis sísmico... Avanzado...

Recubrimiento (cm)

☒ a la armadura transversal  
☐ a la armadura longitudinal  
☐ al eje de la arm. longitudinal

c >= 2.5 ☒ Fijo

Desviaciones

Figura 288 Opciones de cálculo. General

Opciones de cálculo - EN 1992-1-1:2004 AC:2008; Regulación - EN 1990:2002

General Hormigón Arm. longitudinales Arm. transversales

Materiales: Español

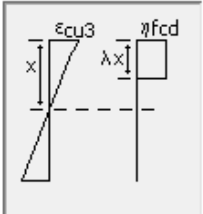
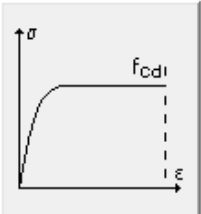
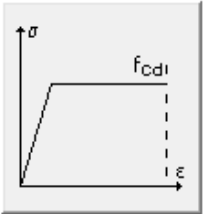
Nombre: HA - 45

Resistencia característica: 45,00 MPa

Peso específico : 2501,36 kG/m3

Diámetro del agregado: 20,0 mm

Clase de cemento: N

☐ Hormigón ligero

Figura 289 Opciones de cálculo. Hormigón

Opciones de cálculo - EN 1992-1-1:2004 AC:2008; Regulación - EN 1990:2002

General Hormigón **Arm. longitudinales** Arm. transversales

Tipo de acero:

Clase:  barras corrugadas

Resistencia característica:  (MPa)

Clase de ductilidad:

	<input checked="" type="checkbox"/>	Nombre	d (mm)	A (cm <sup>2</sup> )
1	<input type="checkbox"/>	6	6,0	0,28
2	<input type="checkbox"/>	8	8,0	0,50
3	<input checked="" type="checkbox"/>	10	10,0	0,79
4	<input checked="" type="checkbox"/>	12	12,0	1,13
5	<input type="checkbox"/>	14	14,0	1,54
6	<input checked="" type="checkbox"/>	16	16,0	2,01
7	<input checked="" type="checkbox"/>	20	20,0	3,14
8	<input checked="" type="checkbox"/>	25	25,0	4,91
9	<input type="checkbox"/>	32	32,0	8,04
10	<input type="checkbox"/>	40	40,0	12,57

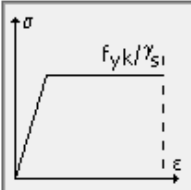




Figura 290 Opciones de cálculo. Arm. longitudinales

Nótese cómo se han deseleccionado los diámetros que se considera, por experiencia profesional, no van a formar parte del armado longitudinal. Los más pequeños, de 6 y 8 mm, por ser propios de los estribos (armaduras transversales); los más grandes, de 32, y 40, por no tratarse de una estructura especialmente extraordinaria que pudiera necesitarlos; y los de 14 mm, para facilitar la inspección visual en obra (procedimiento habitual).

Se procede a hacer lo mismo con la última ventana, de armaduras transversales, en la que sólo se seleccionaron los diámetros de 6 y 8 mm:

	<input checked="" type="checkbox"/>	Nombre	d (mm)	A (cm2)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	6	6,0	0,28
2	<input checked="" type="checkbox"/>	8	8,0	0,50
3	<input type="checkbox"/>	10	10,0	0,79
4	<input type="checkbox"/>	12	12,0	1,13
5	<input type="checkbox"/>	14	14,0	1,54
6	<input type="checkbox"/>	16	16,0	2,01
7	<input type="checkbox"/>	20	20,0	3,14
8	<input type="checkbox"/>	25	25,0	4,91
9	<input type="checkbox"/>	32	32,0	8,04
10	<input type="checkbox"/>	40	40,0	12,57

Figura 291 Opciones de cálculo. Arm. transversales

Para mayor facilidad a la hora de calcular el resto de pilares, esta configuración puede guardarse en la base de datos del programa. Así, volver a repetir cálculos con las mismas características se convierte en una tarea mucho más sencilla. Esto puede hacerse en el botón Guardar como... que aparece en la parte derecha de estas ventanas, y que se ha obviado en figuras previas para mejorar la visibilidad de los datos:

Método de cálculo de las columnas rectangulares solicitadas por flexión bidire

☐  $(M_{Edx} / M_{Rdx})^\alpha + (M_{Edy} / M_{Rdy})^\alpha \leq 1.0$   
☒ resultante de la distribución de tensiones

Método de análisis simplificado de de segundo orden

☒ rigidez nominal  
☐ curva nominal  
☐ Rigidez nominal con módulo eficaz de elasticidad 5.8.7.2 (4)

OK  
Cancelar  
Ayuda  
Artepref  
Guardar como...  
Eliminar

Figura 292 Opciones de cálculo. Guardar configuración

Se ha visto conveniente denominar a la nueva configuración "Artepref", y así ha quedado guardada.

**Disposición de las armaduras**

De nuevo, supone un comando con varias ventanas que rellenar. En la primera, se definen normas de separación mínima y número mínimo de barras en cada posición de la barra para armaduras longitudinales:

**Disposición de armaduras - EN 1992-1-1:2004 AC:2008**

**Barras longitudinales** | Barras transversales | Esperas | Formas

**Barras de esquina**  
 Diámetro: Auto  
 Número mínimo de barras en un conjunto: 2

**Barras intermedias**  
☒ Diámetros iguales  
 Diámetro: Auto  
 Número mínimo de barras en un conjunto: 1

**Barras de construcción**  
☐ Generar armaduras de construcción  
☐ Diámetro como para las intermedias  
 Diámetro: Auto  
☒ Con estribos

☒ Todas con estribos

**Disposición de barras (m)**

☒ 
 Límites separ.  
 $e1 \geq 0,03$   
 $e2 \leq 0,40$   
 Número de barras  
 $n_b = 4$   
 $n_h = 4$

☐

Restablecer

Figura 293 Disposición de armaduras. Barras longitudinales

La segunda ventana, similar a la primera, conlleva la selección de características propias para el armado transversal. En principio, y a falta de más información, se han dejado por defecto, salvo por la elección de uso de estribos dobles si se viera necesario.

Respecto a los apartado de Esperas y Formas, no se modifican de lo que viene por defecto.

Igual que se ha hecho con las Opciones de cálculo, esta configuración escogida puede guardarse para aplicar más adelante de la misma manera que entonces.

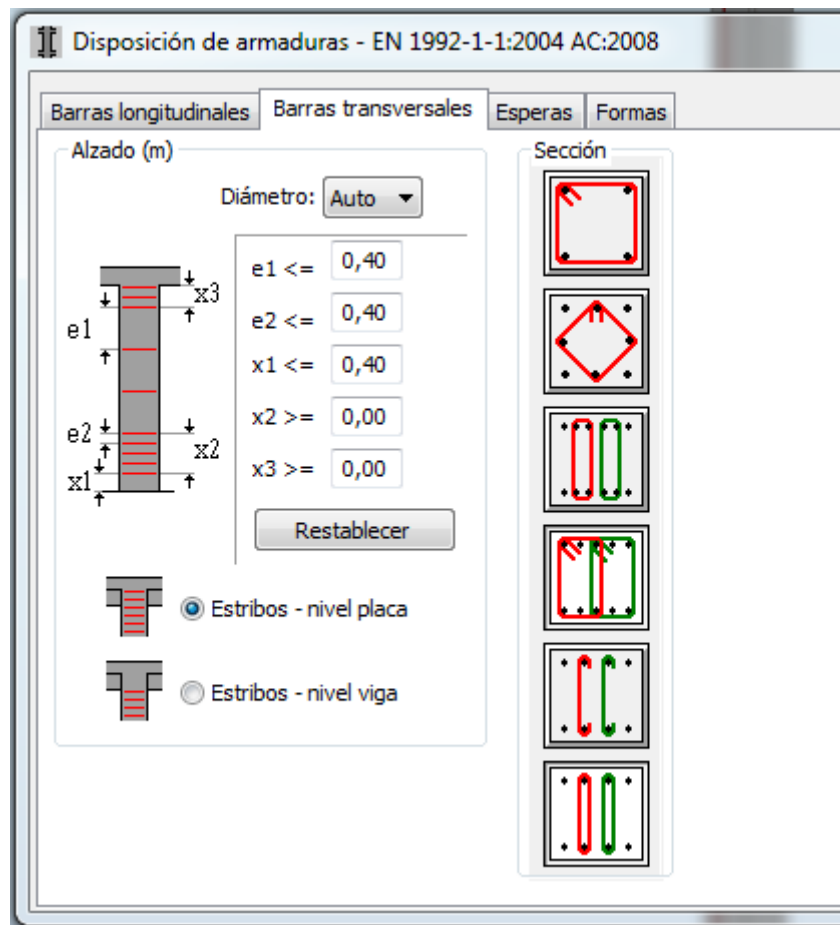


Figura 294 Disposición de armaduras. Barras transversales

Con estos dos primeros apartados rellenos, y sabiendo que las cargas se obtienen del cálculo de la estructura, se procede a calcular la sección del botón “Calcular” en la barra de herramientas superior:

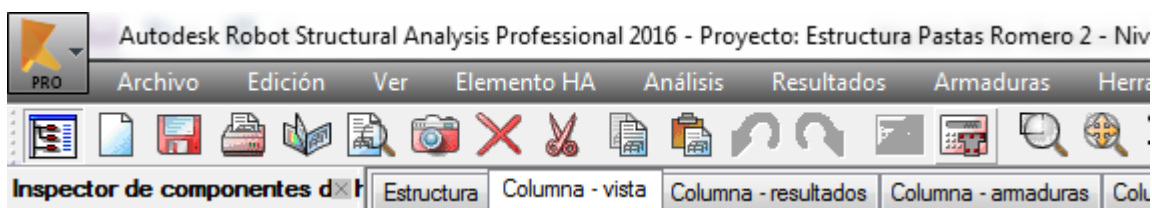


Figura 295 Localización comando Calcular

Las pestañas de Columna – resultados, Columna – armaduras, y Columna – nota de cálculo, ahora ofrecerán toda una serie de información referente a los resultados obtenidos, información que puede verse en las siguientes figuras:

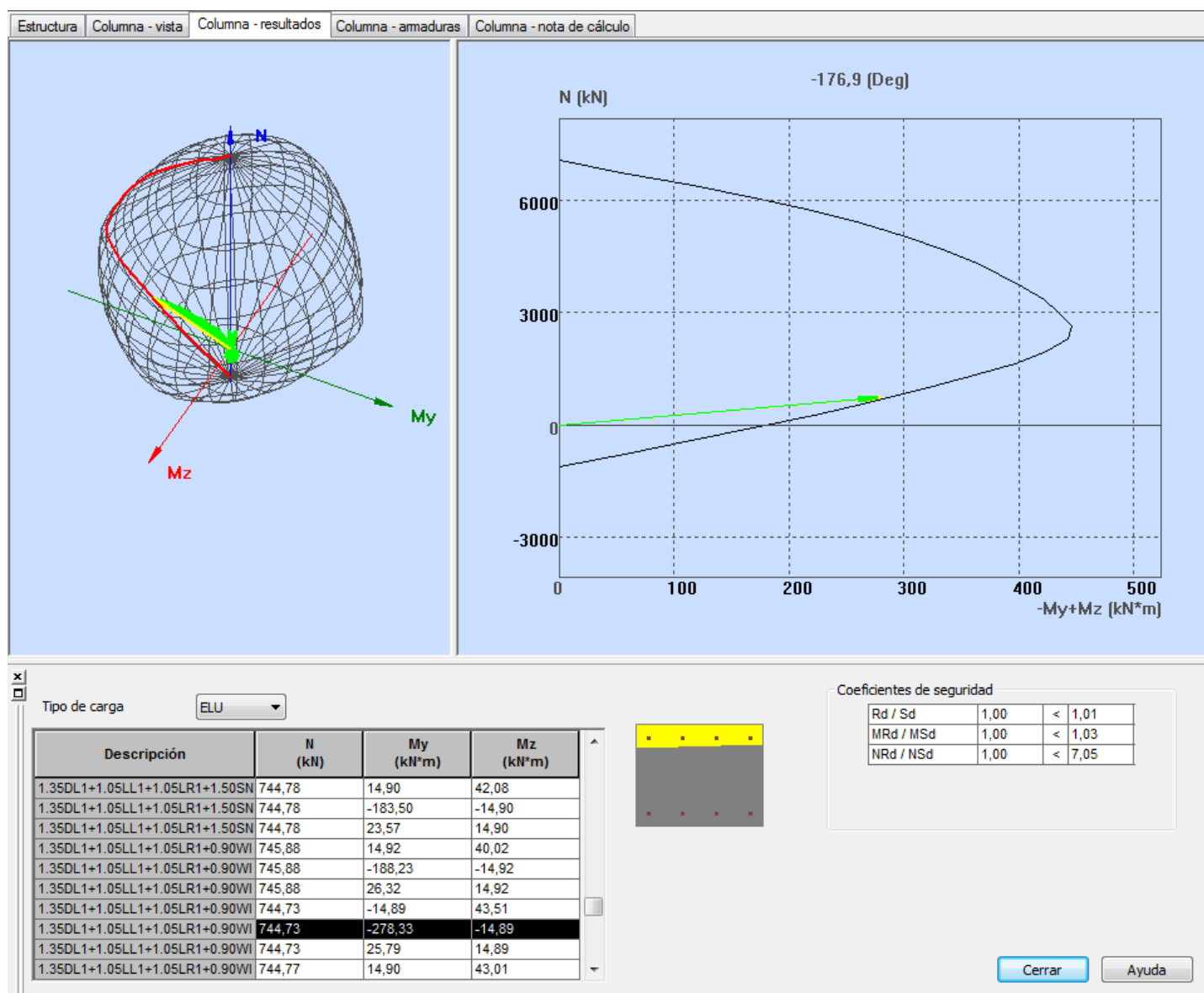


Figura 296 Pestaña Columna – resultados (pilar 50x40)

Si una vez calculado se accede a la opción “Solicitud de la sección”, se llevaría al usuario a la sección inferior de la figura previa, donde se muestra qué combinación es la que da la situación más desfavorable en ese pilar, e información referente a los coeficientes de seguridad.



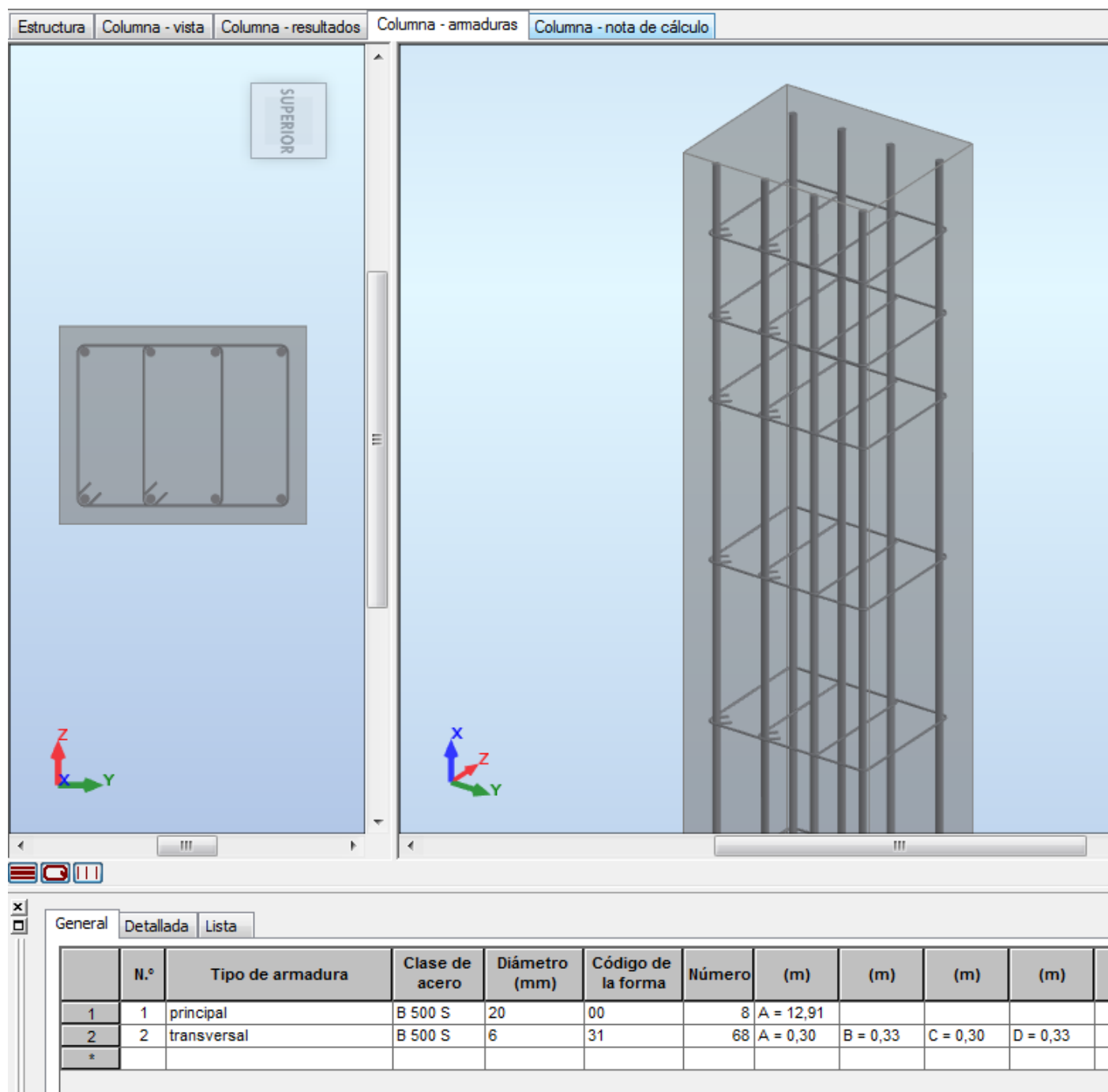


Figura 297 Pestaña Columna – armaduras (pilar 50x40)

Se obtiene un armado como el que puede verse en la imagen previa. Ocho barras de armado longitudinal de diámetro 20 mm, dispuestas como puede verse en el corte de la sección, y 68 estribos de diámetro 6 mm.

Finalmente, se obtiene la nota de cálculo, que sería el documento que se presentaría en cualquier anexo de cálculo que se hiciese de esta estructura. Será la hoja que, vista ya la metodología con este ejemplo, de ahora en adelante, y para el resto de pilares, se adjuntará en los apartados posteriores de este anexo.

Estructura	Columna - vista	Columna - resultados	Columna - armaduras	Columna - nota de cálculo	
------------	-----------------	----------------------	---------------------	---------------------------	--

## 1 Nivel:

- Nombre : Nivel +12,54
- Cota de nivel : -0,40 (m)
- Coeficiente de fluencia del hormigón :  $\varphi_p = 1,74$
- Clase de cemento : N
- Tipo de ambiente : X0
- Clase de estructura : S1

## 2 Columna: Columna186

Número: 1

### 2.1 Característica de los materiales:

- Hormigón: : HA - 45  $f_{ck} = 45,00$  (MPa)
- Densidad : 2501,36 (kg/m<sup>3</sup>)
- Diámetro del granulado : 20,0 (mm)
- Armaduras longitudinales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)
- Clase de ductilidad : C
- Armaduras transversales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)

### 2.2 Geometría:

- 2.2.1 Rectángulo 50,0 x 40,0 (cm)
- 2.2.2 Altura: L = 12,94 (m)
- 2.2.3 Espesor de la losa = 0,00 (m)
- 2.2.4 Altura de la viga = 0,00 (m)
- 2.2.5 Recubrimiento de la armadura = 3,5 (cm)

### 2.3 Opciones de cálculo:

- Cálculos según la norma : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Disposiciones sísmicas : sin disposiciones
- Columna prefabricada : sí
- Predimensionamiento : no
- Tomar en cuenta la esbeltez : sí
- Compresión : con flexión
- Estribos : hacia la losa
- Clase de resistencia al fuego: : sin disposiciones

### 2.4 Cargas:

Caso	Natura	Grupo	$\gamma_f$	N	My(s)	My(i)	Mz(s)	Mz(i)
				(kN)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)
DL1	peso propio	186	1,35	345,14	0,02	2,84	10,10	1,63
LL1	carga viva	186	1,50	114,29	0,06	3,27	-1,89	3,16
WIND1 X+	viento	186	1,50	1,22	0,47	3,02	-2,31	2,27
SNOW1	Nieve	186	1,50	84,39	0,02	0,13	7,63	-0,62
LR1	carga viva	186	1,50	30,72	0,01	0,05	2,78	-0,23
WIND2 Y-	viento	186	1,50	-0,05	-0,37	2,46	1,59	-2,45

Figura 298 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 1)

WIND3 X-	viento	186	1,50	-0,01	0,25	1,65	1,04	-1,59
WIND4 Y	viento	186	1,50	-0,07	0,05	-3,79	1,96	-2,81

$\gamma_f$  - coeficiente de seguridad parcial

## 2.5 Resultados de los cálculos:

Coeficiente de seguridad  $R_d/E_d = 1,01 > 1.0$

### 2.5.1 Análisis ELU/ACC

Combinación dimensionante: 1.35DL1+1.05LL1+1.05LR1+0.90WIND2 Y-+1.50SNOW1 (C)

Tipo de combinación: ELU

Esfuerzos seccionales:

$N_{sd} = 744,73$  (kN)     $M_{sdy} = -21,25$  (kN\*m)     $M_{sdz} = -8,61$  (kN\*m)

Esfuerzos de cálculo:

sección en el medio del pilar

$N = 744,73$  (kN)     $N^*etotz = -278,33$  (kN\*m)     $N^*etoty = -14,89$  (kN\*m)

Excentricidad:	$e_z$ (My/N)	$e_y$ (Mz/N)
estático	$e_{Ed} = -2,9$ (cm)	$-1,2$ (cm)
Imperfección	$e_i = 2,2$ (cm)	$0,0$ (cm)
inicial	$e_0 = -0,7$ (cm)	$-1,2$ (cm)
mínimo	$e_{min} = 2,0$ (cm)	$2,0$ (cm)
total	$e_{tot} = -37,4$ (cm)	$-2,0$ (cm)

#### 2.5.1.1. Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.5.1.1.1 Análisis de la esbeltez

Estructura intraslacional

L (m)	$L_0$ (m)	$\lambda$	$\lambda_{lim}$	
12,94	12,94	112,06	34,42	Columna esbelta

##### 2.5.1.1.2 Análisis de pandeo

$M_2 = 9,72$  (kN\*m)     $M_1 = -0,20$  (kN\*m)     $M_{mid} = -21,25$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez considerada

$M_0 = -21,25$  (kN\*m)

$e_a = 61 \cdot l_0/2 = 2,2$  (cm)

$$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,00$$

$$\theta_0 = 0,01$$

$$\alpha_h = 0,67$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

Método de rigidez nominal

$$\left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] = 7,46$$

Figura 299 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 2)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 1,00 \\
 N_b &= (\pi^2 * EJ) / l_0^2 = 860,04 \text{ (kN)} \\
 EJ &= K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 14591,02 \text{ (kN*m}^2\text{)} \\
 \varphi_{ef} &= 1,74 \\
 J_c &= 266666,7 \text{ (cm}^4\text{)} \\
 J_s &= 5505,1 \text{ (cm}^4\text{)} \\
 K_c &= 0,04 \text{ ()} \\
 K_s &= 1,00 \text{ ()} \\
 M_{Edmin} &= 14,89 \text{ (kN*m)} \\
 M_{Ed} &= \max \left\{ M_{Edmin}; \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = -278,33 \text{ (kN*m)}
 \end{aligned}$$

#### 2.5.1.2. Análisis detallado-Dirección Z:

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 27,44 \text{ (kN*m)} & M_1 &= 2,15 \text{ (kN*m)} & M_{mid} &= -8,61 \text{ (kN*m)} \\
 \text{Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada} \\
 M_0 &= -8,61 \text{ (kN*m)} \\
 e_a &= 0,0 \text{ (cm)} \\
 M_a &= N * e_a = 0,00 \text{ (kN*m)} \\
 M_{Edmin} &= 14,89 \text{ (kN*m)} \\
 M_{0Ed} &= \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = -14,89 \text{ (kN*m)}
 \end{aligned}$$

#### 2.5.2 Armadura:

$$\begin{aligned}
 \text{sección de acero real} & & A_{sr} &= 25,13 \text{ (cm}^2\text{)} \\
 \text{Densidad del armado:} & & \rho &= 1,26 \%
 \end{aligned}$$

### 2.6 Armadura:

#### Barras principales (B 500 S):

- 8  $\phi 20$  = 12,91 (m)

#### Armaduras transversales: (B 500 S):

$$\begin{aligned}
 \text{Estribos} & & 68 \phi 6 & & l &= 1,31 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

## 3 Cuantitativo:

- Volumen del hormigón = 2,59 (m<sup>3</sup>)
- Superficie de encofrado = 23,29 (m<sup>2</sup>)
- Acero B 500 S
  - Peso total = 274,50 (kG)
  - Densidad = 106,07 (kG/m<sup>3</sup>)
  - Diámetro medio = 13,5 (mm)
  - Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (kG)	Número (piezas)	Peso total (kG)
6	1,31	0,29	68	19,81
20	12,91	31,84	8	254,69

Figura 300 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 3)

Llegado este punto, y explicada ya la metodología de operación lo que se hace es calcular el resto de pilares, y homogeneizar el resultado una vez se conoce la opción más desfavorable. Para el caso ya realizado, ya se ha escogido el pilar de 50x40 más desfavorable, y el que da la mayor necesidad de armado, por tanto, y adjuntada su nota de cálculo, se da por armado de manera satisfactoria.

Se adjuntan a continuación las notas de cálculo de los armados para el pilar más desfavorable dentro de cada tipología de pilar.

## 7.2 Pilar 60x60

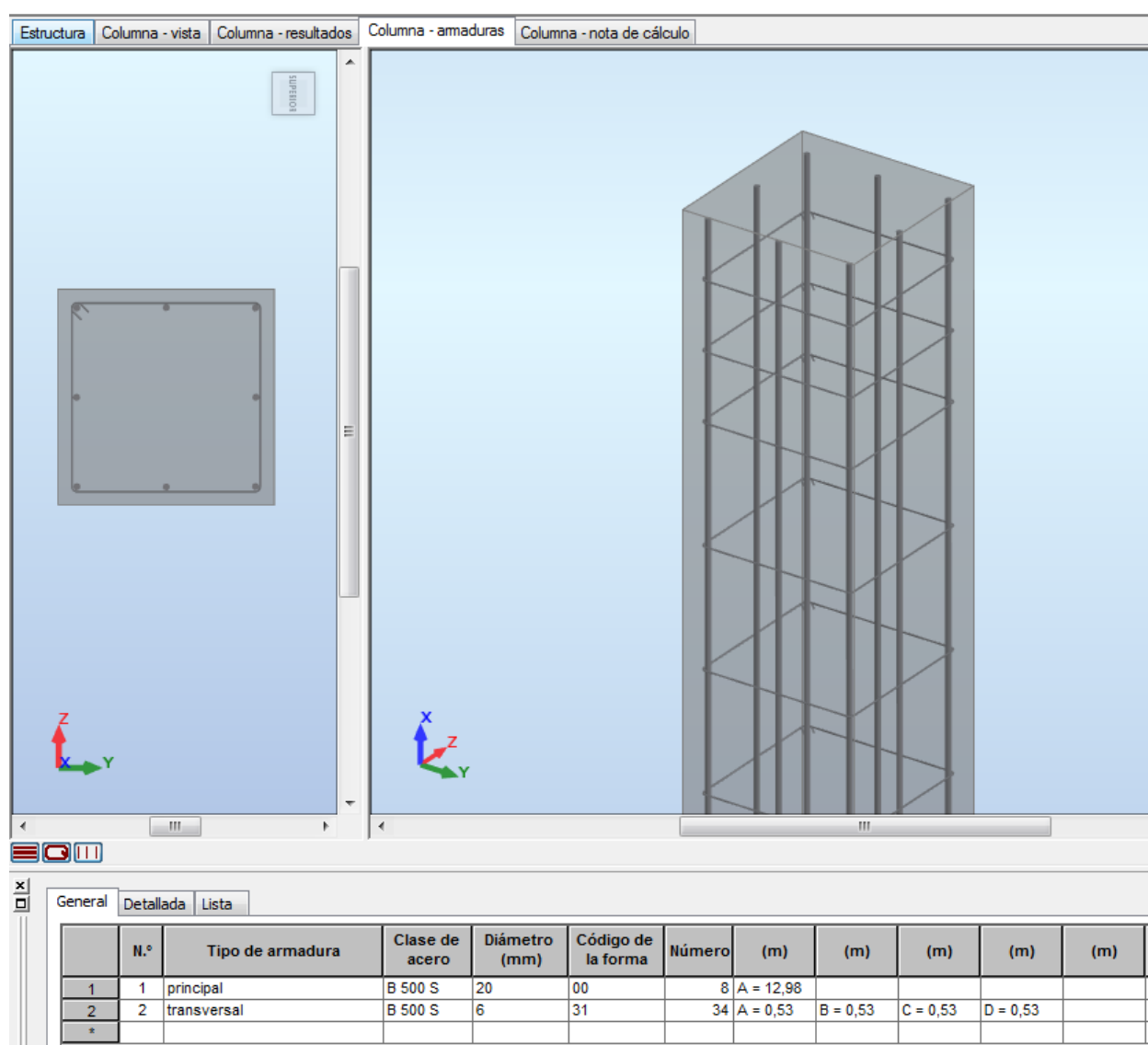


Figura 301 Pestaña Columna – armaduras (pilar 60x60)

Estructura	Columna - vista	Columna - resultados	Columna - armaduras	Columna - nota de cálculo				
1 Nivel:								
• Nombre	:							
• Cota de nivel	:	-0,40 (m)						
• Coeficiente de fluencia del hormigón	:	$\phi_c = 1,67$						
• Clase de cemento	:	N						
• Tipo de ambiente	:	X0						
• Clase de estructura	:	S1						
2 Columna: Columna38..44			Número: 7					
2.1 Característica de los materiales:								
• Hormigón:	:	HA - 45	$f_{ck} = 45,00$ (MPa)					
Densidad	:	2501,36 (kg/m3)						
Diámetro del granulado	:	20,0 (mm)						
• Armaduras longitudinales	:	B 500 S	$f_{yk} = 500,00$ (MPa)					
Clase de ductilidad	:	C						
• Armaduras transversales	:	B 500 S	$f_{yk} = 500,00$ (MPa)					
2.2 Geometría:								
2.2.1 Rectángulo	:	60,0 x 60,0 (cm)						
2.2.2 Altura: L	:	= 13,01 (m)						
2.2.3 Espesor de la losa	:	= 0,00 (m)						
2.2.4 Altura de la viga	:	= 0,00 (m)						
2.2.5 Recubrimiento de la armadura	:	= 3,5 (cm)						
2.3 Opciones de cálculo:								
• Cálculos según la norma	:	EN 1992-1-1:2004 AC:2008						
• Disposiciones sísmicas	:	sin disposiciones						
• Columna prefabricada	:	sí						
• Predimensionamiento	:	no						
• Tomar en cuenta la esbeltez	:	sí						
• Compresión	:	con flexión						
• Estribos	:	hacia la losa						
• Clase de resistencia al fuego:	:	sin disposiciones						
2.4 Cargas:								
Caso	Natura	Grupo	$\gamma_r$	N	$M_y(x)$	$M_y(y)$	$M_z(x)$	$M_z(y)$
DL1	peso propio	38	1,35	390,86	0,00	-0,37	0,00	0,00
DL1	peso propio	39	1,35	519,53	0,00	0,28	0,00	0,00
DL1	peso propio	40	1,35	493,82	0,00	0,04	0,00	0,00
DL1	peso propio	41	1,35	561,43	0,00	-0,38	0,00	0,00
DL1	peso propio	42	1,35	497,33	0,00	0,13	0,00	0,00
DL1	peso propio	43	1,35	519,38	0,00	-0,05	0,00	0,00
DL1	peso propio	44	1,35	391,75	0,00	-0,03	0,00	0,00
LL1	carga viva	38	1,50	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	39	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	40	1,50	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	41	1,50	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	42	1,50	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	43	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WIND1 X+	viento	38	1,50	0,04	0,00	2,27	0,00	21,97
WIND1 X+	viento	39	1,50	0,05	0,00	2,98	0,00	8,62
WIND1 X+	viento	40	1,50	0,05	0,00	2,96	0,00	8,61
WIND1 X+	viento	41	1,50	0,05	0,00	2,98	0,00	8,61
WIND1 X+	viento	42	1,50	0,04	0,00	0,52	0,00	8,60
WIND1 X+	viento	43	1,50	0,04	0,00	-0,02	0,00	8,60
WIND1 X+	viento	44	1,50	0,02	0,00	-0,04	0,00	15,38
SNOW1	Nieve	38	1,50	147,75	0,00	-0,19	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	39	1,50	221,99	0,00	0,14	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	40	1,50	206,25	0,00	0,03	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	41	1,50	249,60	0,00	-0,20	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	42	1,50	208,44	0,00	0,07	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	43	1,50	218,58	0,00	-0,02	0,00	0,00
SNOW1	Nieve	44	1,50	126,79	0,00	-0,01	0,00	0,00
LR1	carga viva	38	1,50	54,09	0,00	-0,07	0,00	0,00
LR1	carga viva	39	1,50	83,00	0,00	0,05	0,00	0,00
LR1	carga viva	40	1,50	77,27	0,00	0,01	0,00	0,00
LR1	carga viva	41	1,50	93,51	0,00	-0,07	0,00	0,00
LR1	carga viva	42	1,50	78,09	0,00	0,03	0,00	0,00
LR1	carga viva	43	1,50	81,78	0,00	-0,01	0,00	0,00
LR1	carga viva	44	1,50	46,63	0,00	-0,01	0,00	0,00
WIND2 Y-	viento	38	1,50	-0,03	0,00	10,52	0,00	-9,56
WIND2 Y-	viento	39	1,50	-0,00	0,00	10,28	0,00	-0,03
WIND2 Y-	viento	40	1,50	-0,02	0,00	11,98	0,00	-0,01
WIND2 Y-	viento	41	1,50	-0,04	0,00	15,88	0,00	-0,00
WIND2 Y-	viento	42	1,50	-0,01	0,00	12,26	0,00	0,01
WIND2 Y-	viento	43	1,50	-0,01	0,00	10,50	0,00	0,03
WIND2 Y-	viento	44	1,50	-0,01	0,00	5,28	0,00	9,56

Figura 302 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 1)

WIND3 X- viento	38	1,50	0,02	0,00	-0,37	0,00	-15,38
WIND3 X- viento	39	1,50	0,04	0,00	-0,13	0,00	-8,60
WIND3 X- viento	40	1,50	0,04	0,00	0,05	0,00	-8,60
WIND3 X- viento	41	1,50	0,08	0,00	0,08	0,00	-8,61
WIND3 X- viento	42	1,50	0,08	0,00	0,04	0,00	-8,61
WIND3 X- viento	43	1,50	0,08	0,00	0,00	0,00	-8,62
WIND3 X- viento	44	1,50	0,04	0,00	0,04	0,00	-21,97
WIND4 Y- viento	38	1,50	0,02	0,00	-10,76	0,00	-9,56
WIND4 Y- viento	39	1,50	-0,03	0,00	-10,23	0,00	-0,03
WIND4 Y- viento	40	1,50	-0,02	0,00	-10,45	0,00	-0,01
WIND4 Y- viento	41	1,50	-0,01	0,00	-11,26	0,00	-0,00
WIND4 Y- viento	42	1,50	-0,02	0,00	-10,64	0,00	0,01
WIND4 Y- viento	43	1,50	-0,01	0,00	-10,40	0,00	0,03
WIND4 Y- viento	44	1,50	-0,01	0,00	-5,44	0,00	9,56

$\gamma_r$  - coeficiente de seguridad parcial

## 2.5 Resultados de los cálculos:

Coeficiente de seguridad  $R_d/E_d = 2,28 > 1.0$

### 2.5.1 Análisis ELU/ACC

Combinación dimensionante: 1.35DL1+1.05LL1+1.05LR1+0.90WIND2 Y-+1.50SNOW1 (C)

Tipo de combinación: ELU

Esfuerzos seccionales:

$N_{sd} = 1230,49$  (kN)  $M_{sdy} = 8,04$  (kN\*m)  $M_{sdz} = -0,00$  (kN\*m)

Esfuerzos de cálculo:

sección en el medio del pilar

$N = 1230,49$  (kN)  $N^*etotz = 92,22$  (kN\*m)  $N^*etoty = -24,61$  (kN\*m)

Excentricidad:	$e_x$ (m/N)	$e_y$ (m/N)
estático	$e_{Ed}$ : 0,7 (cm)	0,0 (cm)
imperfección	$e_i$ : 2,2 (cm)	0,0 (cm)
inicial	$e_0$ : 2,8 (cm)	0,0 (cm)
mínimo	$e_{min}$ : 2,0 (cm)	2,0 (cm)
total	$e_{tot}$ : 7,5 (cm)	-2,0 (cm)

#### 2.5.1.1. Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.5.1.1.1 Análisis de la esbeltez

Estructura intraseccional

L (m)	$L_0$ (m)	$\lambda$	$\lambda_{lim}$	Columna esbelta
13,01	13,01	75,11	39,19	

##### 2.5.1.1.2 Análisis de pandeo

$M_2 = 13,40$  (kN\*m)  $M_1 = 0,00$  (kN\*m)  $M_{mid} = 8,04$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez considerada

$M_{0e} = 0,8 \cdot M_{02} - 0,4 \cdot M_{01} = 8,04$  (kN\*m)

$M_{0e,min} = 0,4 \cdot M_{02}$

$M_0 = \max(M_{0e}, M_{0e,min})$

$e_s = 81 \cdot l_0/2 = 2,2$  (cm)

$\delta_1 = \delta_0 + \alpha_h \cdot \alpha_m = 0,00$

$\delta_0 = 0,01$

$\alpha_h = 0,67$

$\alpha_m = (0,5(1+1/m))/0,5 = 1,00$

$m = 1,00$

Método de rigidez nominal

$$\left[ 1 + \frac{\beta}{(N_x/N) - 1} \right] = 2,66$$

$\beta = 1,23$

$N_0 = (\pi^2 \cdot EI) / l_0^2 = 2147,17$  (kN)

$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s = 36823,12$  (kN\*m<sup>2</sup>)

$\eta_{ef} = 0,80$

$I_c = 1080000,0$  (cm<sup>4</sup>)

$I_s = 11624,5$  (cm<sup>4</sup>)

$K_c = 0,04$  ()

$K_s = 1,00$  ()

$M_{Ed,min} = 24,61$  (kN\*m)

$$M_{sd} = \max \left\{ M_{sd,min}; \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_x/N) - 1} \right] M_{0e} \right\} = 92,22 \text{ (kN*m)}$$

Figura 303 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 2)



## 2.5.1.2. Análisis detallado-Dirección Z:

$M2 = 0,00$  (kN\*m)       $M1 = -0,00$  (kN\*m)       $Mmid = -0,00$  (kN\*m)  
 Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada  
 $M0e = 0,6*M02 + 0,4*M01 = -0,00$  (kN\*m)  
 $M0emin = 0,4*M02$   
 $M0 = \max(M0e, M0emin)$   
 $es = 0,0$  (cm)  
 $Ms = N*es = 0,00$  (kN\*m)  
 $MEdmin = 24,61$  (kN\*m)  
 $M0Ed = \max(MEdmin, M0 + Ms) = -24,61$  (kN\*m)

## 2.5.2 Armadura:

sección de acero real       $Asr = 25,13$  (cm<sup>2</sup>)  
 Densidad del armado:       $\rho = 0,70$  %

## 2.6 Armadura:

Barras principales (B 500 S):

- 8  $\phi 20$        $l = 12,98$  (m)

Armaduras transversales: (B 500 S):

Estribos      34  $\phi 8$        $l = 2,18$  (m)

## 3 Cuantitativo:

- Volumen del hormigón      = 32,79 (m<sup>3</sup>)
- Superficie de encofrado      = 218,57 (m<sup>2</sup>)

- Acero B 500 S

- Peso total = 1907,58 (kG)
- Densidad = 58,18 (kG/m<sup>3</sup>)
- Diámetro medio = 14,2 (mm)
- Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (kG)	Número (piezas)	Peso total (kG)
8	2,18	0,48	238	115,06
20	12,98	32,01	56	1792,52

Figura 304 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 3)

### 7.3 Pilar 60x70

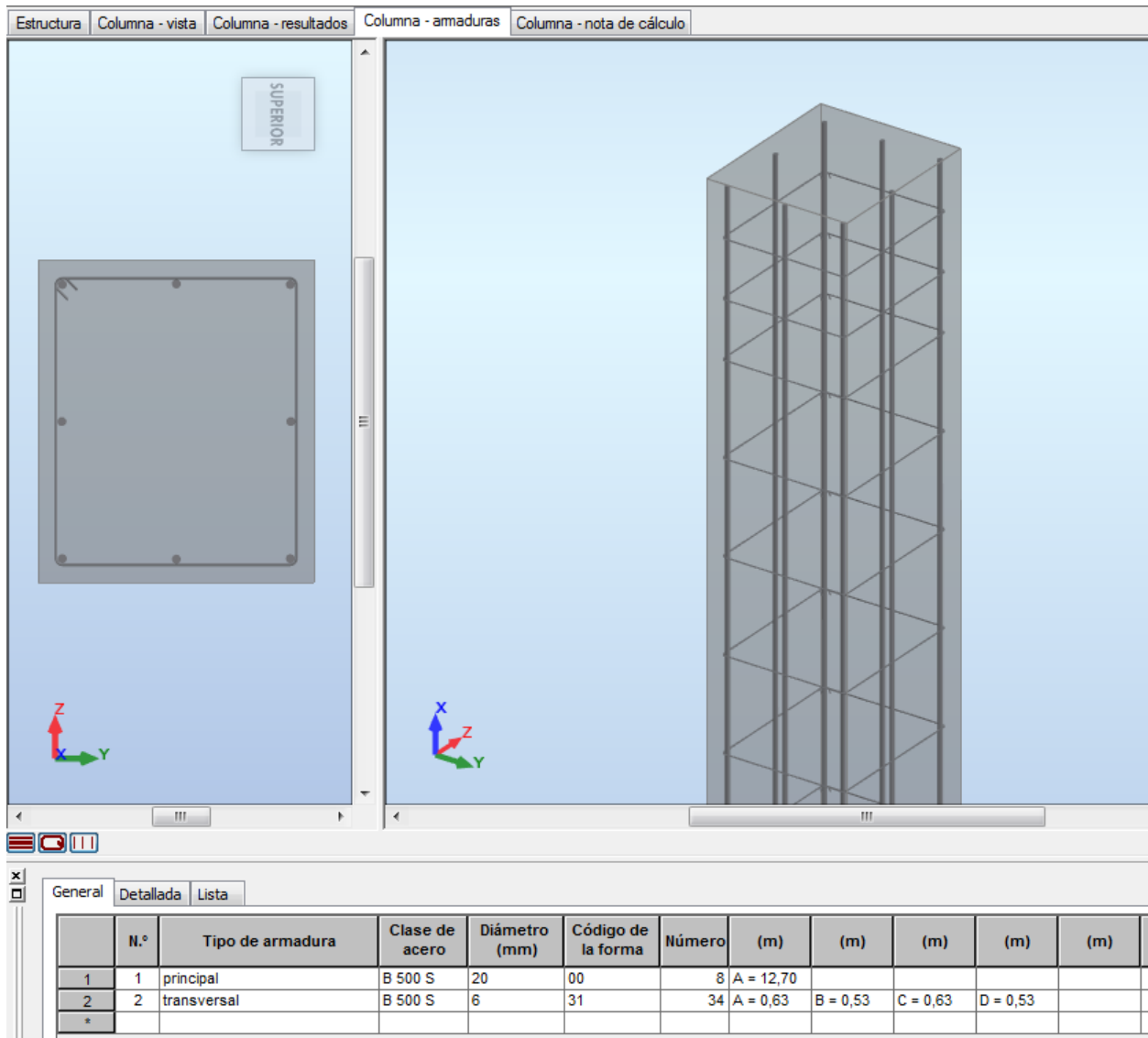


Figura 305 Pestaña Columna – armaduras (pilar 60x70)

Estructura	Columna - vista	Columna - resultados	Columna - armaduras	Columna - nota de cálculo				
1 Nivel:								
• Nombre	:							
• Cota de nivel	:	-0,40 (m)						
• Coeficiente de fluencia del hormigón	:	$\phi_p = 1,66$						
• Clase de cemento	:	N						
• Tipo de ambiente	:	X0						
• Clase de estructura	:	S1						
2 Columna: Columna33..37 Número: 5								
2.1 Característica de los materiales:								
• Hormigón:	:	HA - 45		$f_{ck} = 45,00$ (MPa)				
Densidad	:	2501,36 (kG/m3)						
Diámetro del granulado	:	20,0 (mm)						
• Armaduras longitudinales	:	B 500 S		$f_{yk} = 500,00$ (MPa)				
Clase de ductilidad	:	C						
• Armaduras transversales	:	B 500 S		$f_{yk} = 500,00$ (MPa)				
2.2 Geometría:								
2.2.1 Rectángulo	:	60,0 x 70,0 (cm)						
2.2.2 Altura: L	:	= 12,73 (m)						
2.2.3 Espesor de la losa	:	= 0,00 (m)						
2.2.4 Altura de la viga	:	= 0,00 (m)						
2.2.5 Recubrimiento de la armadura	:	= 3,5 (cm)						
2.3 Opciones de cálculo:								
• Cálculos según la norma	:	EN 1992-1-1:2004 AC:2008						
• Disposiciones sísmicas	:	sin disposiciones						
• Columna prefabricada	:	sí						
• Predimensionamiento	:	no						
• Tomar en cuenta la esbeltez	:	sí						
• Compresión	:	con flexión						
• Estribos	:	hacia la losa						
• Clase de resistencia al fuego:	:	sin disposiciones						
2.4 Cargas:								
Caso	Natura	Grupo	$\gamma_f$	N	My(s)	My(i)	Mz(s)	Mz(i)
				(kN)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)
DL1	peso propio	33	1,35	507,70	0,00	-0,07	0,00	0,00
DL1	peso propio	34	1,35	1058,48	0,00	0,55	0,00	0,00
DL1	peso propio	35	1,35	1072,89	0,00	-0,21	0,00	0,00
DL1	peso propio	36	1,35	1059,90	0,00	-0,17	0,00	0,00
DL1	peso propio	37	1,35	689,83	0,00	-0,17	0,00	0,00
LL1	carga viva	33	1,50	-0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	34	1,50	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LL1	carga viva	35	1,50	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00
WIND1 X+ viento		33	1,50	-0,00	0,00	1,40	0,00	3,27
WIND1 X+ viento		34	1,50	-0,01	0,00	4,55	0,00	3,28
WIND1 X+ viento		35	1,50	-0,01	0,00	4,54	0,00	3,28
WIND1 X+ viento		36	1,50	-0,00	0,00	0,30	0,00	3,29
WIND1 X+ viento		37	1,50	-0,00	0,00	-0,06	0,00	8,78
SNOW1 Nieve		33	1,50	183,11	0,00	-0,04	0,00	0,00
SNOW1 Nieve		34	1,50	471,68	0,00	0,28	0,00	0,00
SNOW1 Nieve		35	1,50	477,91	0,00	-0,12	0,00	0,00
SNOW1 Nieve		36	1,50	467,12	0,00	-0,11	0,00	0,00

Figura 306 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 1)

SNOW1	Nieve	37	1,50	252,19	0,00	-0,09	0,00	0,00
LR1	carga viva	33	1,50	66,68	0,00	-0,02	0,00	0,00
LR1	carga viva	34	1,50	174,77	0,00	0,10	0,00	0,00
LR1	carga viva	35	1,50	179,05	0,00	-0,04	0,00	0,00
LR1	carga viva	36	1,50	174,93	0,00	-0,04	0,00	0,00
LR1	carga viva	37	1,50	93,38	0,00	-0,03	0,00	0,00
WIND2 Y-	viento	33	1,50	-0,01	0,00	15,16	0,00	8,36
WIND2 Y-	viento	34	1,50	-0,01	0,00	16,36	0,00	8,37
WIND2 Y-	viento	35	1,50	-0,01	0,00	23,24	0,00	8,38
WIND2 Y-	viento	36	1,50	-0,01	0,00	18,86	0,00	8,40
WIND2 Y-	viento	37	1,50	-0,01	0,00	8,80	0,00	22,40
WIND3 X-	viento	33	1,50	-0,00	0,00	1,34	0,00	-7,64
WIND3 X-	viento	34	1,50	-0,00	0,00	-0,48	0,00	-7,64
WIND3 X-	viento	35	1,50	-0,00	0,00	0,02	0,00	-7,65
WIND3 X-	viento	36	1,50	-0,01	0,00	-0,07	0,00	-7,67
WIND3 X-	viento	37	1,50	-0,00	0,00	0,01	0,00	-20,45
WIND4 Y	viento	33	1,50	0,01	0,00	-16,04	0,00	5,45
WIND4 Y	viento	34	1,50	0,01	0,00	-16,60	0,00	5,46
WIND4 Y	viento	35	1,50	0,01	0,00	-17,94	0,00	5,47
WIND4 Y	viento	36	1,50	0,01	0,00	-17,34	0,00	5,48
WIND4 Y	viento	37	1,50	0,01	0,00	-9,00	0,00	14,61

$\gamma_t$  - coeficiente de seguridad parcial

## 2.5 Resultados de los cálculos:

Coficiente de seguridad  $R_d/E_d = 1,56 > 1.0$

### 2.5.1 Análisis ELU/ACC

Combinación dimensionante: 1.35DL1+1.05LR1+0.90WIND1 X++1.50SNOW1 (C)

Tipo de combinación: ELU

Esfuerzos seccionales:

$N_{sd} = 2315,23$  (kN)  $M_{sdy} = -0,10$  (kN\*m)  $M_{sdz} = 1,77$  (kN\*m)

Esfuerzos de cálculo:

sección en el medio del pilar

$N = 2315,23$  (kN)  $N^*etotz = -200,12$  (kN\*m)  $N^*etoty = 54,02$  (kN\*m)

Excentricidad:	ez (My/N)	ey (Mz/N)
estático	eEd: -0,0 (cm)	0,1 (cm)
Imperfección	ei: 2,1 (cm)	0,0 (cm)
inicial	e0: 2,1 (cm)	0,1 (cm)
mínimo	emin:	2,3 (cm)
total	etot: -8,6 (cm)	2,3 (cm)

#### 2.5.1.1. Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.5.1.1.1 Análisis de la esbeltez

Estructura intraslacional

L (m)	Lo (m)	$\lambda$	$\lambda_{lim}$	
12,73	12,73	63,00	26,56	Columna esbelta

##### 2.5.1.1.2 Análisis de pandeo

$M_2 = 0,00$  (kN\*m)  $M_1 = -0,17$  (kN\*m)  $M_{mid} = -0,10$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez considerada

$M_{0e} = 0,6*M_2 + 0,4*M_1 = -0,10$  (kN\*m)

$M_{0emin} = 0,4*M_2$

$M_0 = \max(M_{0e}, M_{0emin})$

$ea = \theta_1 * lo / 2 = 2,1$  (cm)

$\theta_1 = \theta_0 + \alpha_h * \alpha_m = 0,00$

$\theta_0 = 0,01$

$\alpha_h = 0,67$

$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^0.5 = 1,00$

$m = 1,00$

Figura 307 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 2)

**Método de rigidez nominal**

$$\left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B/N) - 1} \right] = 4,07$$

$$\beta = 1,23$$

$$N_b = (\pi^2 \cdot EJ) / l_0^2 = 3247,01 \text{ (kN)}$$

$$EJ = K_0 \cdot E_{cd} \cdot J_0 + K_s \cdot E_s \cdot J_s = 53313,97 \text{ (kN}\cdot\text{m}^2)$$

$$\varphi_{ef} = 1,88$$

$$J_0 = 1715000,0 \text{ (cm}^4)$$

$$J_s = 18776,7 \text{ (cm}^4)$$

$$K_0 = 0,04 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,00 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 54,02 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_B/N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = -200,12 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

**2.5.1.2. Análisis detallado-Dirección Z:**

$$M_2 = 2,98 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \quad M_1 = 0,00 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \quad M_{mid} = 1,77 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada

$$M_{0e} = 0,6 \cdot M_2 + 0,4 \cdot M_1 = 1,77 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$M_{0emin} = 0,4 \cdot M_2$$

$$M_0 = \max(M_{0e}, M_{0emin})$$

$$e_a = 0,0 \text{ (cm)}$$

$$M_a = N \cdot e_a = 0,00 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$M_{Edmin} = 54,02 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

$$M_{0Ed} = \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 54,02 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

**2.5.2 Armadura:**

sección de acero real

$$A_{sr} = 25,13 \text{ (cm}^2)$$

Densidad del armado:

$$\rho = 0,60 \%$$

**2.6 Armadura:****Barras principales (B 500 S):**

- 8  $\phi 20$   $l = 12,70$  (m)

**Armaduras transversales: (B 500 S):**

Estribos 34  $\phi 6$   $l = 2,38$  (m)

**3 Cuantitativo:**

- Volumen del hormigón = 26,73 (m<sup>3</sup>)
- Superficie de encofrado = 165,49 (m<sup>2</sup>)
- Acero B 500 S
  - Peso total = 1342,47 (kG)
  - Densidad = 50,22 (kG/m<sup>3</sup>)
  - Diámetro medio = 13,8 (mm)
  - Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (kG)	Número (piezas)	Peso total (kG)
6	2,38	0,53	170	89,73
20	12,70	31,32	40	1252,74

Figura 308 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 3)

## 7.4 Pilar 70x60

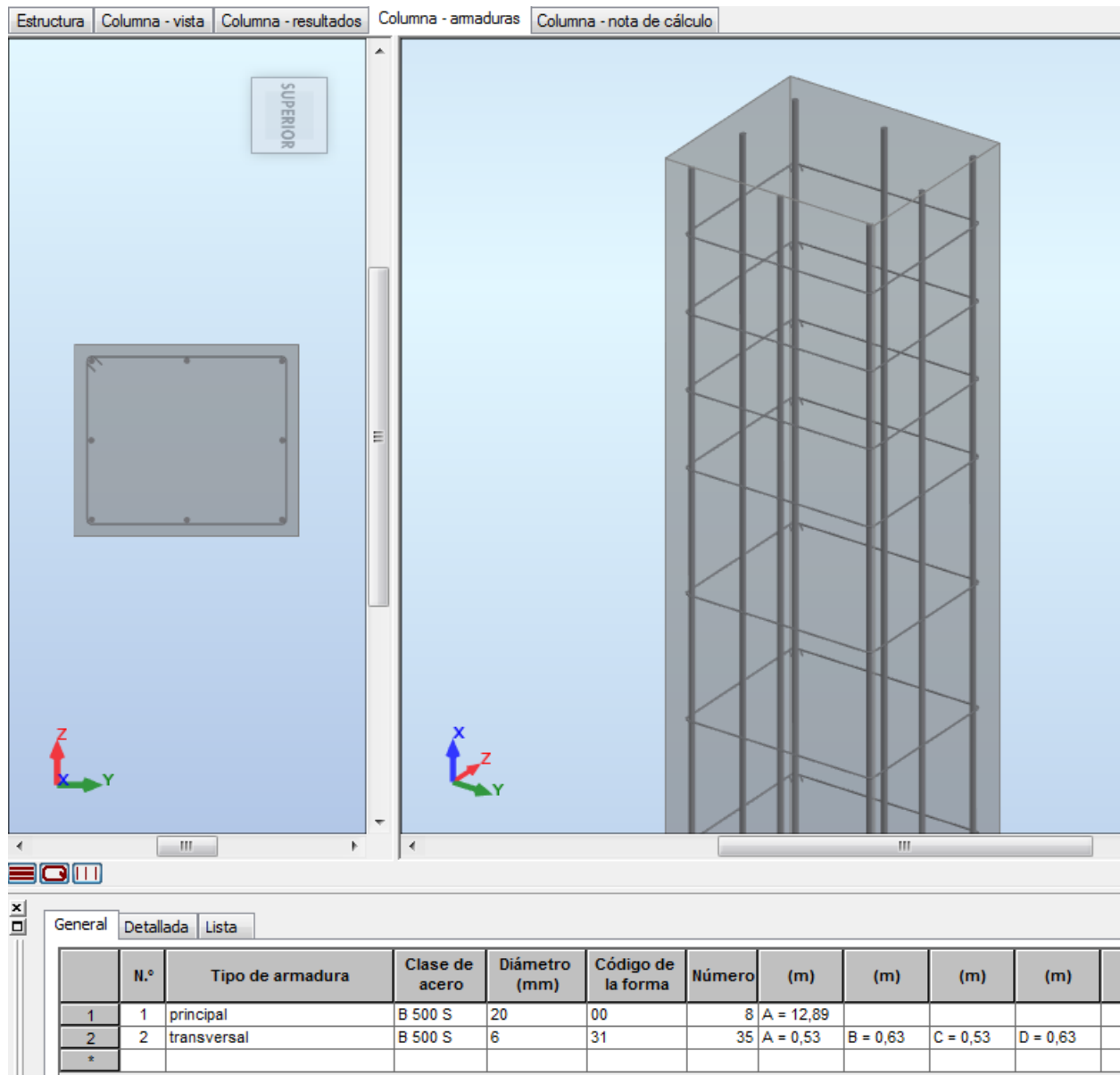


Figura 309 Pestaña Columna – armaduras (pilar 70x60)

Estructura	Columna - vista	Columna - resultados	Columna - armaduras	Columna - nota de cálculo	
------------	-----------------	----------------------	---------------------	---------------------------	--

**1 Nivel:**

- Nombre :
- Cota de nivel : -0,40 (m)
- Coeficiente de fluencia del hormigón :  $\phi_p = 1,66$
- Clase de cemento : N
- Tipo de ambiente : X0
- Clase de estructura : S1

**2 Columna: Columna117****Número: 1****2.1 Característica de los materiales:**

- Hormigón: : HA - 45  $f_{ck} = 45,00$  (MPa)
- Densidad : 2501,36 (kG/m3)
- Diámetro del granulado : 20,0 (mm)
- Armaduras longitudinales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)
- Clase de ductilidad : C
- Armaduras transversales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)

**2.2 Geometría:**

- 2.2.1 Rectángulo 70,0 x 60,0 (cm)
- 2.2.2 Altura: L = 12,92 (m)
- 2.2.3 Espesor de la losa = 0,00 (m)
- 2.2.4 Altura de la viga = 0,00 (m)
- 2.2.5 Recubrimiento de la armadura = 3,5 (cm)

**2.3 Opciones de cálculo:**

- Cálculos según la norma : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Disposiciones sísmicas : sin disposiciones
- Columna prefabricada : sí
- Predimensionamiento : no
- Tomar en cuenta la esbeltez : sí
- Compresión : con flexión
- Estribos : hacia la losa
- Clase de resistencia al fuego: : sin disposiciones

**2.4 Cargas:**

Caso	Natura	Grupo	$\gamma_r$	N	My(s)	My(i)	Mz(s)	Mz(i)
				(kN)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)	(kN*m)
DL1	peso propio	117	1,35	240,47	0,00	4,81	0,00	1,10
LL1	carga viva	117	1,50	73,87	0,00	2,36	0,00	-0,62
WIND1 X+	viento	117	1,50	0,00	0,00	-1,71	0,00	17,99
SNOW1	Nieve	117	1,50	0,00	0,00	0,16	0,00	0,72
LR1	carga viva	117	1,50	0,00	0,00	0,06	0,00	0,26
WIND2 Y-	viento	117	1,50	2,41	0,00	4,69	0,00	-16,71
WIND3 X-	viento	117	1,50	0,90	0,00	-0,87	0,00	-7,28
WIND4 Y	viento	117	1,50	2,20	0,00	-4,15	0,00	-20,05

 $\gamma_r$  - coeficiente de seguridad parcial

Figura 310 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 1)



## 2.5 Resultados de los cálculos:

Coefficiente de seguridad  $R_d/E_d = 3,62 > 1.0$

### 2.5.1 Análisis ELU/ACC

Combinación dimensionante: 1.35DL1+1.50LL1 (C)

Tipo de combinación: ELU

Esfuerzos seccionales:

$N_{sd} = 435,45$  (kN)     $M_{sdy} = -34,20$  (kN\*m)     $M_{sdz} = 37,69$  (kN\*m)

Esfuerzos de cálculo:

sección en el medio del pilar

$N = 435,45$  (kN)     $N^*etotz = -60,37$  (kN\*m)     $N^*etoty = 37,69$  (kN\*m)

Excentricidad:	$e_z$ (My/N)	$e_y$ (Mz/N)	
estático	$e_{Ed} = -7,9$ (cm)	$8,7$ (cm)	
Imperfección	$e_i = 2,2$ (cm)	$0,0$ (cm)	
inicial	$e_0 = -5,7$ (cm)	$8,7$ (cm)	
mínimo	$e_{min} =$	$2,0$ (cm)	$2,0$ (cm)
total	$e_{tot} = -13,9$ (cm)	$8,7$ (cm)	

#### 2.5.1.1. Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.5.1.1.1 Análisis de la esbeltez

Estructura intraslacional

L (m)	$L_0$ (m)	$\lambda$	$\lambda_{lim}$	
12,92	12,92	74,59	61,25	Columna esbelta

##### 2.5.1.1.2 Análisis de pandeo

$M_2 = 10,03$  (kN\*m)     $M_1 = 0,00$  (kN\*m)     $M_{mid} = -34,20$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez considerada

$M_0 = -34,20$  (kN\*m)

$e_a = 81 \cdot l_0/2 = 2,2$  (cm)

$$\theta_1 = \theta_0 + \alpha h \cdot \alpha_m = 0,00$$

$$\theta_0 = 0,01$$

$$\alpha h = 0,67$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

Método de rigidez nominal

$$\left[ 1 + \frac{\beta}{(N_s/N) - 1} \right] = 1,39$$

$$\beta = 1,00$$

$$N_b = (\pi^2 \cdot EJ) / l_0^2 = 1565,77$$
 (kN)

$$EJ = K_c \cdot E_{od} \cdot J_c + K_s \cdot E_s \cdot J_s = 26482,12$$
 (kN\*m<sup>2</sup>)

$$\varphi_{ef} = 1,66$$

$$J_c = 1260000,0$$
 (cm<sup>4</sup>)

$$J_s = 11624,5$$
 (cm<sup>4</sup>)

$$K_c = 0,01$$
 ()

$$K_s = 1,00$$
 ()

$$M_{Edmin} = 8,71$$
 (kN\*m)

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin} ; \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_s/N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = -60,37$$
 (kN\*m)

Figura 311 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 2)

**2.5.1.2. Análisis detallado-Dirección Z:**

$M2 = 0,55 \text{ (kN*m)}$        $M1 = 0,00 \text{ (kN*m)}$        $Mmid = 37,69 \text{ (kN*m)}$   
 Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada  
 $M0 = 37,69 \text{ (kN*m)}$   
 $ea = 0,0 \text{ (cm)}$   
 $Ma = N*ea = 0,00 \text{ (kN*m)}$   
 $MEdmin = 8,71 \text{ (kN*m)}$   
 $M0Ed = \max(MEdmin, M0 + Ma) = 37,69 \text{ (kN*m)}$

**2.5.2 Armadura:**

sección de acero real       $Asr = 25,13 \text{ (cm}^2\text{)}$   
 Densidad del armado:       $\rho = 0,60 \%$

**2.6 Armadura:****Barras principales (B 500 S):**

- 8  $\phi 20$        $l = 12,89$       (m)

**Armaduras transversales: (B 500 S):**

Estribos      35  $\phi 6$        $l = 2,38$  (m)

**3 Cuantitativo:**

- Volumen del hormigón      = 5,43 (m<sup>3</sup>)
- Superficie de encofrado      = 33,59 (m<sup>2</sup>)
- Acero B 500 S
  - Peso total      = 272,77 (kG)
  - Densidad      = 50,27 (kG/m<sup>3</sup>)
  - Diámetro medio = 13,7 (mm)
  - Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (kG)	Número (piezas)	Peso total (kG)
6	2,38	0,53	35	18,47
20	12,89	31,79	8	254,30

Figura 312 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 3)

## 7.5 Pilar 80x60

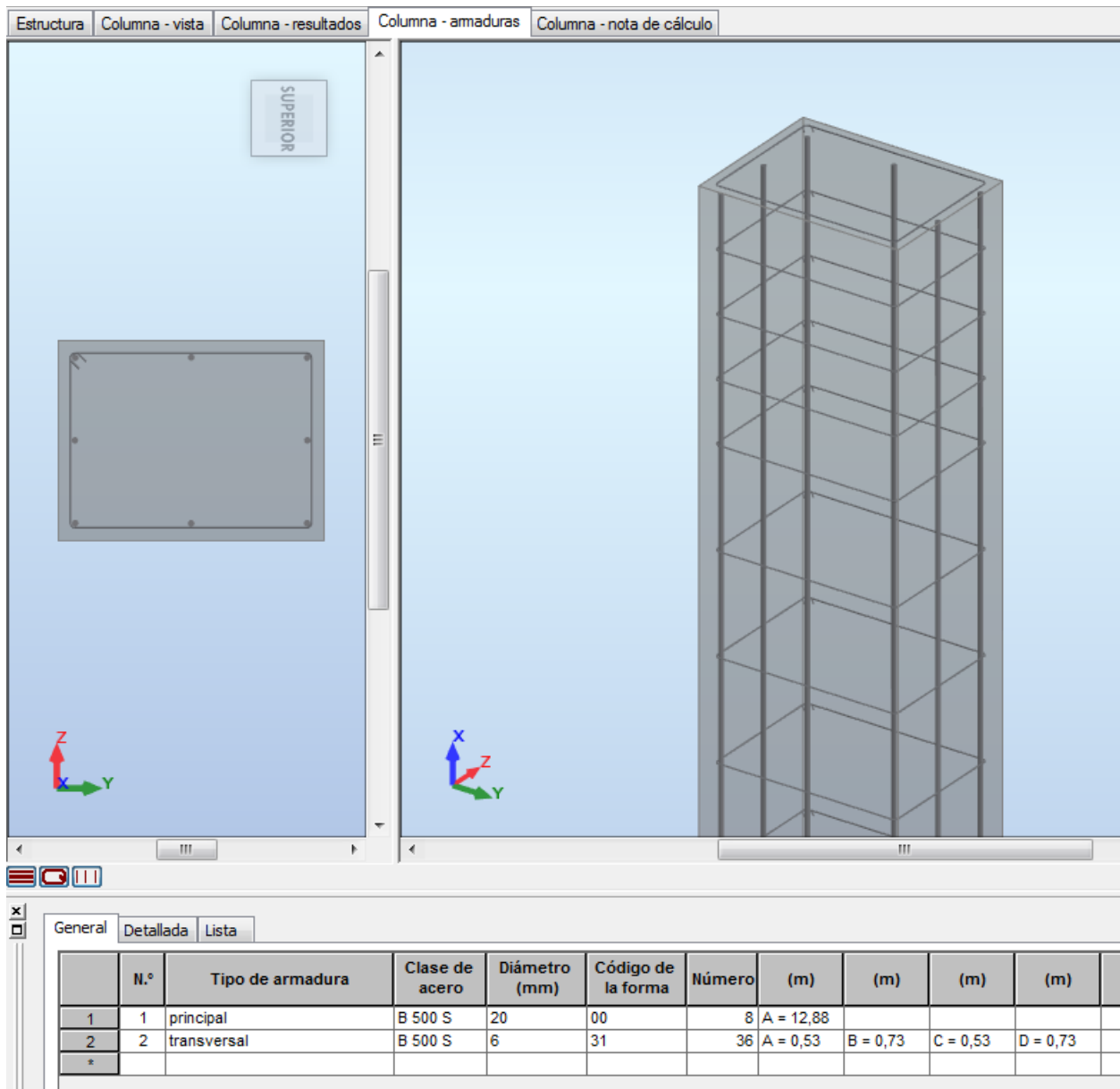


Figura 313 Pestaña Columna – armaduras (pilar 80x60)

Estructura	Columna - vista	Columna - resultados	Columna - armaduras	Columna - nota de cálculo
------------	-----------------	----------------------	---------------------	---------------------------

**1 Nivel:**

- Nombre :
- Cota de nivel : -0,40 (m)
- Coeficiente de fluencia del hormigón :  $\phi_p = 1,65$
- Clase de cemento : N
- Tipo de ambiente : X0
- Clase de estructura : S1

**2 Columna: Columna109..113****Número: 3****2.1 Característica de los materiales:**

- Hormigón: : HA - 45  $f_{ck} = 45,00$  (MPa)
- Densidad : 2501,36 (kG/m3)
- Diámetro del granulado : 20,0 (mm)
- Armaduras longitudinales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)
- Clase de ductilidad : C
- Armaduras transversales : B 500 S  $f_{yk} = 500,00$  (MPa)

**2.2 Geometría:**

- 2.2.1 Rectángulo : 80,0 x 60,0 (cm)
- 2.2.2 Altura: L : = 12,91 (m)
- 2.2.3 Espesor de la losa : = 0,00 (m)
- 2.2.4 Altura de la viga : = 0,00 (m)
- 2.2.5 Recubrimiento de la armadura : = 3,5 (cm)

**2.3 Opciones de cálculo:**

- Cálculos según la norma : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Disposiciones sísmicas : sin disposiciones
- Columna prefabricada : sí
- Predimensionamiento : no
- Tomar en cuenta la esbeltez : sí
- Compresión : con flexión
- Estribos : hacia la losa
- Clase de resistencia al fuego: : sin disposiciones

**2.4 Cargas:**

Caso	Natura	Grupo	$\gamma_f$	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
DL1	peso propio	109	1,35	152,01	0,00	0,00	0,00	0,00
DL1	peso propio	110	1,35	152,01	0,00	0,00	0,00	0,00
DL1	peso propio	113	1,35	152,01	0,00	0,00	0,00	0,00
WIND1 X+	viento	109	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	26,67
WIND1 X+	viento	110	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	26,67
WIND1 X+	viento	113	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	52,50
WIND2 Y-	viento	109	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	37,50
WIND2 Y-	viento	110	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	37,50
WIND2 Y-	viento	113	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-37,50
WIND3 X-	viento	109	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-52,50
WIND3 X-	viento	110	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-52,50
WIND3 X-	viento	113	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-26,67
WIND4 Y	viento	109	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	37,50
WIND4 Y	viento	110	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	37,50
WIND4 Y	viento	113	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-37,50

 $\gamma_f$  - coeficiente de seguridad parcial

Figura 314 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 1)

## 2.5 Resultados de los cálculos:

Coefficiente de seguridad  $R_d/E_d = 11,92 > 1.0$

### 2.5.1 Análisis ELU/ACC

Combinación dimensionante: 1.35DL1+1.50WIND3 X- (C)

Tipo de combinación: ELU

Esfuerzos seccionales:

$N_{sd} = 205,21$  (kN)     $M_{sdy} = 0,00$  (kN\*m)     $M_{sdz} = -35,00$  (kN\*m)

Esfuerzos de cálculo:

sección en el medio del pilar

$N = 205,21$  (kN)     $N^{*etotz} = 4,10$  (kN\*m)     $N^{*etoty} = -39,42$  (kN\*m)

Excentricidad:	$e_z$ (My/N)	$e_y$ (Mz/N)	
estático	$e_{Ed} = 0,0$ (cm)	$-17,1$ (cm)	
Imperfección	$e_i = 0,0$ (cm)	$2,2$ (cm)	
inicial	$e_0 = 0,0$ (cm)	$-14,9$ (cm)	
mínimo	$e_{min} =$	$2,0$ (cm)	$2,0$ (cm)
total	$e_{tot} = 2,0$ (cm)	$-19,2$ (cm)	

#### 2.5.1.1. Análisis detallado-Dirección Y:

##### 2.5.1.1.1 Análisis de la esbeltez

Estructura intraslacional

L (m)	$L_0$ (m)	$\lambda$	$\lambda_{lim}$	
12,91	12,91	74,54	101,17	Columna poco esbelta

##### 2.5.1.1.2 Análisis de pandeo

$M_2 = 0,00$  (kN\*m)     $M_1 = 0,00$  (kN\*m)     $M_{mid} = 0,00$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada

$M_{0e} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} = 0,00$  (kN\*m)

$M_{0emin} = 0,4 \cdot M_{02}$

$M_0 = \max(M_{0e}, M_{0emin})$

$e_a = 0,0$  (cm)

$M_a = N \cdot e_a = 0,00$  (kN\*m)

$M_{Edmin} = 4,10$  (kN\*m)

$M_{0Ed} = \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = 4,10$  (kN\*m)

#### 2.5.1.2. Análisis detallado-Dirección Z:

$M_2 = 0,00$  (kN\*m)     $M_1 = -78,75$  (kN\*m)     $M_{mid} = -35,00$  (kN\*m)

Caso: sección en el medio del pilar, Esbeltez no considerada

$M_0 = -35,00$  (kN\*m)

$e_a = \theta_1 \cdot l_0 / 2 = 2,2$  (cm)

$\theta_1 = \theta_0 + \alpha_h \cdot \alpha_m = 0,00$

$\theta_0 = 0,01$

$\alpha_h = 0,87$

$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0,5} = 1,00$

$m = 1,00$

$M_a = N \cdot e_a = 4,42$  (kN\*m)

$M_{Edmin} = 4,10$  (kN\*m)

$M_{0Ed} = \max(M_{Edmin}, M_0 + M_a) = -39,42$  (kN\*m)

Figura 315 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 2)

**2.5.2 Armadura:**

sección de acero real  $A_{sr} = 25,13 \text{ (cm}^2\text{)}$   
 Densidad del armado:  $\rho = 0,52 \%$

**2.6 Armadura:****Barras principales (B 500 S):**

- 8  $\phi 20$   $l = 12,88$  (m)

**Armaduras transversales: (B 500 S):**

Estribos 36  $\phi 6$   $l = 2,58$  (m)

**3 Cuantitativo:**

- Volumen del hormigón = 18,59 (m<sup>3</sup>)
- Superficie de encofrado = 108,44 (m<sup>2</sup>)
- Acero B 500 S
  - Peso total = 824,10 (kG)
  - Densidad = 44,33 (kG/m<sup>3</sup>)
  - Diámetro medio = 13,4 (mm)
  - Especificación de las armaduras:

Diámetro	Longitud (m)	Peso (kG)	Número (piezas)	Peso total (kG)
6	2,58	0,57	108	61,80
20	12,88	31,76	24	762,30

*Figura 316 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 3)*

## 8 Integración Robot - Revit

Una vez se tienen armados todos los pilares, se busca aprovechar la metodología BIM para pasar los resultados de Robot a Revit. Como ya se ha mencionado previamente, este proceso se basa en una denominada “bidireccionalidad selectiva”, y el concepto consiste en seleccionar únicamente aquellos elementos que se quieran actualizar en el modelo de Revit y volcar la información de los mismos desde Robot mediante el comando Integración.

Este comando puede encontrarse en la pestaña Complementos en la barra de herramientas de la interfaz de Robot, como puede verse en la figura siguiente:

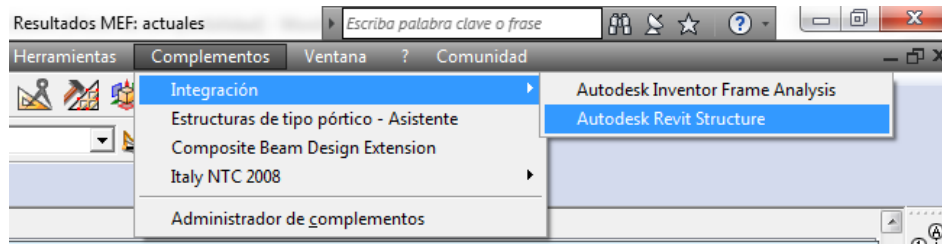


Figura 317 Localización comando Integración

Comando que lleva al usuario a la siguiente ventana:

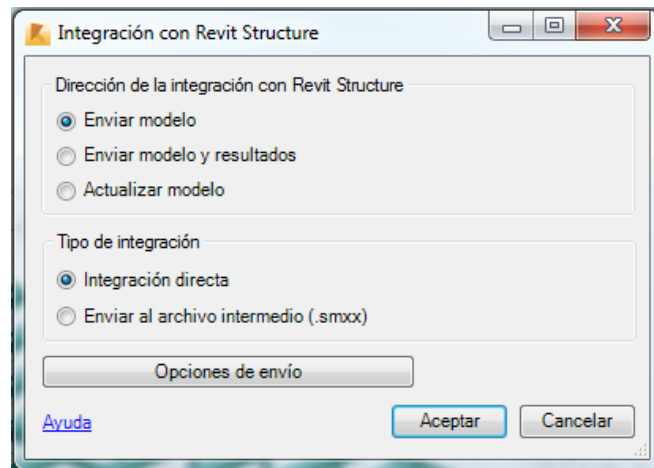


Figura 318 Ventana Integración con Revit Structure

Seleccionando “Opciones de envío” en esta primera ventana se accede a una segunda en la que se pueden seleccionar las opciones de “Enviar sólo la parte seleccionada de la estructura”, para realizar el procedimiento de envío parcial de información del modelo (sólo pilares), y “Proyectos de refuerzo” para que incluya las armaduras que se han calculado para estos elementos.

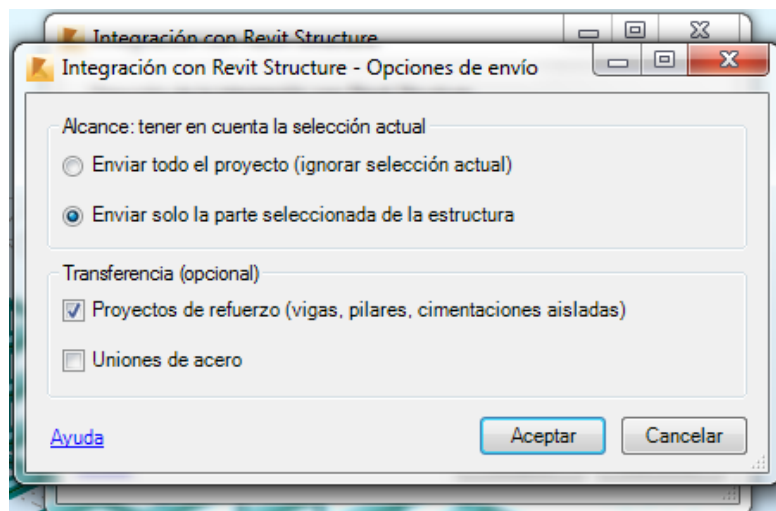


Figura 319 Ventana Integración con Revit Structure – Opciones de envío



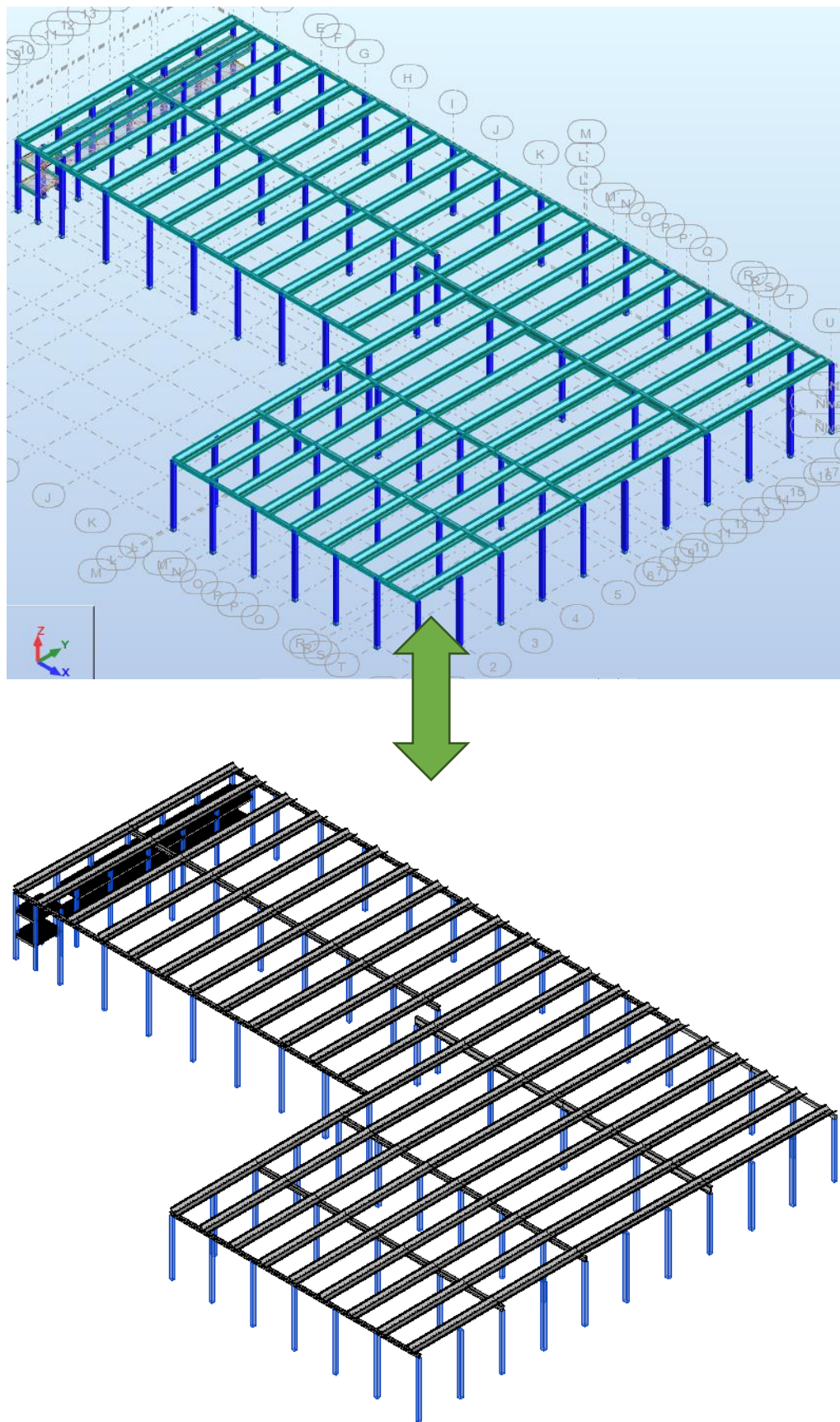


Figura 320 Bidireccionalidad selectiva aplicada a los pilares ya armados de la estructura

Puede verse en las figuras posteriores cómo el resultado que se obtiene en Revit responde a la perfección al vuelco de información que se ha hecho desde Robot. De nuevo, la metodología BIM contribuye al proyecto en un ahorro sustancial de tiempo; en este caso, de modelización de armados desde cero en Revit, colocándolos de forma automática desde el programa de cálculo.

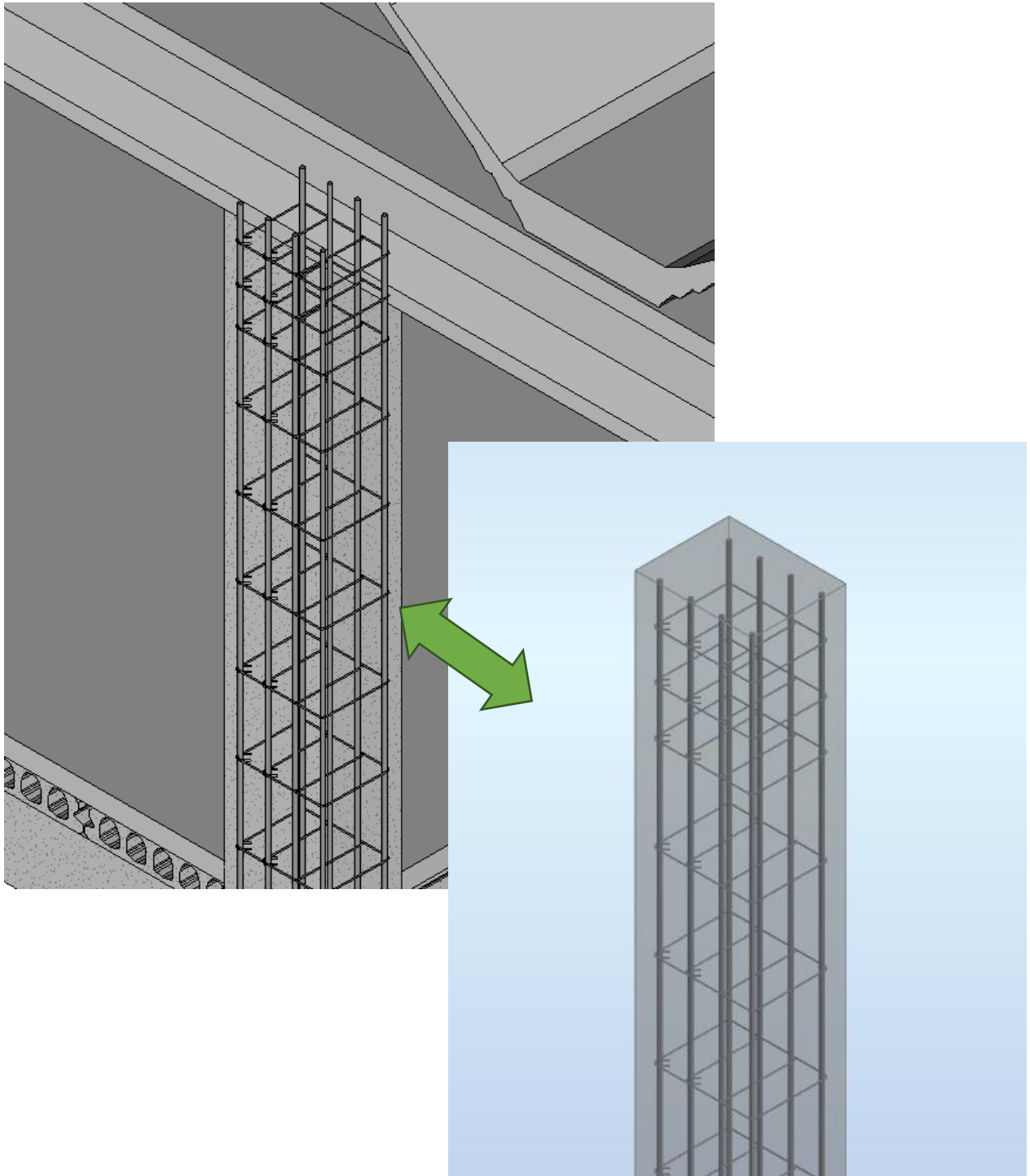


Figura 321 Ejemplo comparativo pilar 50x40

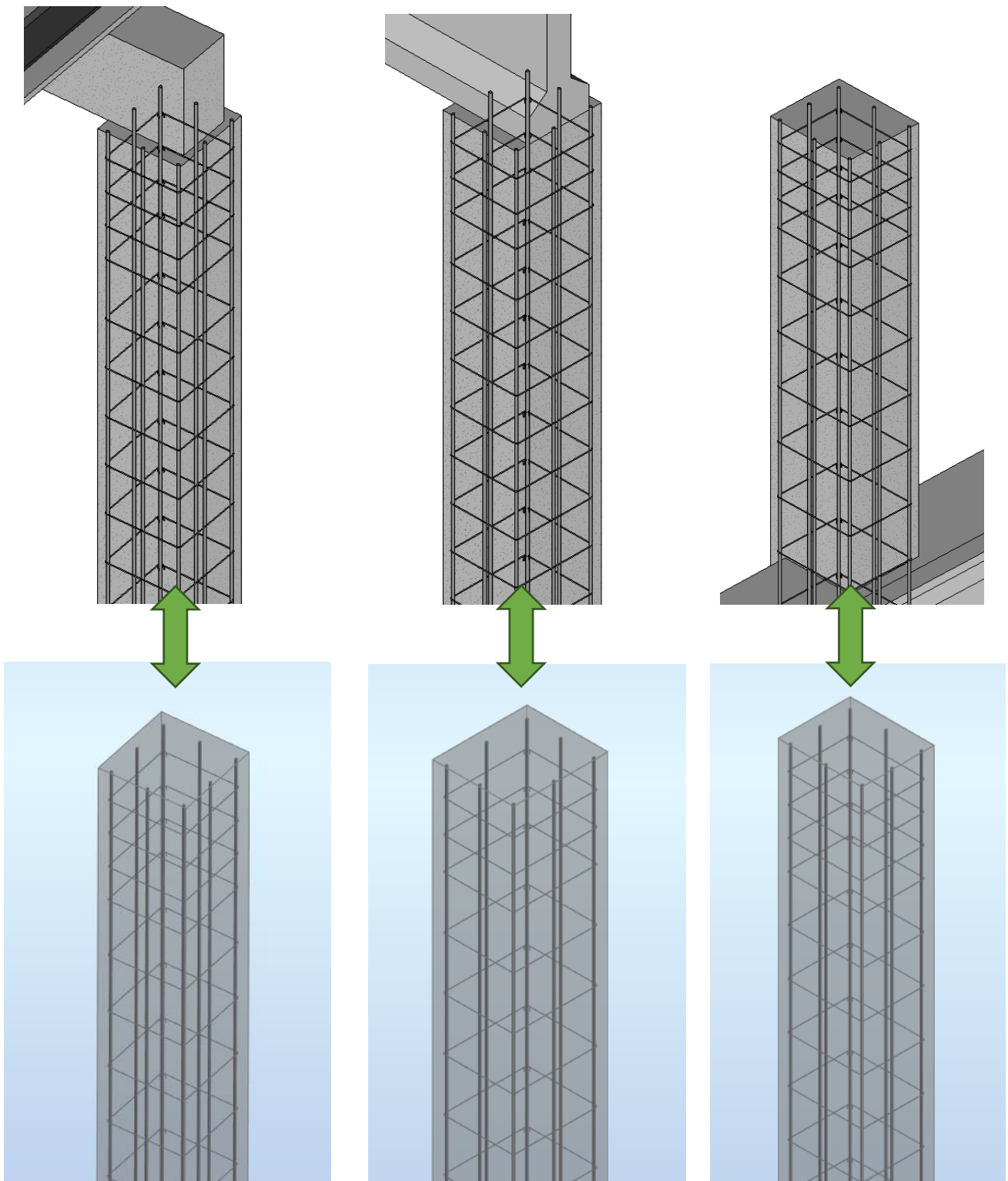
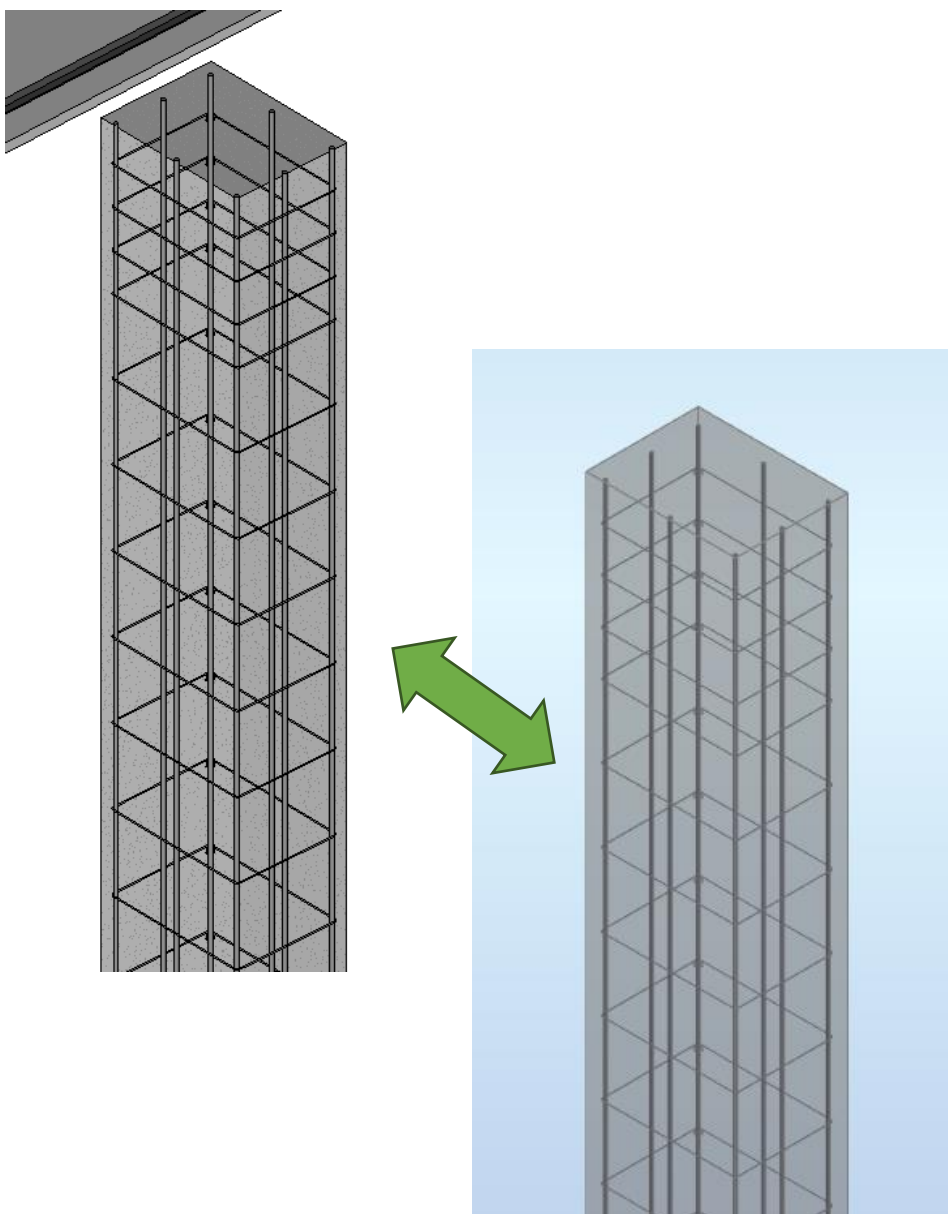


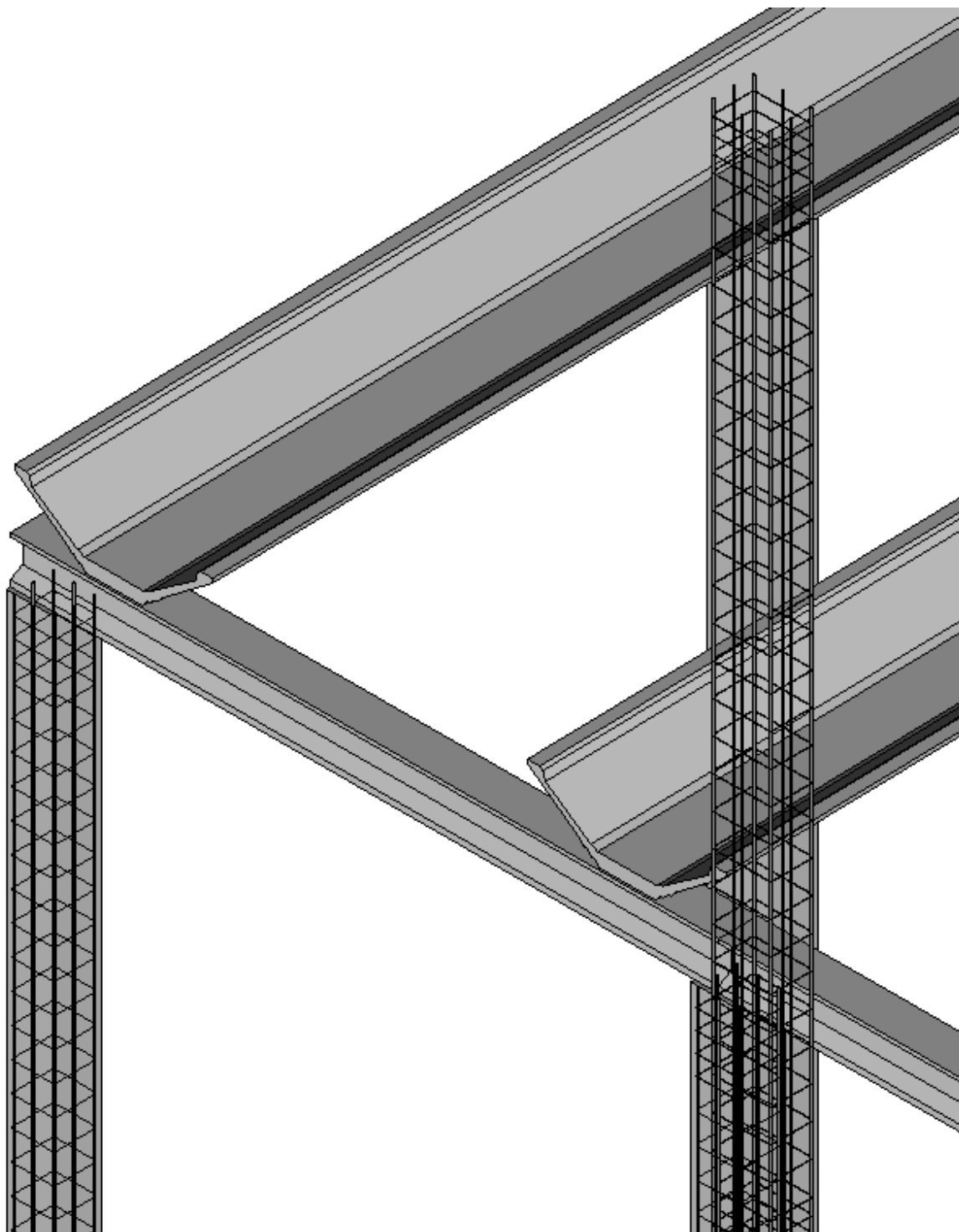
Figura 322 Ejemplo comparativo pilares 60x60, 60x70, 70x60 (de izquierda a derecha)



*Figura 323 Ejemplo comparativo pilar 80x60*

El proceso dista de la perfección, pues precisa de algunos arreglos puntuales que no van más allá de la dedicación de unos minutos en corregirlos, minutos que, de no haber realizado el proceso de integración, bien podrían haber sido horas de trabajo invertidas en modelizar los armados desde cero.

El resultado de este proceso deja un modelo en Revit con todos los pilares armados, tal como puede verse en las siguientes figuras:



*Figura 324 Armado de pilares. Detalle 1*

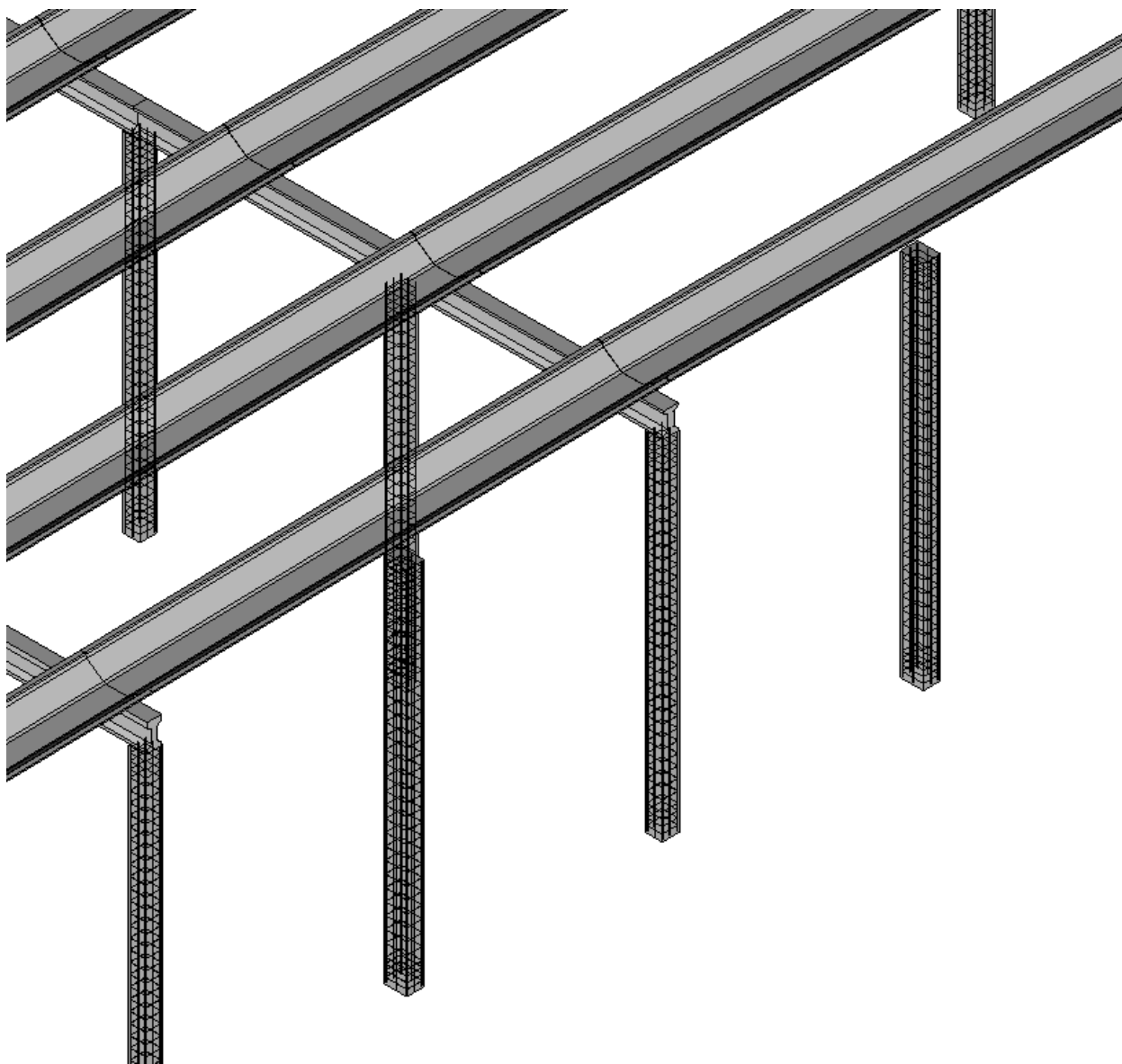


Figura 325 Armado de pilares. Detalle 2

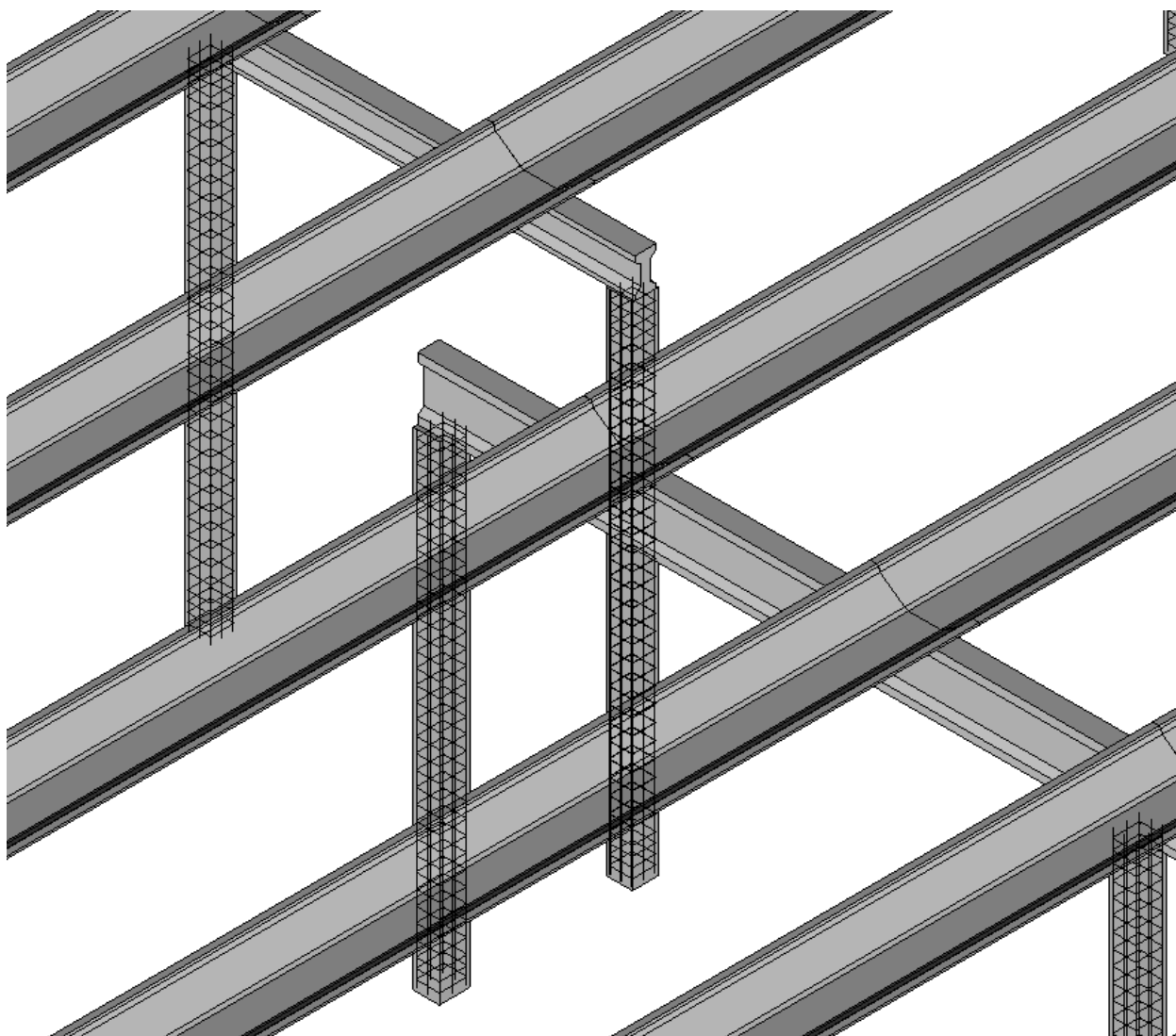


Figura 326 Armado de pilares. Detalle 3



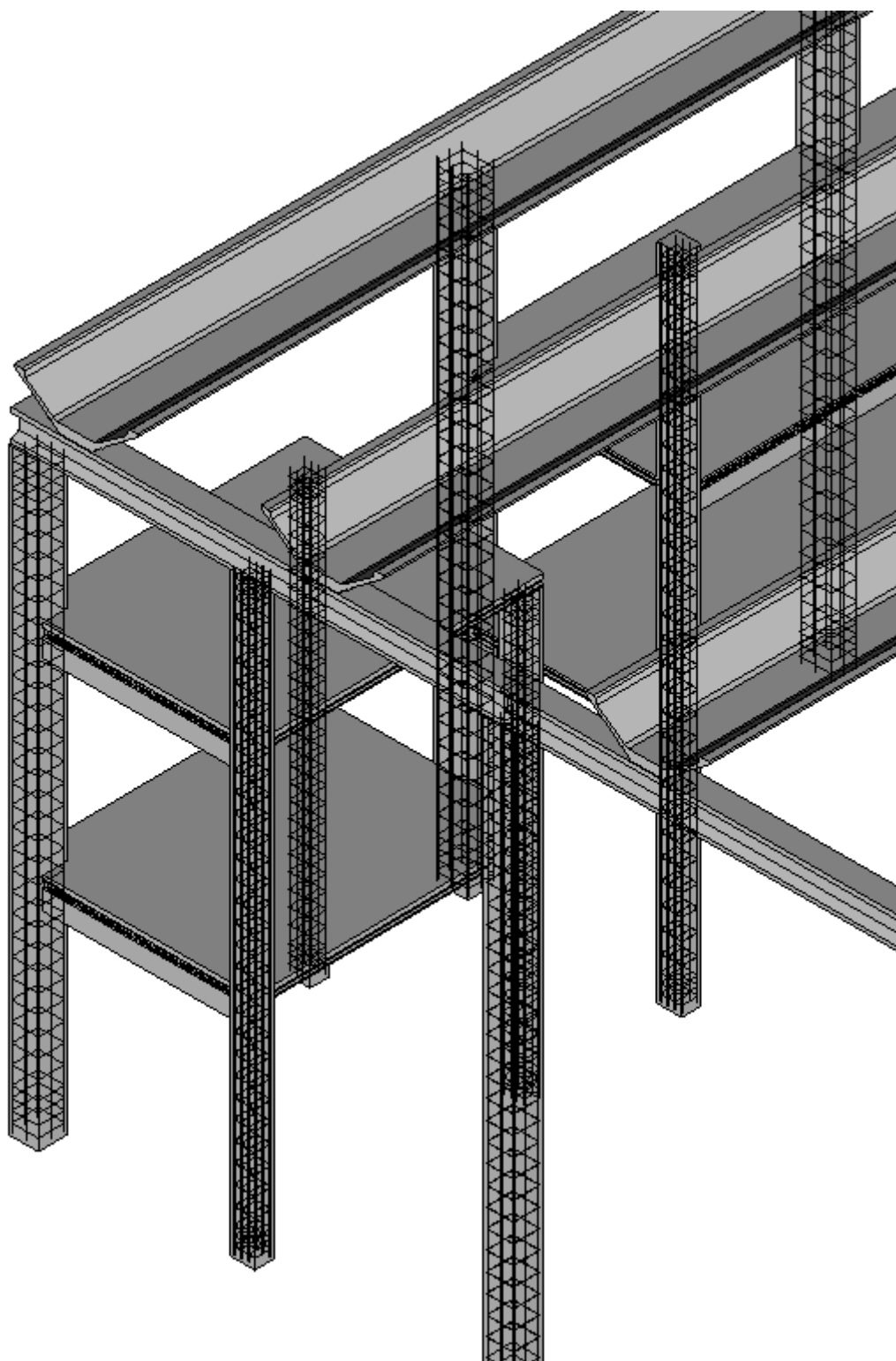


Figura 327 Armado de pilares. Detalle 4

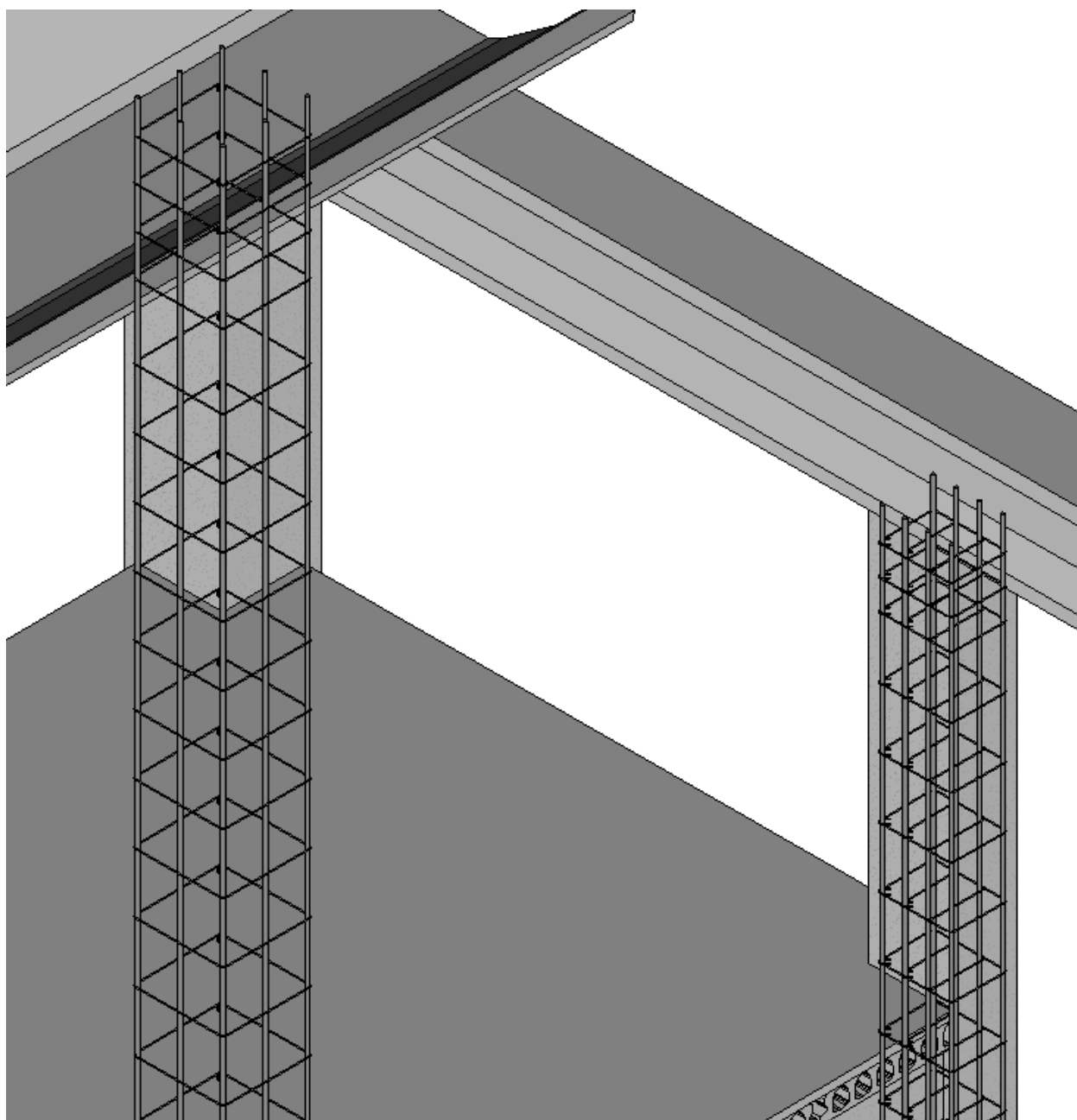
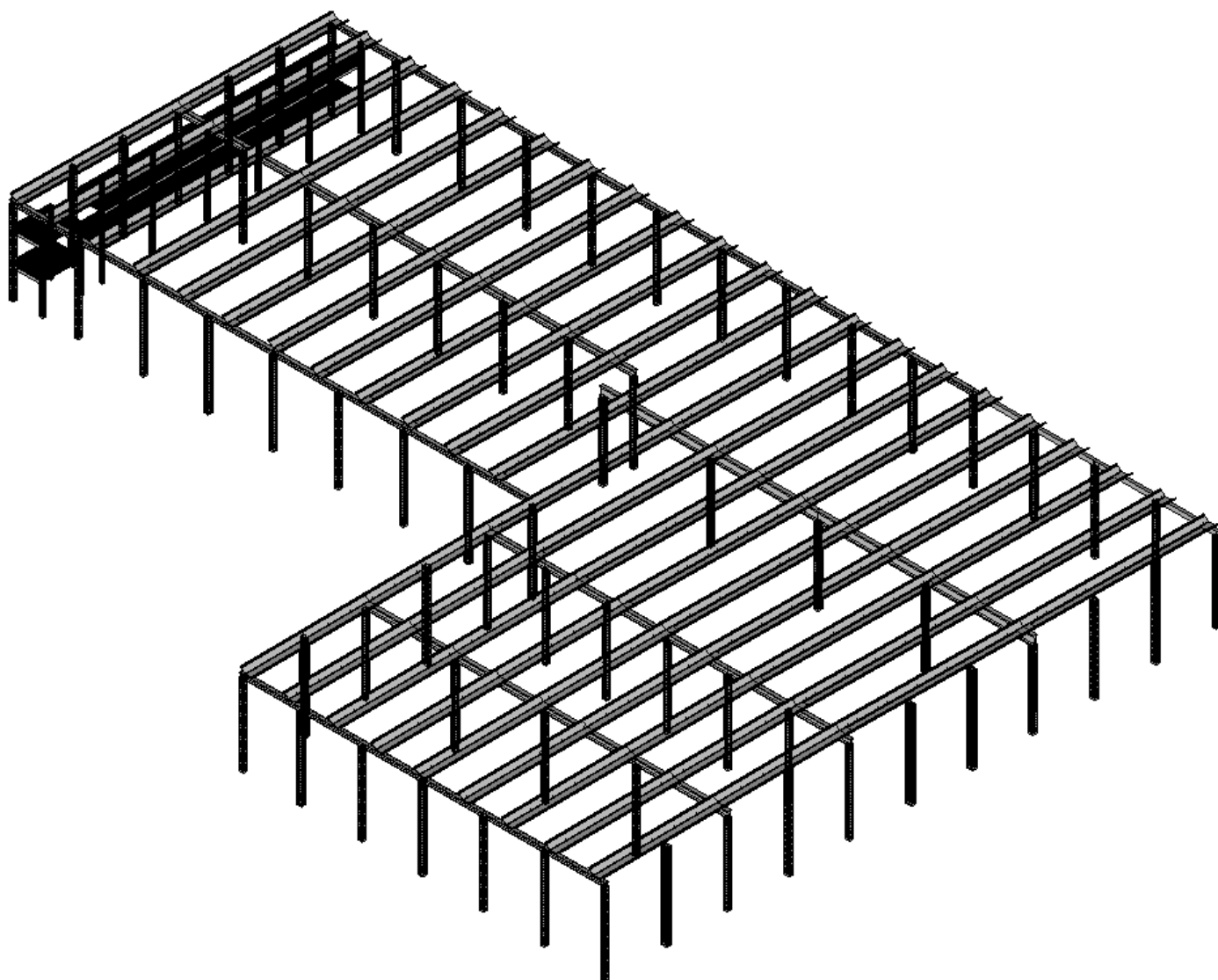


Figura 328 Armado de pilares. Detalle 5



*Figura 329 Vista 3D Nave. Armados vistos a través de objetos*

# ANEXO VI. CÁLCULO DE ELEMENTOS PRETENSADOS

## **1 Objeto**

En este anexo se procede a explicar en qué consistió el cálculo de los elementos pretensados del modelo en el trabajo.

## 2 El hormigón pretensado

Se denomina hormigón pretensado a la tecnología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante barras, alambres o cables de alambres de acero que son tensados y anclados al hormigón.

Esta técnica se emplea para superar la debilidad natural del hormigón frente a esfuerzos de tracción, y fue patentada por Eugène Freyssinet en 1920.

El objetivo es el aumento de la resistencia a tracción del hormigón, introduciendo un esfuerzo de compresión interno que contrarreste en parte el esfuerzo de tracción que producen las cargas de servicio en el elemento estructural.

La resistencia a la tracción del hormigón convencional es muy inferior a su resistencia a la compresión, del orden de 10 veces menor. Teniendo esto presente, es fácil notar que si deseamos emplear el hormigón en elementos, que bajo cargas de servicio, deban resistir tracciones, es necesario encontrar una forma de suplir esta falta de resistencia a la tracción.

En el hormigón armado convencional se proporciona resistencia a la tracción a los elementos estructurales colocando acero de refuerzo (pasivo) en las zonas de los elementos estructurales donde pueden aparecer tracciones. Esta forma de proporcionar resistencia a la tracción puede garantizar una resistencia poco adecuada al elemento y presenta el inconveniente de no impedir el agrietamiento del hormigón para ciertos niveles de carga. En el hormigón pretensado se coloca acero tensado (activo) que precomprime el hormigón, permitiendo así que los elementos estructurales tengan una gran resistencia a la tracción con la ventaja de impedir el agrietamiento del hormigón.

### 2.1 Ventajas

- Brinda un mejor comportamiento bajo cargas de servicio.
- Los elementos pretensados logran ser eficientes y esbeltos utilizando menos material que otros procesos constructivos.
- Su producción en serie, al ser industrializados, brinda mayor ajuste en tiempo.
- Cuando se usa adecuadamente y en los elementos que corresponde, se consigue disminuir los costos de la obra.

### 2.2 Inconvenientes

- Requiere una inversión inicial.
- El diseño de los elementos estructurales es más complejo y especializado.
- Es necesario contar con operarios especializados, tanto para la construcción de los elementos postesados como el montaje de los elementos pretensados.
- Si no se emplea adecuadamente y en los elementos que corresponde, se pueden incrementar los costos de la obra.

### **3 Prontuario Informático del Hormigón EHE-08**

Siendo que el software de cálculo, Autodesk Robot, carece de la capacidad para calcular elementos de hormigón pretensado, y que su cálculo a mano conlleva un arduo proceso iterativo, se vio especialmente eficiente el uso de una herramienta que llevase a cabo dicho proceso de manera informática.

Es entonces cuando este programa entra en escena, denominado “Prontuario Informático del Hormigón EHE-08”, un software especialmente útil para el cálculo de armados de elementos de hormigón y hormigón pretensado.

### **4 Proceso de cálculo, y resultados obtenidos**

El proceso que se ha seguido es relativamente sencillo. En primer lugar se introduce la sección del elemento que se desee calcular, para a continuación hacer uso de la información proporcionada por la empresa ARTEPREF en forma de planillas por defecto de armado activo y pasivo para sus elementos pretensados (las cuales, como podrá comprenderse, no han sido adjuntadas al presente trabajo por motivos de confidencialidad), y poder introducir así las barras de armado pertinentes.

Una vez hecho esto, el cálculo dará como resultado un valor de flector último soportable por el elemento en cuestión, el cual podrá comprobarse con el flector más desfavorable que se obtuvo del cálculo realizado en Robot para cada tipología de viga.

De cara a la redacción del apartado, se ha visto conveniente operar como se ha venido haciendo hasta ahora, esto es, se utilizará un primer tipo de viga de hormigón pretensado para ejemplificar todo el proceso seguido en el programa, y del resto de elementos se ofrecerán sólo los resultados finales obtenidos.

## 4.1 Viga I-60

En primer lugar, se iniciará un nuevo proyecto en el programa:



Figura 330 Interfaz inicial del programa

Cada viga de hormigón pretensado supone un proyecto distinto en lo que respecta al programa, y así se han ido creando. Para el ejemplo explicativo actual, se ha elegido empezar por la viga I-60.

En la pestaña Materiales se tiene información de toda la cantidad de tipos de hormigón, y tipos de acero para armar y pretensar. Se adjunta a continuación un ejemplo de la información que contiene del hormigón HA-45, el presente en todas las piezas que se van a calcular, así como capturas para el acero de armar, y el acero de pretensar:

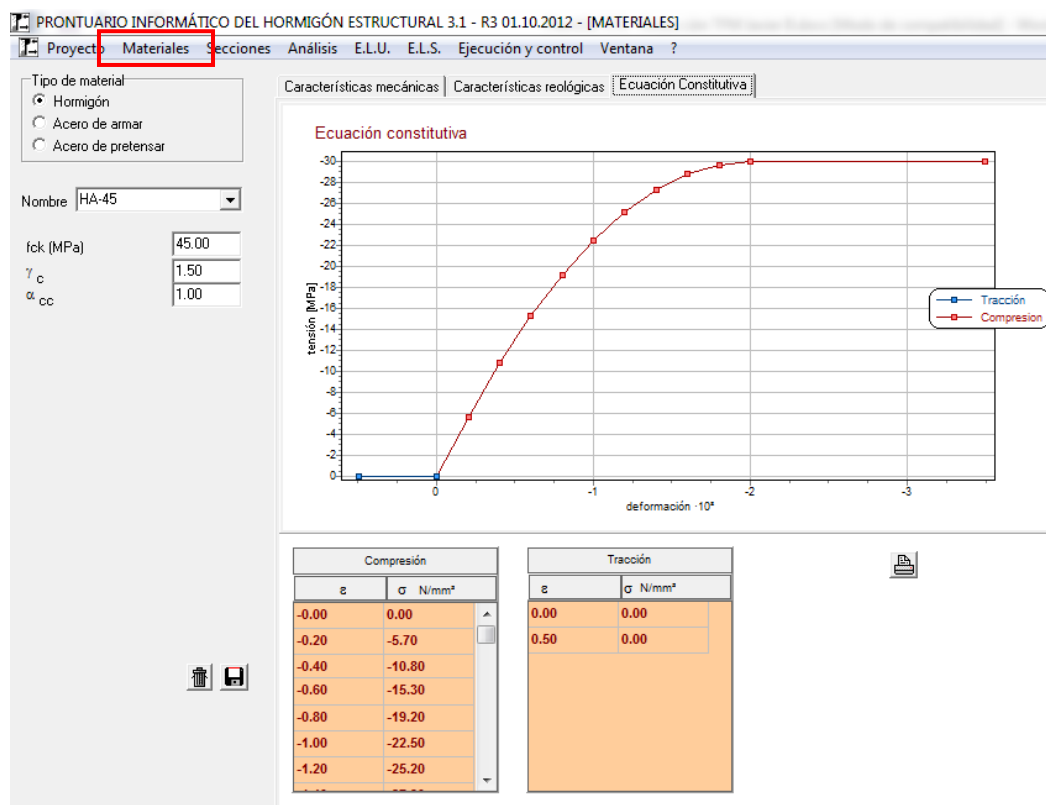


Figura 331 Pestaña Materiales. Material: Hormigón HA-45



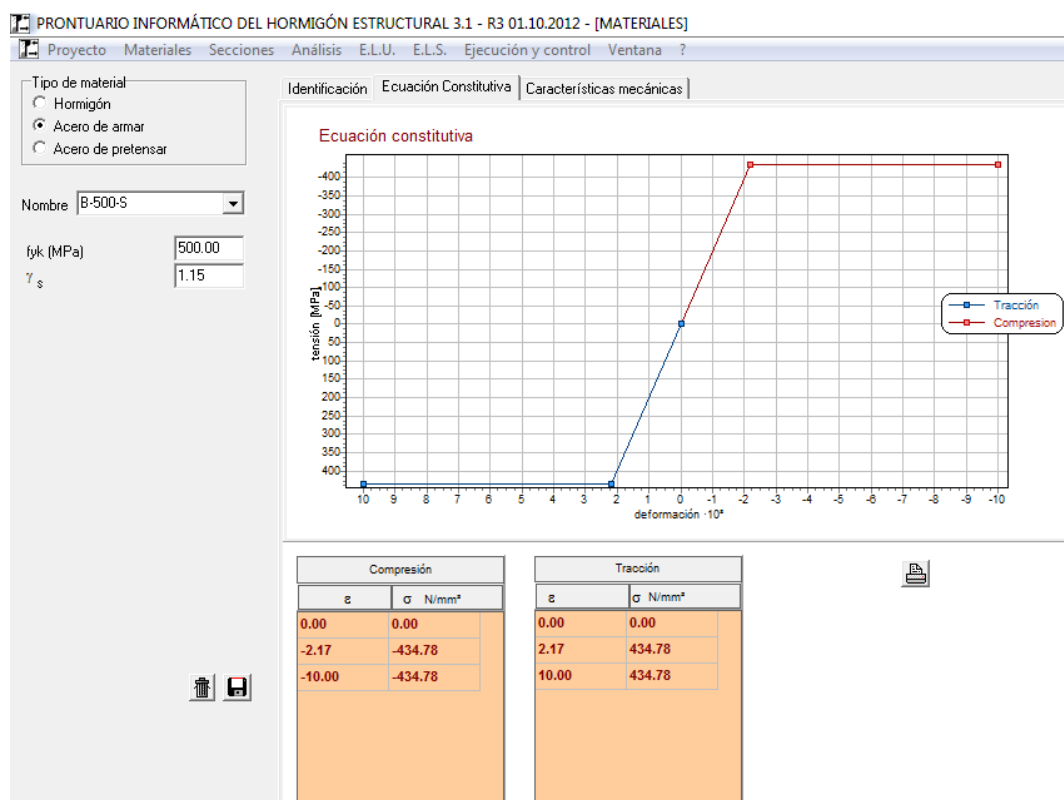


Figura 332 Pestaña Materiales. Material: Acero B-500-S

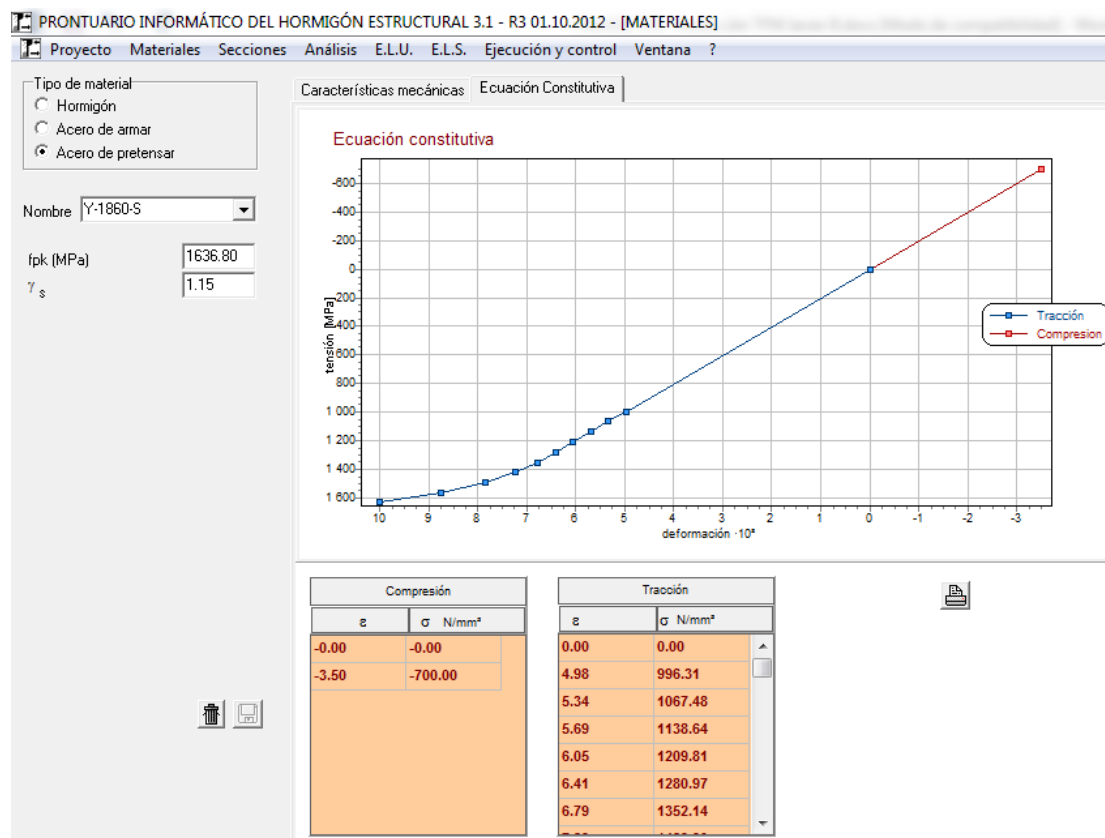


Figura 333 Pestaña Materiales. Material: Acero Y-1860-S

La sección se comprobará a flexión en primer lugar para obtener los armados longitudinales activos y pasivos, y posteriormente a cortante, para el armado transversal. Como se verá a continuación, la comprobación a flexión se lleva a cabo en el apartado de sección genérica armaduras adicionales para poder comprobar el armado de pretensar. Por otra parte, la comprobación a flexión, por poder hacerse sólo en secciones rectangulares en el software de cálculo, se hará en el apartado de sección rectangular, algo que para nada supone un contratiempo, pues es el alma de la sección (rectangular) la que soportará estos esfuerzos.

### Comprobación a flexión

En la pestaña Secciones, se accede a la información de la sección. Como la forma que se desea generar no está entre los tipos de sección que vienen por defecto, se deberá escoger la opción “Genérica armaduras adicionales” para permitir al usuario generarla de manera personalizada:

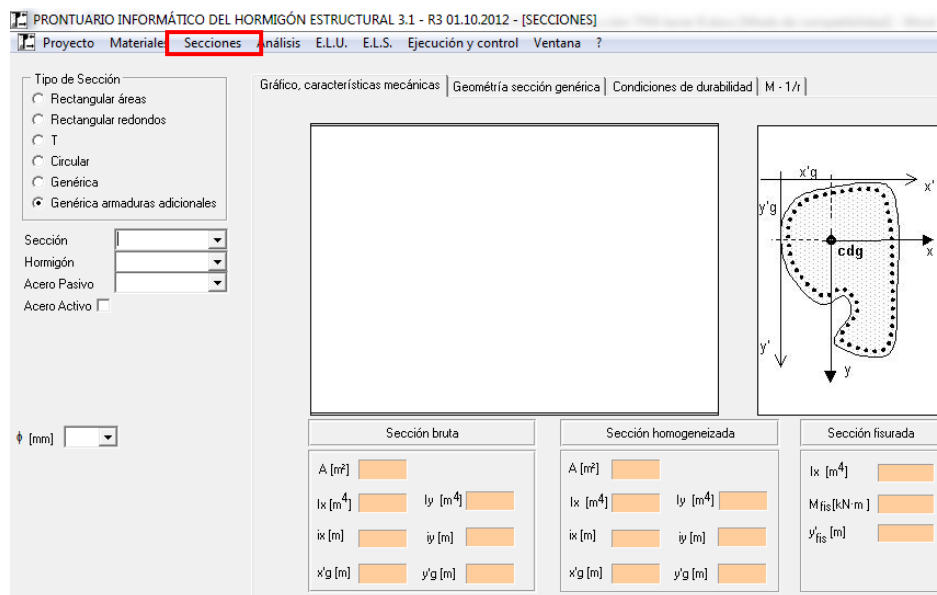


Figura 334 Pestaña Secciones. Sección indefinida

Se procede a rellenar los parámetros de Sección, Hormigón, Acero Pasivo y Acero Activo tal como viene indicado en los planos y planillas de ARTEPREF:

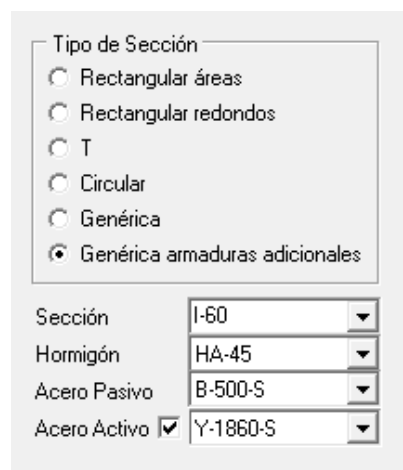


Figura 335 Pestaña Secciones. Parámetros de la sección viga I-60

Una vez rellenados, se permite al usuario acceder a la pestaña “Geometría sección genérica”, en la cual se procede a definir la sección, igual que se hizo en Revit para generar la familia, e igual que se hizo en Robot para generar de nuevo las secciones en el acondicionamiento del modelo. Se recuerda la geometría de la sección:

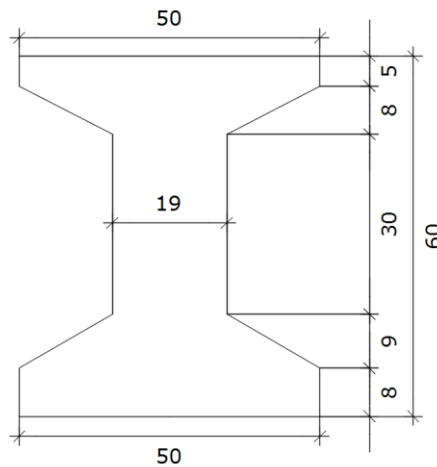


Figura 336 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF

Los límites exteriores de la sección pueden ir colocándose en esta ventana de Geometría de sección genérica en la tabla correspondiente. Si la sección tuviera aligeramientos (como la viga Artwind 110), se puede activar la tabla adyacente para incluir un contorno interior y rellenarse de la misma manera que se ha de rellenar la de los límites exteriores, punto por punto, y en sentido anti horario, como marca la figura adjunta en el propio programa que ejemplifica el procedimiento a seguir:

Punto	X [m]	Y [m]
1	.50	.0
2	.5	.08
3	.345	.17
4	.345	.47
5	.50	.55
6	.50	.60
7	.0	.60

Figura 337 Geometría de sección genérica. Definición de sección viga salvapilar I-60

En las tablas siguientes, se permite al usuario colocar las armaduras pasivas y activas. Para las pasivas referidas claramente a las caras de la sección, se utiliza la primera tabla. Dichas caras vienen denominadas automáticamente como la unión de dos de los puntos contiguos generados para crear el contorno exterior. Se procura, además, una tabla adicional de armado pasivo a introducir de manera más precisa mediante coordenadas, caso de que fuese necesario, así como, contigua a ésta última, una tabla similar para colocar el armado activo, o armaduras de pretensar.

Se hace uso de las planillas de armados por defecto proporcionadas por la empresa ARTEPREF para ir rellenando estas tablas de armados, de forma que quedan finalmente, y en conjunto con la descripción del contorno exterior previo:

Gráfico, características mecánicas | Geometría sección genérica | Condiciones de durabilidad | M - 1/r |

Coordenadas de los vértices

puntos 12

Punto	X [m]	Y [m]
1	0.500	0.000
2	0.500	0.080
3	0.345	0.170
4	0.345	0.470
5	0.500	0.550
6	0.500	0.600
7	0.000	0.600

puntos 3

☐ Contorno interior

Punto	X [m]	Y [m]
1		
2		
3		

Nº de redondos por cara y recubrimiento mecánico

Cara	nº	r [m]	$\phi$ [mm]	Esquina	Dim
1-2	0	0.050	16.00	0	0
2-3	0	0.050	16.00	0	0
3-4	0	0.050	16.00	1	0
4-5	0	0.050	16.00	1	0
5-6	0	0.050	16.00	1	0

Cara	nº	r [m]	$\phi$ [mm]	Esquina	Dim
1-2	0	0.050			
2-3	0	0.050			
3-1	0	0.050			

Armado adicional

Capas adicionales 1

Armadura	Xi [m]	Yi [m]	Xf [m]	Yf [m]	nº	$\phi$ [mm]	Dim
1	0.200	0.575	0.300	0.575	4	8.00	0

Armaduras Activas 3

Armadura	Xi [m]	Yi [m]	A [cm <sup>2</sup> ]	$\epsilon$ [o/oo]
1	0.120	0.040	1.0140	6.640
2	0.380	0.040	1.0140	6.640
3	0.250	0.200	1.0140	6.640

Figura 338 Geometría de sección genérica. Definición de armaduras viga salvapilar I-60

Nótese cómo para introducir las armaduras activas (de pretensado) se pide un área de cordón así como la pre-deformación a aplicar.

La primera de éstas puede calcularse porque se conoce que el acero de pretensar para esta sección va a ser de tipo Y-1860-S7, un cordón de media pulgada con 7 nervios, de acuerdo a las planillas de ARTEPREF. Siendo el cordón de media pulgada, el área total serían 1,27 cm<sup>2</sup>, pero al tratarse de un conjunto de nervios, no todo este área será aprovechable. Se puede acudir a tablas estandarizadas del fabricante para obtener el valor aproximado real que tendrá la sección útil de armado activo en cada cordón. Así, y como puede observarse en la imagen adjunta, se obtiene un área aproximada de 101,4 mm<sup>2</sup>, entrando, obviamente por un diámetro nominal de cordón de 12,7 mm (media pulgada).

DIÁMETRO NOMINAL	ÁREA APROX.	ÁREA MIN	MASA APROX.	CARGA MIN. DE RUPTURA		TENSIÓN MIN. DE ALARGAMIENTO		DILATACIÓN BAJO CARGA
mm.	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	kg/mm	kN	kgf	kN	kgf	%
4.00	12.60	12.30	99	1,750	175	1,580	158	5.0
5.00	19.60	19.20	154	1,750	175	1,580	158	5.0
12.70	101.40	98.70	792.00	187.30	18,730	168.60	16,860	3.50
15.20	143.50	140.00	1,126.00	265.80	26,580	239.20	23,920	3.50

Figura 339 Tablas estándar de fabricante. Cordones de armadura activa

La pre-deformación que pide la tabla puede calcularse a partir de los datos del módulo de elasticidad del acero,  $E = 210 \text{ GPa}$ , y de la tensión de tesado, valor aportado por la empresa ARTEPREF en sus planillas, y cuyo valor es de  $1395 \text{ N/mm}^2$ :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$1395 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 210\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = 6,64 \text{ ‰}$$

Cabe mencionar la diferencia entre la tensión de rotura del acero de armar, que viene dada por la nomenclatura: Y-1860-S; la tensión de tesado, un 75% de la de rotura, que es la que ARTEPREF coloca en sus planillas:  $1860 \cdot 0,75 = 1395 \text{ N/mm}^2$ ; y la tensión de pretensado, que es esta última, la de tesado, menos una serie de pérdidas originadas por el comportamiento del propio acero y por la interacción de éste con el hormigón, pérdidas que suelen moverse en torno al 25% de la tensión de tesado.

El programa tiene incorporado en la ecuación constitutiva del material ese comportamiento que origina las pérdidas, y además se tiene en cuenta en una serie de coeficientes de pérdidas también incorporados en el software. Es por ello que, como se ha visto, la tensión con la que se calcula la pre-deformación a colocar es la de tesado.

Una vez se guarda esta información se puede acceder a la pestaña previa para poder visualizar el resultado que se ha modelizado, así como a toda la información de la sección obtenida que el programa está preparado para ofrecer:

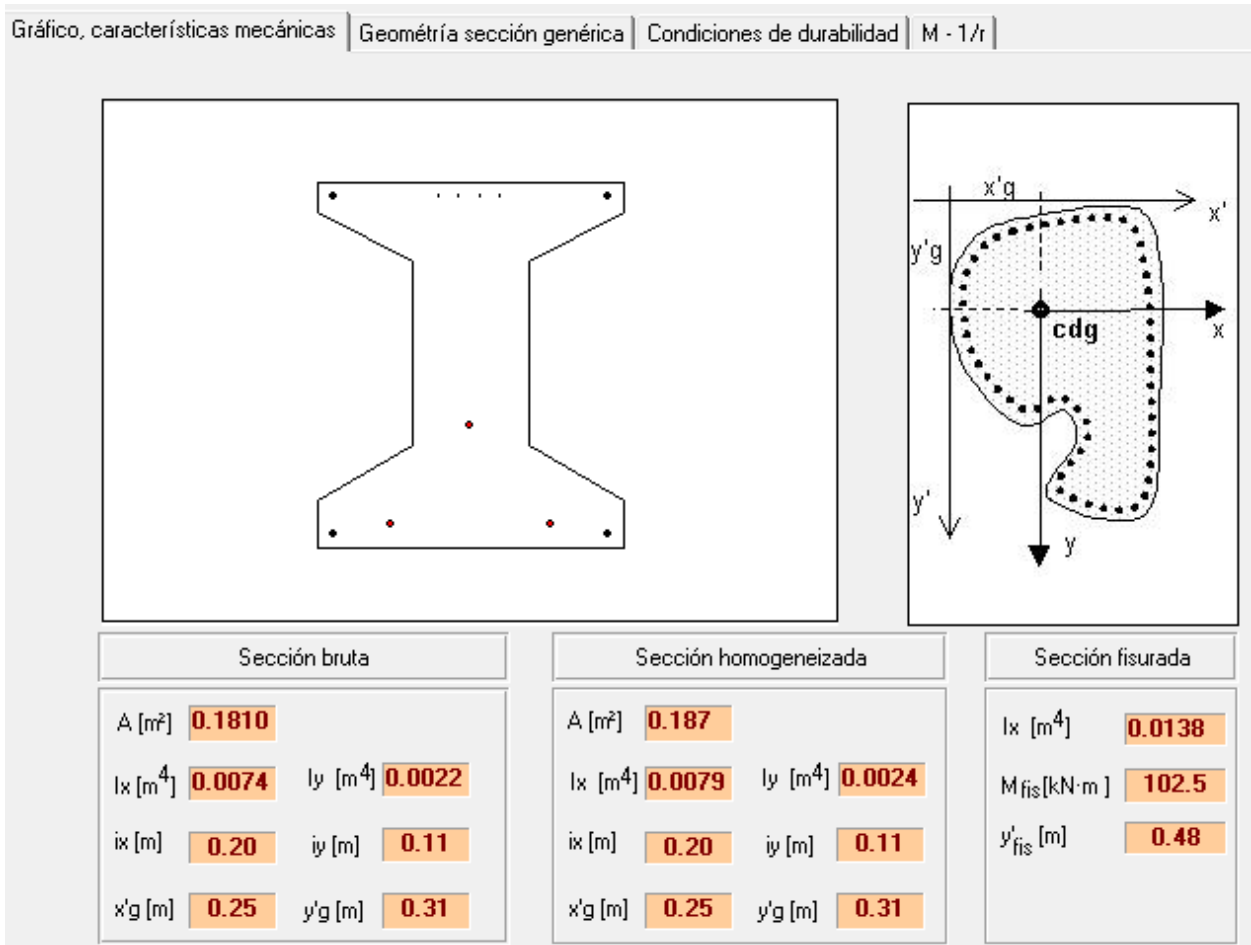


Figura 340 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-60

Para verificar que la sección generada es capaz de soportar el máximo esfuerzo encontrado en los resultados de cálculo, se puede proceder de dos maneras. La primera, consiste en acceder a la pestaña de la curva M - 1/r, y calcular la curva de comportamiento para obtener, en última instancia, el valor del flector máximo que podrá soportar; comparando éste con el que se obtenga en los resultados del modelo de cálculo, se podrá concluir si la sección y el armado son los óptimos o no.

Algo similar puede hacerse si se accede a la ventana de ELU, y se accede al análisis de flexión compuesta esviada (la única que reconoce secciones generadas de manera personalizada). Mediante este procedimiento, se introduce directamente el valor del máximo flector obtenido en el cálculo, y el propio programa ofrece un valor de coeficiente de seguridad en el que se sitúa la sección respecto del máximo que aguanta, de acuerdo a la geometría y armaduras dispuestas.

El valor del máximo flector obtenido en el cálculo, para la alineación 1, la que contiene todos los perfiles I-60, puede verse en el diagrama de esfuerzos y toma un valor de 262,83 kNm.

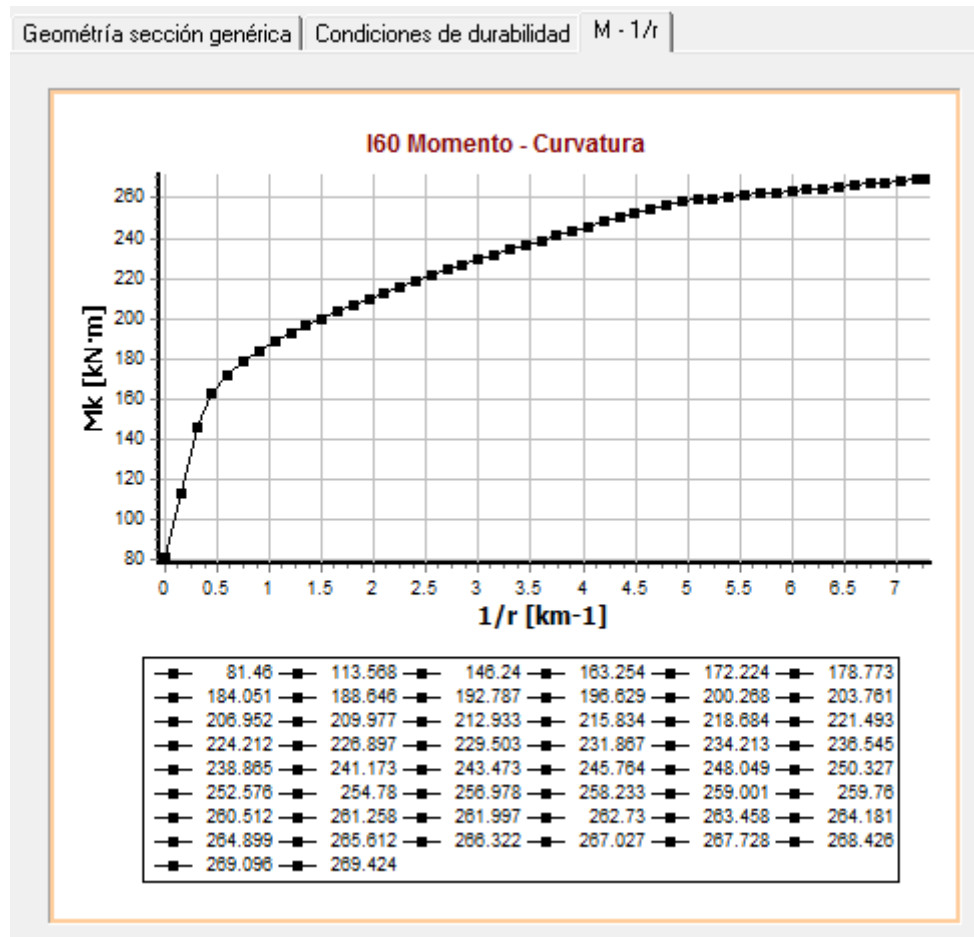


Figura 341 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-60 (método 1)

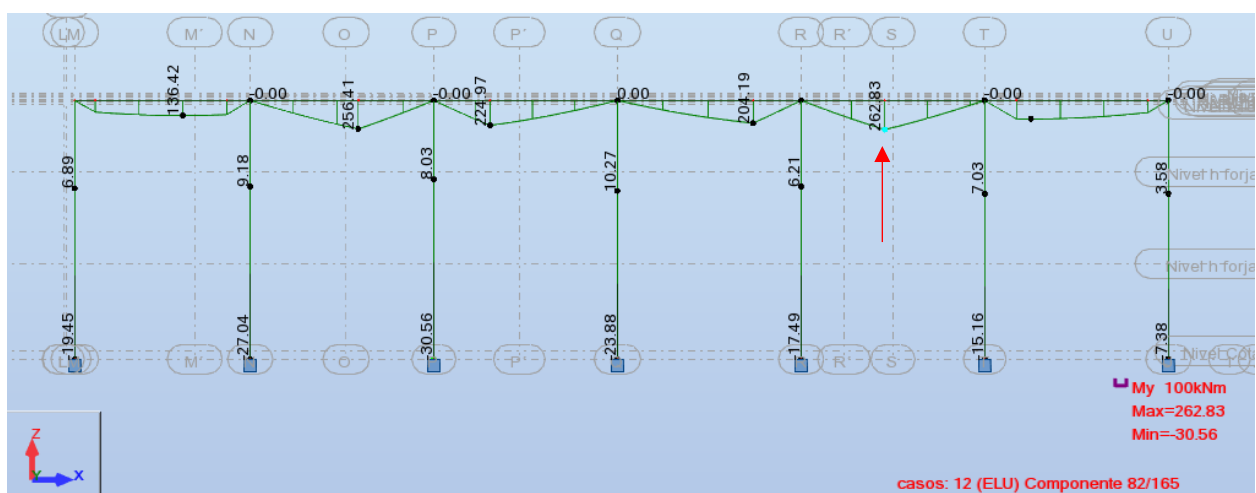


Figura 342 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-60



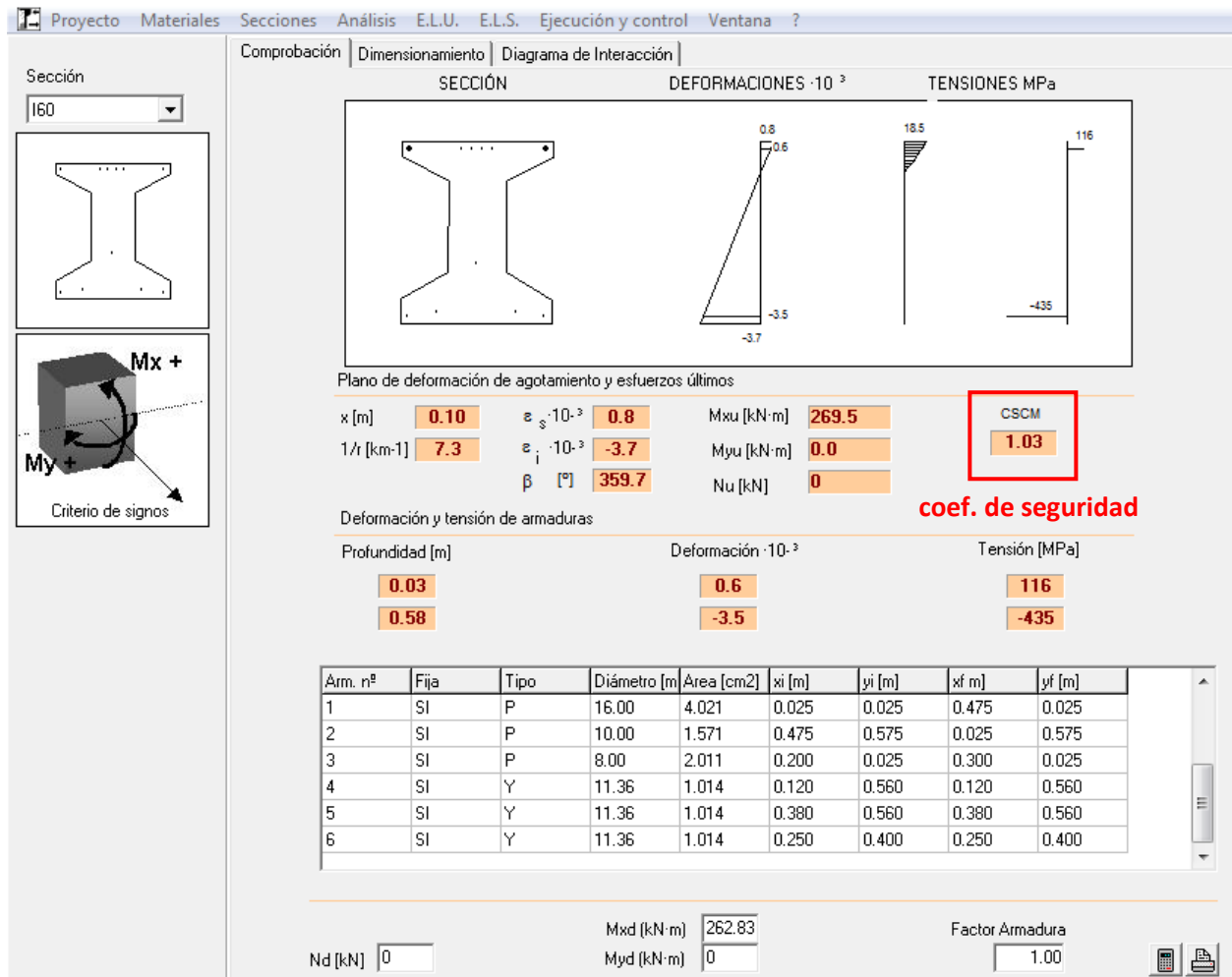


Figura 343 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-60 (método 2)

Siendo que el coeficiente de seguridad es mayor que 1, la sección generada a partir de la planilla de ARTEPREF se da por correcta, y será la que se utilice para modelizar el armado final de estas vigas en Revit en el apartado final de la memoria, Refinamiento del modelo. Armado final de la viga:

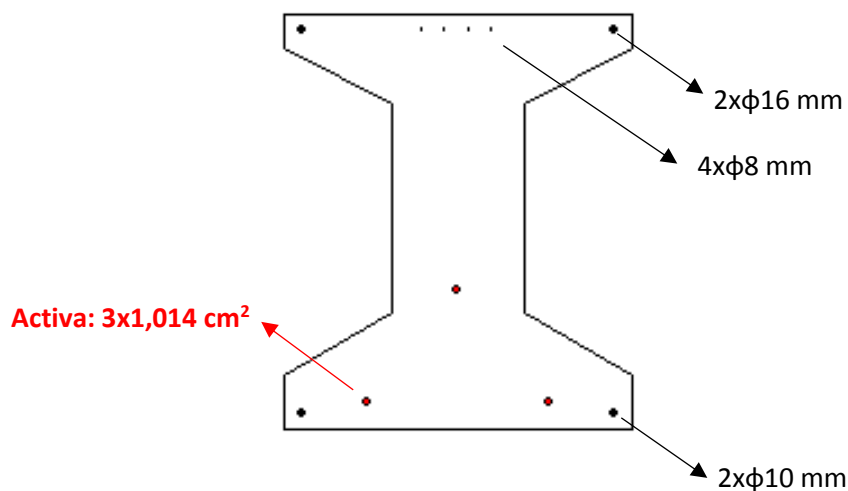


Figura 344 Armado longitudinal final viga salvapilar I-60

**Comprobación a cortante**

Como se ha mencionado previamente, el software no permite una comprobación a cortante desde el módulo de armado activo directamente. No supone un problema puesto que será el alma (rectangular) de la sección la que soporte estos esfuerzos, y por tanto puede comprobarse introduciendo como geometría el alma de cada sección, e introduciendo la compresión que provoca el pretensado en la propia comprobación del módulo de secciones rectangulares. Así es como viene especificado, además, en el artículo 44.2.1 de la EHE-08. Para el caso que atañe a la sección actual, I-60, será una sección de 19x60 cm, acorde con las dimensiones proporcionadas por ARTEPREF:

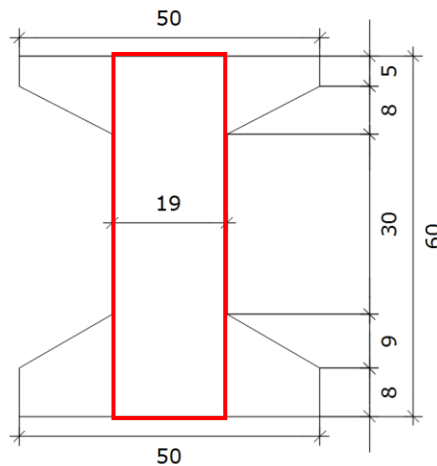


Figura 345 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma

Parece razonable, a la hora de colocar el armado longitudinal que ya se sabe contiene la sección, colocar sólo aquél que esté dentro de las delimitaciones geométricas del alma, por tanto se vuelve a hacer referencia al resultado previamente hallado de armado longitudinal:

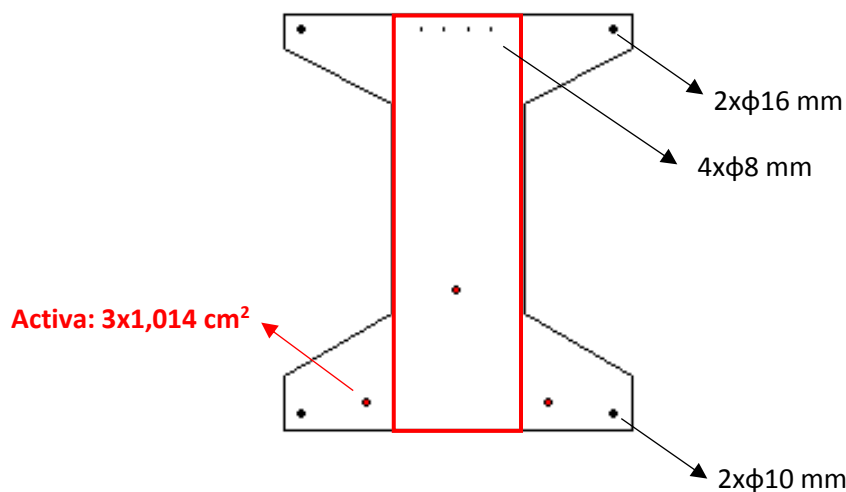


Figura 346 Armado longitudinal final viga salvapilar I-60. Delimitación del alma

El módulo que se usará en este caso, como ya se ha dicho, será el de tipo de sección rectangular con introducción de armado longitudinal mediante áreas, pues el de introducción de redondos no permite distinción en la cuantía de las partes superior e inferior de la sección, mientras que el escogido, sí. Este módulo, con los datos para la sección del alma de la viga I-60, ofrece la información que puede verse en la siguiente figura:

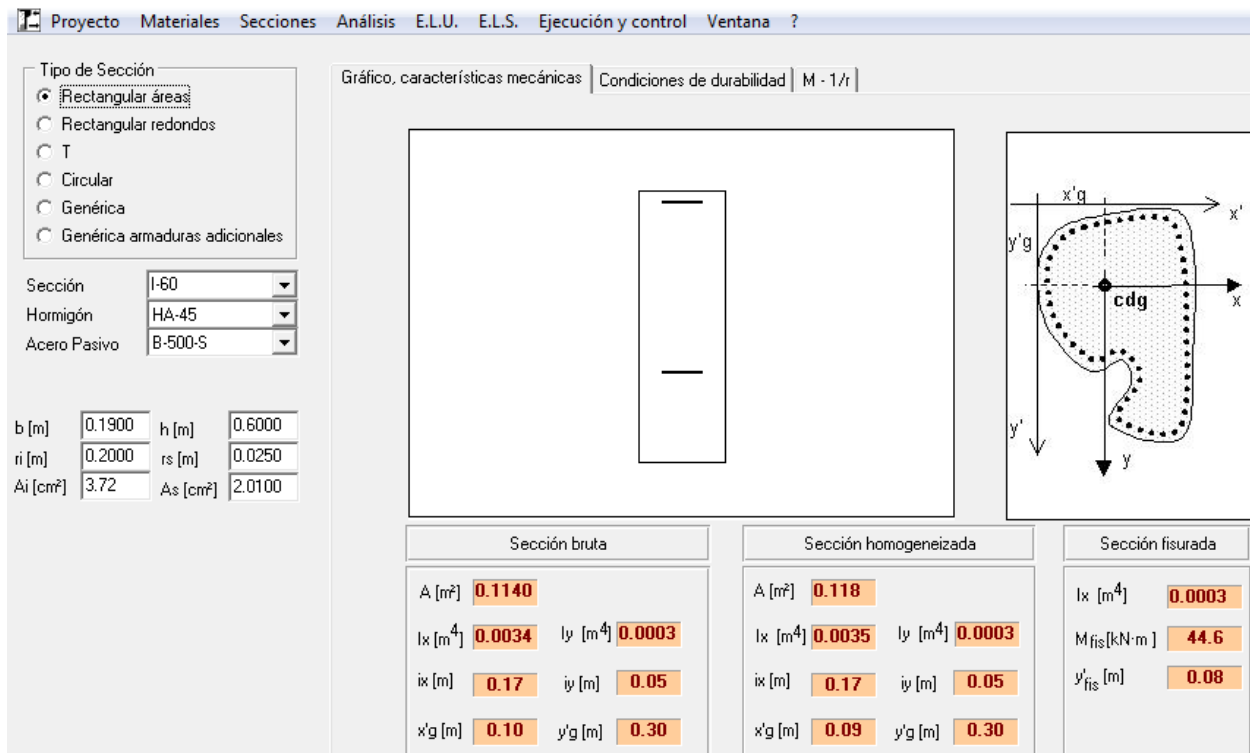


Figura 347 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-60

Las áreas que piden son las correspondientes al tendón de armadura activa en la parte inferior, y a los cuatro redondos de 8 mm en la parte superior, respectivamente. Es importante dar a conocer que el programa no permite asignación de distintos tipos de acero, puesto que como tal no considera armado activo. Este hecho se ha salvado multiplicando el área de armadura de activos por un factor corrector de 1860/500, mera relación entre los límites de rotura de ambos tipos de acero, activo y pasivo.

Una vez se introduce la sección a comprobar a cortante, se procede a acceder, igual que se hizo para la comprobación a flexión, a la pestaña “E.L.U.”, pero ahora se entrará en la opción “TT1 Cortante. Sección rectangular y T”. En ella, se selecciona la sección pertinente, I-60, se selecciona la opción de comprobación “Con armadura de cortante”, inclinación de armaduras, 90º, y se rellena el campo de “Axil de cálculo (compresión +)”. Es en este último en el que se colocará el valor de la compresión que provoca el pretensado, que no el tesado, se vuelve a recordar:

$$P_{\text{tesado}} = 1395 \text{ kN/mm}^2$$

$$P_{\text{pretensado}} = \sim 0,75 \cdot P_{\text{tesado}} = 1046 \text{ kN/mm}^2$$

En esta sección se tienen 3 tendones ejerciendo la tensión de pretensado, esto se traduce en una fuerza transmitida a la sección de:

$$1046 \text{ kN/mm}^2 \cdot (3 \cdot 101,4 \text{ mm}^2) = 318,27 \text{ kN}$$

Y si se considera además, para ser precisos y estar del lado de la seguridad, un coeficiente de minoración igual al ratio entre el área del alma y el área de la sección completa:

$$N_d = 318,27 \text{ kN} \cdot 1140/1810 = 200,5 \text{ kN}$$

En este apartado del axil de compresión, se pide además una cuantía de armados comprimidos (parte superior) en tanto por mil. De nuevo, para estar del lado de la seguridad, se considerará la cuantía de la sección completa; en este caso:

$$2\phi 16 = 4,02 \text{ cm}^2$$

$$4\phi 8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{\text{comprimida}} = (4,02 + 2,01)/1810 = 3,33 \text{ ‰}$$

Toda esta serie de cálculos, introducidos en la correspondiente ventana del cálculo a cortante de la sección, y considerando cercos simples (2 ramas) de diámetro 8 mm dispuestos cada 15 mm, como se especifica en planillas de armado proporcionadas por ARTEPREF, da lugar al valor de resistencia a cortante que puede verse en la siguiente figura:

**Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?**

Sección: I-60

**Inclinación de las bielas**  
 $\text{ctg } \theta$ : 1.0  $\theta$  [°]: 45

**Inclinación de las armaduras**  
 $\alpha$  [°]: 90.0

$\rho$  [‰]: 5  
 $b_0$  [m]: 0.19  
 $d$  [m]: 0.40  
 $z$  [m]: 0.36

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida: 12 [mm]

**Axil de cálculo (compresión +)**  
 $N_d$  [kN]: 200.5  
 $\sigma'_{cd}$  [MPa]: 0.3  
 $\rho_{\text{comprimida}}$  [‰]: 3.33

**Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)**  
 $\sigma_{xd}$  [MPa]: 0.3  
 $\sigma_{yd}$  [MPa]: 0.0  
 $\theta_e$  [°]: 43.9

**Comprobación Dimensionamiento**

Diagrama de la sección: **ARMADURA DE CORTANTE** y **BIELAS DE COMPRESION**

Cortante de agotamiento de las bielas	$V_{u1}$ [kN]	684.0
Cortante de agotamiento de los tirantes	$V_{u2}$ [kN]	133.6
Contribución del hormigón a la resistencia	$V_{cu}$ [kN]	37.1
Contribución de la armadura transversal	$V_{su}$ [kN]	96.5
<b>Resistencia a cortante</b>	<b><math>V_u</math> [kN]</b>	<b>133.6</b>

$\phi$  [mm]: 8  
 $s_t$  [m]: 0.15  
 $n^{\circ}$  ramas: 2  
 $A_{\alpha}$  [cm²/m]: 6.7

Figura 348 Resistencia a cortante viga salvapilar I-60

Este valor se compara con el máximo en módulo que se encuentra en el modelo, y éste es:

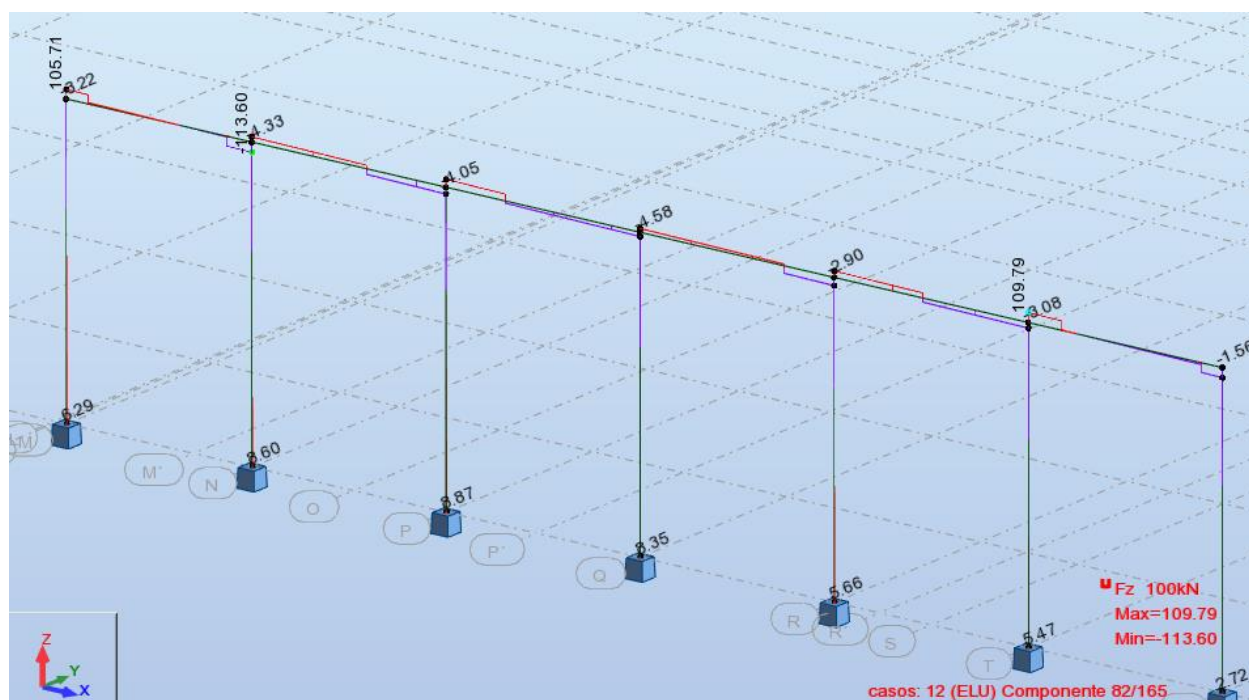


Figura 349 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-60

...inferior al valor de resistencia a cortante de la sección, por lo que el armado transversal escogido para la sección sería correcto.

El armado total de la sección, juntando éste con el de flexión, sería:

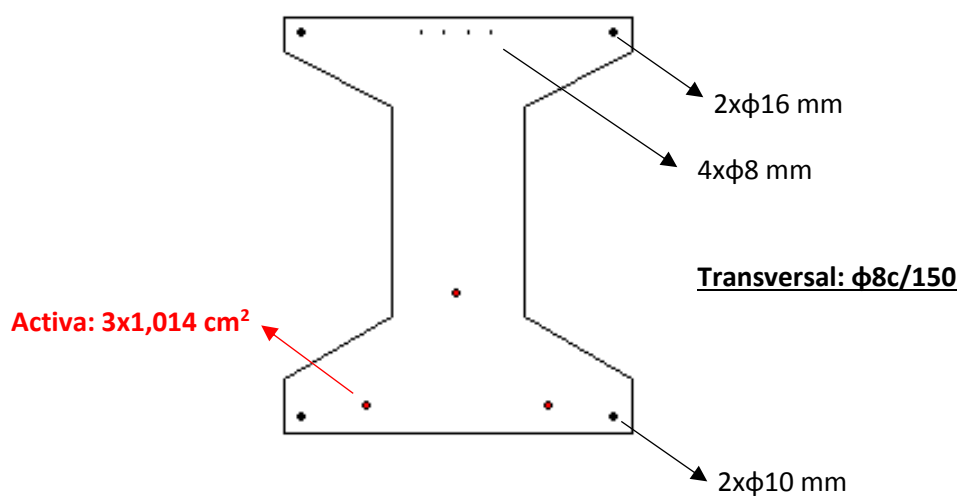


Figura 350 Armado total final viga salvapilar I-60

## 4.2 Viga I-65

### Comprobación a flexión

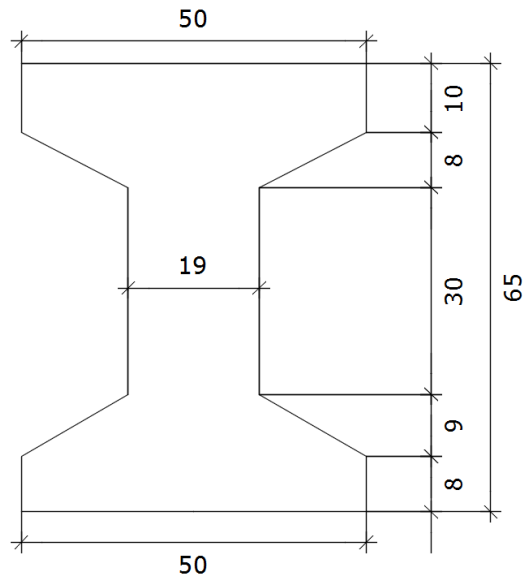


Figura 351 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF

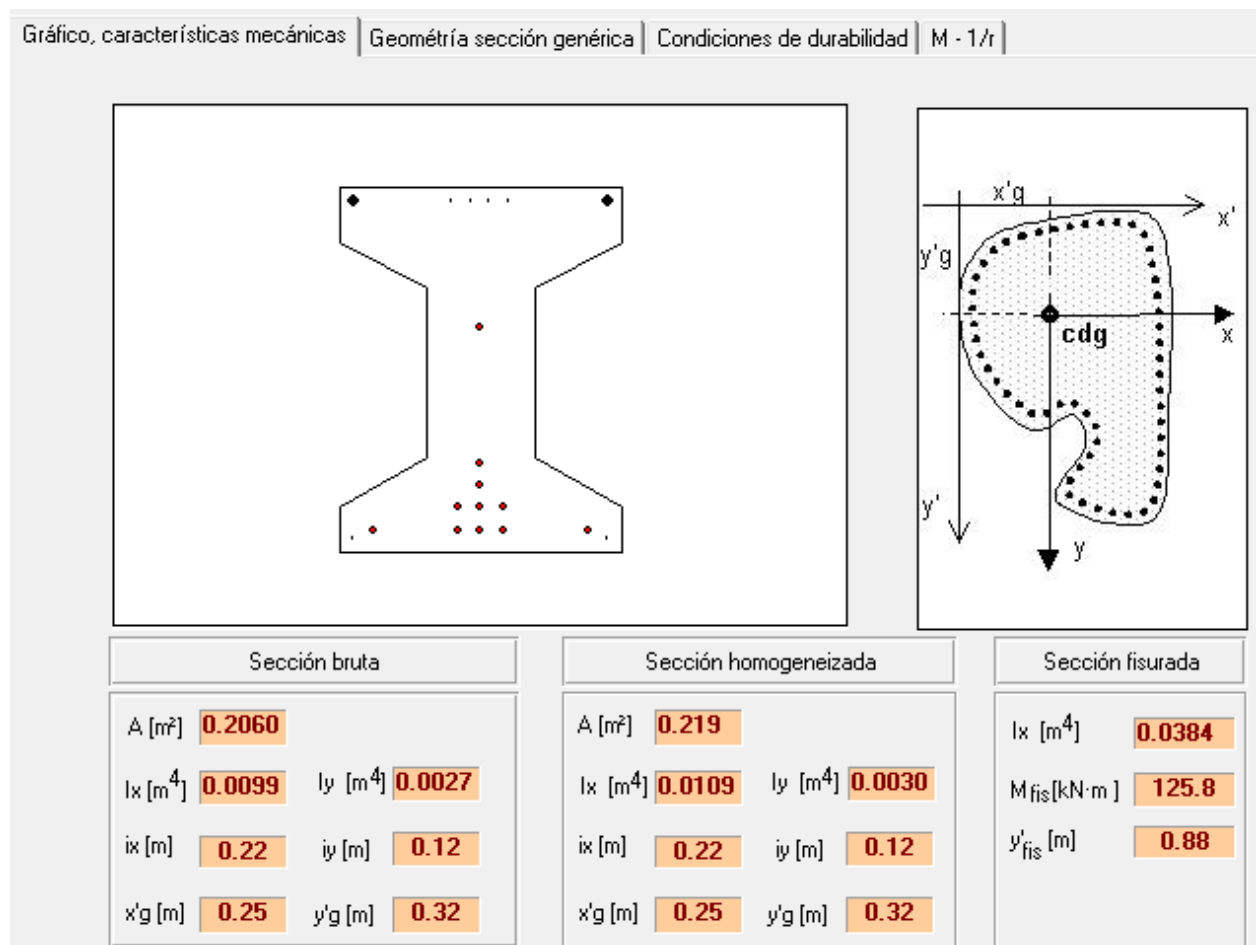


Figura 352 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-65

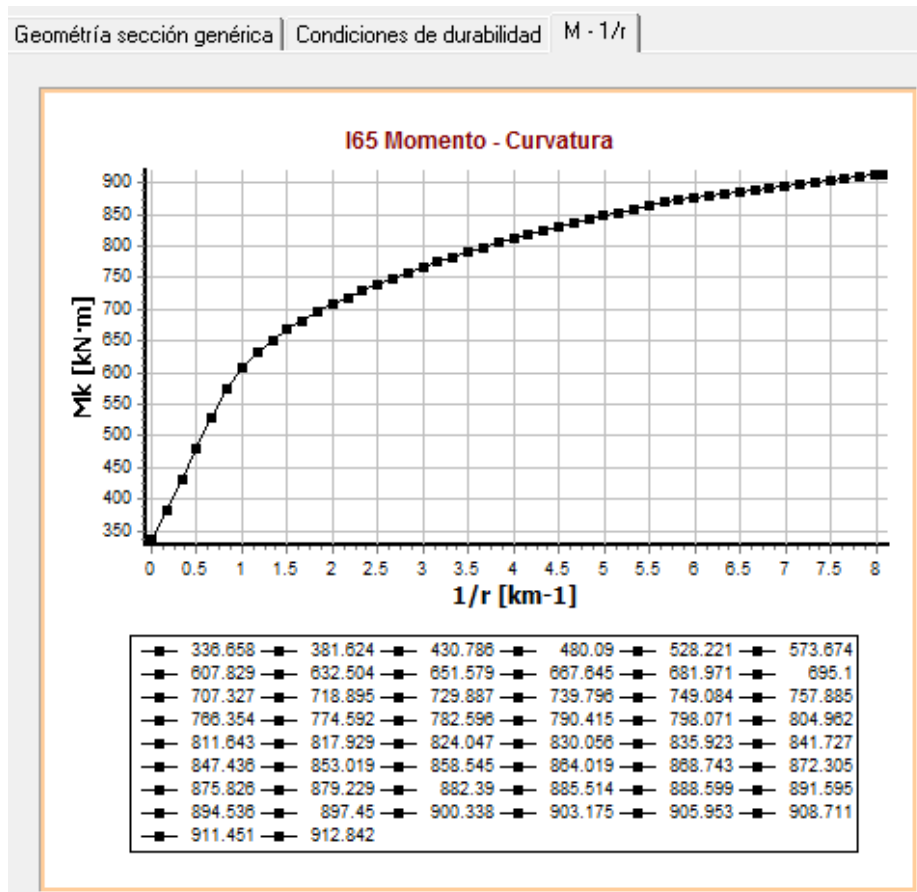


Figura 353 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-65 (método 1)

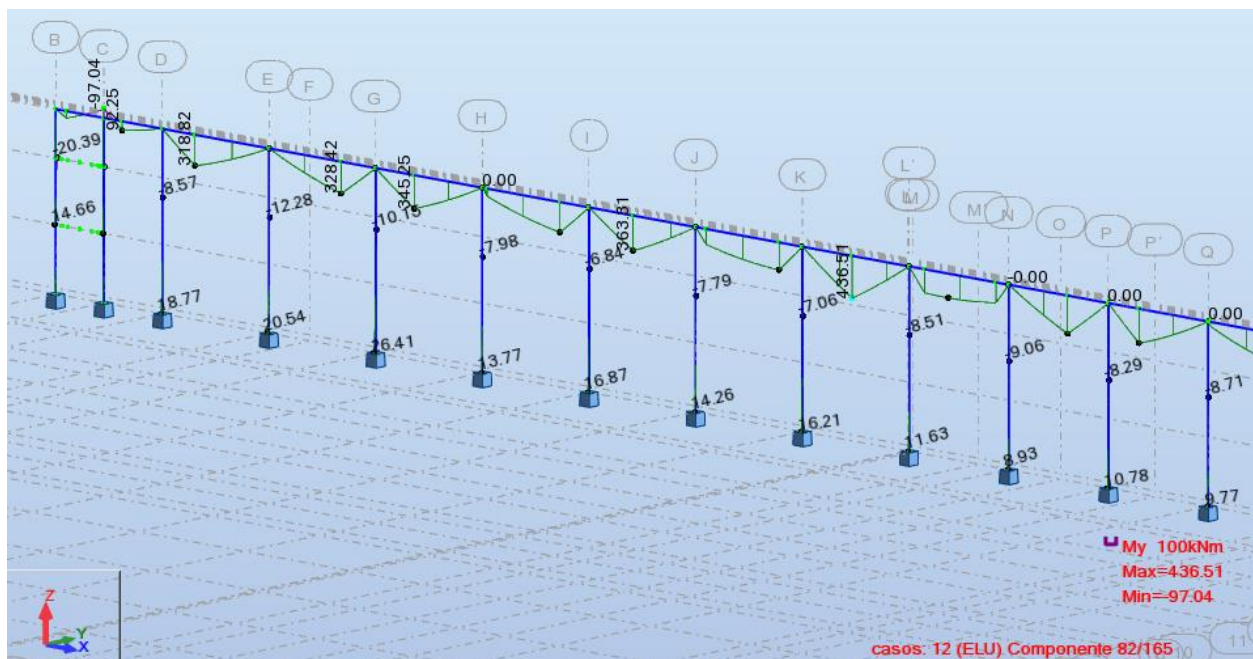


Figura 354 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-65



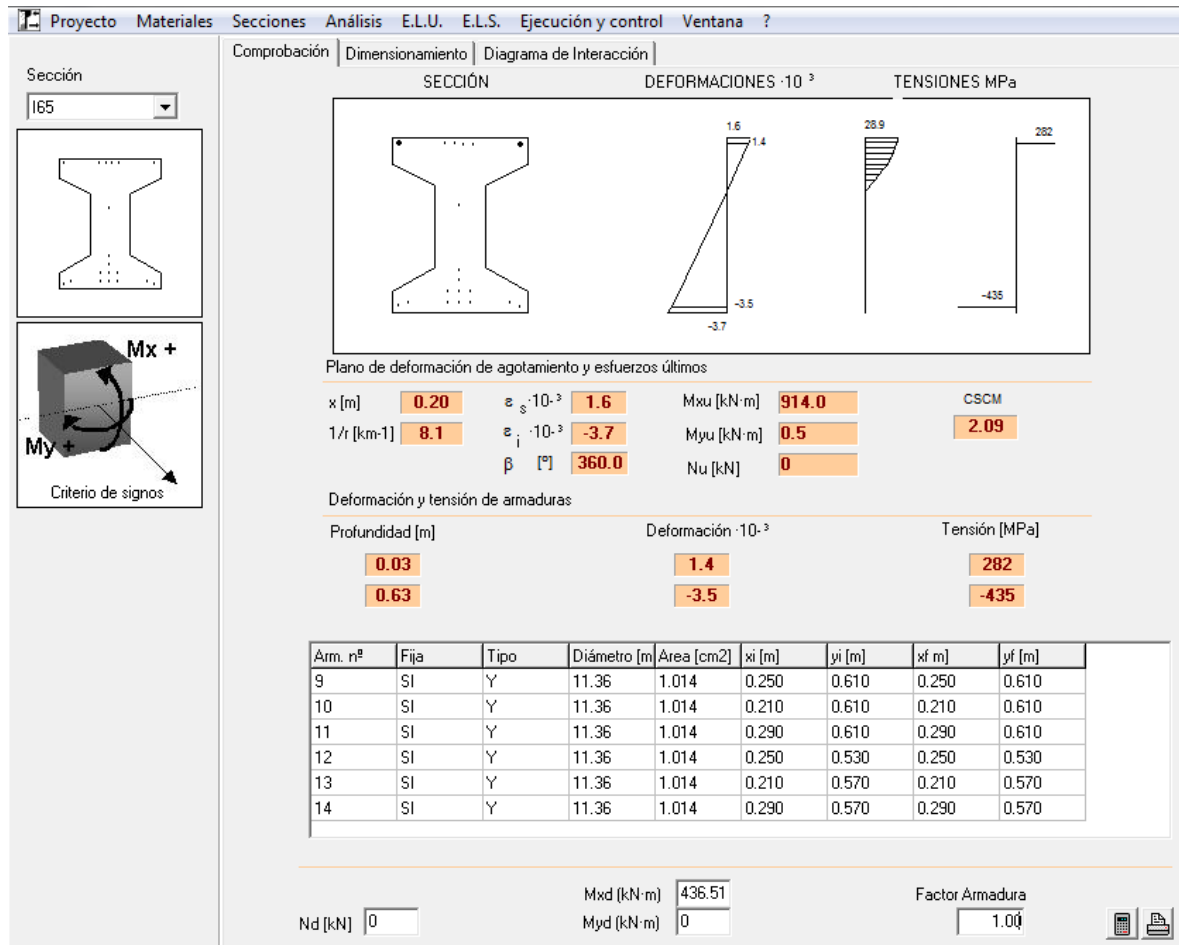


Figura 355 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-65 (método 2)

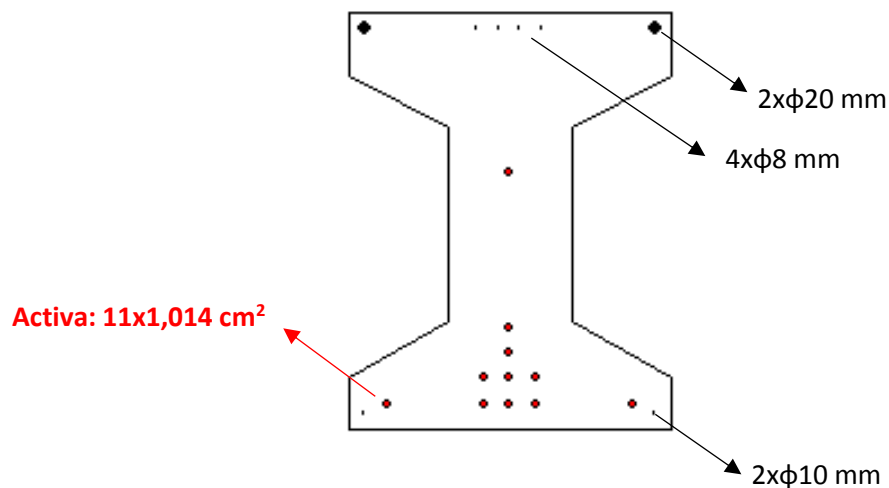


Figura 356 Armado longitudinal final viga salvapilar I-65

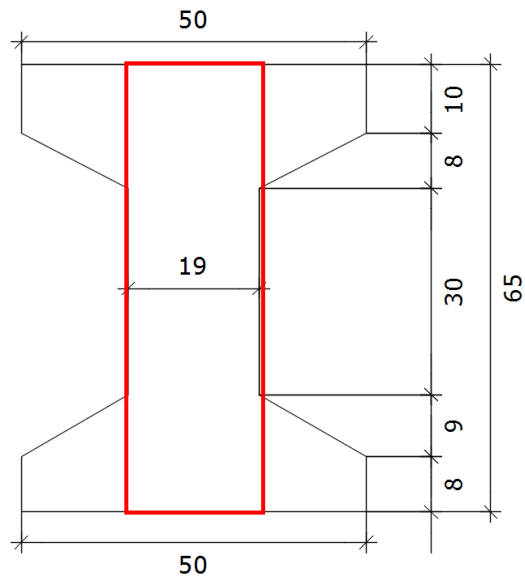
**Comprobación a cortante**

Figura 357 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma

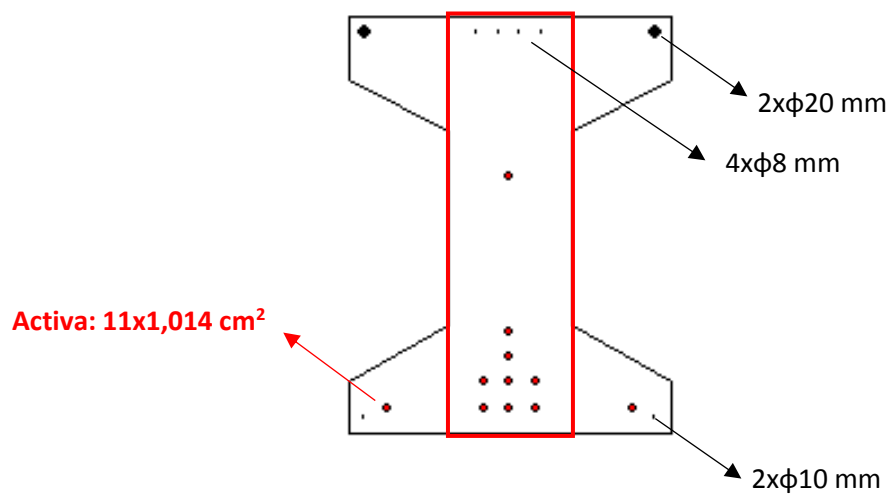


Figura 358 Armado longitudinal final viga salvapilar I-65. Delimitación del alma

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Tipo de Sección

- ☒ Rectangular áreas
- ☐ Rectangular redondos
- ☐ T
- ☐ Circular
- ☐ Genérica
- ☐ Genérica armaduras adicionales

Sección I-65

Hormigón HA-45

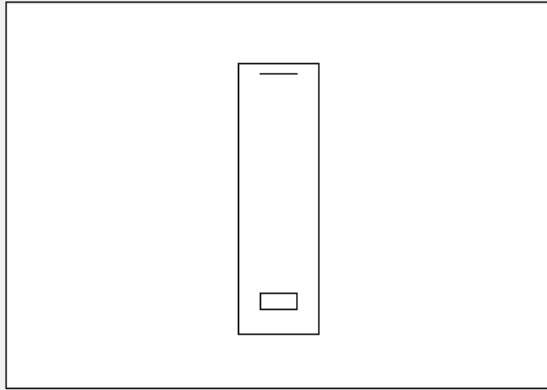
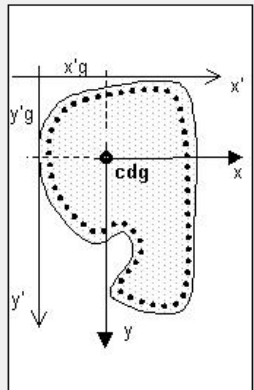
Acero Pasivo B-500-S

b [m] 0.1900 h [m] 0.6500

ri [m] 0.0800 rs [m] 0.0250

Ai [cm²] 33.9500 As [cm²] 2.0100

Gráfico, características mecánicas Condiciones de durabilidad M - 1/r

Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.1240	A [m²]	0.146	Ix [m⁴]	0.0032
Ix [m⁴]	0.0043	Iy [m⁴]	0.0004	Iy [m⁴]	0.0004
Iy [m⁴]	0.0004	Ix [m⁴]	0.0056	Mfis[kN·m]	72.6
ix [m]	0.19	iy [m]	0.05	y'fis [m]	0.26
iy [m]	0.05	ix [m]	0.20		
x'g [m]	0.10	iy [m]	0.05		
y'g [m]	0.33	x'g [m]	0.10		
		y'g [m]	0.36		

Figura 359 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-65

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección I-65

Inclinación de las bielas

ctg  $\theta$  1.0  $\theta$  [°] 45

Inclinación de las armaduras

$\alpha$  [°] 90.0

$\rho$  [%] 20

b0 [m] 0.19

d [m] 0.57

z [m] 0.51

☒ Con armadura de cortante

☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón

☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión

Diámetro de la armadura comprimida

$\phi$  [mm] 12

Axil de cálculo (compresión +)

Nd [kN] 700

$\sigma'_{cd}$  [MPa] 3.9

$\rho$  comprimida [%] 4.03

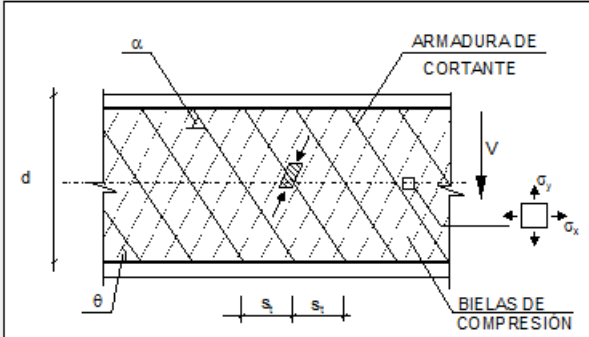
Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)

$\sigma_{xd}$  [MPa] 3.9

$\sigma_{yd}$  [MPa] 0.0

$\theta_e$  [°] 35.1

Comprobación Dimensionamiento



Cortante de agotamiento de las bielas Vu1 [kN] 974.8

Cortante de agotamiento de los tirantes Vu2 [kN] 291.1

Contribución del hormigón a la resistencia Vcu [kN] 76.2

Contribución de la armadura transversal Vsu [kN] 214.9

Resistencia a cortante Vu [kN] 291.1

$\phi$  [mm] 10

st [m] 0.15

nº ramas 2

$A_\alpha$  [cm²/m] 10.5

Figura 360 Resistencia a cortante viga salvapilar I-65

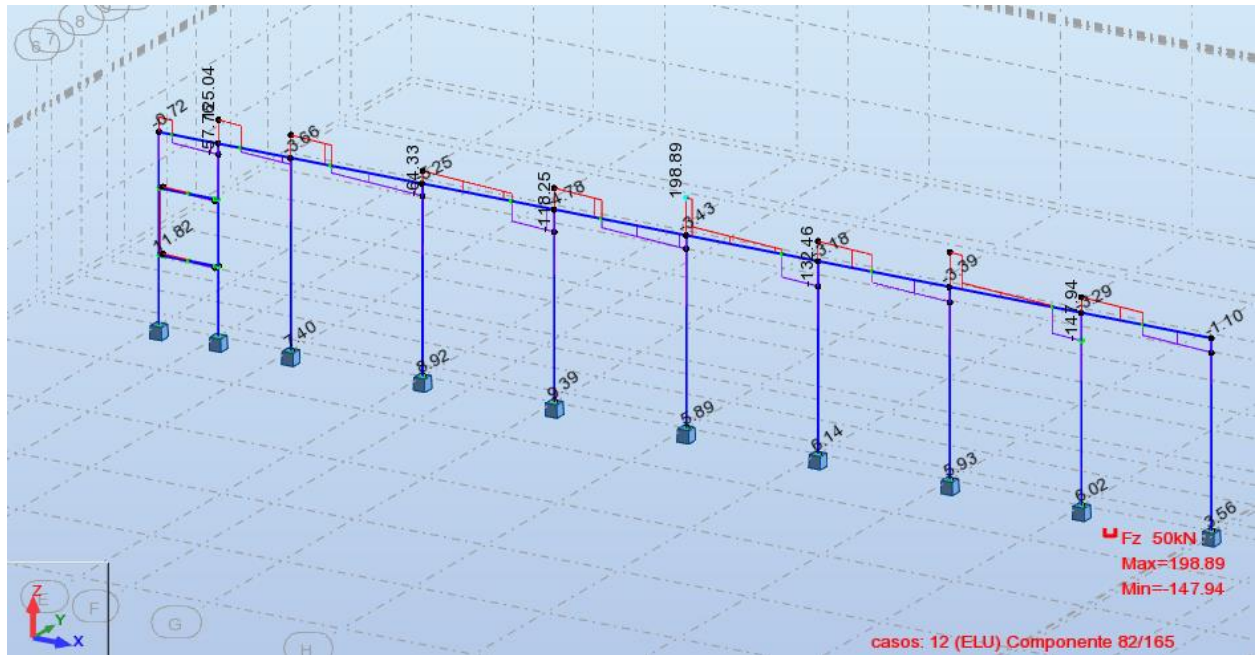


Figura 361 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-65

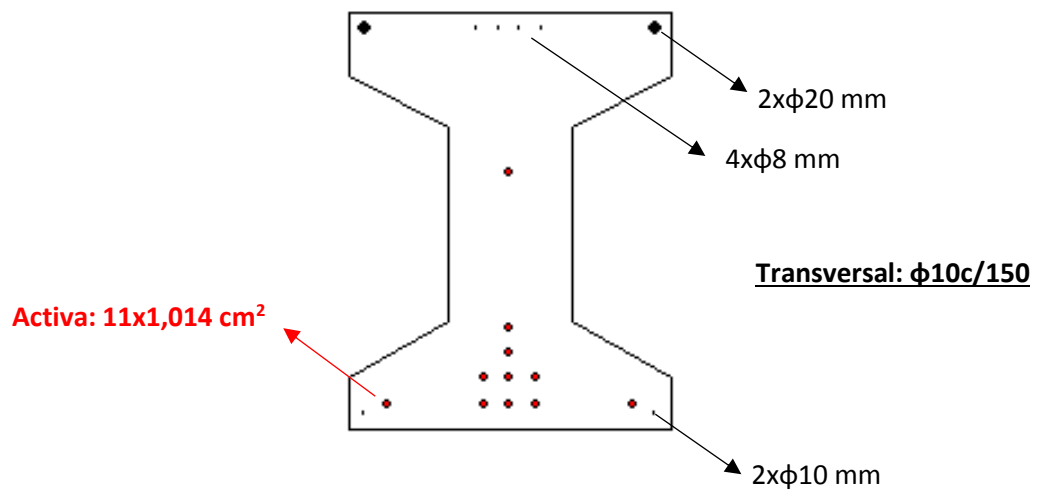


Figura 362 Armado total final viga salvapilar I-65

### 4.3 Viga I-85

#### Comprobación a flexión

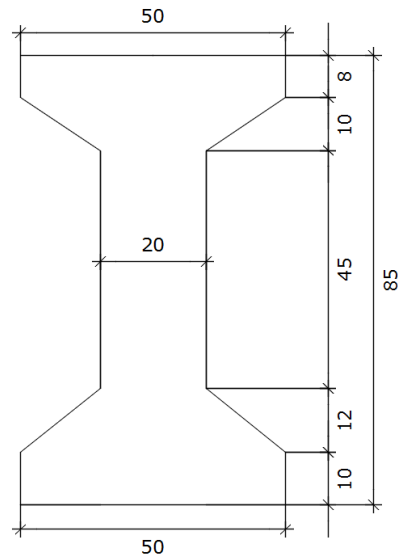


Figura 363 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF

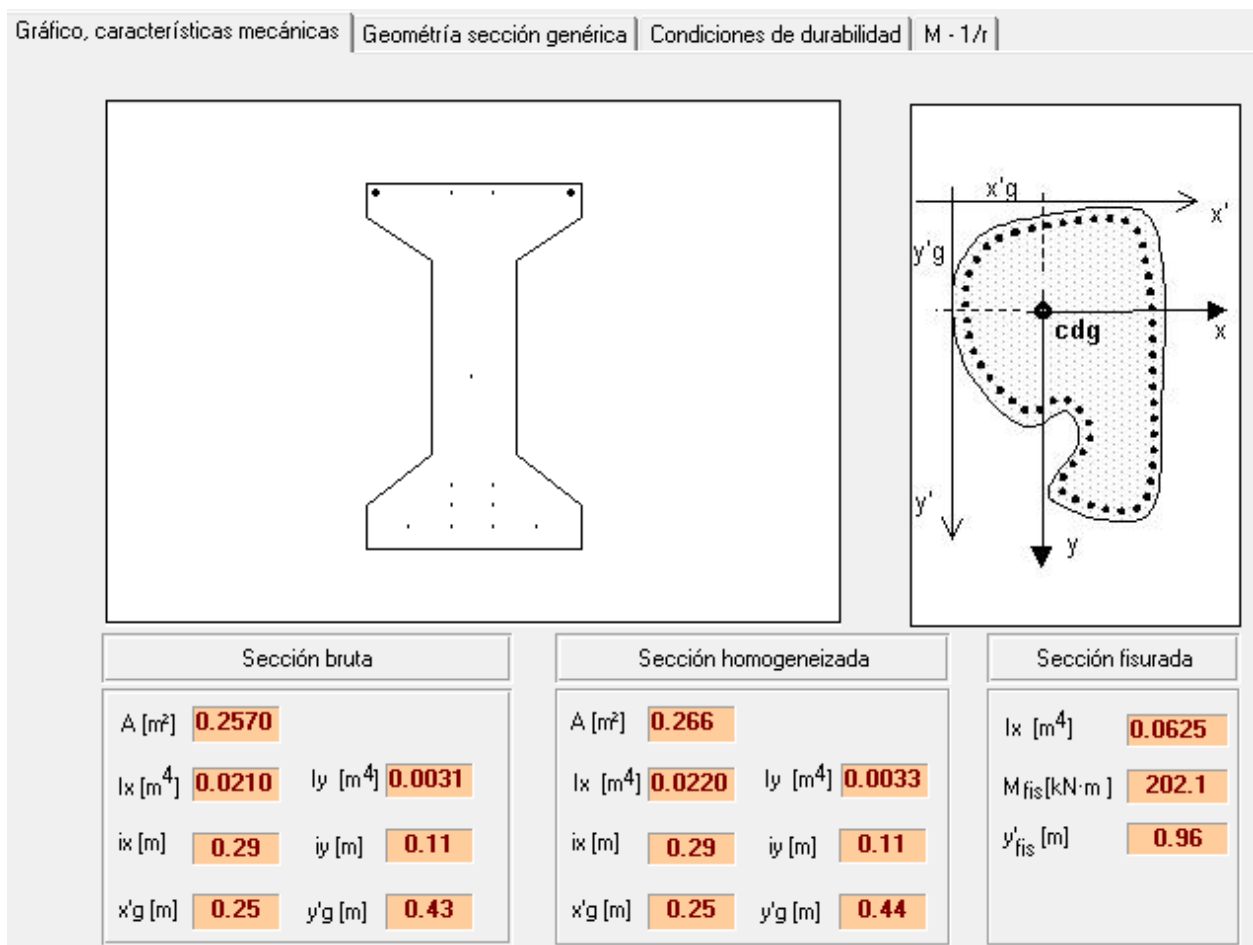


Figura 364 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-85

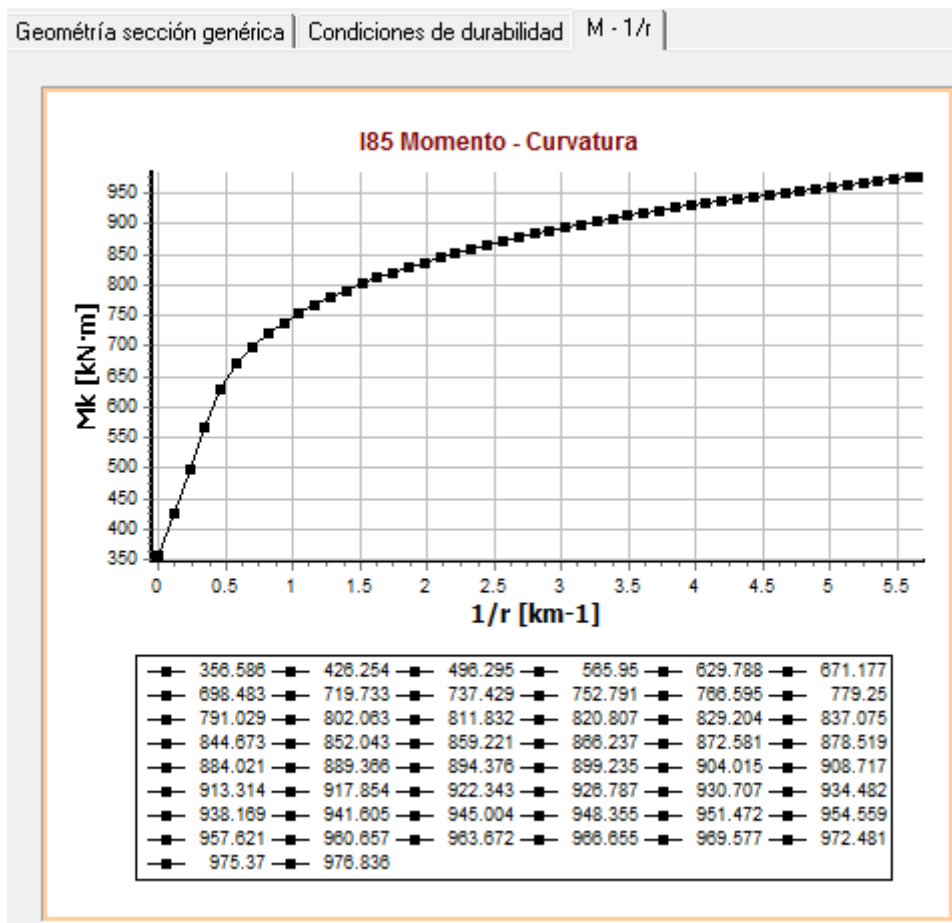


Figura 365 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-85 (método 1)

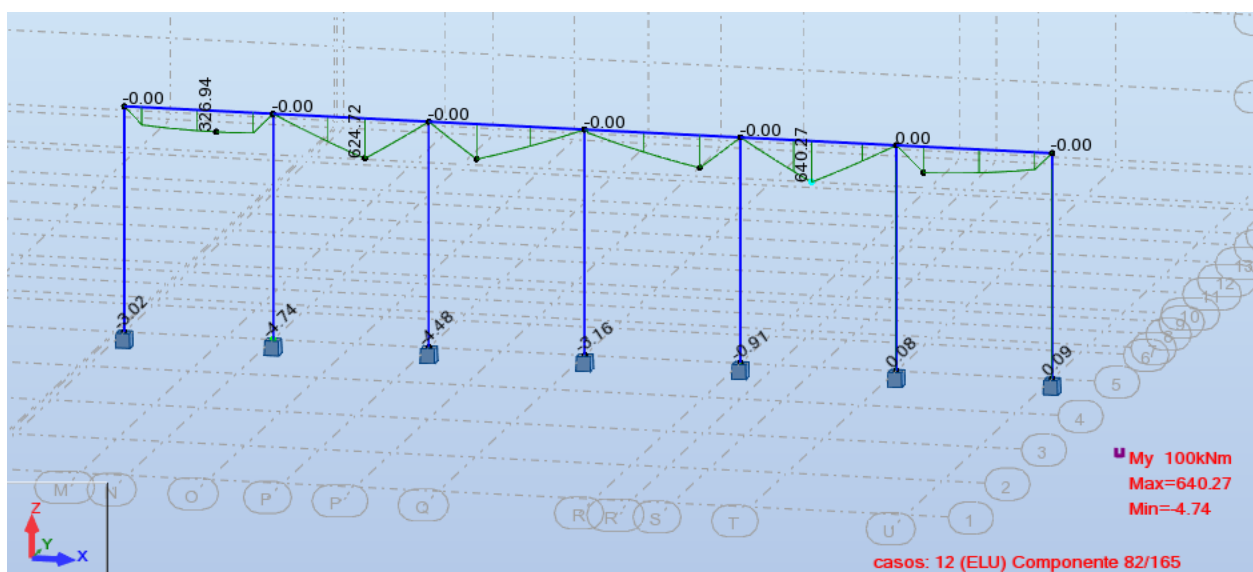


Figura 366 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-85

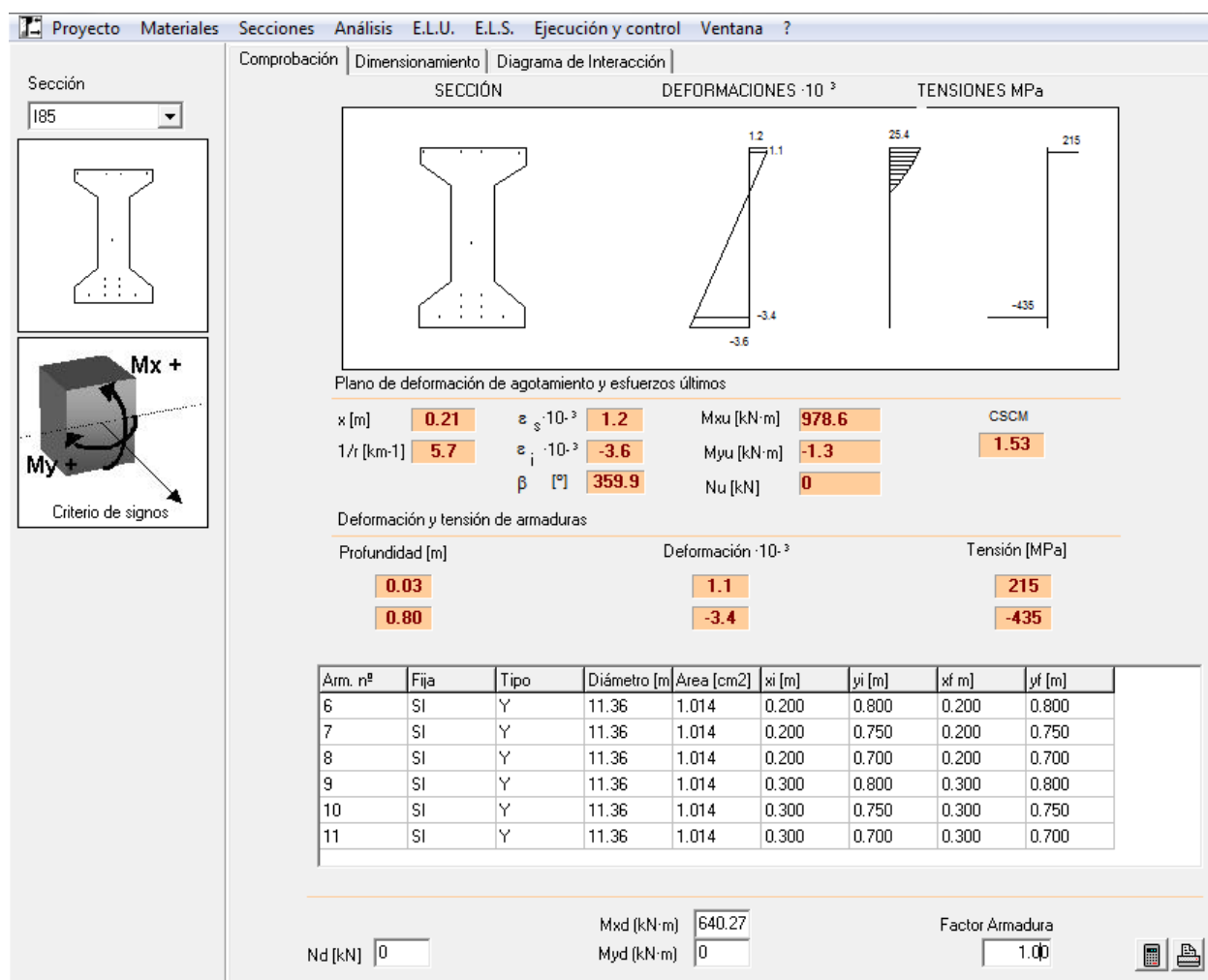


Figura 367 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-85 (método 2)

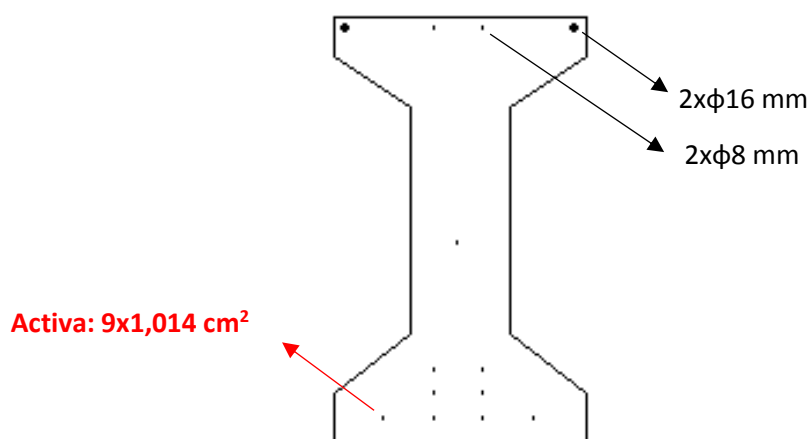
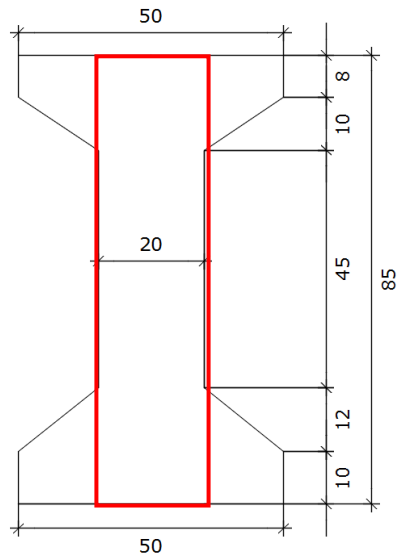
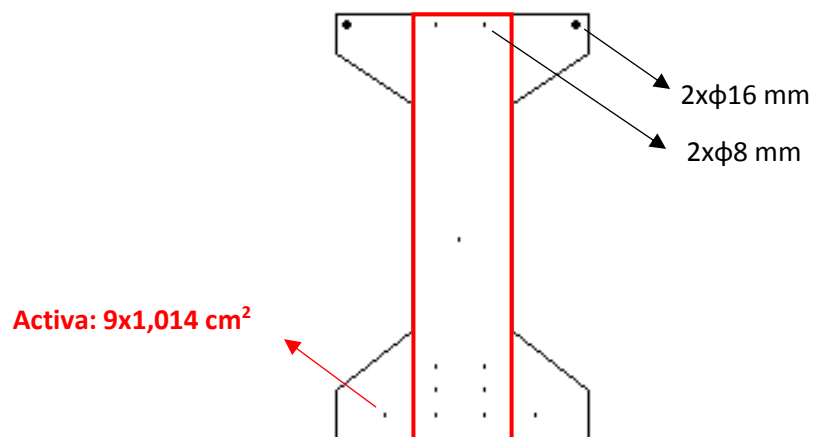


Figura 368 Armado longitudinal final viga salvapilar I-85



**Comprobación a cortante**

*Figura 369 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma*



*Figura 370 Armado longitudinal final viga salvapilar I-85. Delimitación del alma*

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

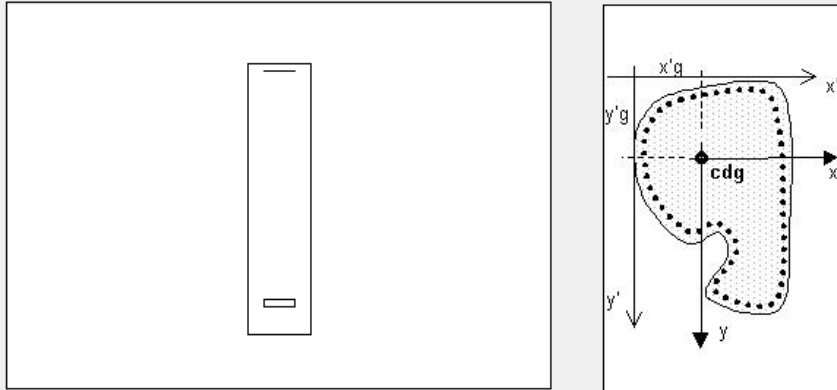
Tipo de Sección

- ☒ Rectangular áreas
- ☐ Rectangular redondos
- ☐ T
- ☐ Circular
- ☐ Genérica
- ☐ Genérica armaduras adicionales

Sección: I-85  
 Hormigón: HA-45  
 Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.200 h [m]: 0.8500  
 r<sub>i</sub> [m]: 0.100 r<sub>s</sub> [m]: 0.0250  
 A<sub>i</sub> [cm²]: 26.4 A<sub>s</sub> [cm²]: 1.00

Gráfico, características mecánicas | Condiciones de durabilidad | M - 1/r |

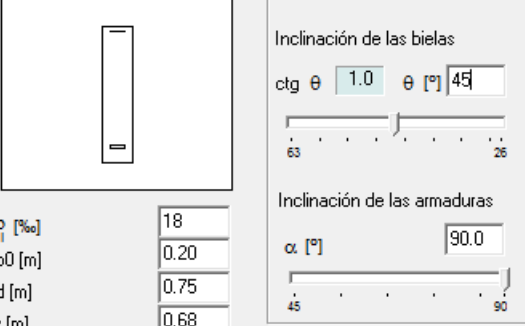


Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.1700	A [m²]	0.187	I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0052
I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0102	I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0006	M <sub>fis</sub> [kN·m]	114.0
i <sub>x</sub> [m]	0.25	i <sub>y</sub> [m]	0.06	y'fis [m]	0.28
x'g [m]	0.10	y'g [m]	0.43		

Figura 371 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-85

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección: I-85



Inclinación de las bielas  
 ctg θ: 1.0 θ [°]: 45

Inclinación de las armaduras  
 α [°]: 90.0

p<sub>t</sub> [%]: 18  
 b<sub>0</sub> [m]: 0.20  
 d [m]: 0.75  
 z [m]: 0.68

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

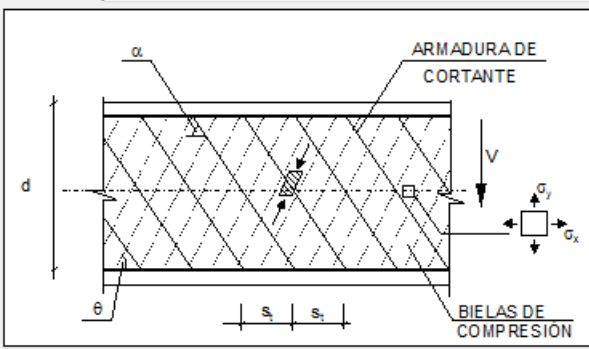
☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida  
 φ [mm]: 12

Axil de cálculo (compresión +)  
 Nd [kN]: 631.4  
 σ'cd [MPa]: 2.9  
 Pcomprimida [%]: 1.95

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 σ<sub>xd</sub> [MPa]: 2.9  
 σ<sub>yd</sub> [MPa]: 0.0  
 θ<sub>e</sub> [°]: 37.0

Comprobación | Dimensionamiento |



Cortante de agotamiento de las bielas Vu1 [kN]: 1350.1  
 Cortante de agotamiento de los tirantes Vu2 [kN]: 370.4  
 Contribución del hormigón a la resistencia Vcu [kN]: 98.9  
 Contribución de la armadura transversal Vsu [kN]: 271.4

Resistencia a cortante Vu [kN]: 370.4

φ [mm]: 8  
 s<sub>t</sub> [m]: 0.1  
 n<sup>o</sup> ramas: 2 A<sub>α</sub> [cm²/m]: 10.1

Figura 372 Resistencia a cortante viga salvapilar I-85

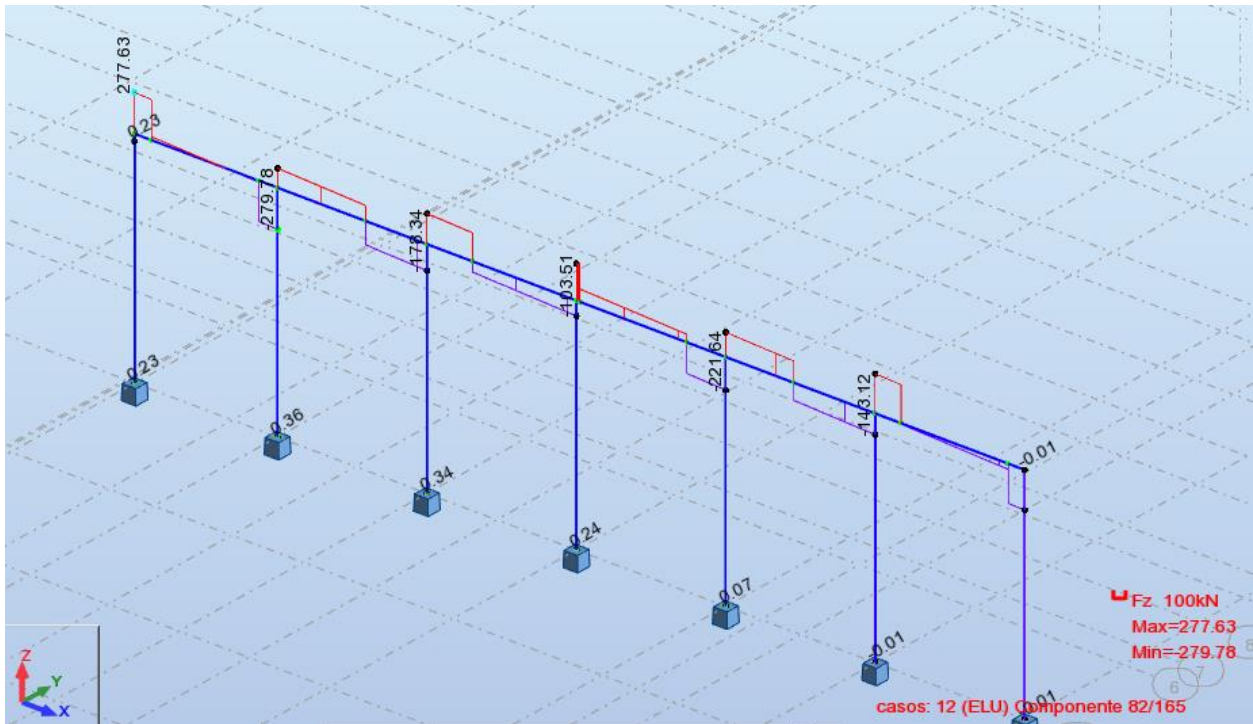


Figura 373 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-85

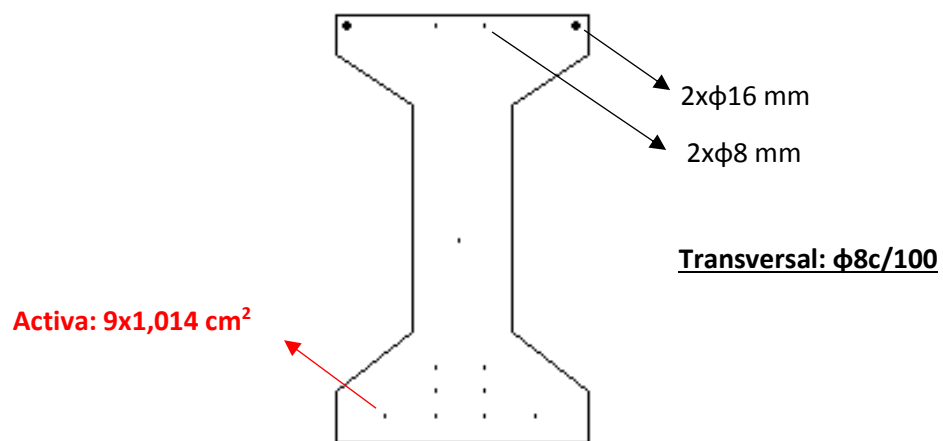


Figura 374 Armado total final viga salvapilar I-85

#### 4.4 Viga I-90

##### Comprobación a flexión

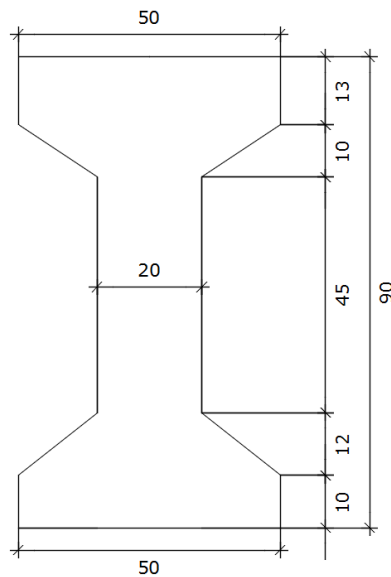


Figura 375 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF

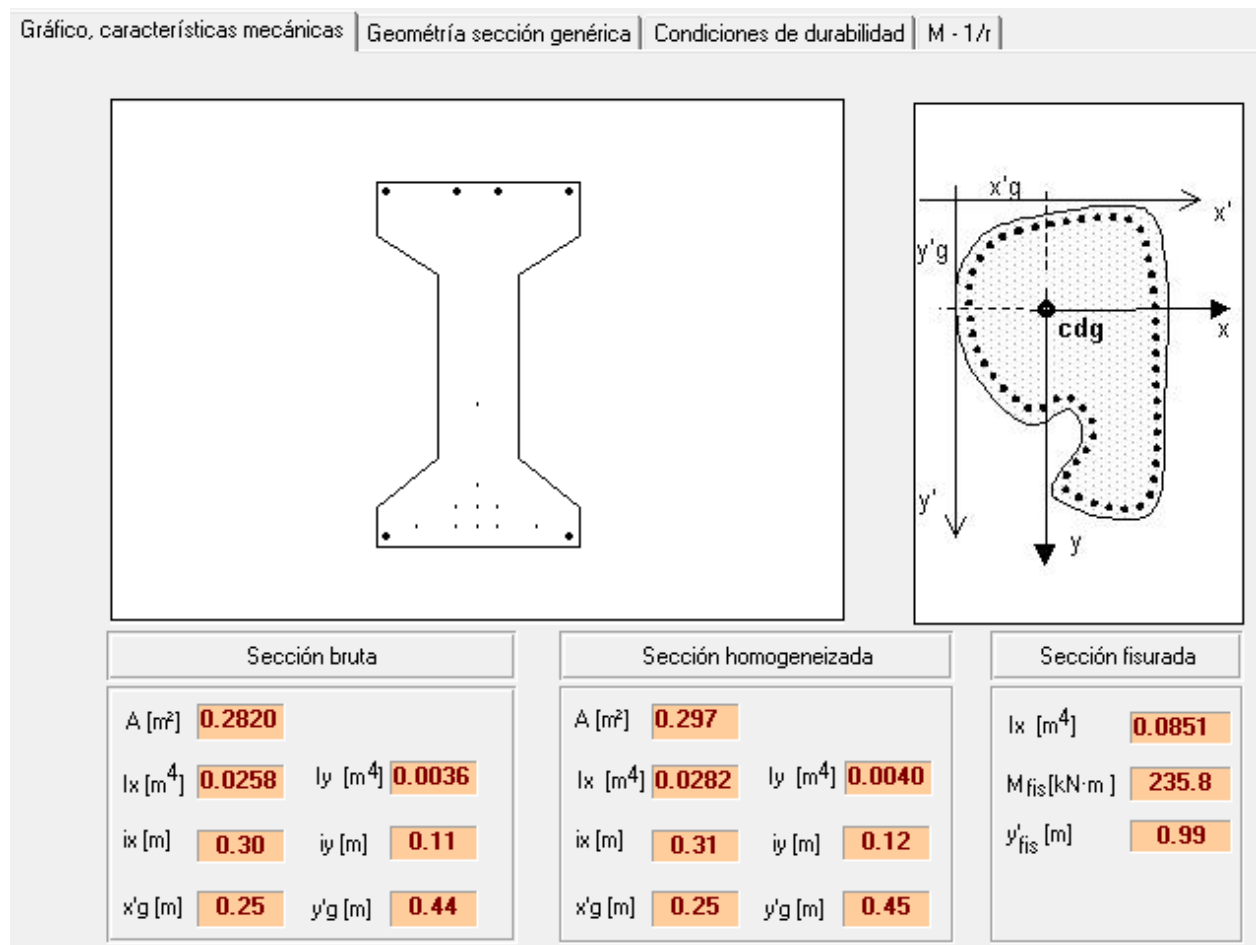


Figura 376 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-90

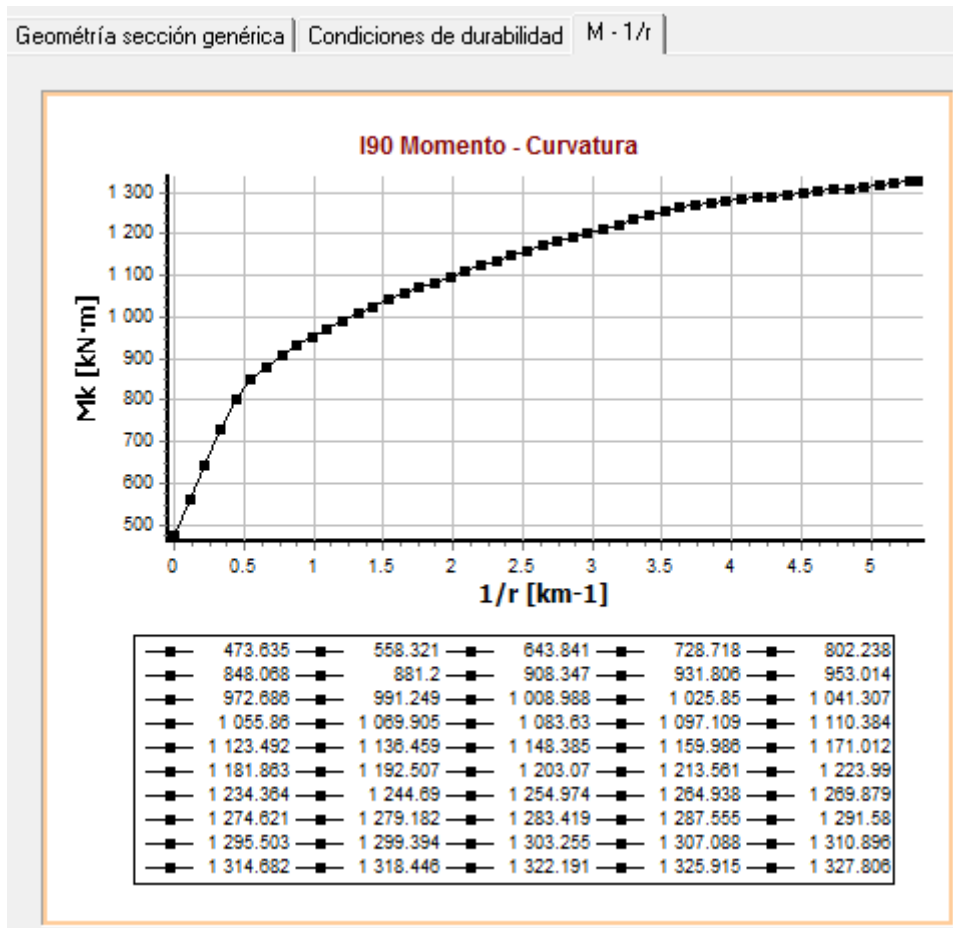


Figura 377 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-90 (método 1)

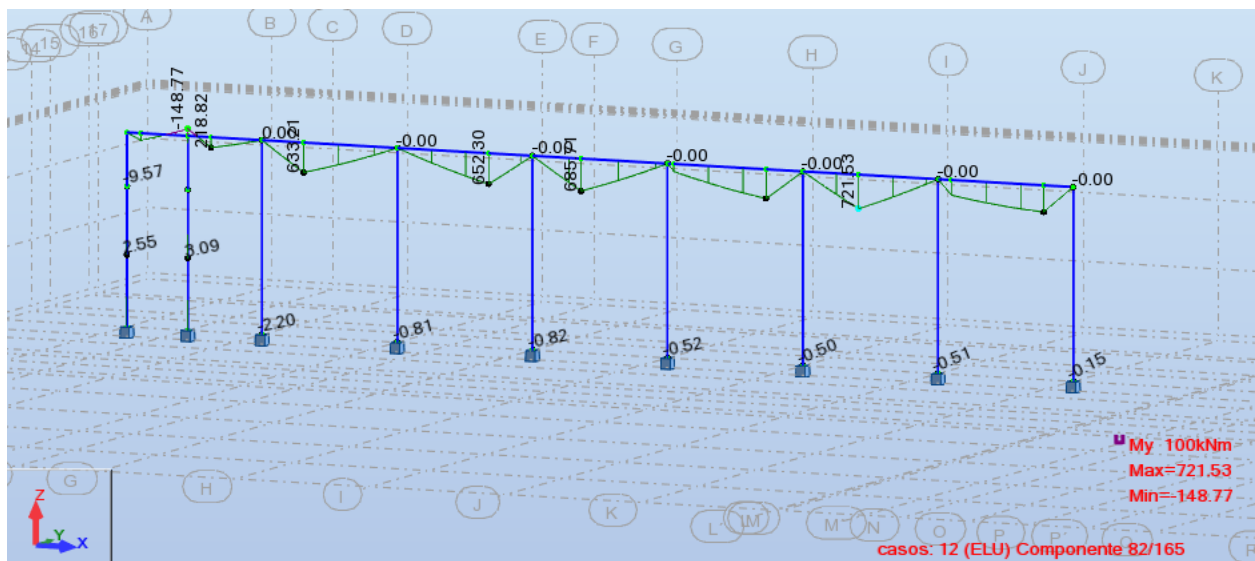


Figura 378 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-90

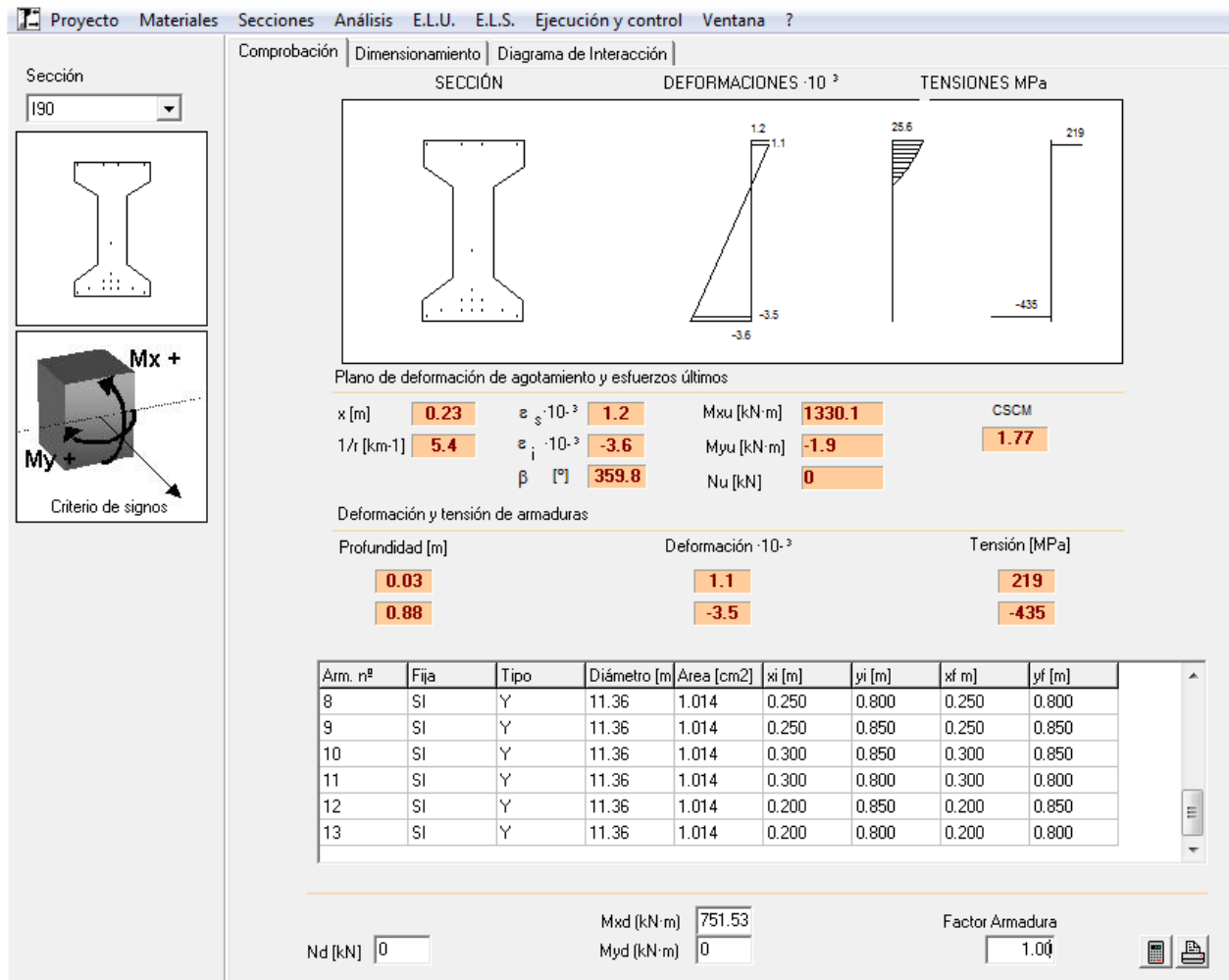


Figura 379 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-90 (método 2)

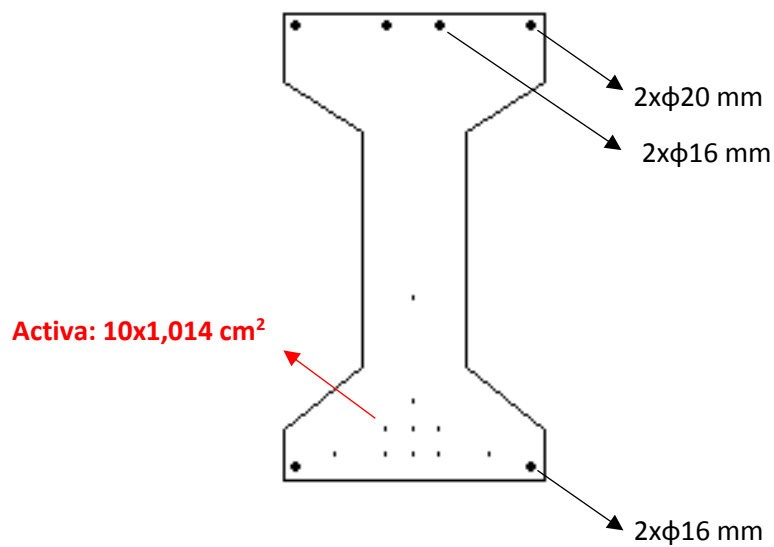


Figura 380 Armado longitudinal final viga salvapilar I-90

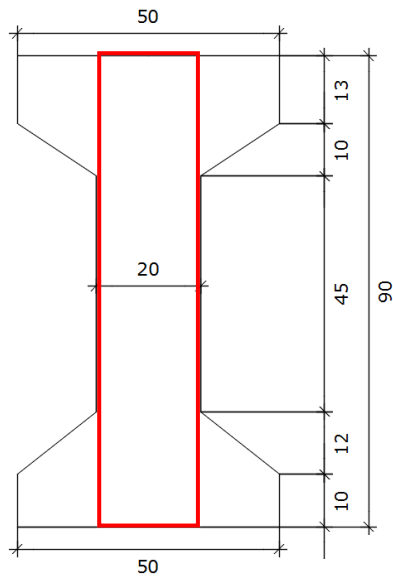
**Comprobación a cortante**

Figura 381 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma

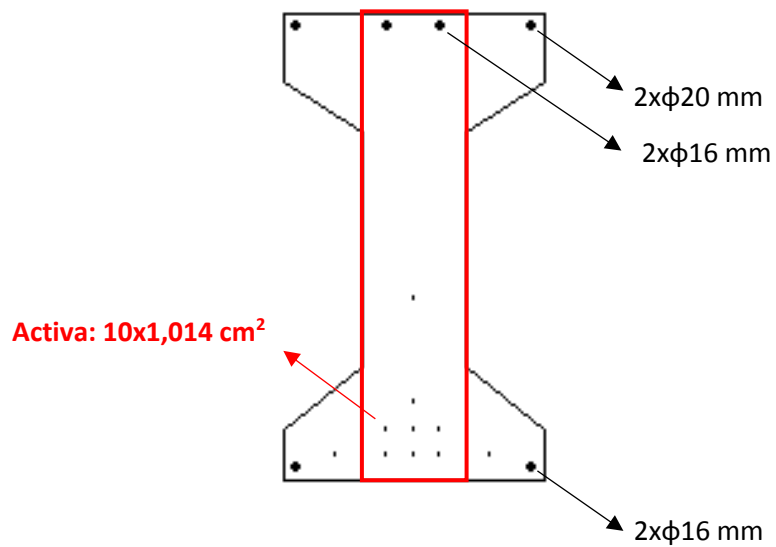


Figura 382 Armado longitudinal final viga salvapilar I-90. Delimitación del alma



Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Tipo de Sección

- ☒ Rectangular áreas
- ☐ Rectangular redondos
- ☐ T
- ☐ Circular
- ☐ Genérica
- ☐ Genérica armaduras adicionales

Sección: I-90

Hormigón: HA-45

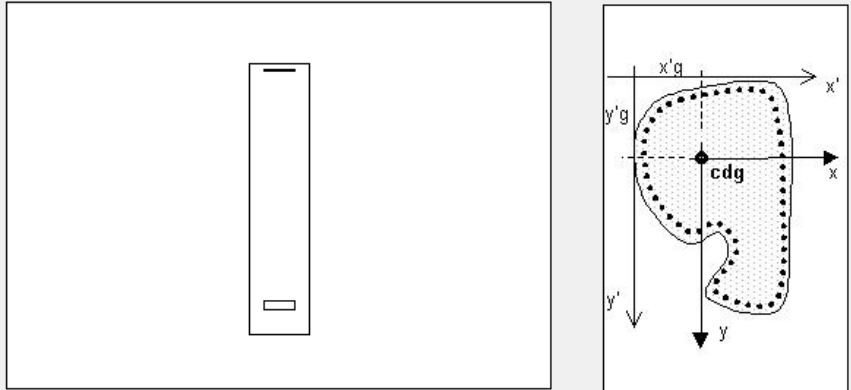
Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.2000 h [m]: 0.9000

ri [m]: 0.1000 rs [m]: 0.0250

Ai [cm²]: 30.1800 As [cm²]: 4.0200

Gráfico, características mecánicas | Condiciones de durabilidad | M - 1/r |

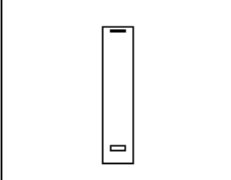


Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.1800	A [m²]	0.201	Ix [m⁴]	0.0067
Ix [m⁴]	0.0121	Iy [m⁴]	0.0006	Mfis[kN·m]	132.7
ix [m]	0.26	iy [m]	0.06	y'fis [m]	0.30
x'g [m]	0.10	y'g [m]	0.45		

Figura 383 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-90

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección: I-90



P<sub>t</sub> [%]: 19

b0 [m]: 0.20

d [m]: 0.80

z [m]: 0.72

Inclinación de las bielas

ctg θ: 1.0 θ [°]: 45

Inclinación de las armaduras

α [°]: 90.0

☒ Con armadura de cortante

☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón

☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión

Diámetro de la armadura comprimida

φ [mm]: 12

Axil de cálculo (compresión +)

Nd [kN]: 677

σ'cd [MPa]: 2.2

Pcomprimida [%]: 3.65

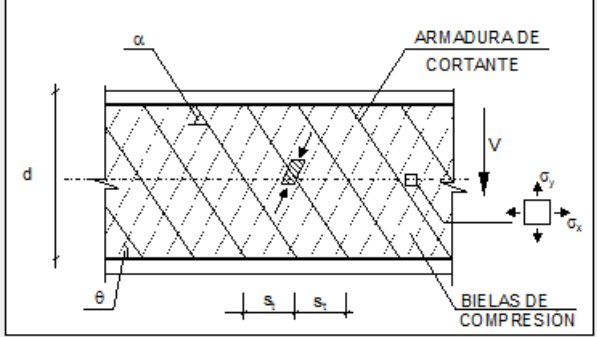
Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)

σ<sub>xd</sub> [MPa]: 2.2

σ<sub>yd</sub> [MPa]: 0.0

θ<sub>e</sub> [°]: 38.5

Comprobación | Dimensionamiento



Cortante de agotamiento de las bielas Vu1 [kN]: 1440.1

Cortante de agotamiento de los tirantes Vu2 [kN]: 394.2

Contribución del hormigón a la resistencia Vcu [kN]: 104.7

Contribución de la armadura transversal Vsu [kN]: 289.5

Resistencia a cortante Vu [kN]: 394.2

φ [mm]: 8

st [m]: 0.1

nº ramas: 2

A<sub>α</sub> [cm²/m]: 10.1

Figura 384 Resistencia a cortante viga salvapilar I-90

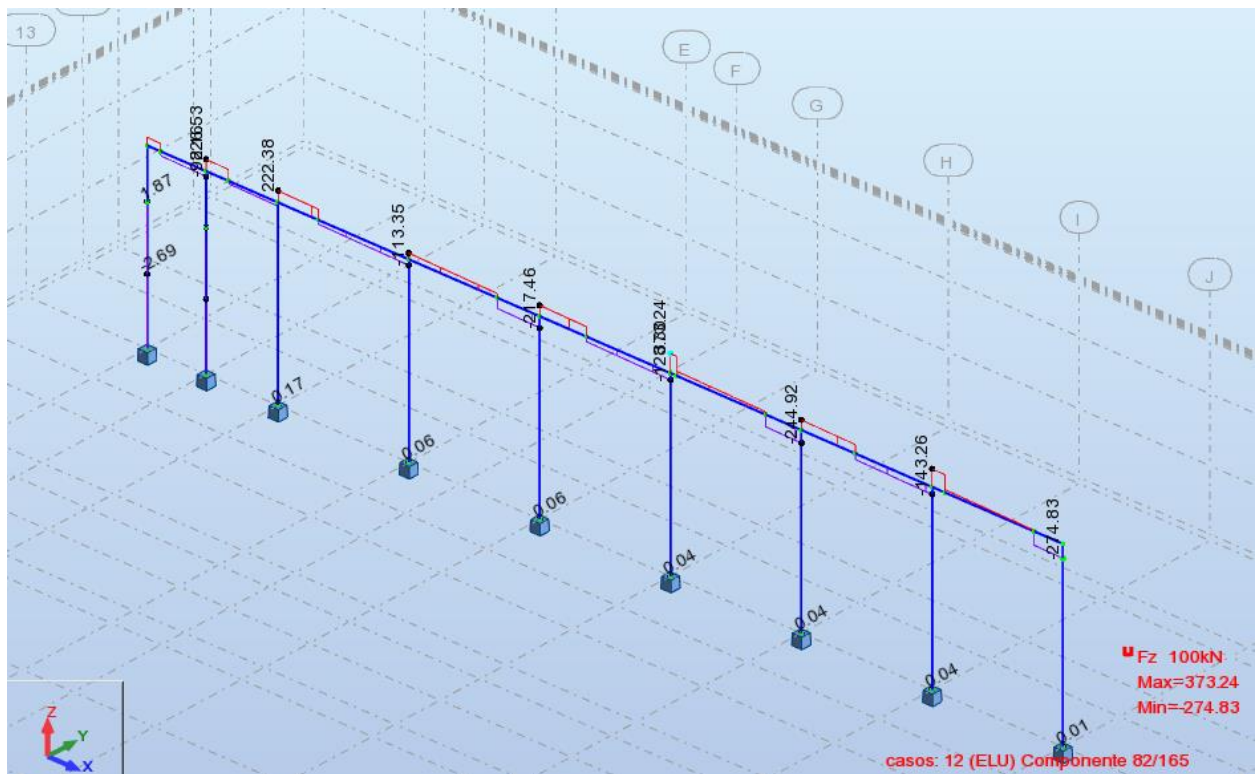


Figura 385 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-90

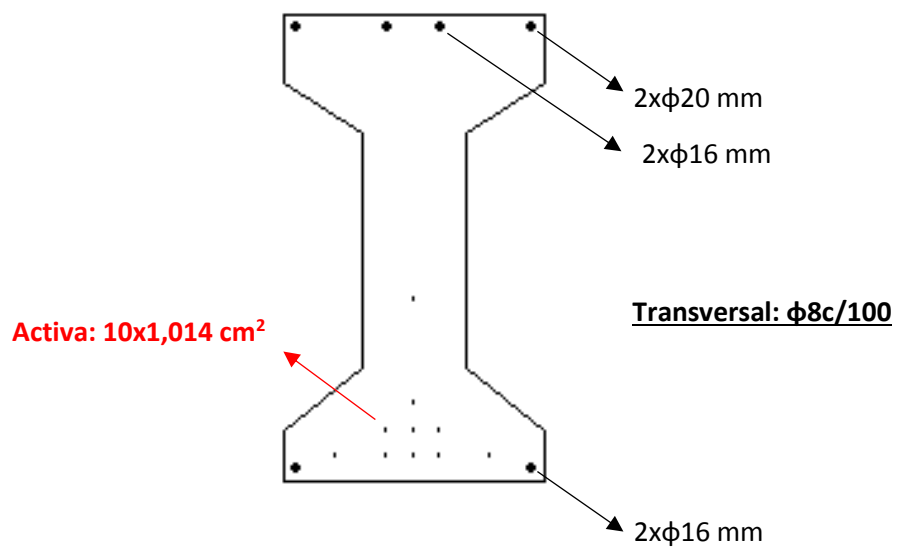


Figura 386 Armado total final viga salvapilar I-90

#### 4.5 Viga I-95

##### Comprobación a flexión

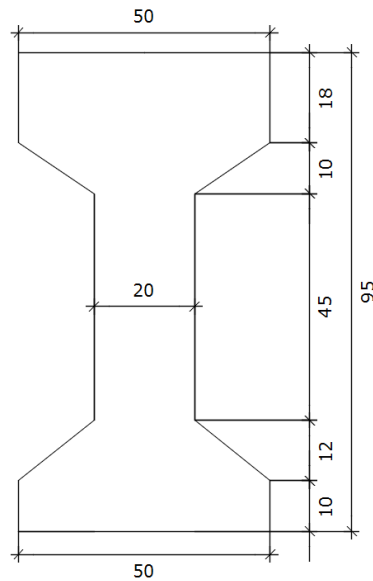


Figura 387 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF

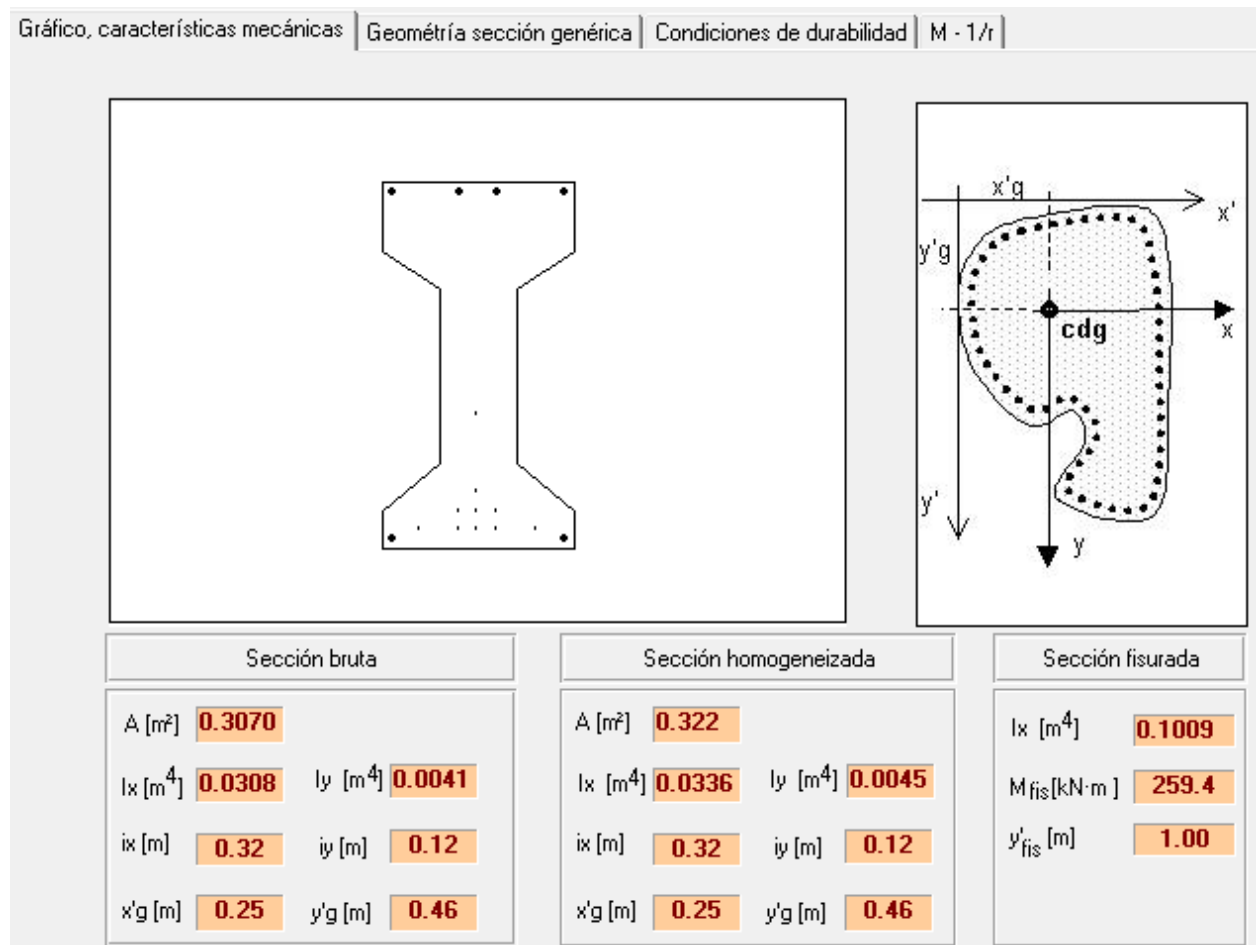


Figura 388 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-95

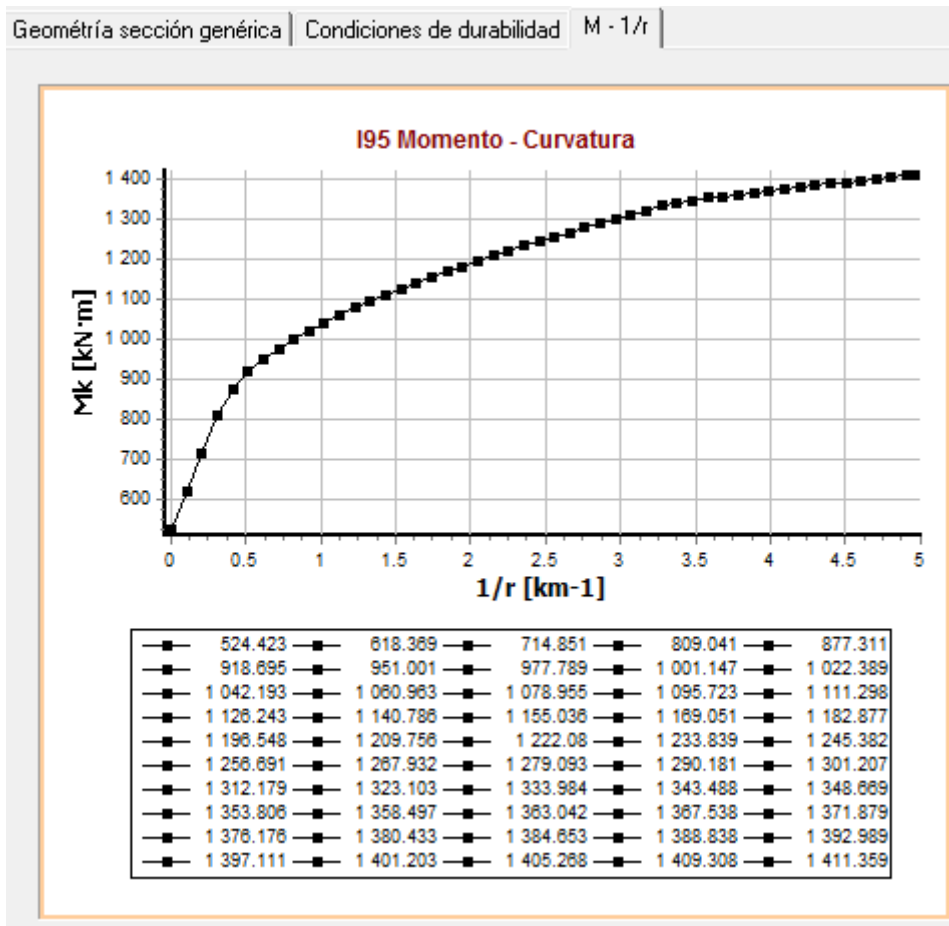


Figura 389 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-95 (método 1)

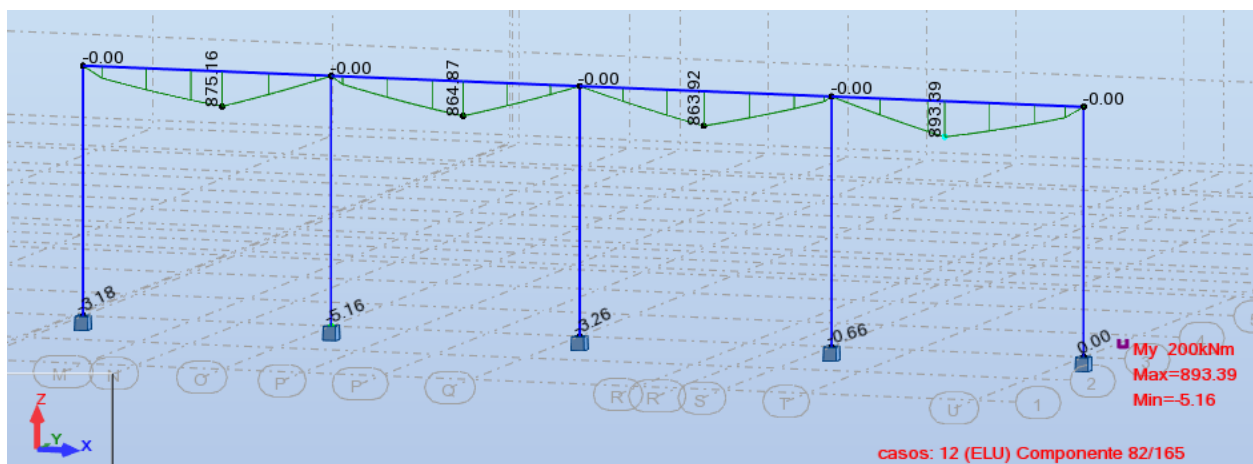


Figura 390 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-95

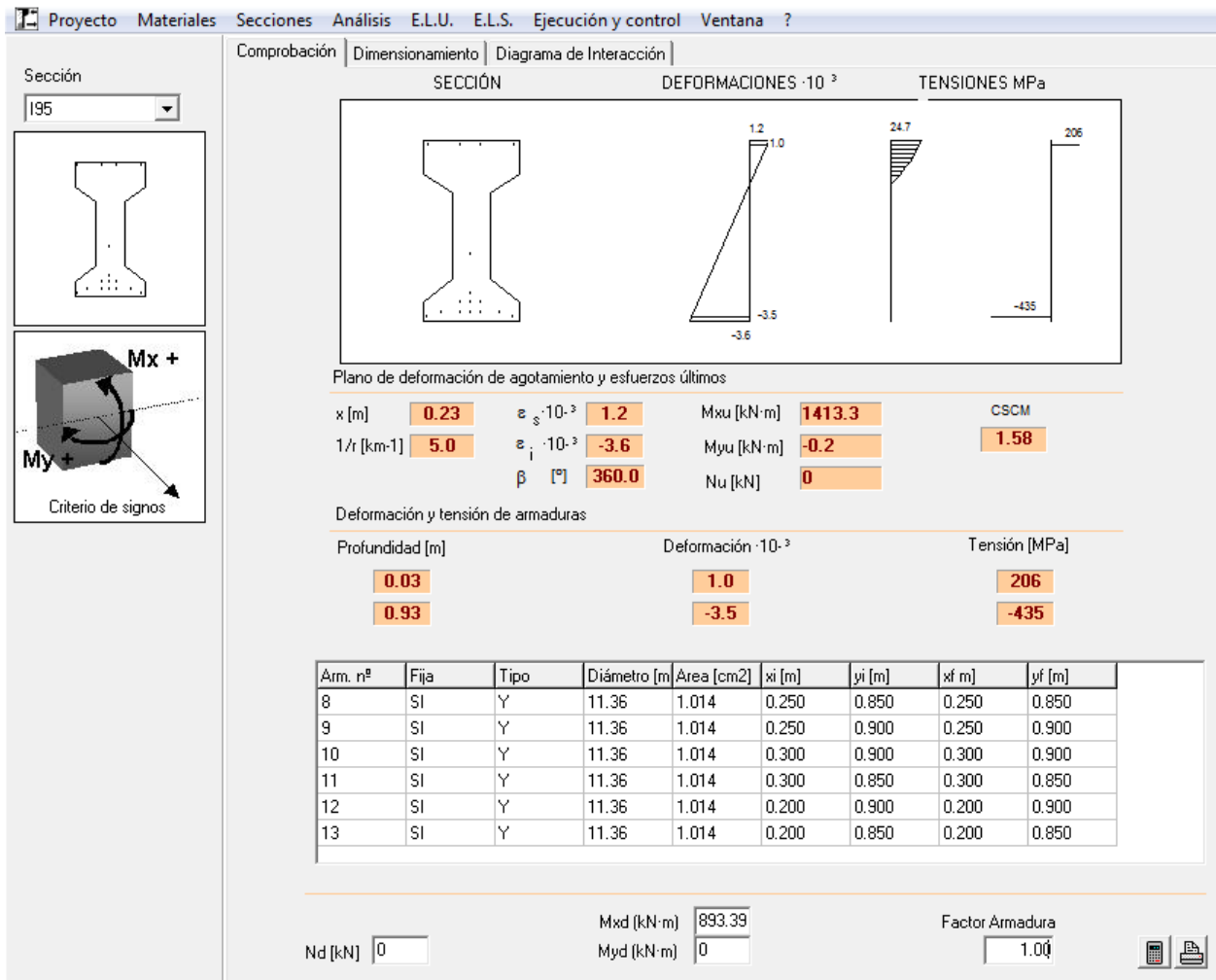


Figura 391 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-95 (método 2)

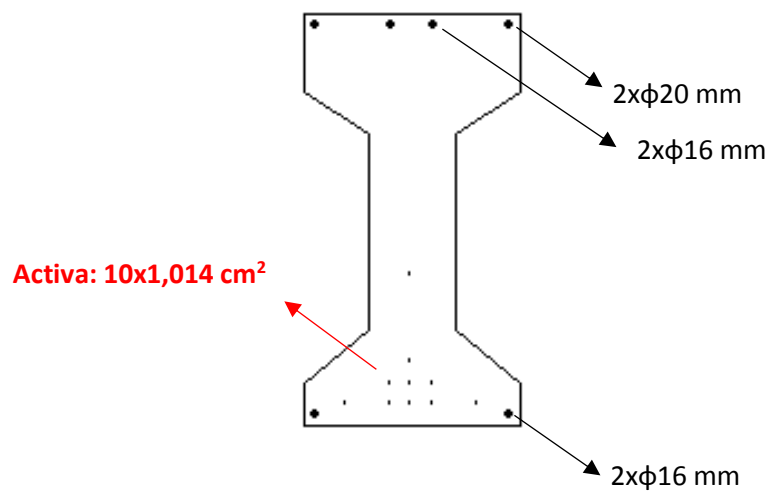
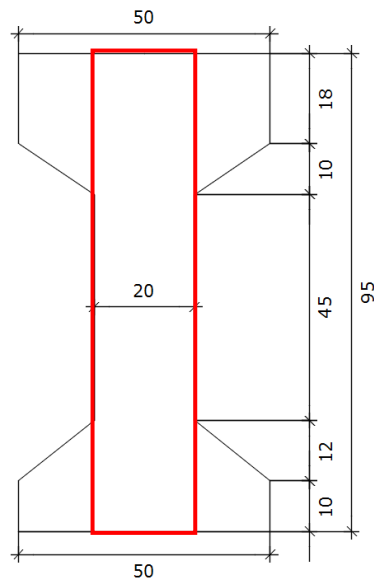
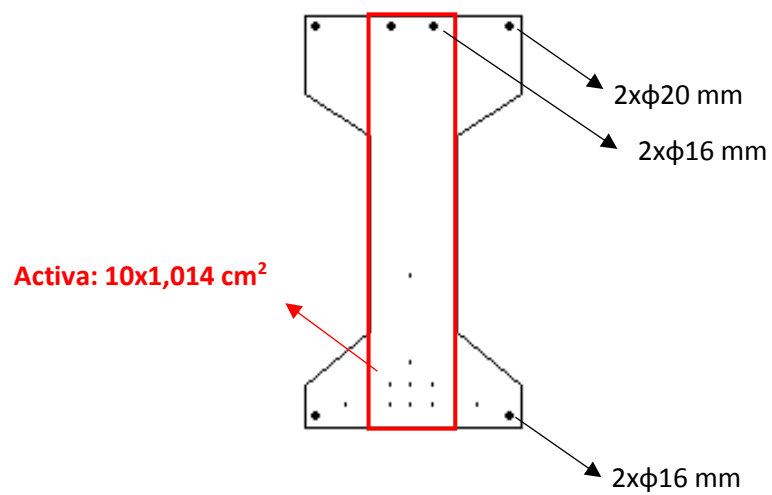


Figura 392 Armado longitudinal final viga salvapilar I-95

**Comprobación a cortante**

*Figura 393 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma*



*Figura 394 Armado longitudinal final viga salvapilar I-95. Delimitación del alma*

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Tipo de Sección

- ☒ Rectangular áreas
- ☐ Rectangular redondos
- ☐ T
- ☐ Circular
- ☐ Genérica
- ☐ Genérica armaduras adicionales

Sección: I-95

Hormigón: HA-45

Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.2000 h [m]: 0.9500

ri [m]: 0.1000 rs [m]: 0.0250

Ai [cm²]: 30.1800 As [cm²]: 4.0200

Gráfico, características mecánicas | Condiciones de durabilidad | M - 1/r |

Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.1900	A [m²]	0.211	Ix [m⁴]	0.0077
Ix [m⁴]	0.0143	Iy [m⁴]	0.0006	Iy [m⁴]	0.0007
ix [m]	0.27	iy [m]	0.06	Mfis[kN·m]	146.9
x'g [m]	0.10	y'g [m]	0.47	y'fis [m]	0.31

Figura 395 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-95

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección: I-95

Inclinación de las bielas:  $\text{ctg } \theta = 1.0$   $\theta [^\circ] = 45$

Inclinación de las armaduras:  $\alpha [^\circ] = 90.0$

$\rho_l$  [%]: 18

b0 [m]: 0.20

d [m]: 0.85

z [m]: 0.77

☒ Con armadura de cortante

☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón

☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión

Diámetro de la armadura comprimida: 12 [mm]

Axil de cálculo (compresión +)

Nd [kN]: 656.4

$\sigma'_{cd}$  [MPa]: 2.0

Pcompresión [%]: 3.35

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)

$\sigma_{xd}$  [MPa]: 2.0

$\sigma_{yd}$  [MPa]: 0.0

$\theta_e$  [°]: 39.0

Comprobación | Dimensionamiento

Cortante de agotamiento de las bielas: Vu1 [kN] 1530.1

Cortante de agotamiento de los tirantes: Vu2 [kN] 416.6

Contribución del hormigón a la resistencia: Vcu [kN] 109.0

Contribución de la armadura transversal: Vsu [kN] 307.6

Resistencia a cortante: Vu [kN] 416.6

$\phi$  [mm]: 8

st [m]: 0.1

nº ramas: 2

$A_\alpha$  [cm²/m]: 10.1

Figura 396 Resistencia a cortante viga salvapilar I-95



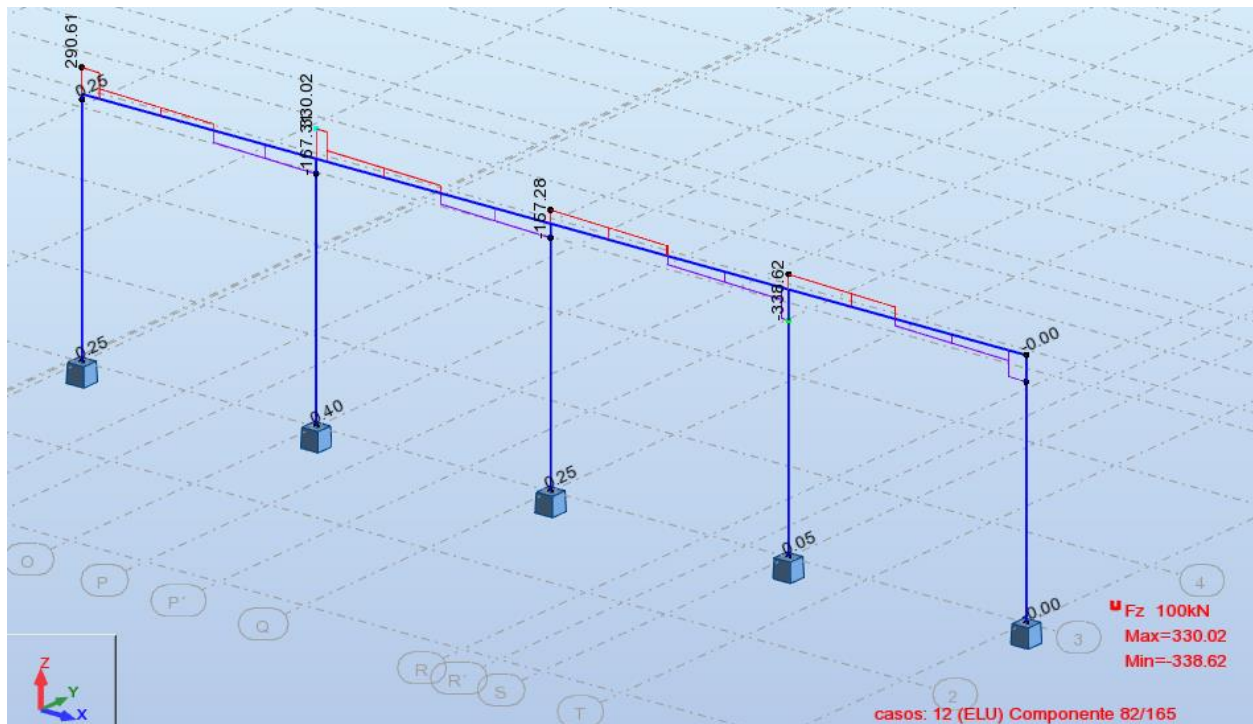


Figura 397 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-95

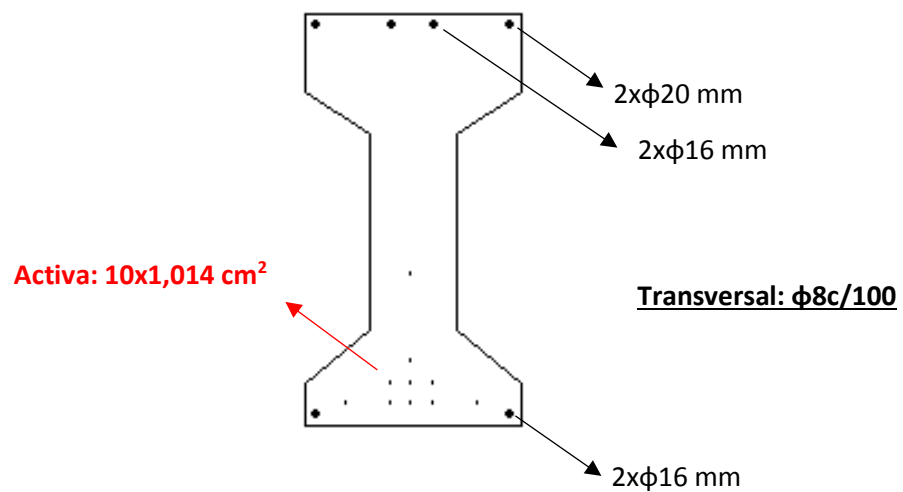


Figura 398 Armado total final viga salvapilar I-95

## 4.6 Viga I-145

### Comprobación a flexión

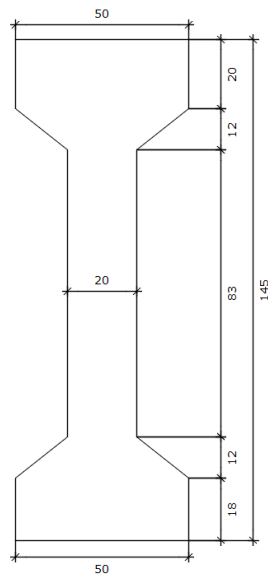


Figura 399 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF

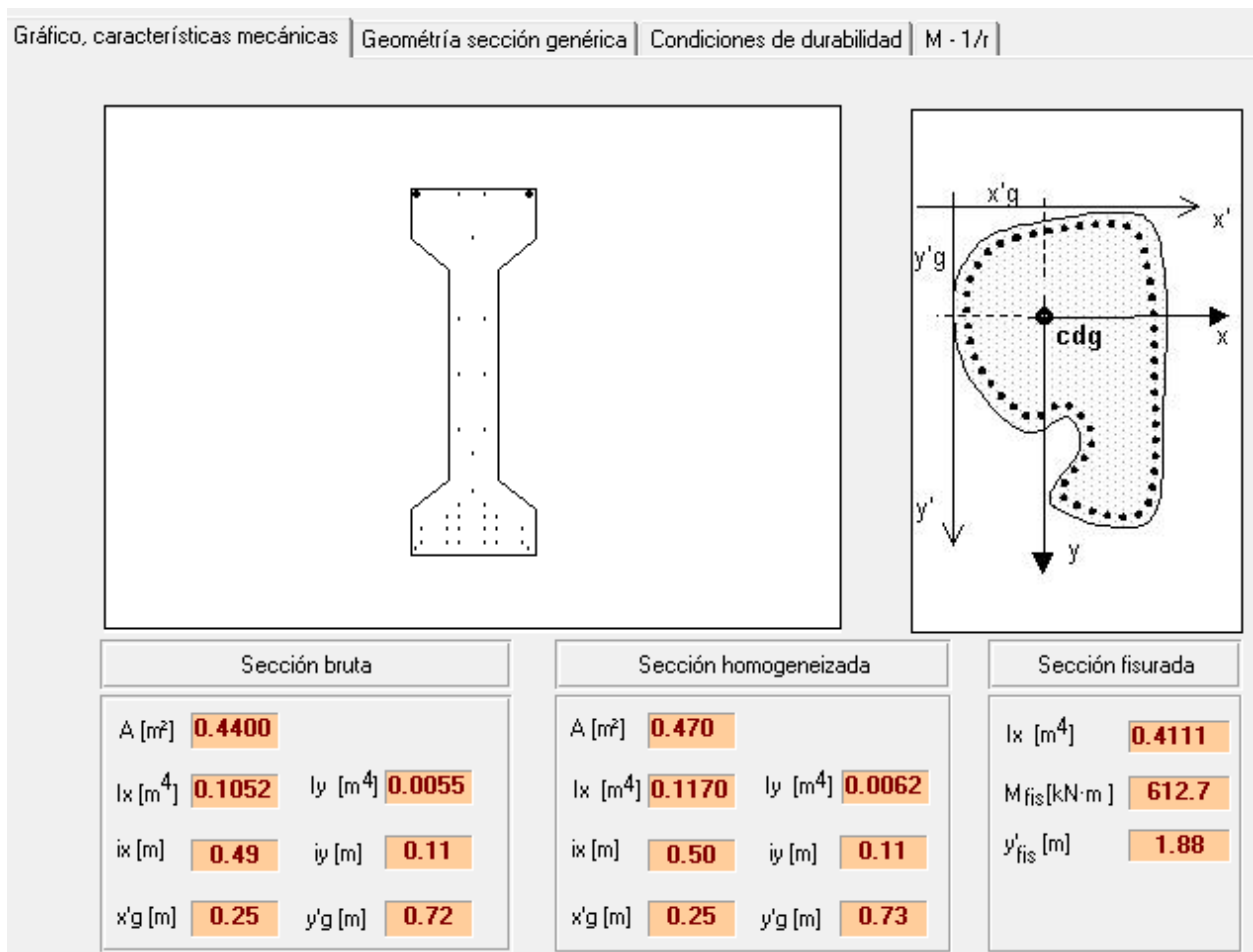


Figura 400 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-145

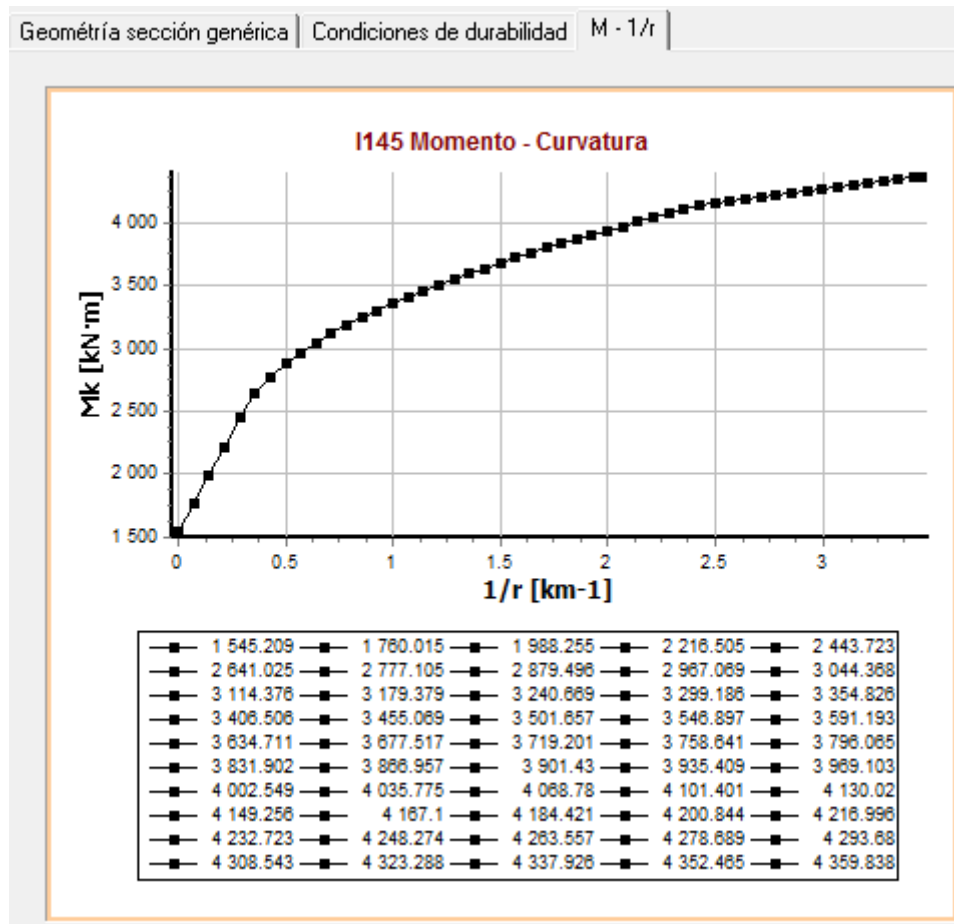


Figura 401 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-145 (método 1)

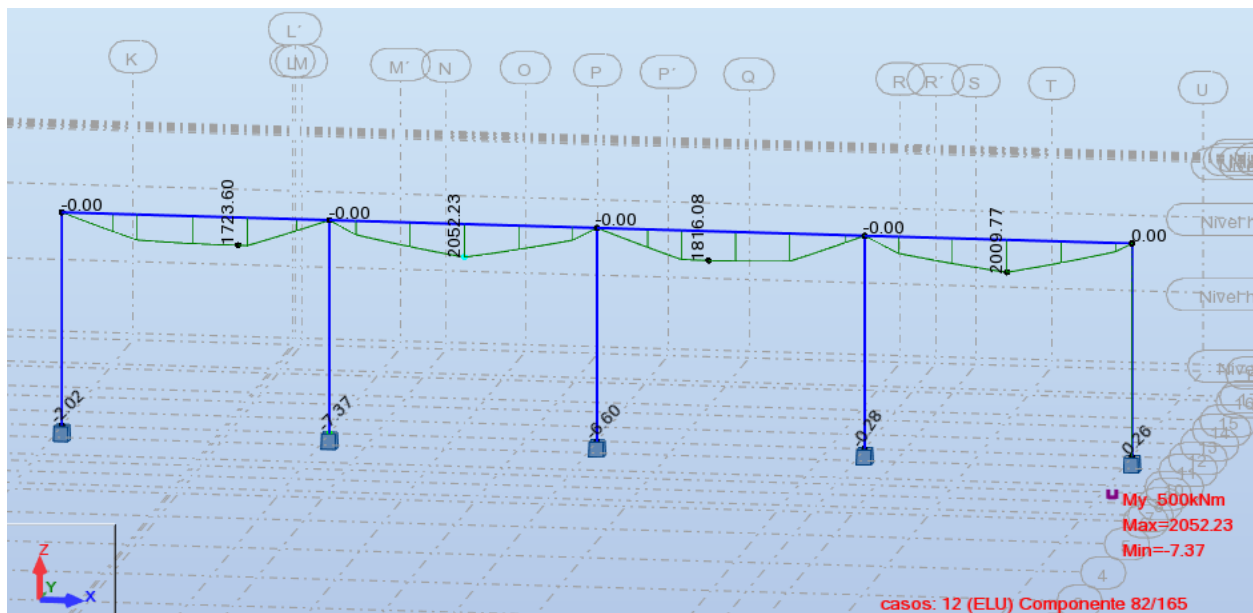


Figura 402 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-145

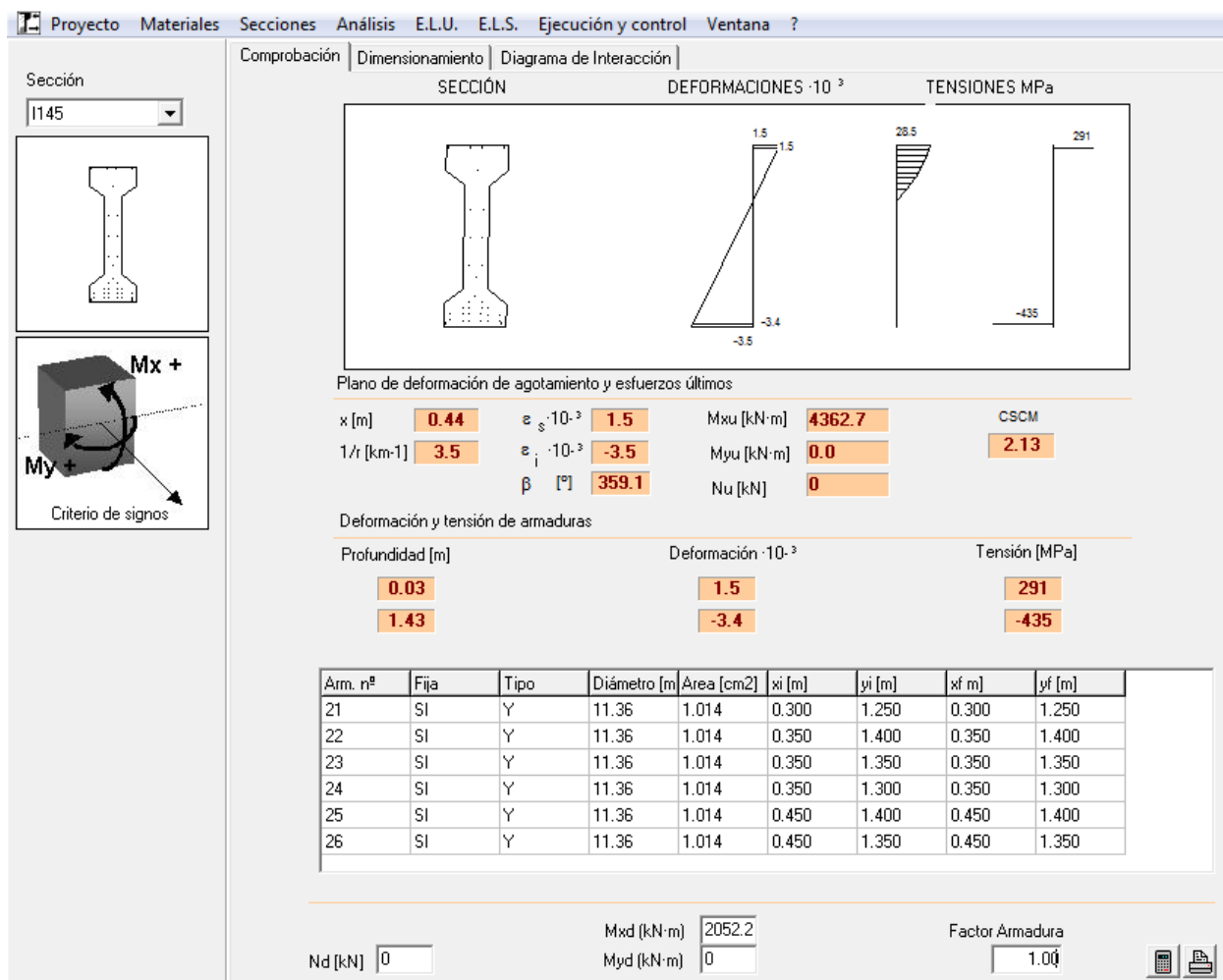


Figura 403 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-145 (método 2)

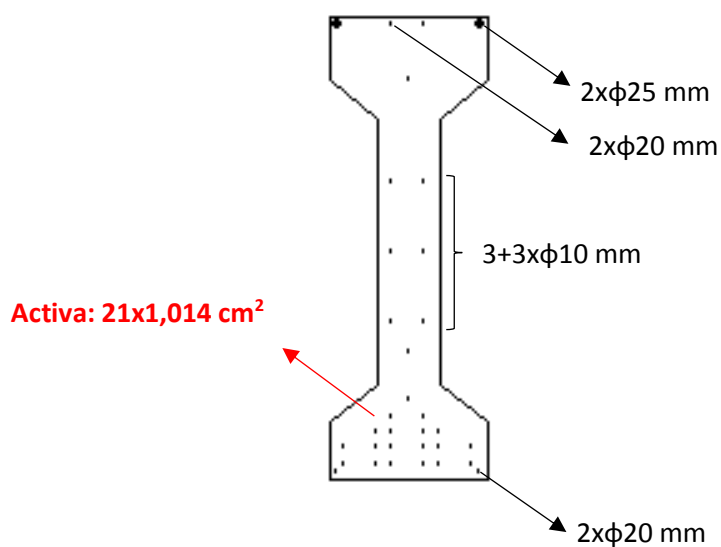


Figura 404 Armado longitudinal final viga salvapilar I-145

**Comprobación a cortante**

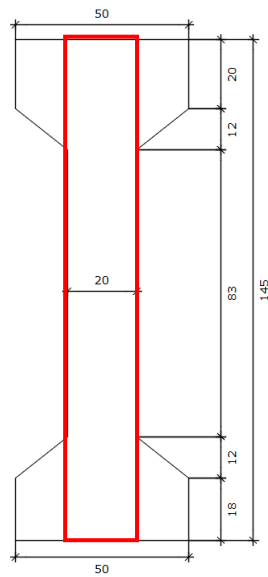


Figura 405 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma

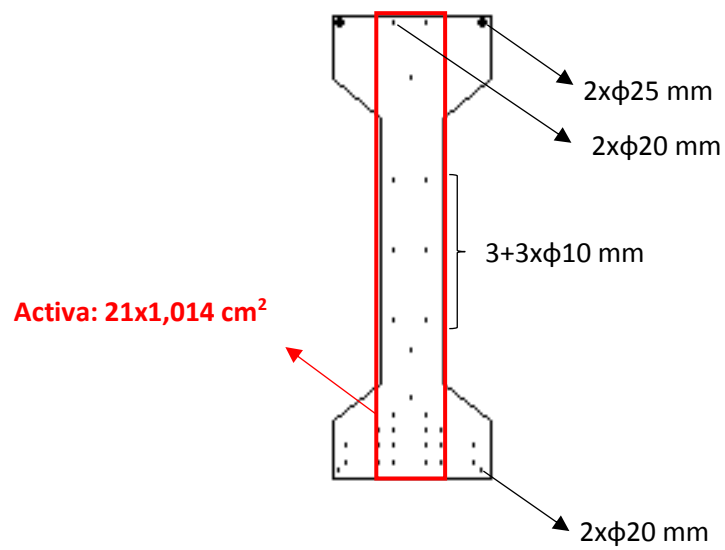


Figura 406 Armado longitudinal final viga salvapilar I-145. Delimitación del alma

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Tipo de Sección

- ☒ Rectangular áreas
- ☐ Rectangular redondos
- ☐ T
- ☐ Circular
- ☐ Genérica
- ☐ Genérica armaduras adicionales

Sección: I-145  
 Hormigón: HA-45  
 Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.2000 h [m]: 1.4500  
 ri [m]: 0.1500 rs [m]: 0.0250  
 Ai [cm²]: 56.6 As [cm²]: 6.28

Gráfico, características mecánicas | Condiciones de durabilidad | M · 1/r |

Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.2900	A [m²]	0.329	I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0319
I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0508	I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0635	I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0010
I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0010	I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0010	M <sub>fis</sub> [kN·m]	359.1
i <sub>x</sub> [m]	0.42	i <sub>x</sub> [m]	0.44	y'fis [m]	0.51
i <sub>y</sub> [m]	0.06	i <sub>y</sub> [m]	0.06		
x'g [m]	0.10	x'g [m]	0.10		
y'g [m]	0.72	y'g [m]	0.78		

Figura 407 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-145

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección: I-145

ρ<sub>f</sub> [‰]: 20  
 b<sub>0</sub> [m]: 0.20  
 d [m]: 1.30  
 z [m]: 1.17

Inclinación de las bielas  
 ctg θ: 1.0 θ [°]: 45

Inclinación de las armaduras  
 α [°]: 90.0

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida  
 φ [mm]: 12

Axil de cálculo (compresión +)  
 Nd [kN]: 1468  
 σ'cd [MPa]: 3.5  
 Pcomprimida [‰]: 3.66

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 σ<sub>xd</sub> [MPa]: 3.5  
 σ<sub>yd</sub> [MPa]: 0.0  
 θ<sub>e</sub> [°]: 35.8

Comprobación | Dimensionamiento

Cortante de agotamiento de las bielas: Vu1 [kN] 2340.3  
 Cortante de agotamiento de los tirantes: Vu2 [kN] 639.0  
 Contribución del hormigón a la resistencia: Vcu [kN] 168.5  
 Contribución de la armadura transversal: Vsu [kN] 470.5

Resistencia a cortante: Vu [kN] 639.0

φ [mm]: 8  
 st [m]: 0.1  
 n° ramas: 2 A<sub>α</sub> [cm²/m]: 10.1

Figura 408 Resistencia a cortante viga salvapilar I-145

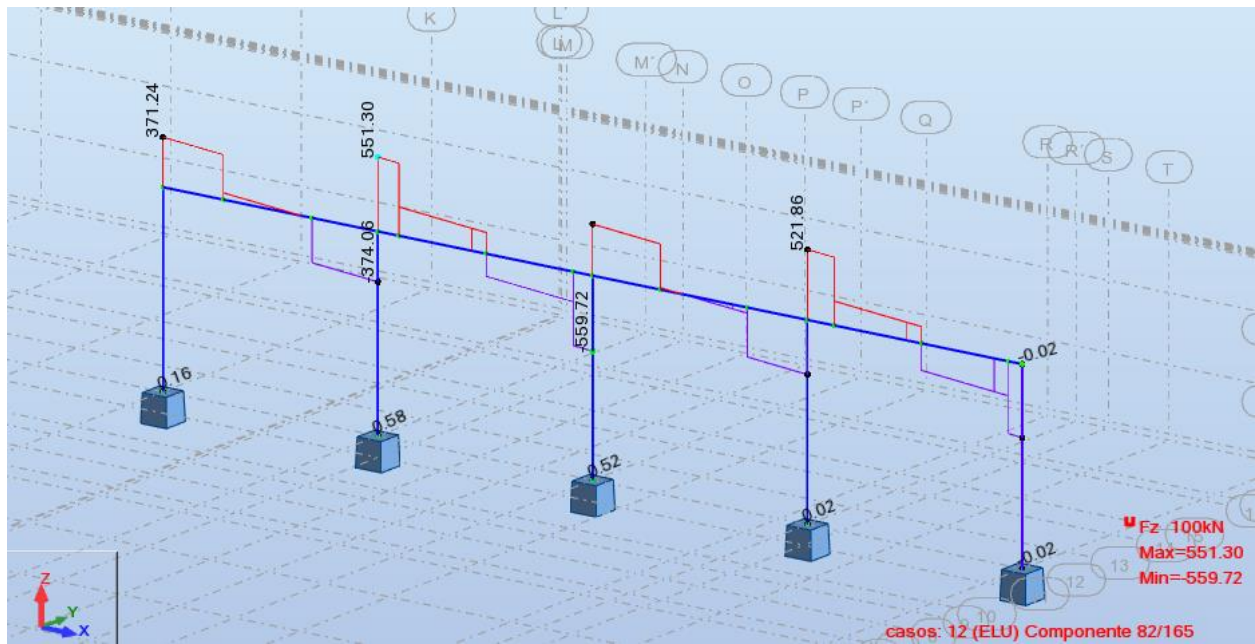


Figura 409 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-145

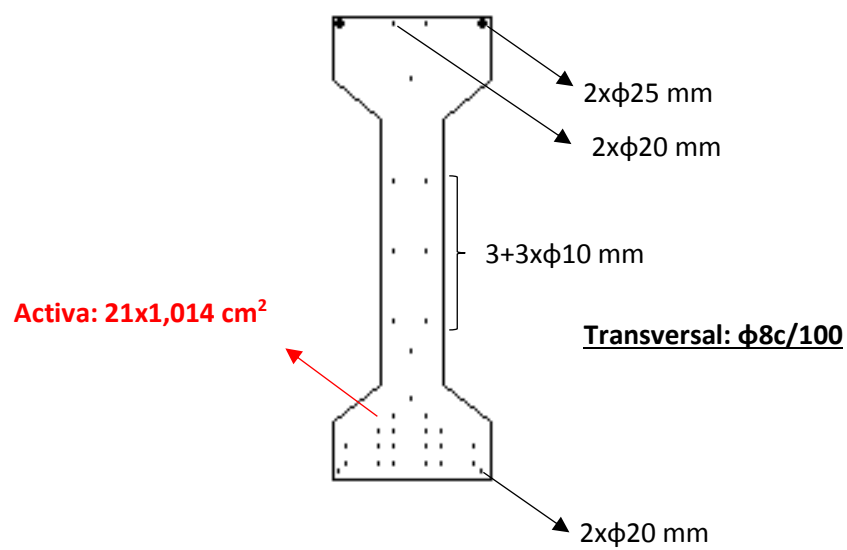


Figura 410 Armado total final viga salvapilar I-145



## 4.7 Viga R 40x65

### Comprobación a flexión

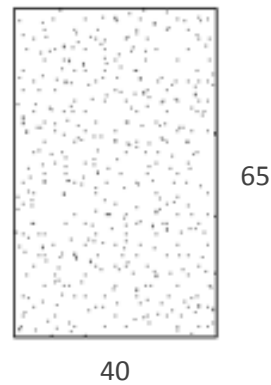


Figura 411 Viga salvapilar R 40x65. Cotas de ARTEPREF

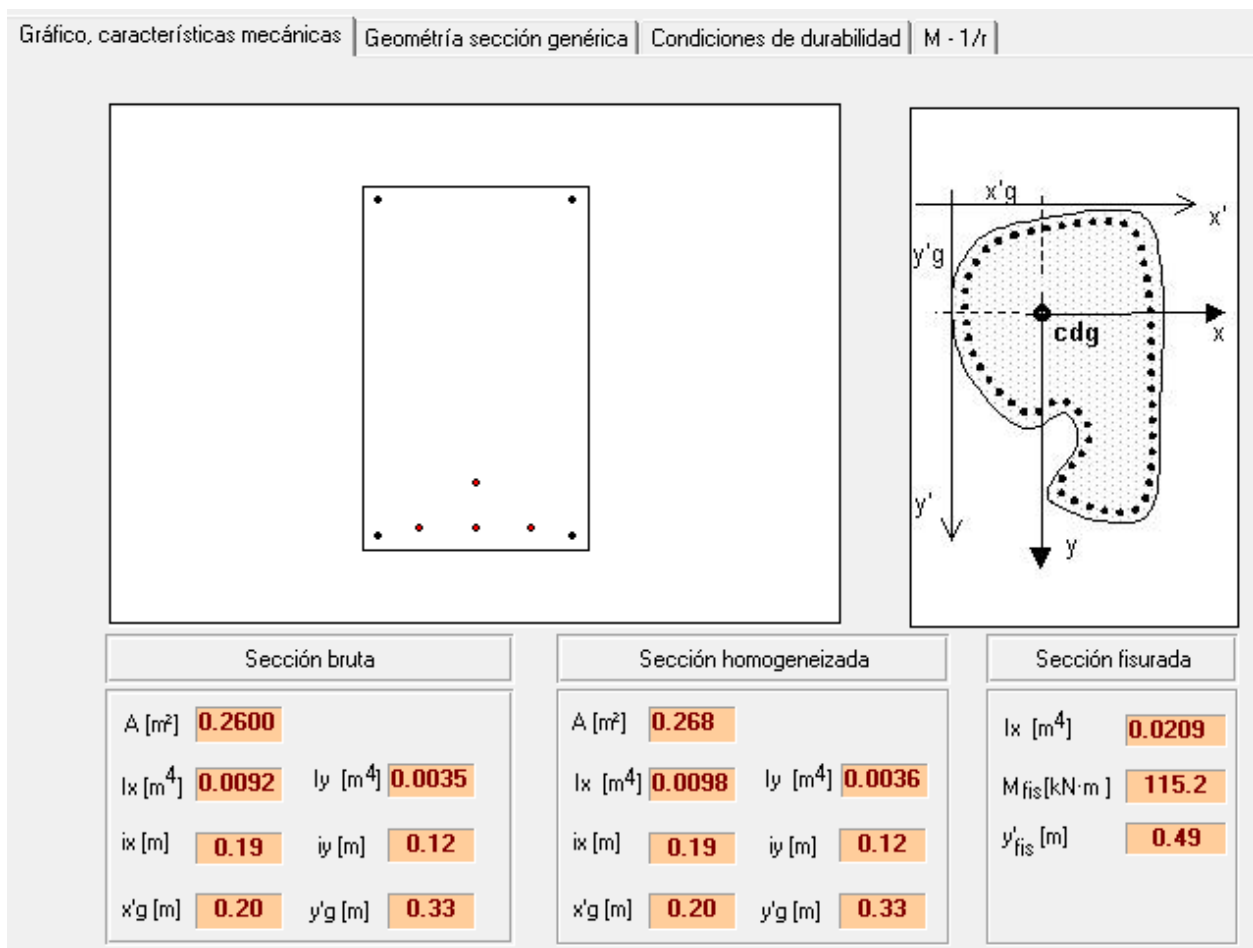


Figura 412 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar R-40x65

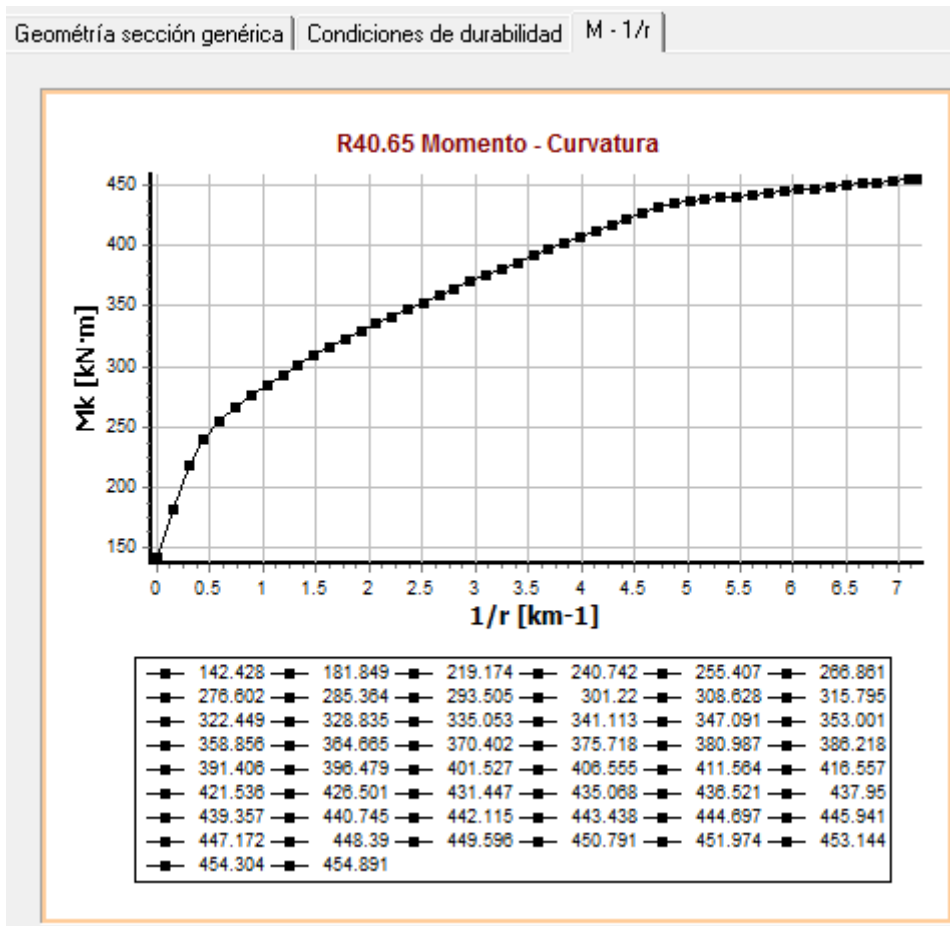


Figura 413 Curva momento-curvatura viga salvapilar R 40x65 (método 1)

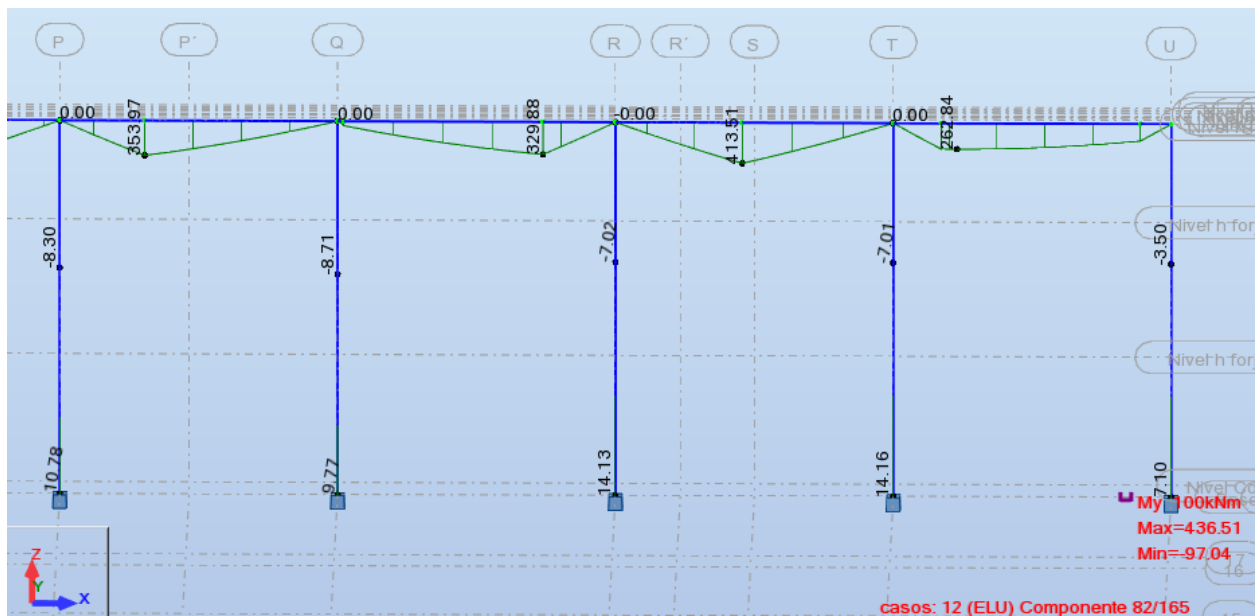


Figura 414 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar R 40x65

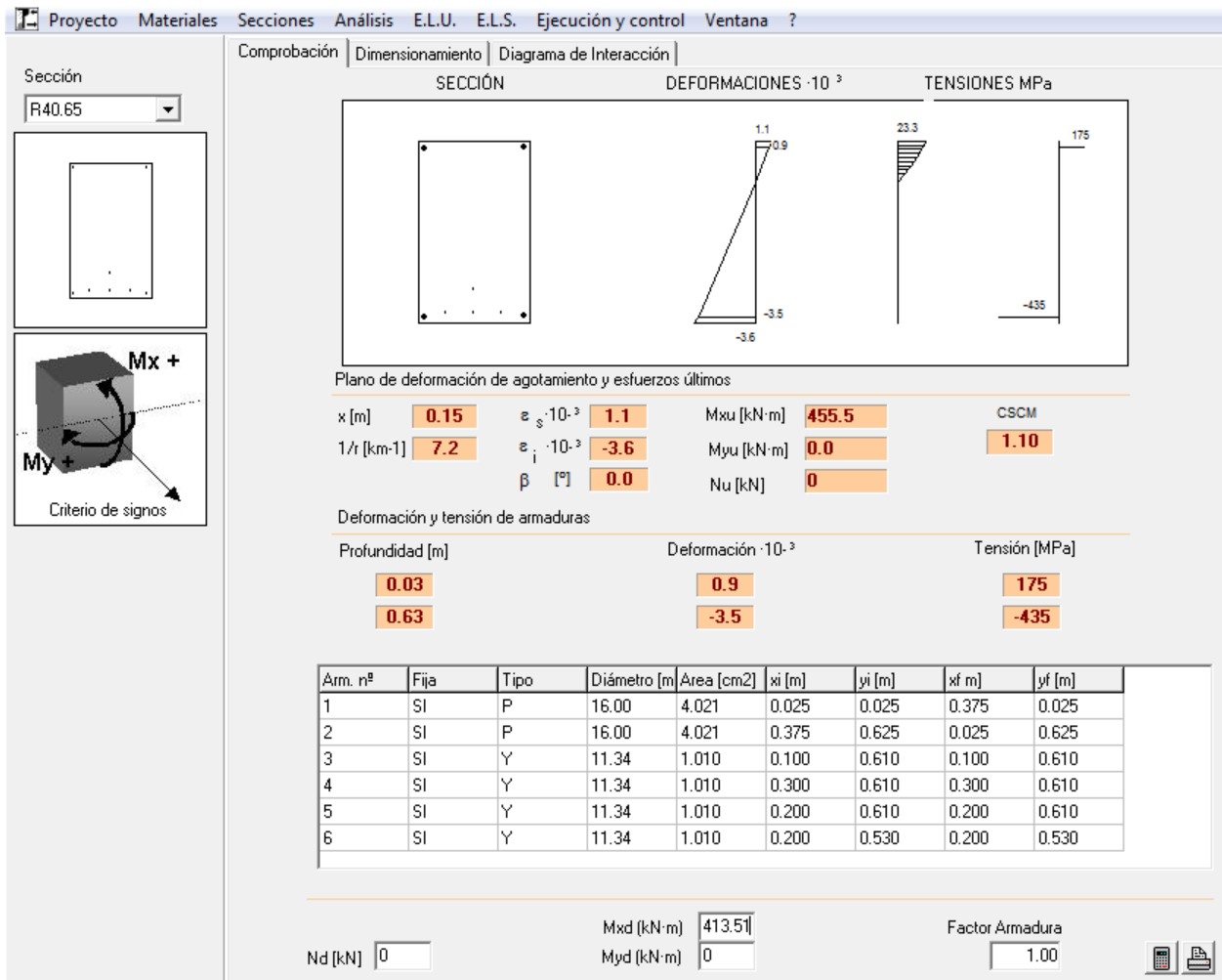


Figura 415 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar R 40x65 (método 2)

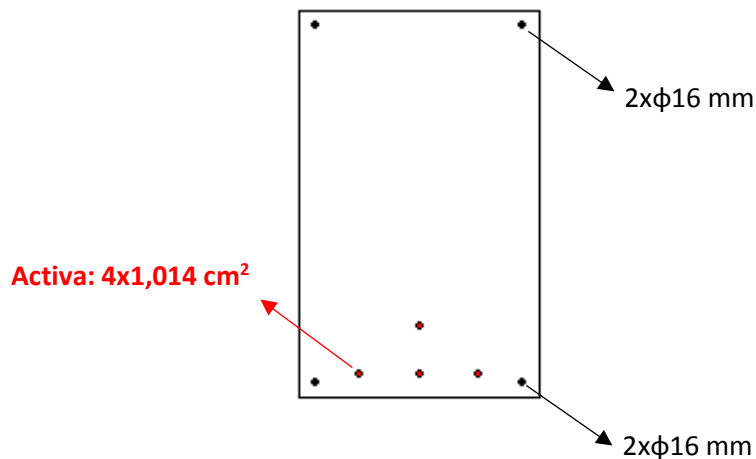
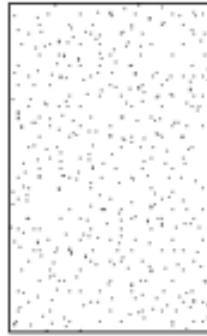


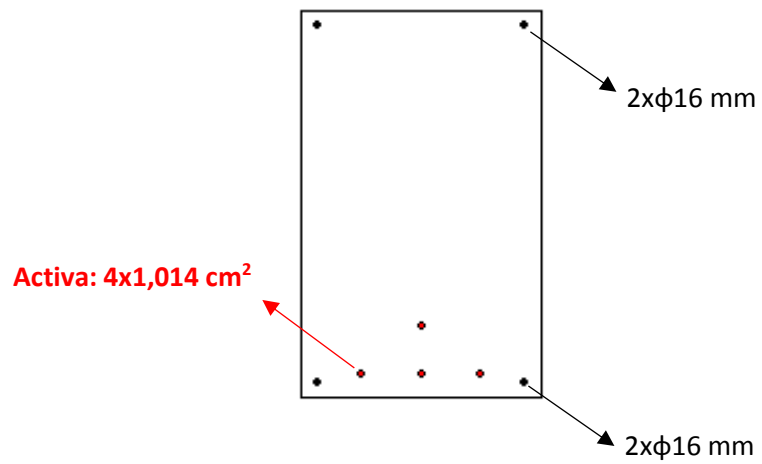
Figura 416 Armado longitudinal final viga salvapilar R 40x65\*\*

\*\*Nota: se utilizarán estos resultados también para las vigas 40x40 que conforman la estructura de forjados interiores de la nave a la hora de modelizar el armado en Revit, quitando los dos cordones centrales por haberse calculado sean suficiente únicamente los dos de los laterales.

**Comprobación a cortante**



*Figura 417 Viga salvapilar R 40x65. Cotas de ARTEPREF*



*Figura 418 Armado longitudinal final viga salvapilar R 40x65*

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Tipo de Sección  
☒ Rectangular áreas  
☐ Rectangular redondos  
☐ T  
☐ Circular  
☐ Genérica  
☐ Genérica armaduras adicionales

Sección: R40x65  
 Hormigón: HA-45  
 Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.4000 h [m]: 0.6500  
 ri [m]: 0.1000 rs [m]: 0.0250  
 Ai [cm²]: 8.0800 As [cm²]: 4.0200

Gráfico, características mecánicas Condiciones de durabilidad M · 1/r

Sección bruta		Sección homogeneizada		Sección fisurada	
A [m²]	0.2600	A [m²]	0.268	I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0012
I <sub>x</sub> [m⁴]	0.0092	I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0035	I <sub>y</sub> [m⁴]	0.0035
ix [m]	0.19	ix [m]	0.19	M <sub>fis</sub> [kN·m]	113.0
iy [m]	0.12	iy [m]	0.11	y' <sub>fis</sub> [m]	0.10
x'g [m]	0.20	x'g [m]	0.20		
y'g [m]	0.33	y'g [m]	0.33		

Figura 419 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar R 40x65

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección: R40x65

Inclínación de las bielas  
 ctg θ: 1.0 θ [°]: 45

Inclínación de las armaduras  
 α [°]: 90.0

ρ<sub>t</sub> [%]: 4  
 b<sub>0</sub> [m]: 0.40  
 d [m]: 0.55  
 z [m]: 0.49

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida  
 φ [mm]: 12

Axil de cálculo (compresión +)  
 Nd [kN]: 424.26  
 σ'<sub>cd</sub> [MPa]: 1.0  
 Pcomprimida [%]: 1.55

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 σ<sub>xd</sub> [MPa]: 1.0  
 σ<sub>yd</sub> [MPa]: 0.0  
 θ<sub>e</sub> [°]: 41.7

Comprobación Dimensionamiento

Cortante de agotamiento de las bielas	Vu1 [kN]	1980.1
Cortante de agotamiento de los tirantes	Vu2 [kN]	299.8
Contribución del hormigón a la resistencia	Vcu [kN]	100.8
Contribución de la armadura transversal	Vsu [kN]	199.1
Resistencia a cortante	Vu [kN]	299.8

φ [mm]: 8  
 st [m]: 0.1  
 n° ramas: 2 A<sub>α</sub> [cm²/m]: 10.1

Figura 420 Resistencia a cortante viga salvapilar R 40x65

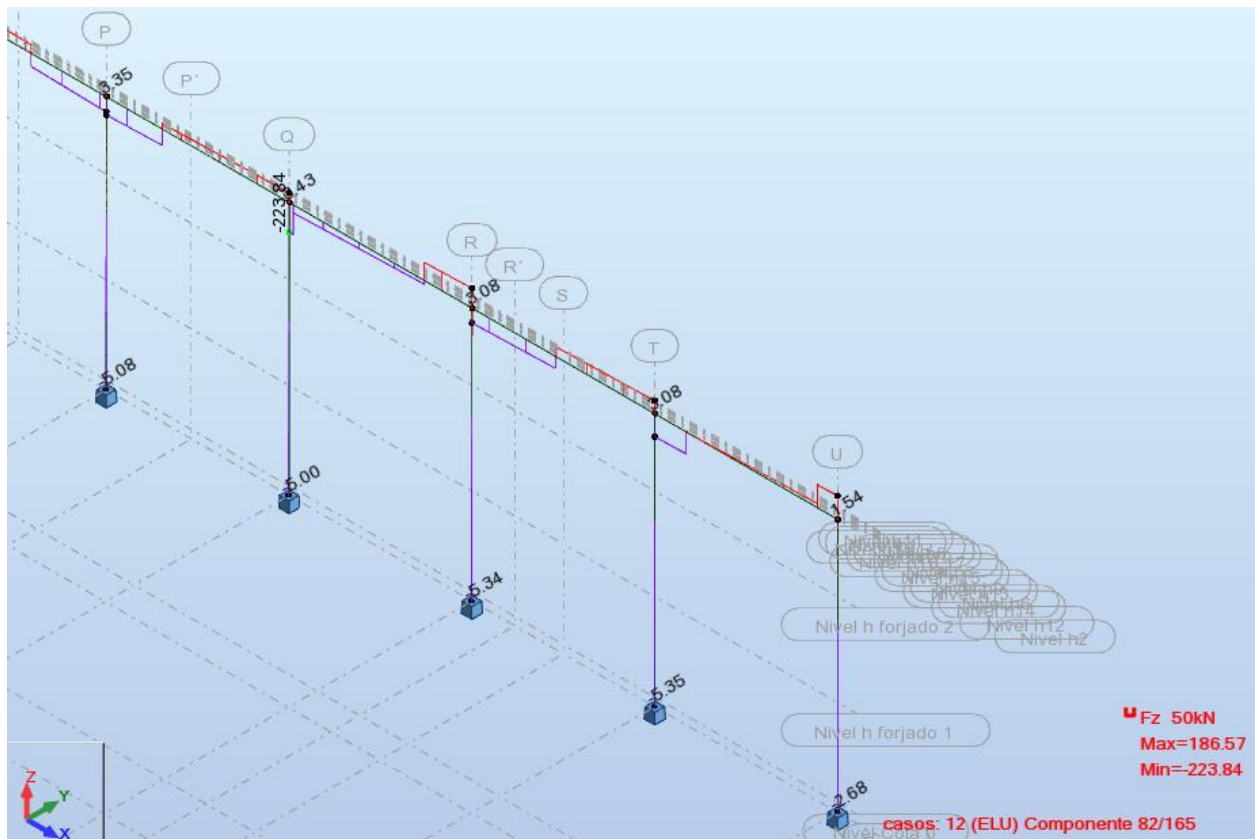


Figura 421 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar R 40x65

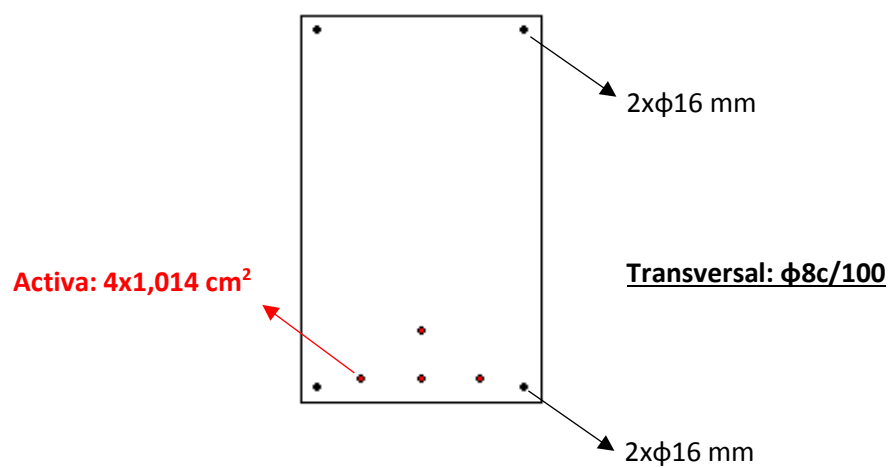


Figura 422 Armado total final viga salvapilar R 40x65





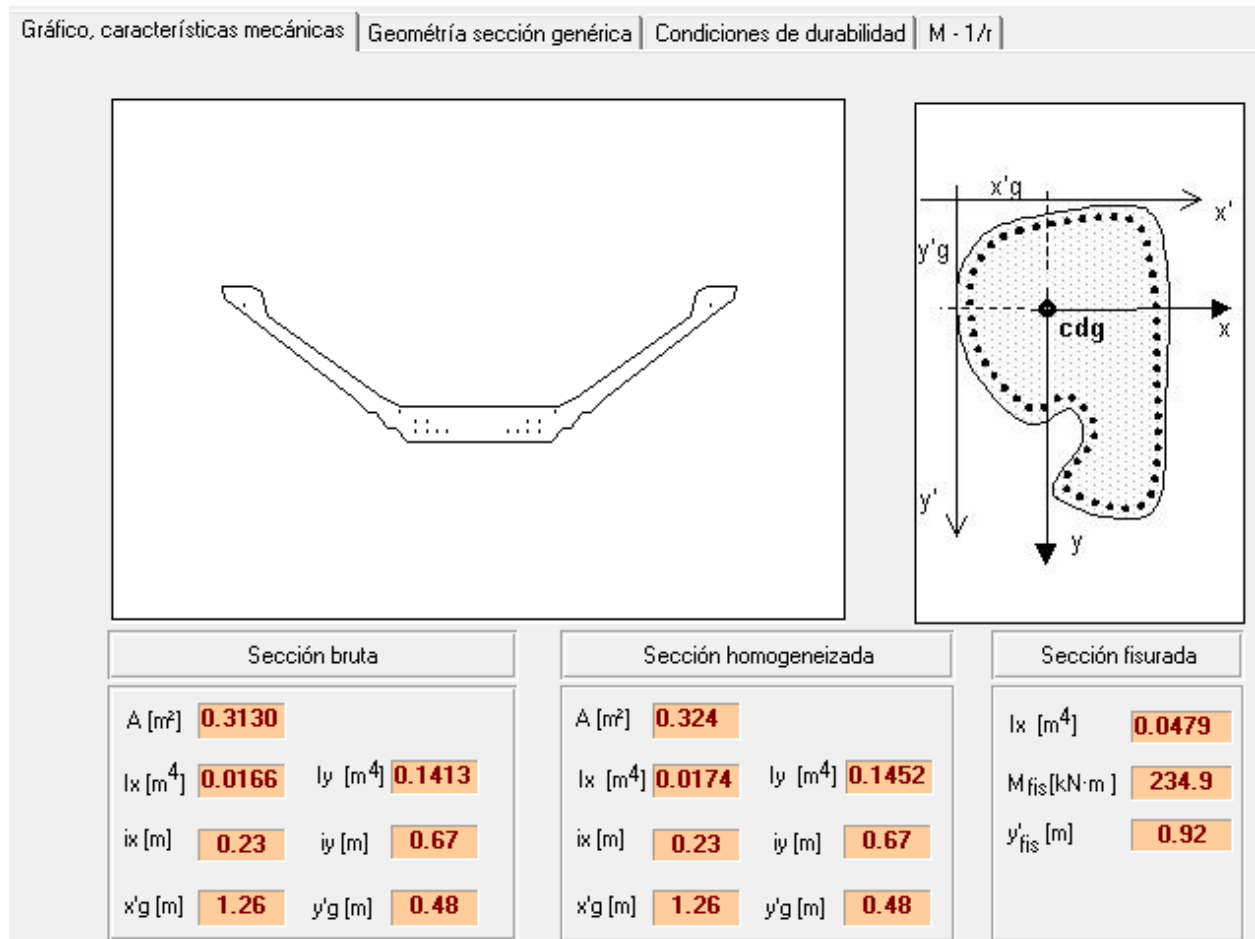


Figura 424 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga Artwind 75+2

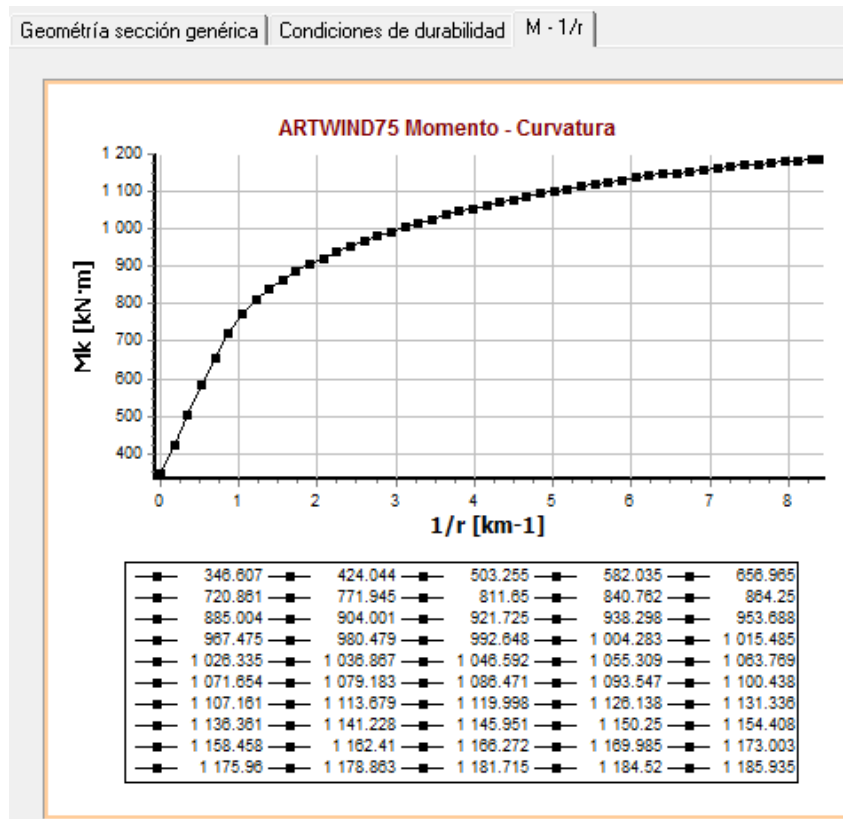


Figura 425 Curva momento-curvatura viga Artwind 75+2 (método 1)

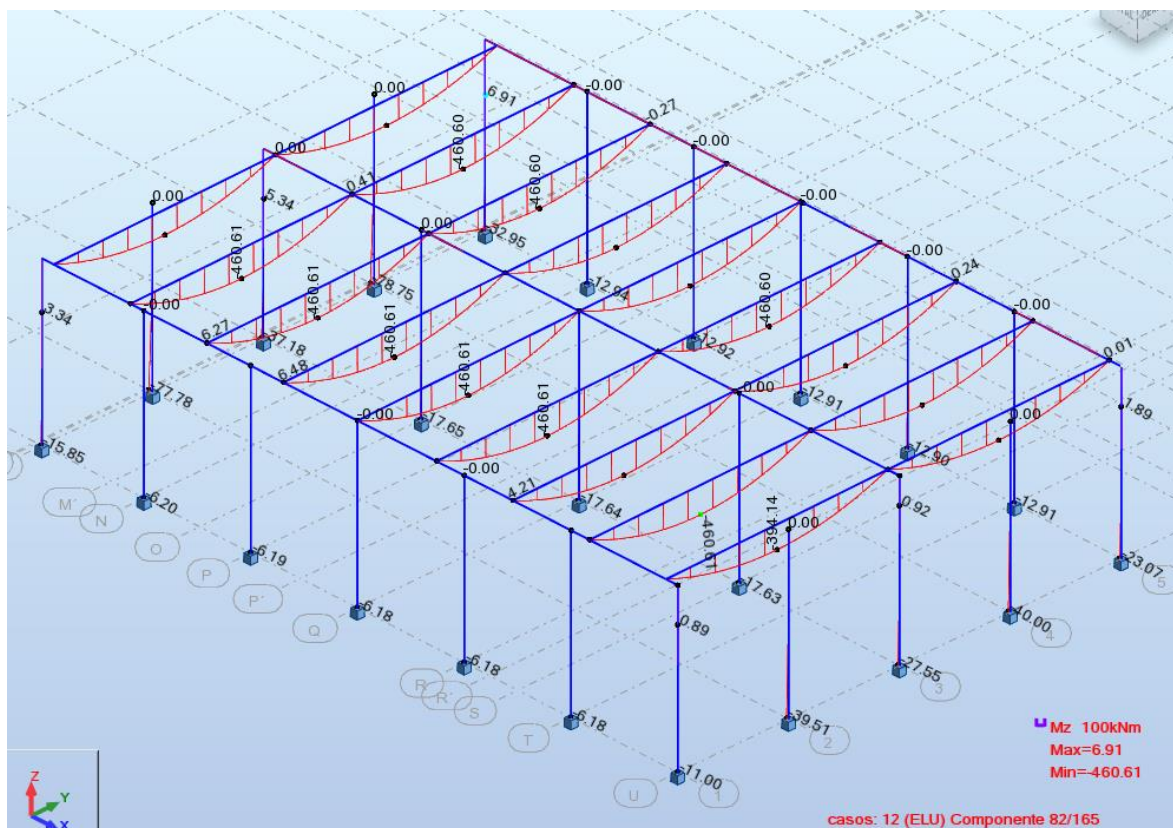


Figura 426 Máximo momento flector encontrado en vigas Artwind 75+2

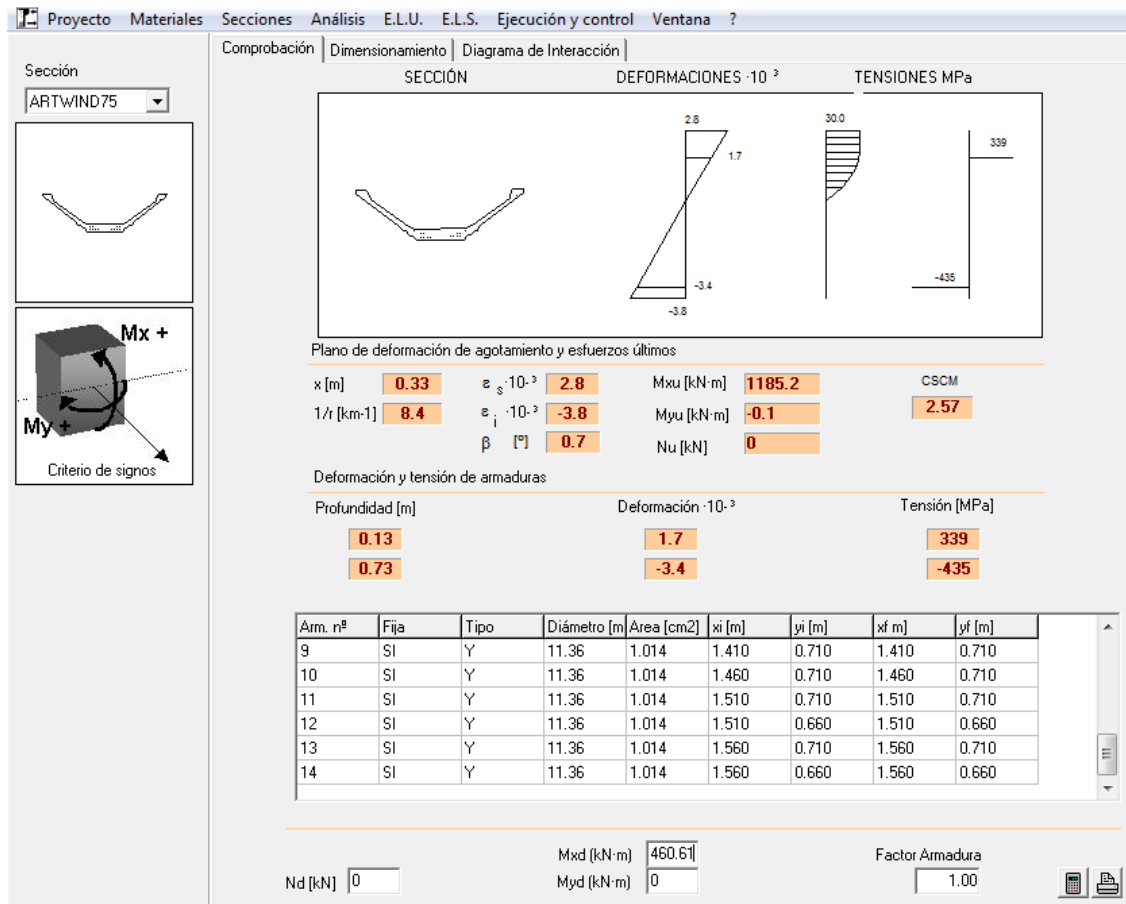


Figura 427 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga Arwind 75+2 (método 2)

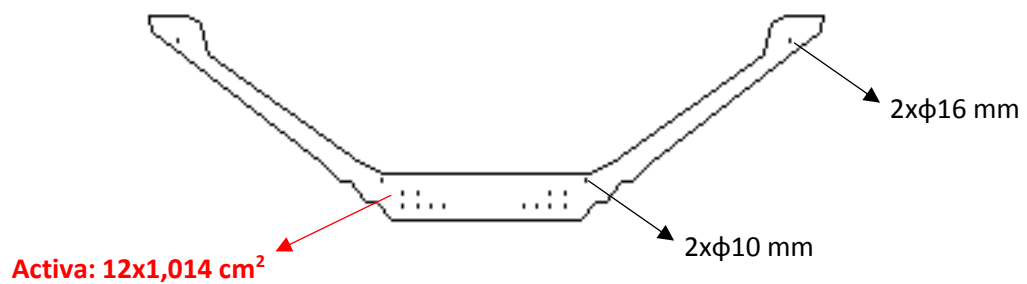


Figura 428 Armado longitudinal final viga Artwind 75+2

### Comprobación a cortante

La comprobación a cortante de las vigas Artwind es difícil de realizar si no se dispone de un software especializado, por la complejidad de su geometría. Como no es el caso, y el Prontuario Informático de la EHE adapta directamente la normativa, y con ello el apéndice 44.2.1, en el que para piezas de geometría compleja se delega en el buen criterio del calculista el encontrar una geometría más sencilla que pueda comprobarse, “siempre y cuando se asegure que la resistencia del elemento real sea igual o superior a la del ficticio supuesto”, es precisamente así como se ha procedido.

La geometría a comprobar que se ha considerado sería la mejor aproximación es una sección rectangular de base, el espesor del brazo de la viga, y alto, la proyección vertical de su longitud; esto es:

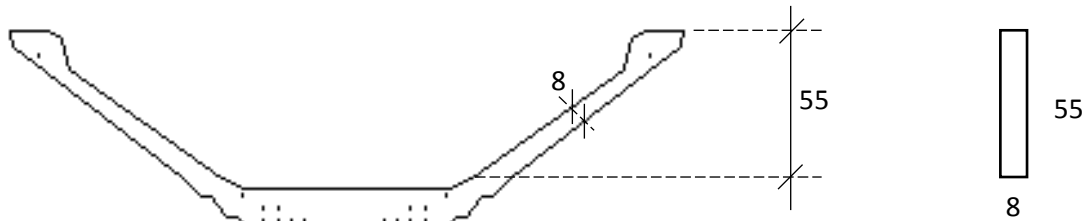


Figura 429 Viga Artwind 75+2.

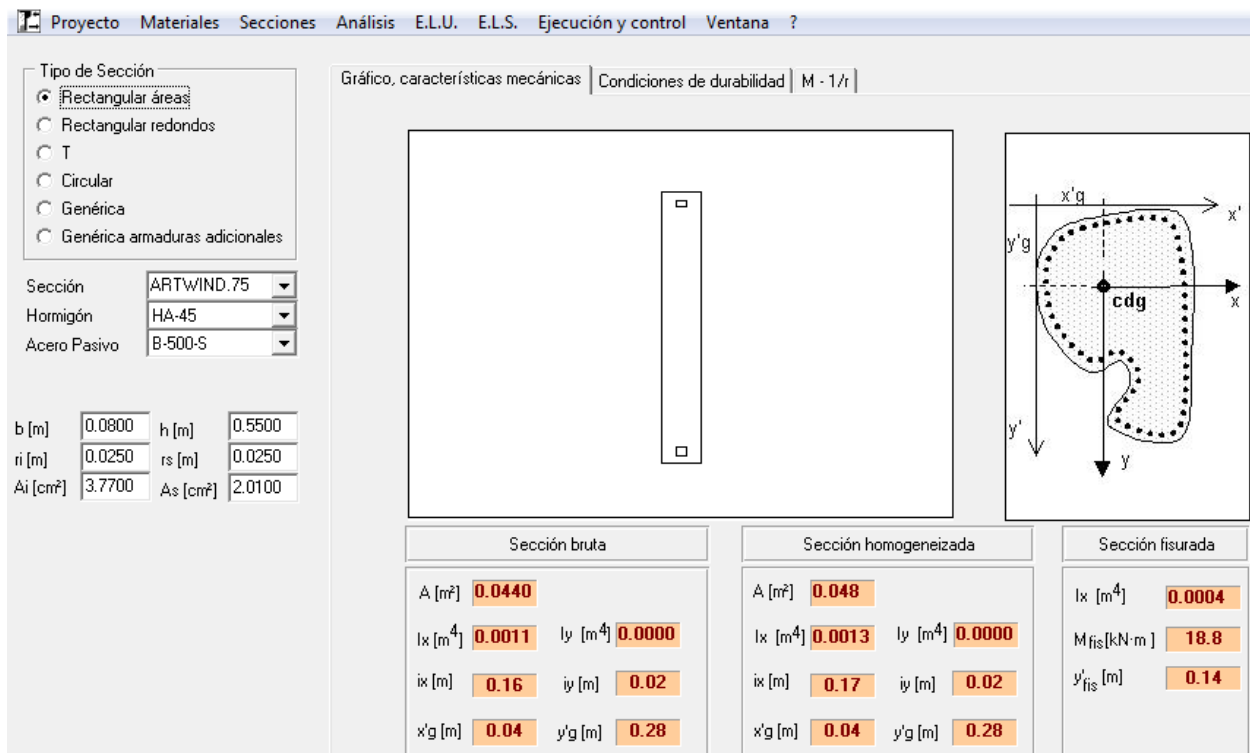
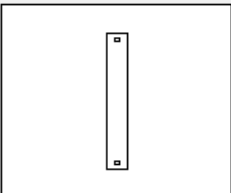


Figura 430 Módulo secciones rectangulares por área para viga Artwind 75+2

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección **ARTWIND.75**



$\rho_l$  [‰]   
 $b_0$  [m]   
 $d$  [m]   
 $z$  [m]

Inclínación de las bielas  
 $\text{ctg } \theta$    $\theta$  [°]   
 Inclínación de las armaduras  
 $\alpha$  [°]

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

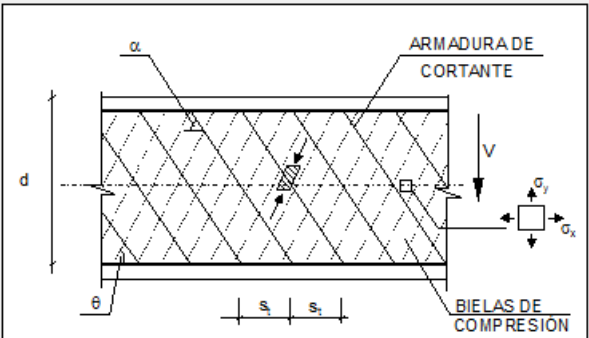
☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida  
 $\phi$  [mm]

Axil de cálculo (compresión +)  
 $N_d$  [kN]   
 $\sigma_{cd}$  [MPa]   
 $P_{comprimida}$  [‰]

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 $\sigma_{xd}$  [MPa]   
 $\sigma_{yd}$  [MPa]   
 $\theta_e$  [°]

Comprobación Dimensionamiento



Cortante de agotamiento de las bielas  $V_{u1}$  [kN] **381.6**  
 Cortante de agotamiento de los tirantes  $V_{u2}$  [kN] **153.7**  
 Contribución del hormigón a la resistencia  $V_{cu}$  [kN] **25.8**  
 Contribución de la armadura transversal  $V_{su}$  [kN] **127.9**  
 Resistencia a cortante  $V_u$  [kN] **153.7**

$\phi$  [mm]   
 $s_t$  [m]   
 $n^\circ$  ramas   $A_\alpha$  [cm²/m]

Figura 431 Resistencia a cortante viga Artwind 75+2

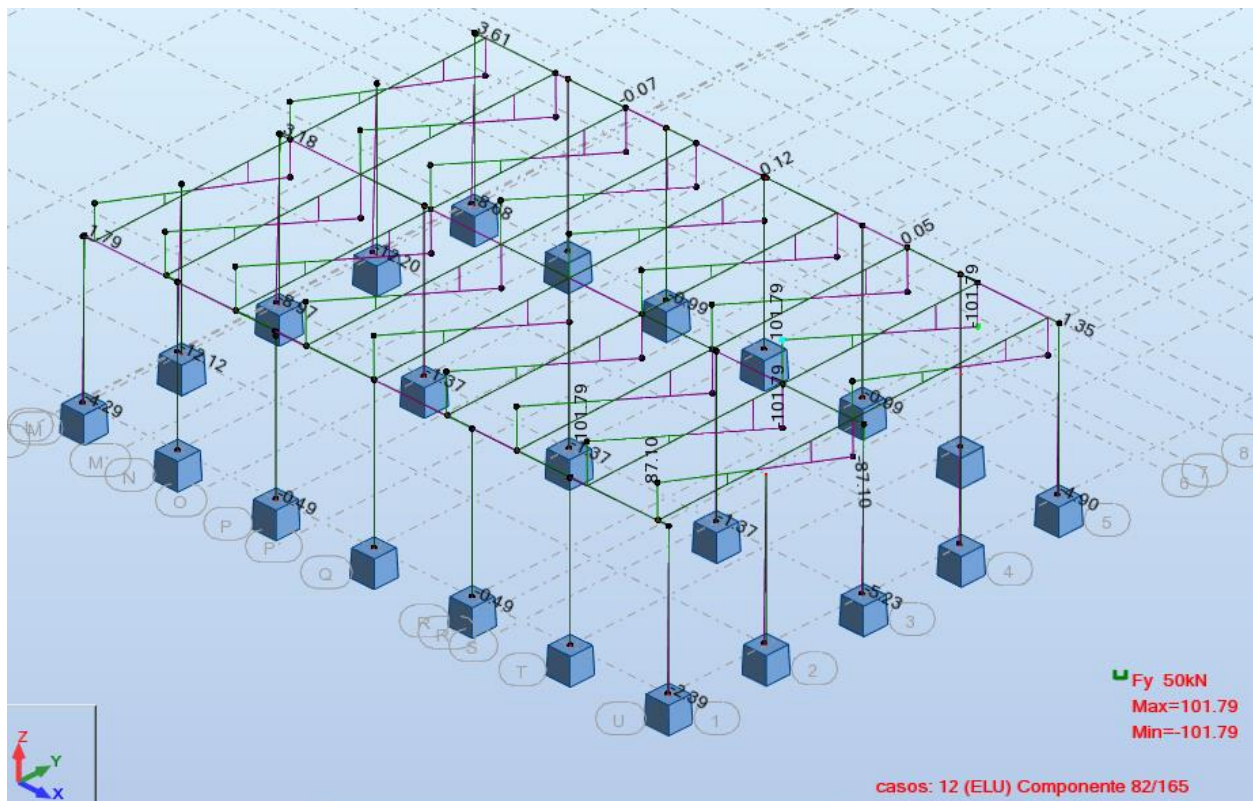


Figura 432 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar Artwind 75+2\*\*

\*\*Nota: La comparación habrá de hacerse con la mitad del valor localizado en el modelo (se está analizando un brazo de la sección)

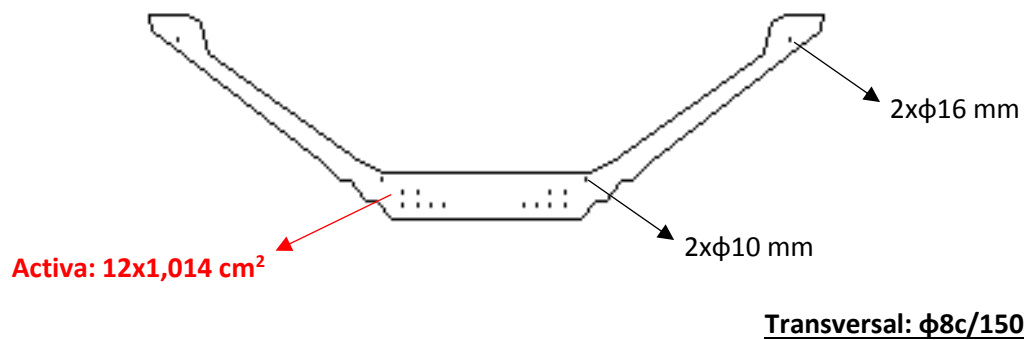


Figura 433 Armado total final viga Artwind 75+2

## 4.9 Viga Artwind 110+2

### Comprobación a flexión

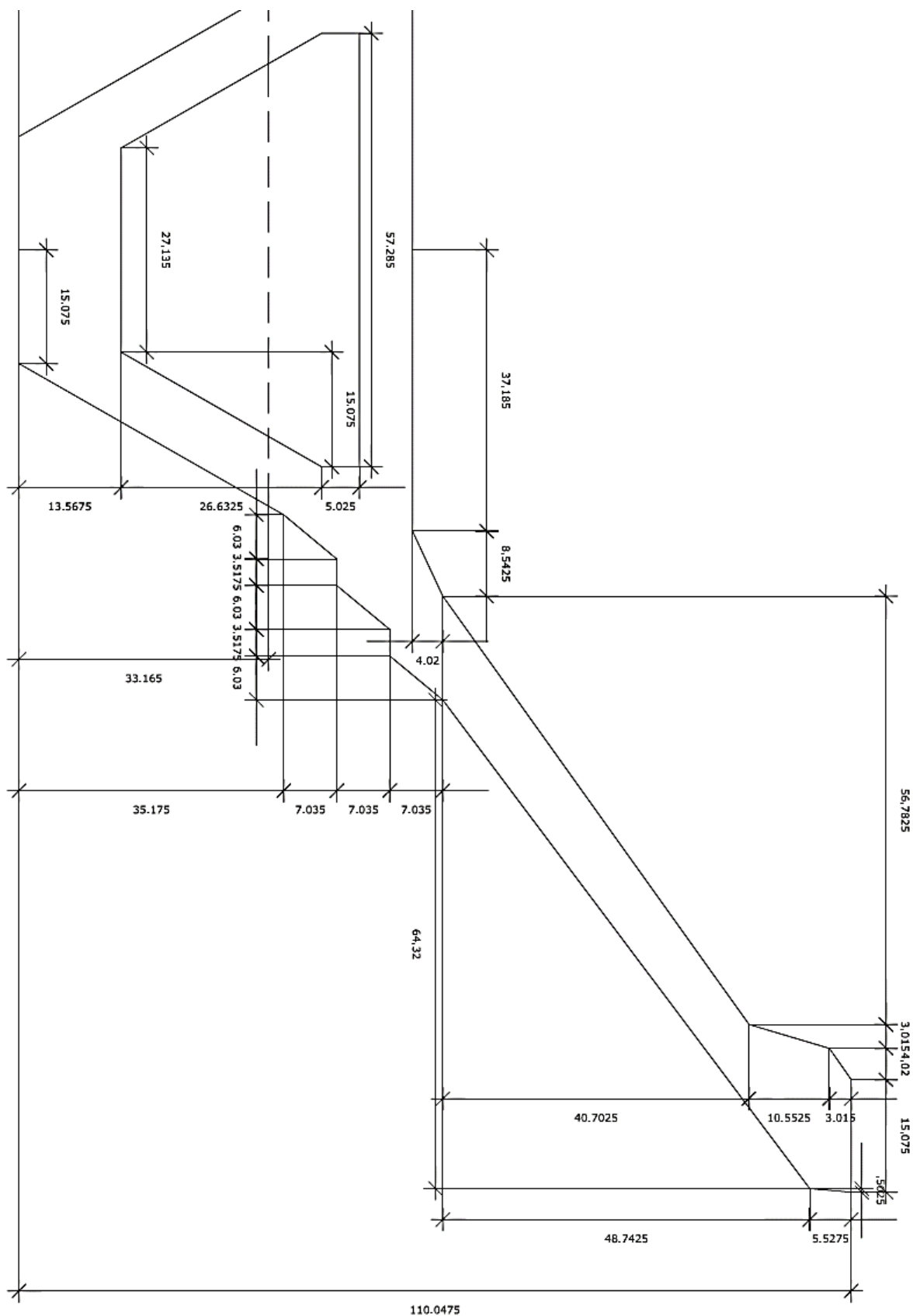


Figura 434 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF

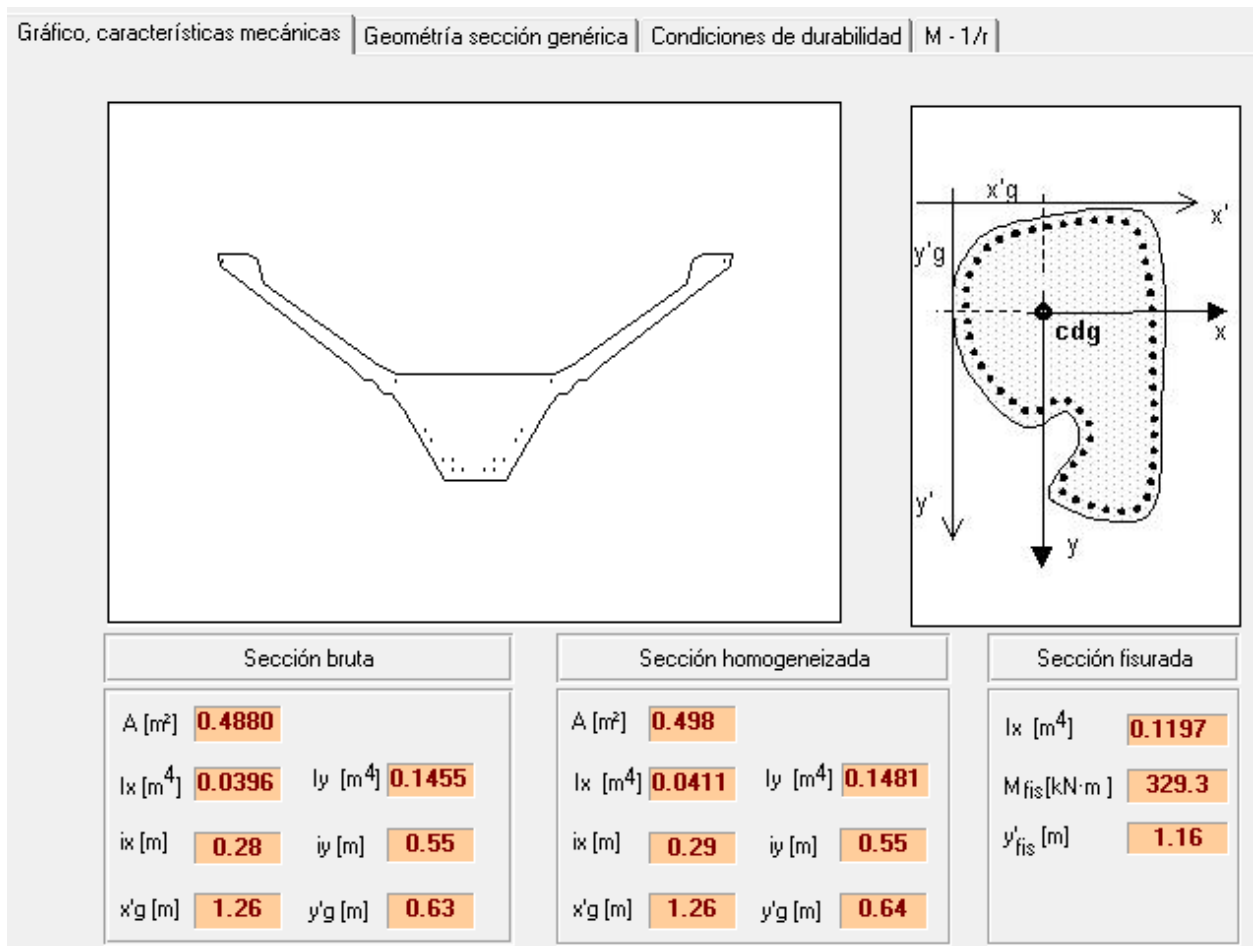


Figura 435 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga Artwind 110+2



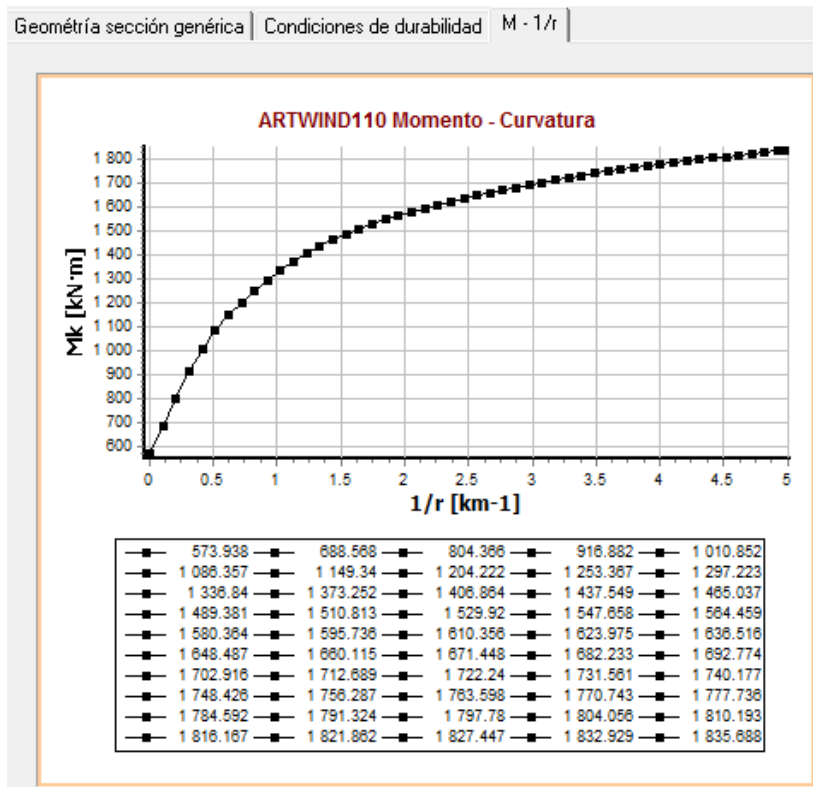


Figura 436 Curva momento-curvatura viga Artwind 110+2 (método 1)

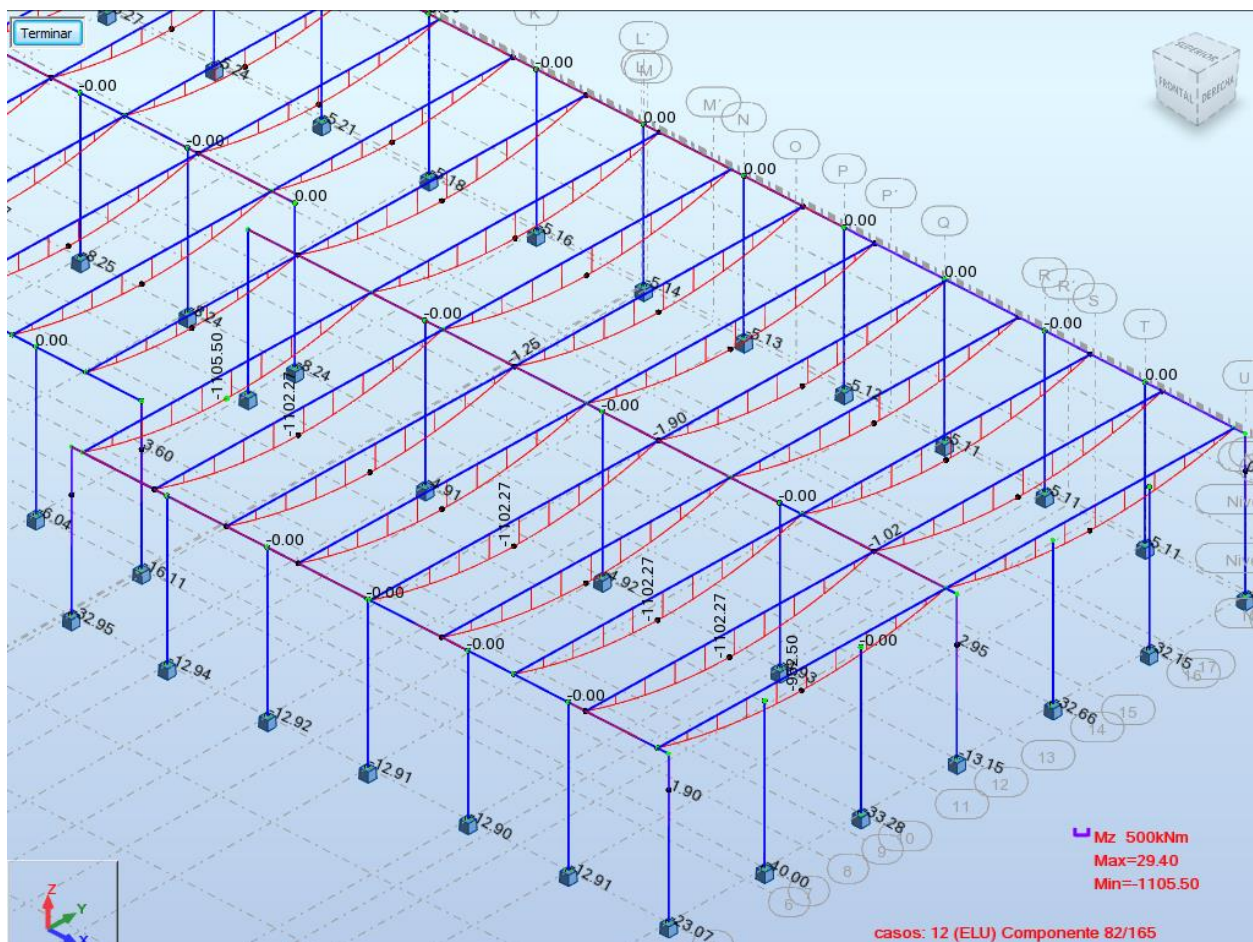


Figura 437 Máximo momento flector encontrado en vigas Artwind 110+2

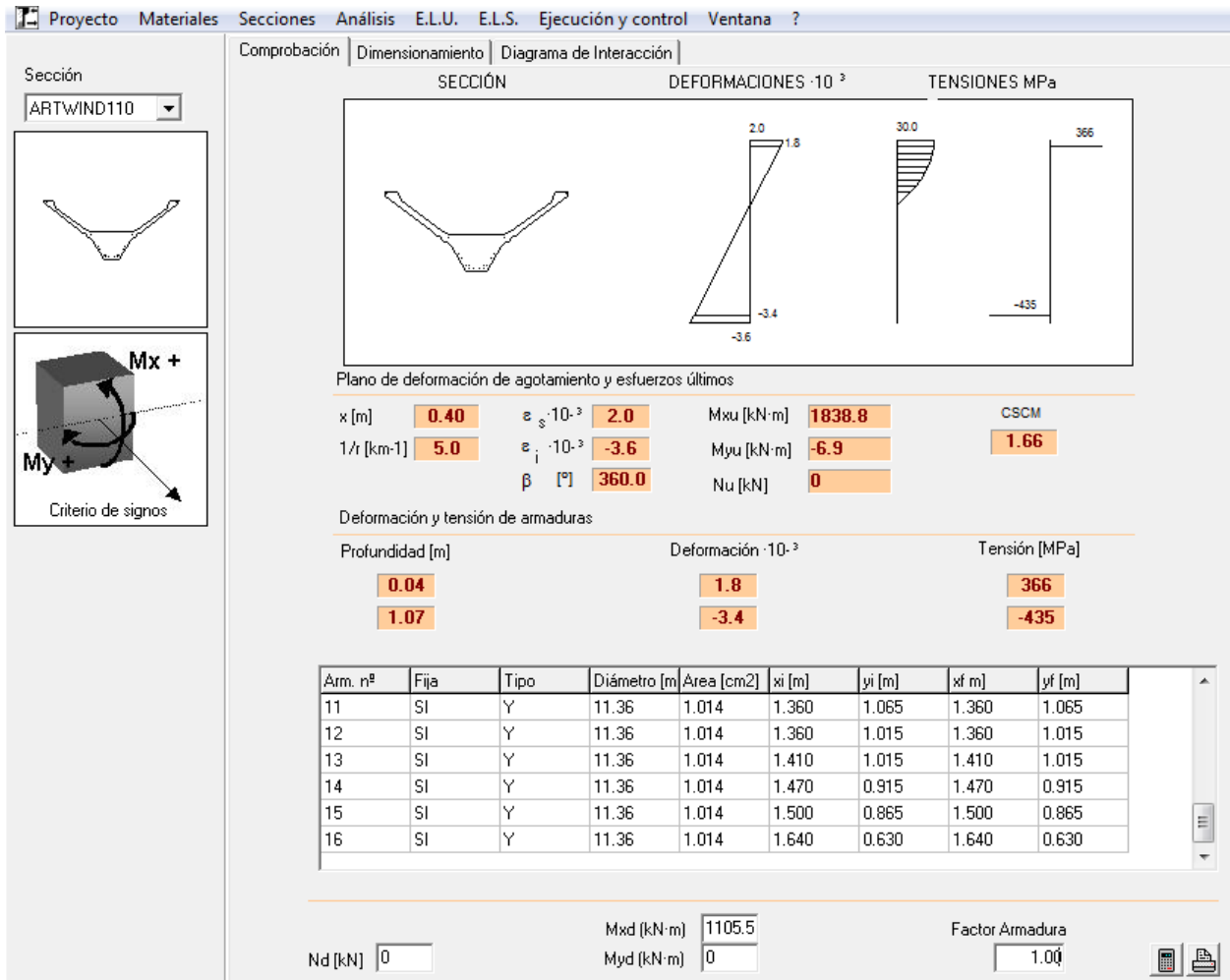


Figura 438 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga Arwind 110+2 (método 2)

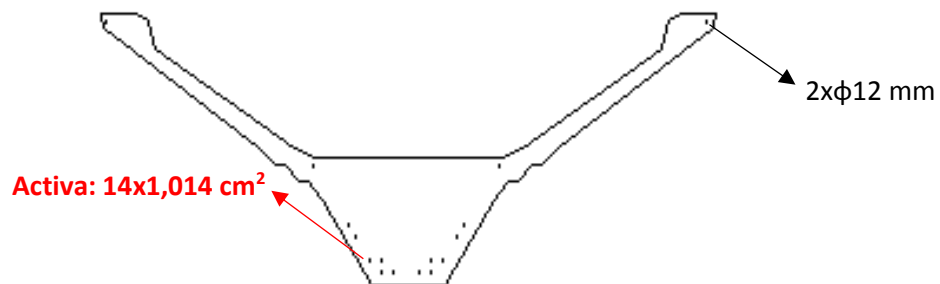


Figura 439 Armado longitudinal final viga Artwind 110+2\*\*

**\*\*Nota:** Es fácilmente observable que no se ha generado el aligeramiento de la sección. Esto se debe a un problema encontrado en el programa en el que, por motivos desconocidos, el programa deja de responder cuando se activa la opción de generar un contorno interior. Si el coeficiente hubiese quedado muy cercano a 1, se habrían considerado modificaciones sobre el armado por defecto que propone la planilla, porque siendo así, la sección aligerada no cumpliría. Estando en un valor de 1,66 se considera la sección aligerada sí cumpliría.

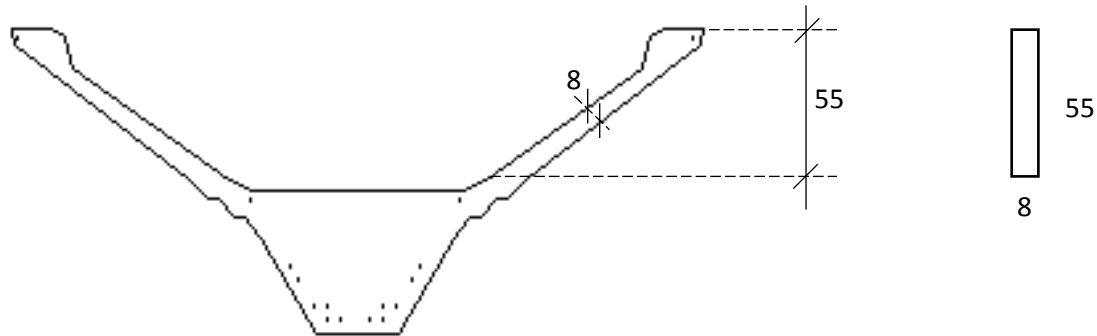
**Comprobación a cortante**

Figura 440 Viga Artwind 110+2.

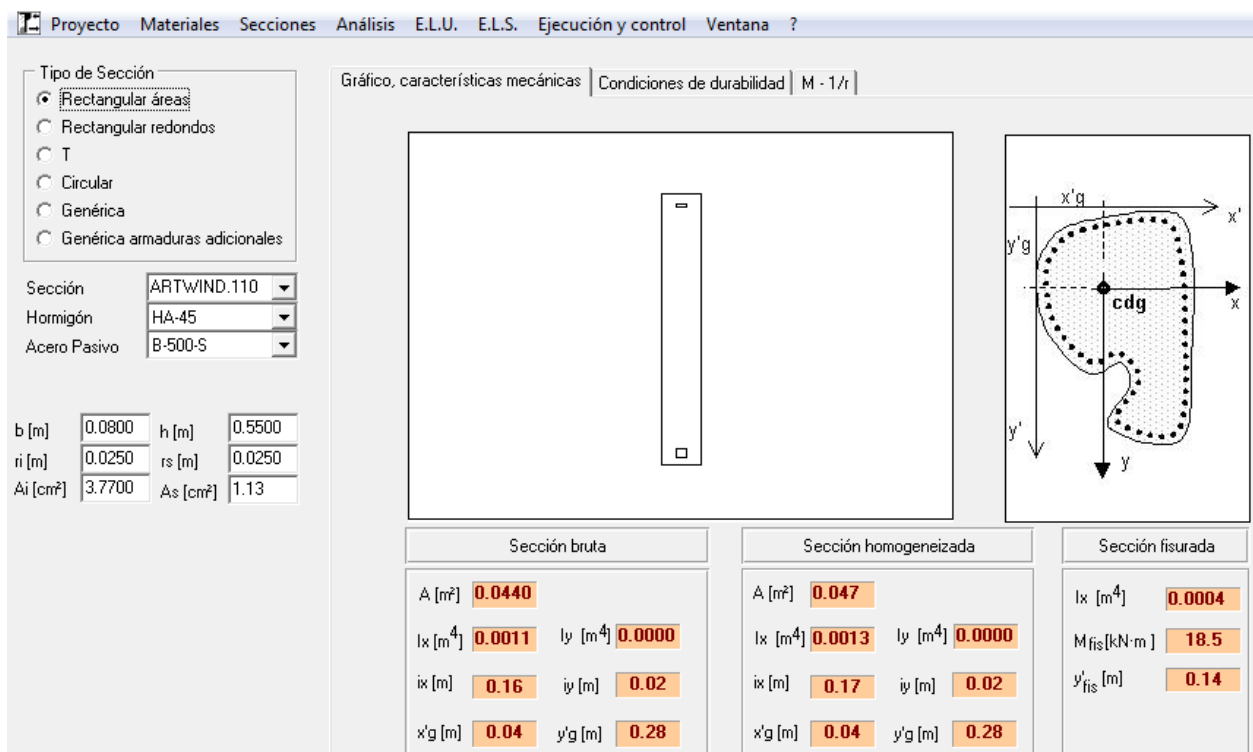
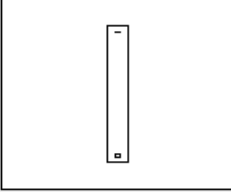


Figura 441 Módulo secciones rectangulares por área para viga Artwind 110+2

Proyecto Materiales Secciones Análisis E.L.U. E.L.S. Ejecución y control Ventana ?

Sección ARTWIND.110



$\rho_f$  [%] 9  
 $b_0$  [m] 0.08  
 $d$  [m] 0.53  
 $z$  [m] 0.47

Inclínación de las bielas  
 $\text{ctg } \theta$  1.0  $\theta$  [°] 45  
 Inclínación de las armaduras  
 $\alpha$  [°] 90.0

☒ Con armadura de cortante  
☐ Sin armadura de cortante

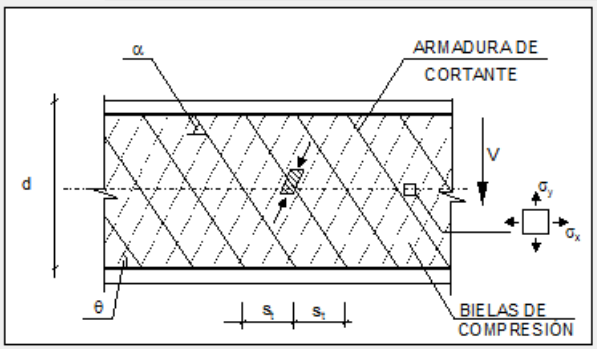
☒ Control normal hormigón  
☐ Control indirecto hormigón

☐ Armadura de compresión  
 Diámetro de la armadura comprimida  
 $\phi$  [mm] 12

Axil de cálculo (compresión +)  
 $N_d$  [kN] 163.4  
 $\sigma'_{cd}$  [MPa] 3.5  
 $P_{comprimida}$  [%] 0.56

Tensiones elásticas de cálculo (compresión +)  
 $\sigma_{xd}$  [MPa] 3.5  
 $\sigma_{yd}$  [MPa] 0.0  
 $\theta_e$  [°] 35.8

Comprobación Dimensionamiento



Cortante de agotamiento de las bielas  $V_{u1}$  [kN] **381.6**  
 Cortante de agotamiento de los tirantes  $V_{u2}$  [kN] **153.7**  
 Contribución del hormigón a la resistencia  $V_{cu}$  [kN] **25.8**  
 Contribución de la armadura transversal  $V_{su}$  [kN] **127.9**  
 Resistencia a cortante  $V_u$  [kN] **153.7**

$\phi$  [mm] 8  
 $s_t$  [m] 0.15  
 $n^\circ$  ramas 2  $A_\alpha$  [cm<sup>2</sup>/m] 6.7

Figura 442 Resistencia a cortante viga Artwind 110+2

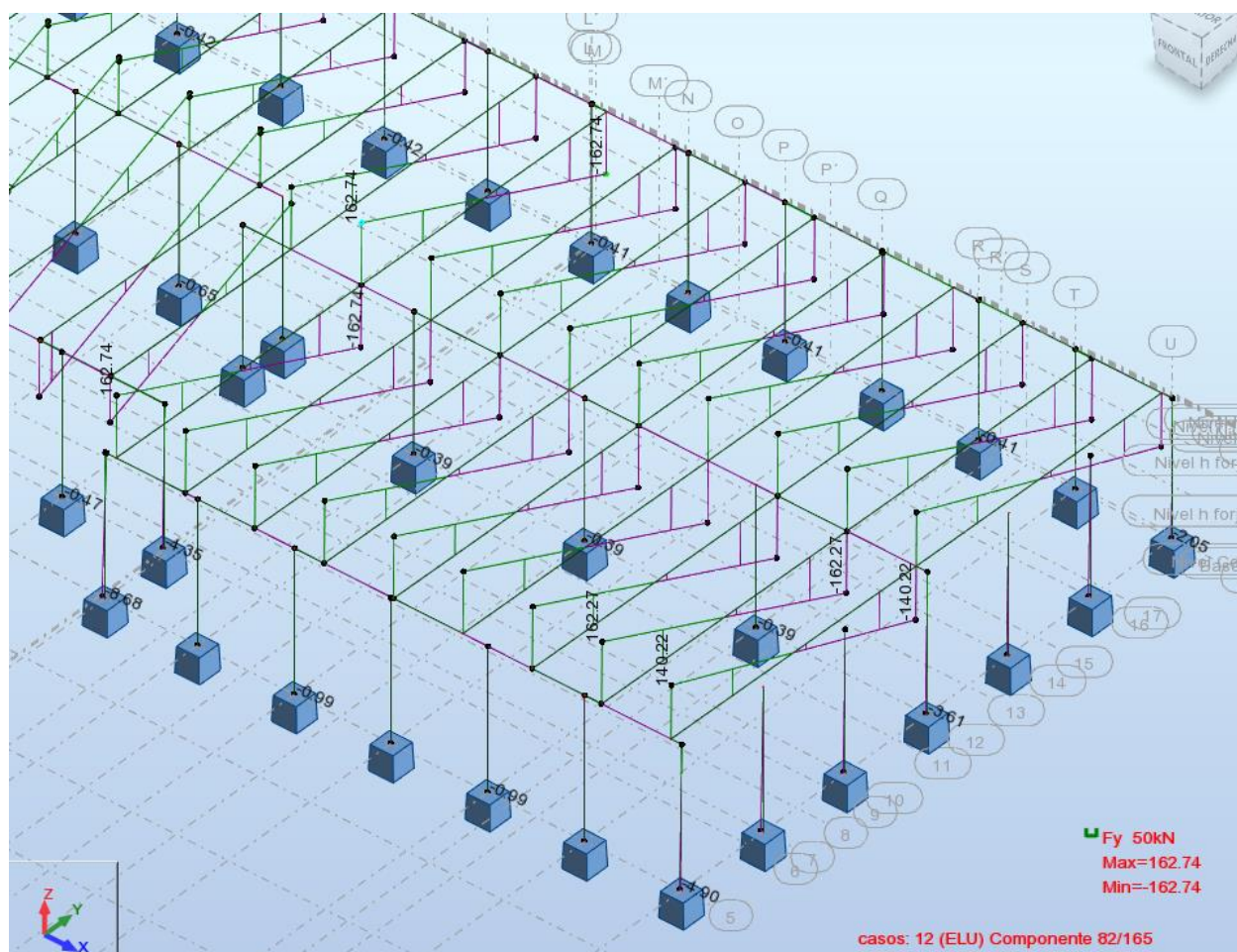


Figura 443 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar Artwind 110+2\*\*

\*\*Nota: La comparación habrá de hacerse con la mitad del valor localizado en el modelo (se está analizando un brazo de la sección)

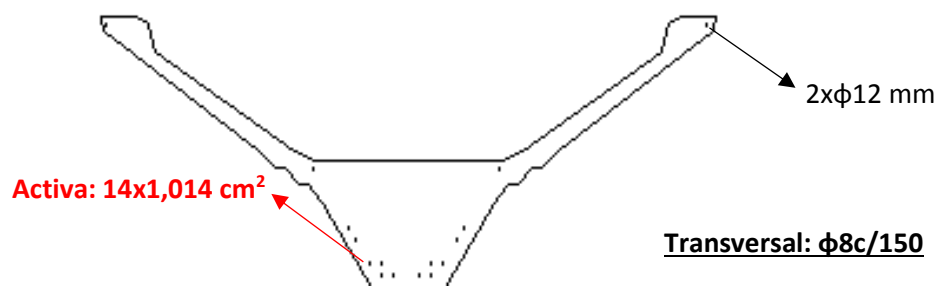


Figura 444 Armado total final viga Artwind 110+2

Con este último elemento termina el cálculo de elementos pretensados.



# ANEXO VII. REFINAMIENTO DEL MODELO GEOMÉTRICO

## 1 Objeto

En el presente anexo se vuelve al modelo geométrico que se dejó en Revit para, por un lado implementar los resultados del cálculo y colocar los armados a los elementos pretensados, con lo que se darían por cumplidos los dos objetivos principales de este TFM, y por otro, para generar en el modelo toda una serie de elementos arquitectónicos y estructurales que permitirán “refinar” el modelo, con el fin de que éste tome una forma muy similar a la que tendría si se construyese a día de hoy, esto es: cerramientos, puertas, ventanas, escaleras, cimentaciones, etc.

## 2 Implementación de resultados (armado de elementos pretensados)

Previo a comenzar a modelizar armado, es necesario ver que los elementos que se van a armar cuentan con un valor correcto de recubrimiento en sus características. Como el recubrimiento que viene por defecto en Revit es de 25 mm, este proceso no es necesario llevarlo a cabo, pues coincide con el que imponen los planos de ARTEPREF.

Igual que se ha hecho en otros apartados, se procede a explicar en detalle la modelización del armado en una de las piezas pretensadas, para, una vez explicado, dejar constancia mediante figuras del resultado obtenido para el resto de piezas. Como es lógico, se seguirá el mismo orden que se siguió a la hora de calcular las secciones, y por tanto este primer ejemplo explicativo corresponderá al de la viga salvapilar I-60.

## 2.1 Viga I-60

Una vez se tiene constancia de que el recubrimiento es el correcto, se procede a buscar un corte en sección de la pieza que se va a armar. Esto puede hacerse de manera muy sencilla utilizando el comando Sección:

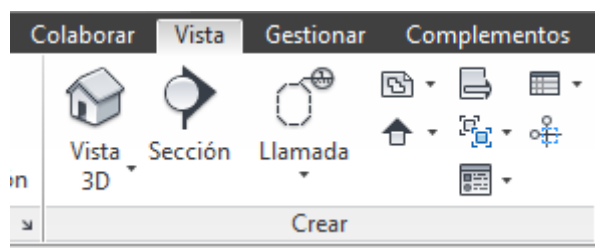


Figura 445 Localización comando Sección

La sección se colocará y orientará como viene especificado en la siguiente figura:

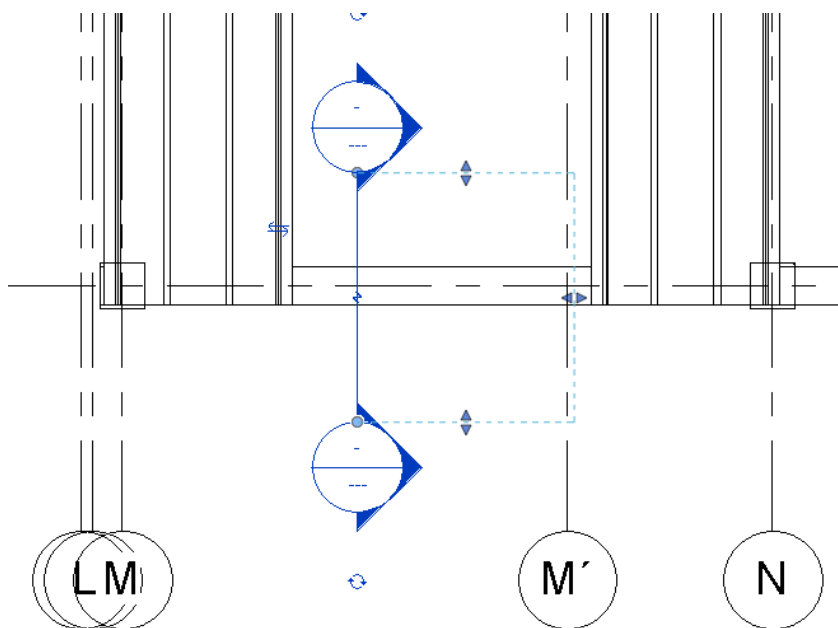


Figura 446 Localización y orientación de la sección para armar viga salvapilar I-60

De forma que se obtiene la siguiente sección:

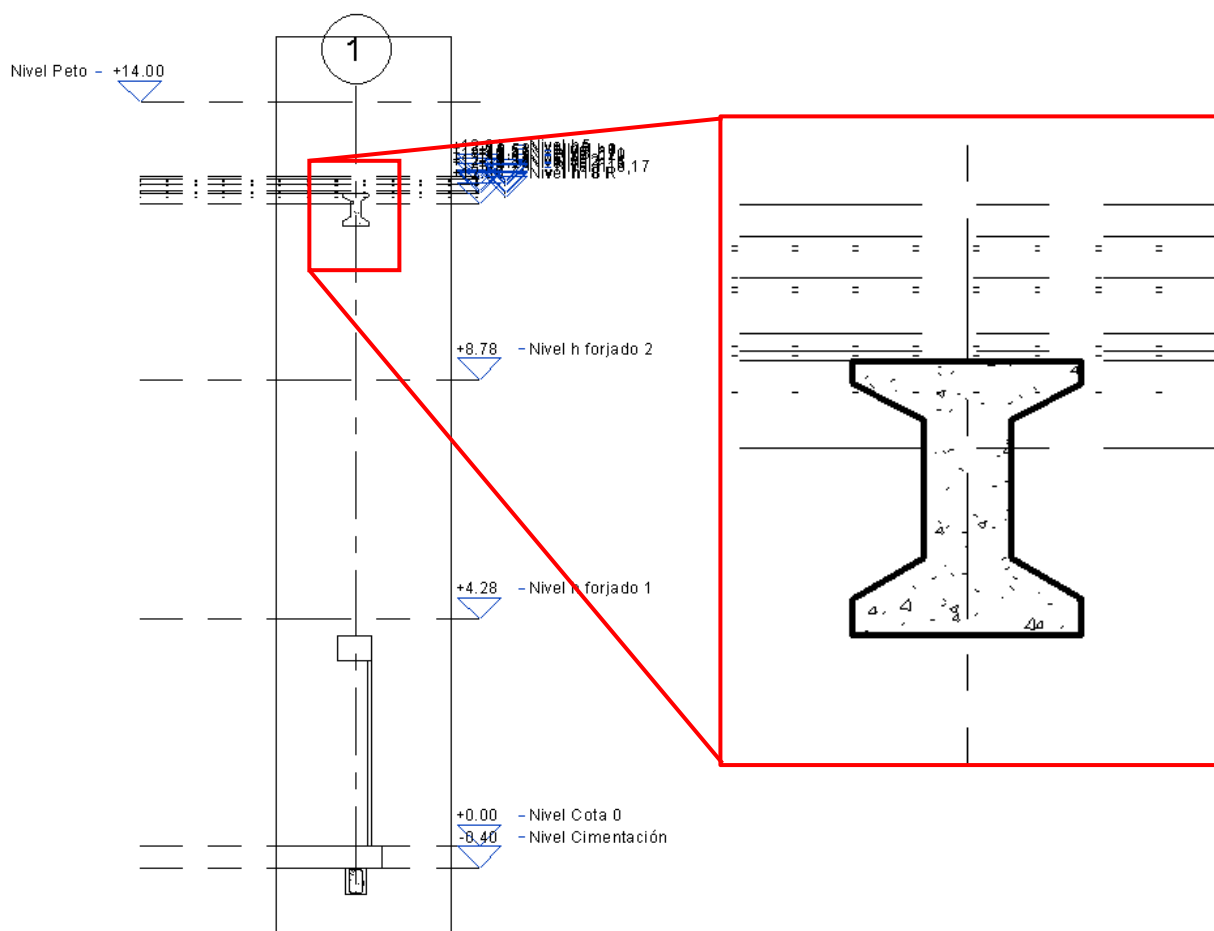


Figura 447 Sección obtenida y detalle para proceder a armar viga salvapilar I-60

Cuando se selecciona un elemento de hormigón cuya familia tiene entre sus parámetros la posibilidad de introducir armado de refuerzo, aparece en la barra de herramientas la opción Armadura:



Figura 448 Localización menú armadura

Una vez hecho esto, a la interfaz de Revit se añade un nuevo navegador, el navegador de formas de armadura, en el que se pueden ver todas y cada una de las formas que Revit tiene cargadas en sus librerías. También aparecen, en el menú Colocar armadura las opciones de trabajo de Plano de colocación, orientación de colocación, y Conjunto de armadura. En el primero de éstos se selecciona el plano en que se va a colocar el armado, en el segundo, la orientación que seguirá el armado respecto al plano escogido en el primero, y en el tercero, las posibilidades de agrupaciones, distancias entre armaduras, etc.



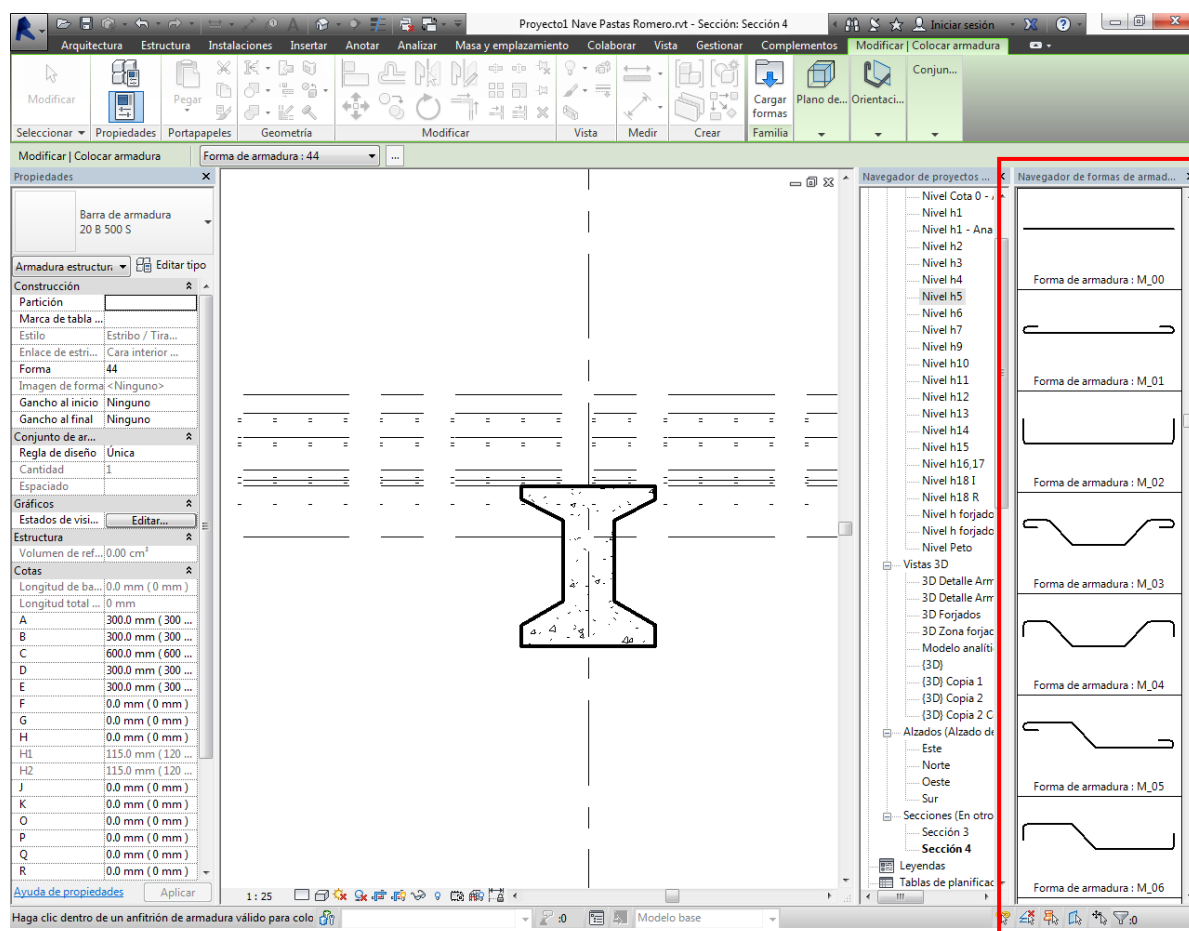


Figura 449 Localización del Navegador de formas de armadura

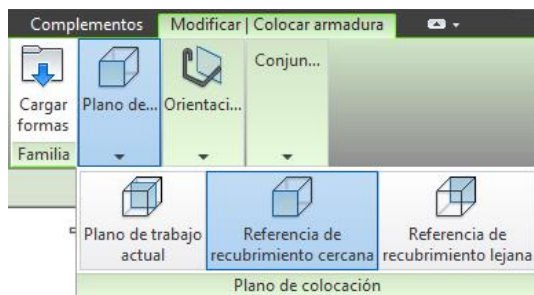


Figura 450 Opción Plano de colocación en menú Colocar armadura

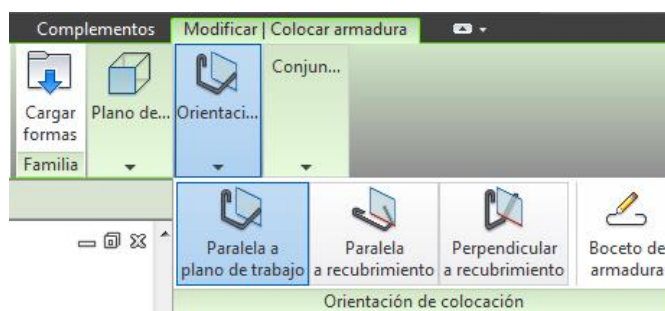


Figura 451 Opción Orientación de colocación en menú Colocar armadura

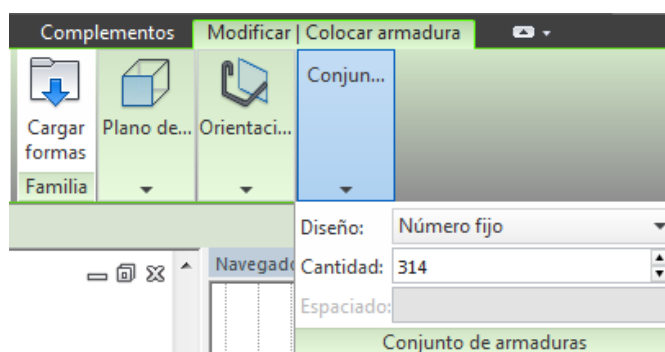


Figura 452 Opción Conjunto de armaduras en menú Colocar armadura

Se recuerda el armado que ha de colocarse en la pieza:

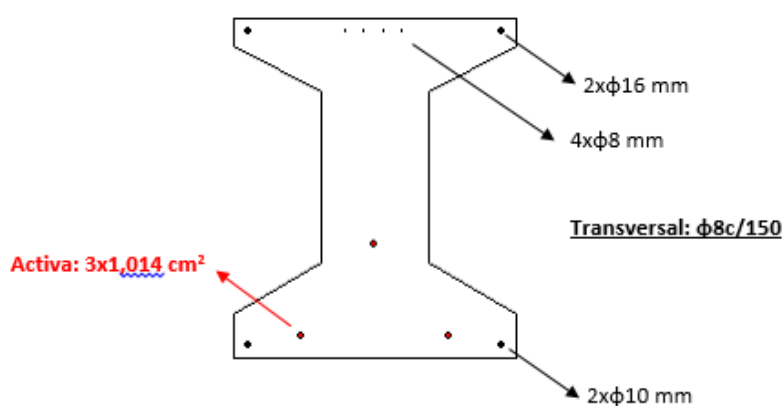


Figura 453 Armado total final viga salvapilar I-60

Al ser el armado transversal el que estará en la capa de recubrimiento, se ha de comenzar con él. Se ha obtenido para esta pieza, la necesidad de colocar cercos de diámetro 8 mm cada 15 cm, unos cercos que, como tal, representan dos ramas de acero que cubrirán el alma, y cuya geometría real es algo más compleja, de acuerdo con las planillas de armado que proporcionó ARTEPREF. Con el fin de acercar este resultado más simple a la realidad, se ha visto conveniente modelizar este armado en dos piezas distintas, que cubran también parte de la sección correspondiente a las alas.

A la hora de colocar un armado, el diámetro y el tipo de acero, 8 mm y B-500-S en este caso, se colocan en la ventana de Propiedades.

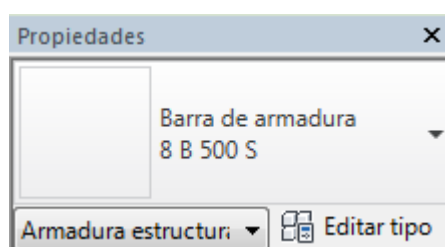


Figura 454 Propiedades de Armado. Diámetro y tipo de acero

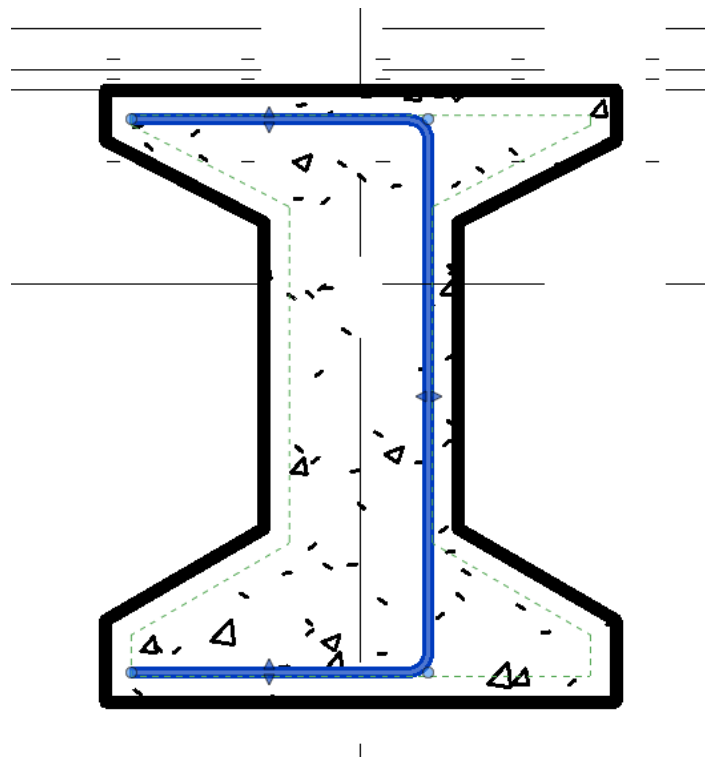


Figura 455 Primera rama del armado transversal

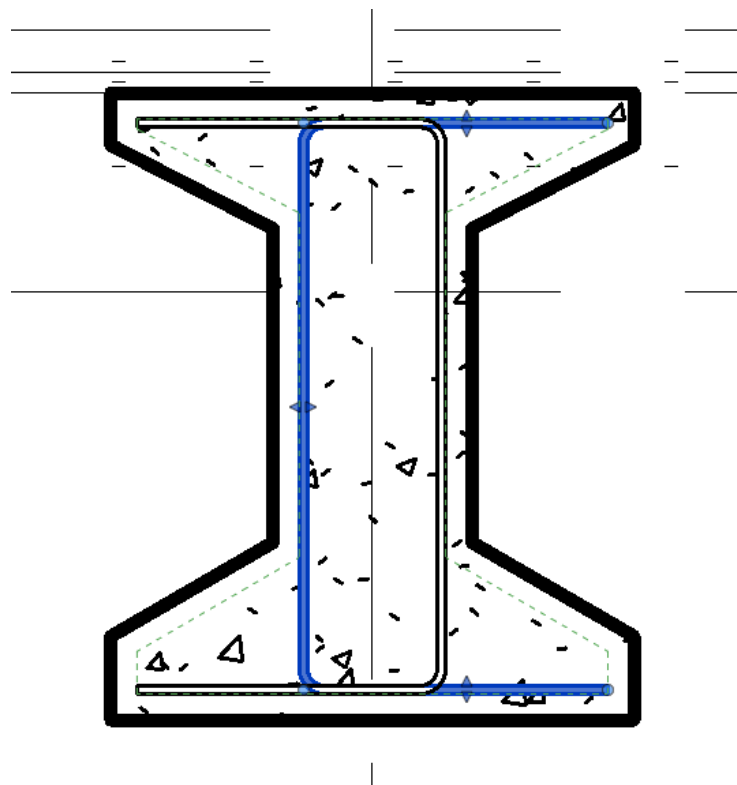


Figura 456 Segunda rama del armado transversal

Una vez colocado éste, y establecido como nueva delimitación exterior del armado, se procede a colocar el armado pasivo longitudinal:

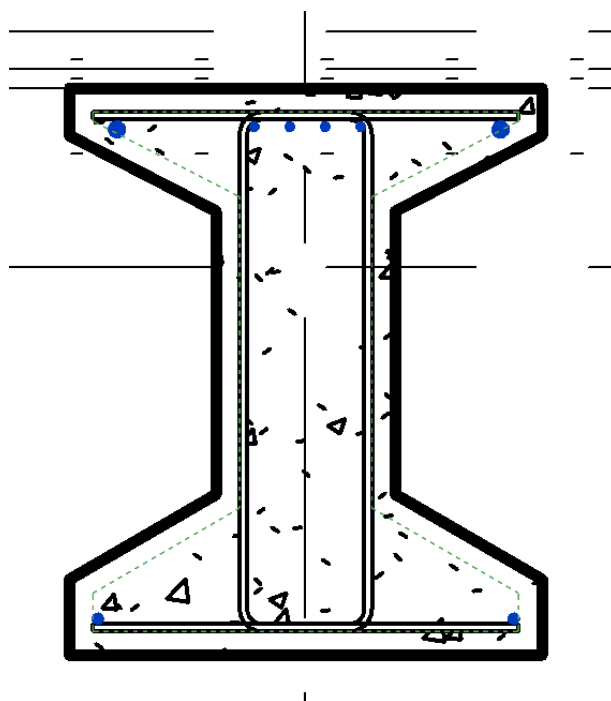


Figura 457 Armado longitudinal pasivo

A éste le sigue el armado activo, cuyo modelizado es un poco más complejo por no existir como tal diámetros normalizados correspondientes a los tendones de armado de pretensar. Éstos tienen que generarse como un tipo nuevo, dentro de los tipos de diámetros existentes, igual que se ha visto hasta ahora cada vez que se ha necesitado generar un tipo de elemento nuevo: duplicando un tipo existente, y modificando las propiedades que se consideren pertinentes.

Se genera, pues, un tipo de diámetro de armado de acero B-500-S con diámetro 12,7 mm (media pulgada)

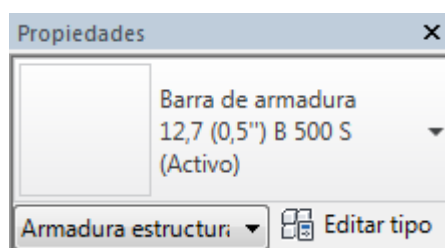


Figura 458 Nuevo tipo de diámetro generado para simular el armado activo

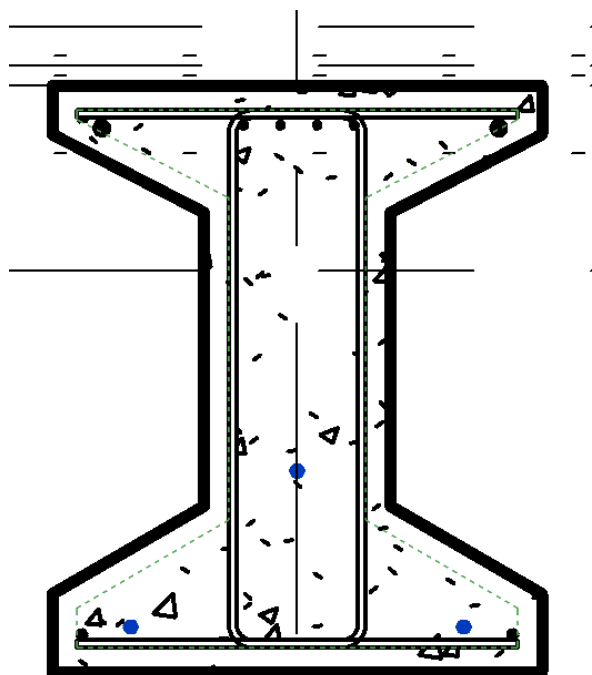


Figura 459 Armado longitudinal activo (de pretensar)

Con el fin de corregir algunos solapamientos se realizaron labores de perfeccionamiento de la posición de los armados para que quedase como debería quedar una vez en obra. El resultado de todo este proceso puede verse en las páginas que siguen a ésta, pasando antes por un paso muy importante que permite la visualización de los armados:

Si uno selecciona un elemento de armadura y selecciona la opción Estilos de visibilidad en Vista, en el apartado Gráficos de la ventana de Propiedades, puede seleccionar que estos elementos se vean como elementos sólidos, y que no sean tapados por otros, como el hormigón que contendrá estos armados. En la vista 3D denominada 3D Detalle Armaduras Cimentación será donde se seleccionen estas opciones, pues es la que se ha generado precisamente para mostrar estos detalles:

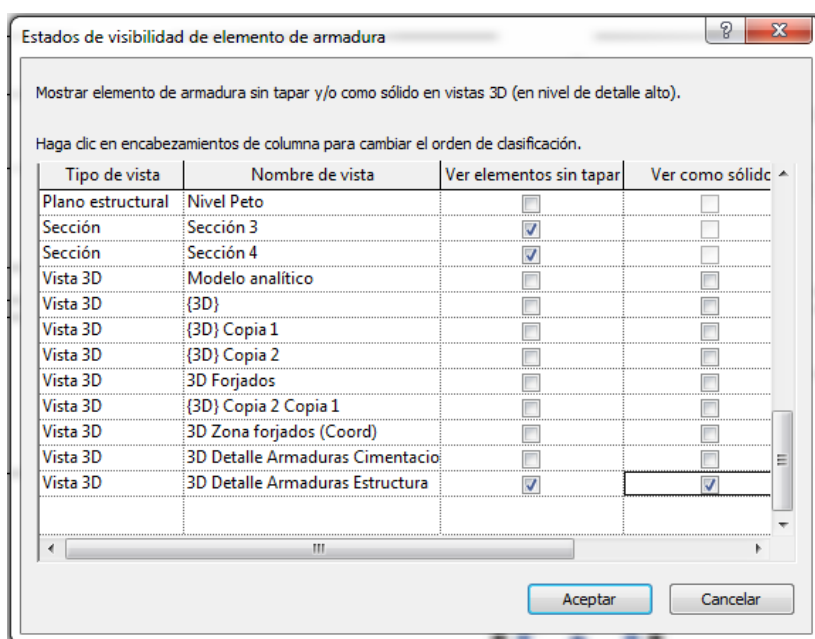
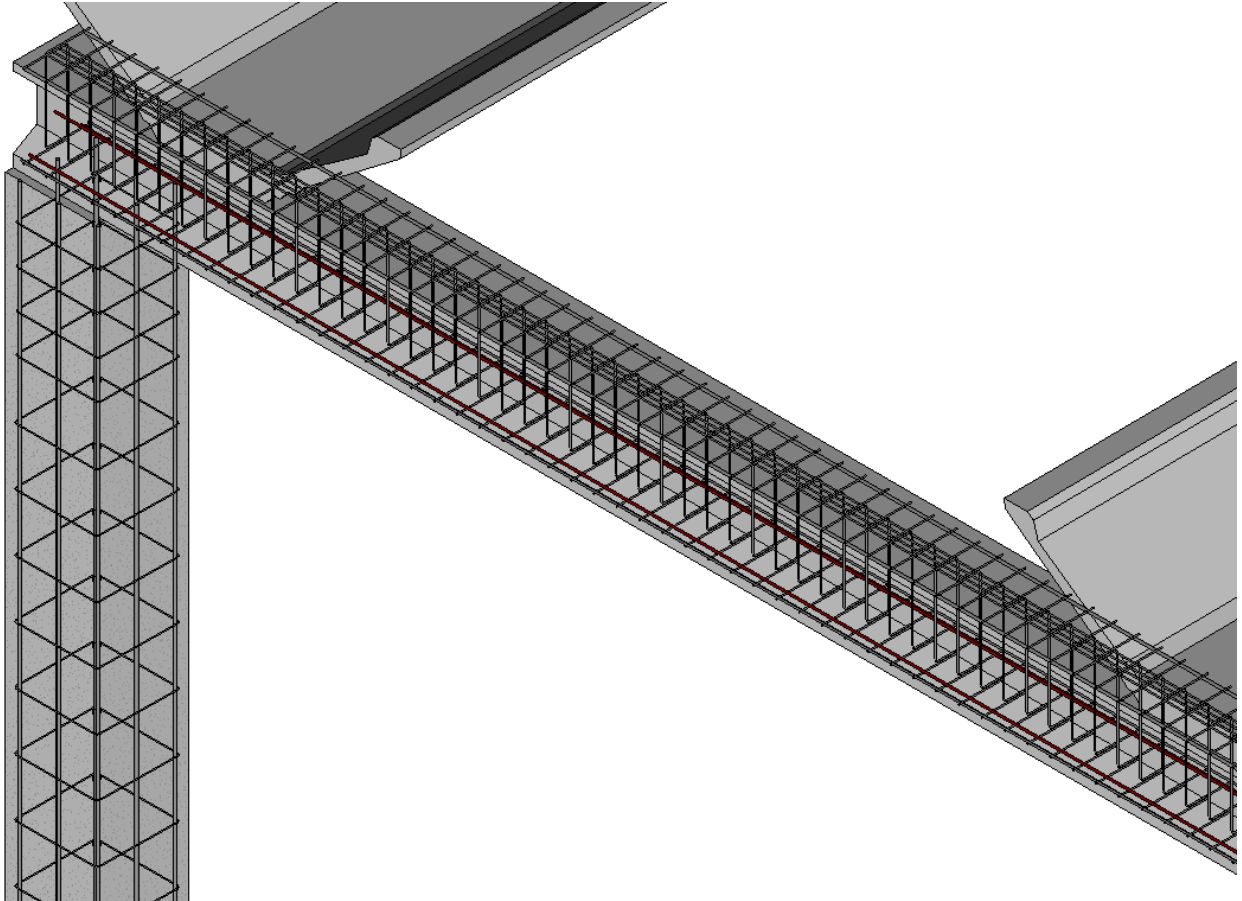
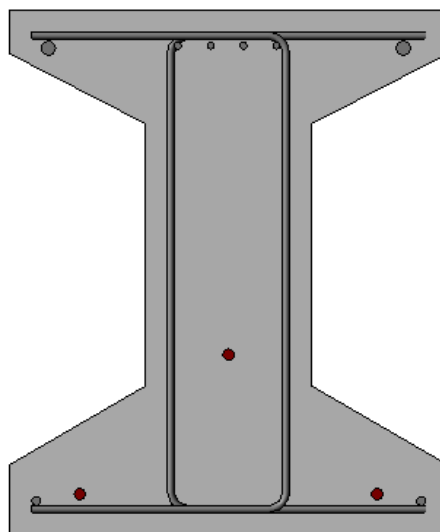


Figura 460 Menú Estilos de visibilidad de elemento armadura

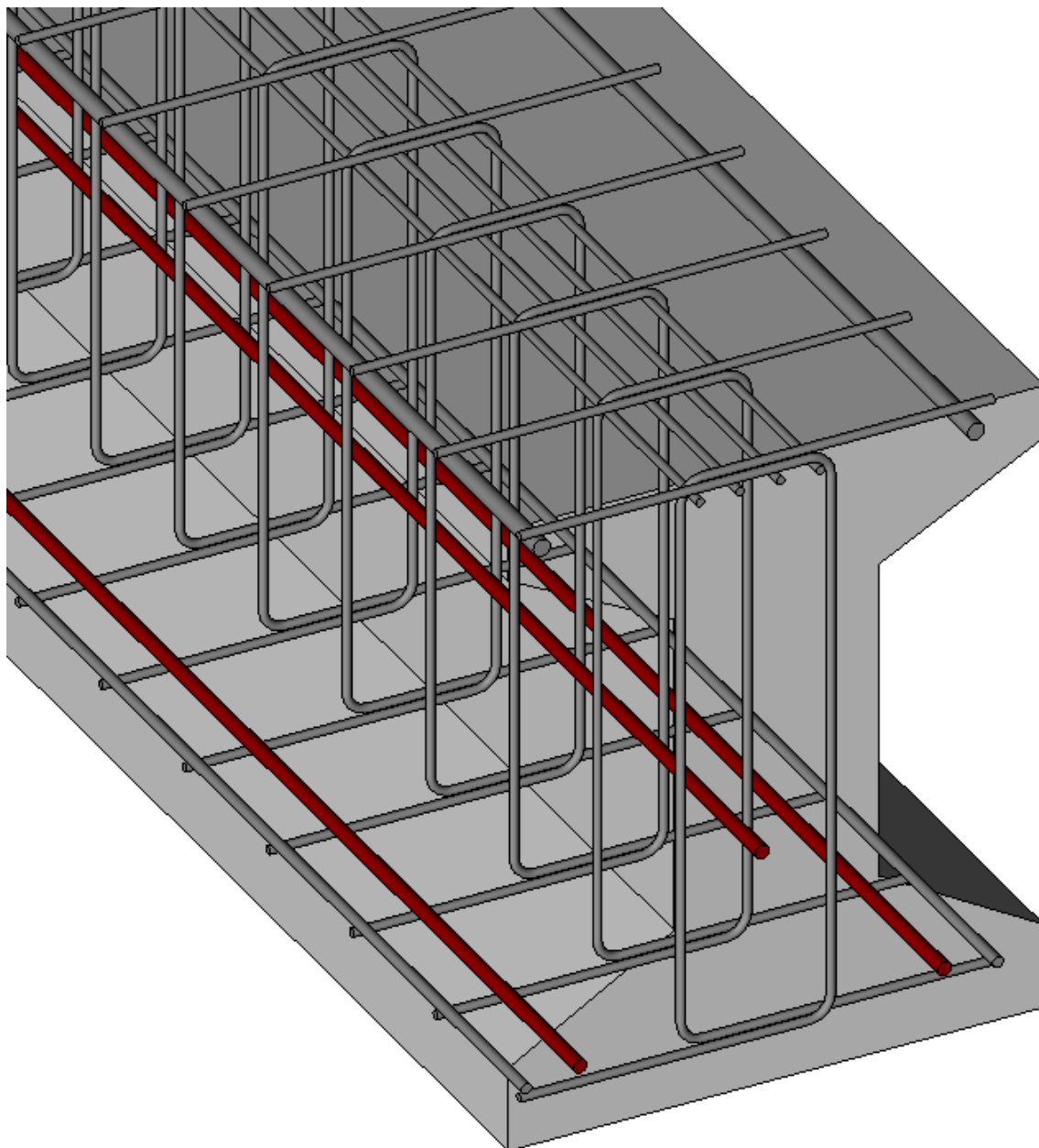
El resultado de hacer esto, se expone en la figura siguiente, con todos los armados de viga I-60 ya dispuestos y visibles a un detalle tan alto como se quiera simplemente modificando la escala y el nivel de detalle:



*Figura 461 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Vista 3D*



*Figura 462 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Sección*



*Figura 463 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Detalle*

Como puede observarse, una ligera modificación en el apartado gráfico de muestra del material de acero de los elementos de armado activo permite visualizarlos en color rojo para realizar una distinción en el propio modelo, y que sean reconocibles a simple vista, igual que se tenía en el esquema del armado de sección de la viga.

Explicado el procedimiento a seguir para modelizar todos los armados, se procede a mostrar los resultados obtenidos en el modelo para el resto de tipologías de vigas:

## 2.2 Viga I-65

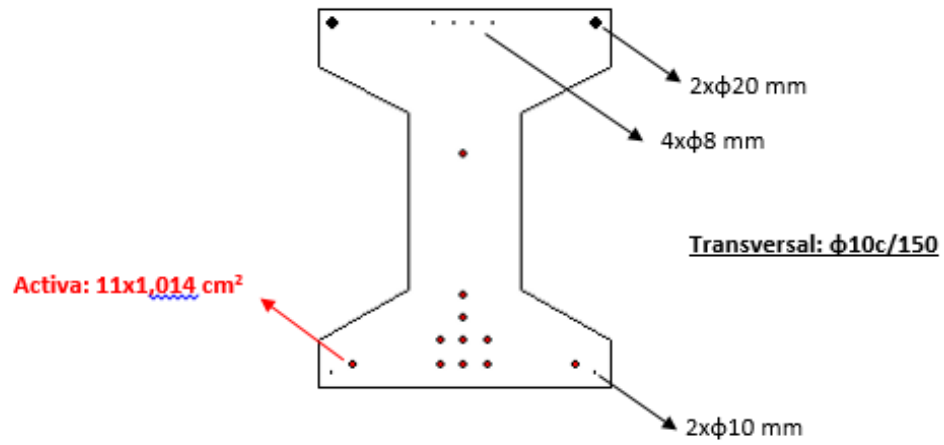


Figura 464 Armado total final viga salvapilar I-65

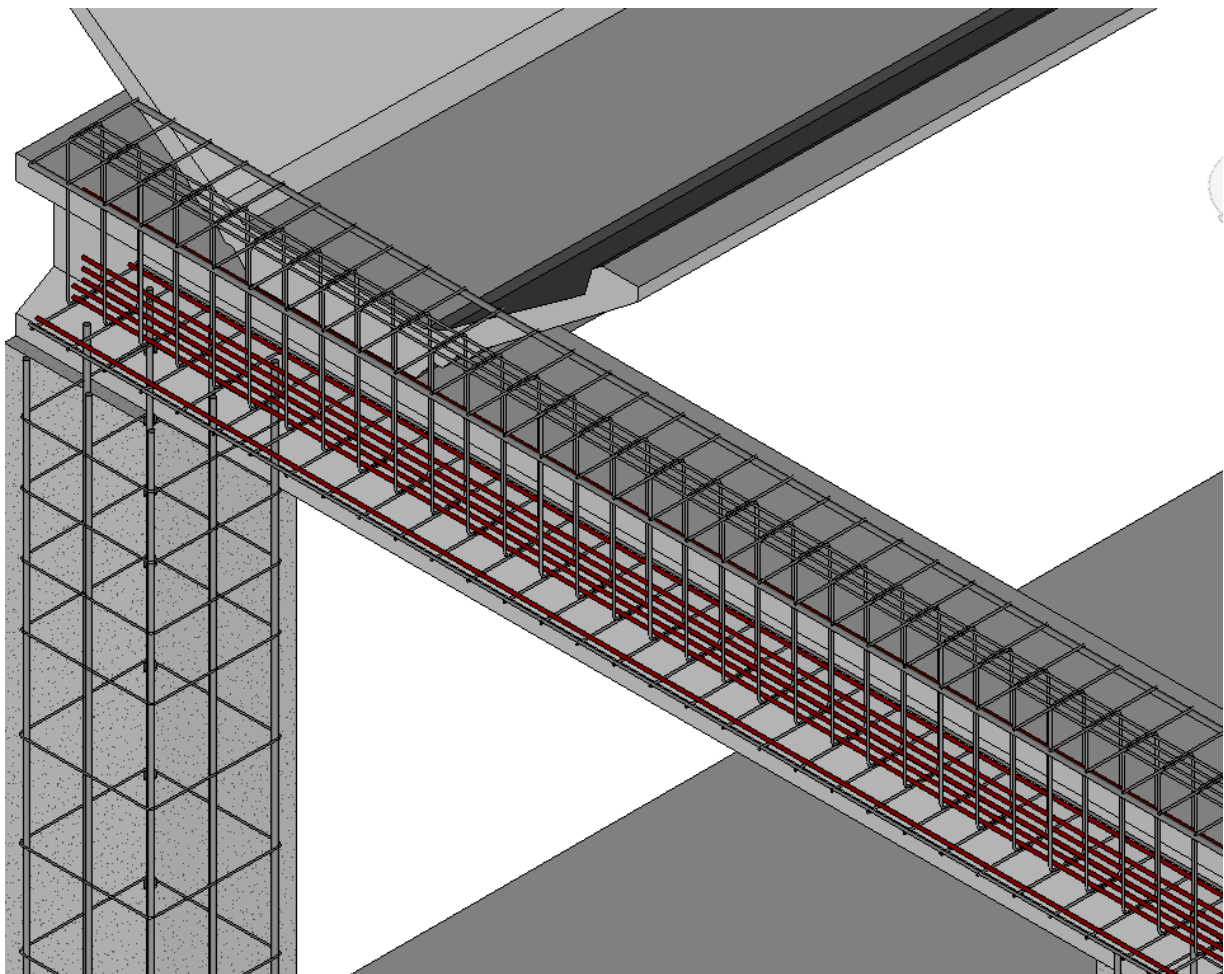
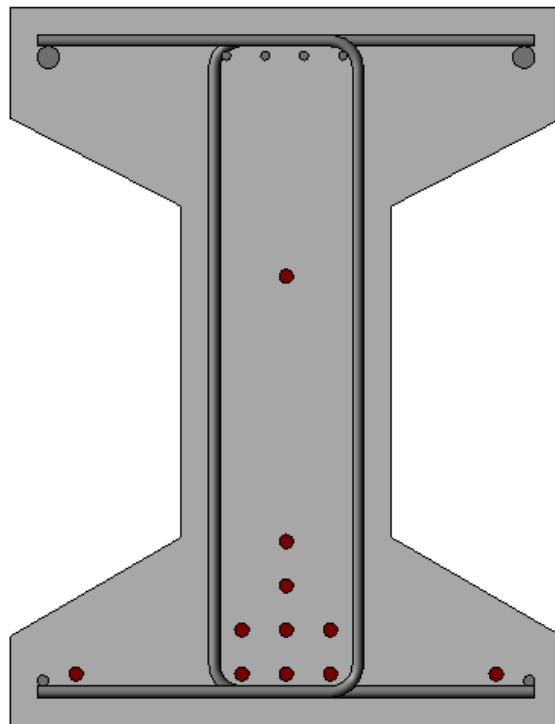


Figura 465 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Vista 3D





*Figura 466 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Sección*

### 2.3 Viga I-85

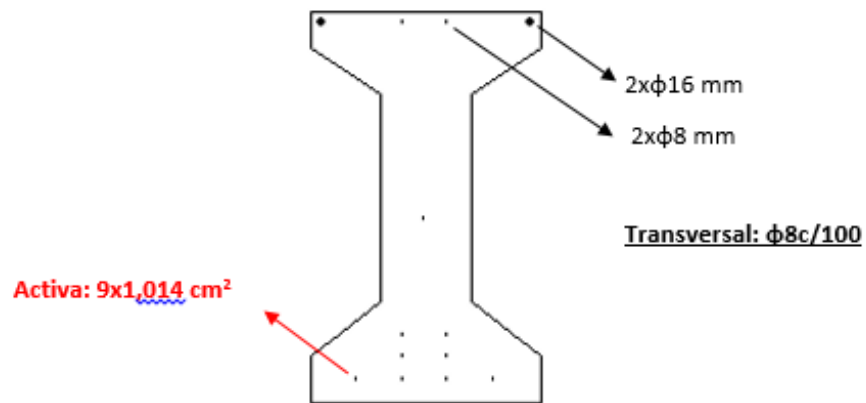


Figura 467 Armado total final viga salvapilar I-85

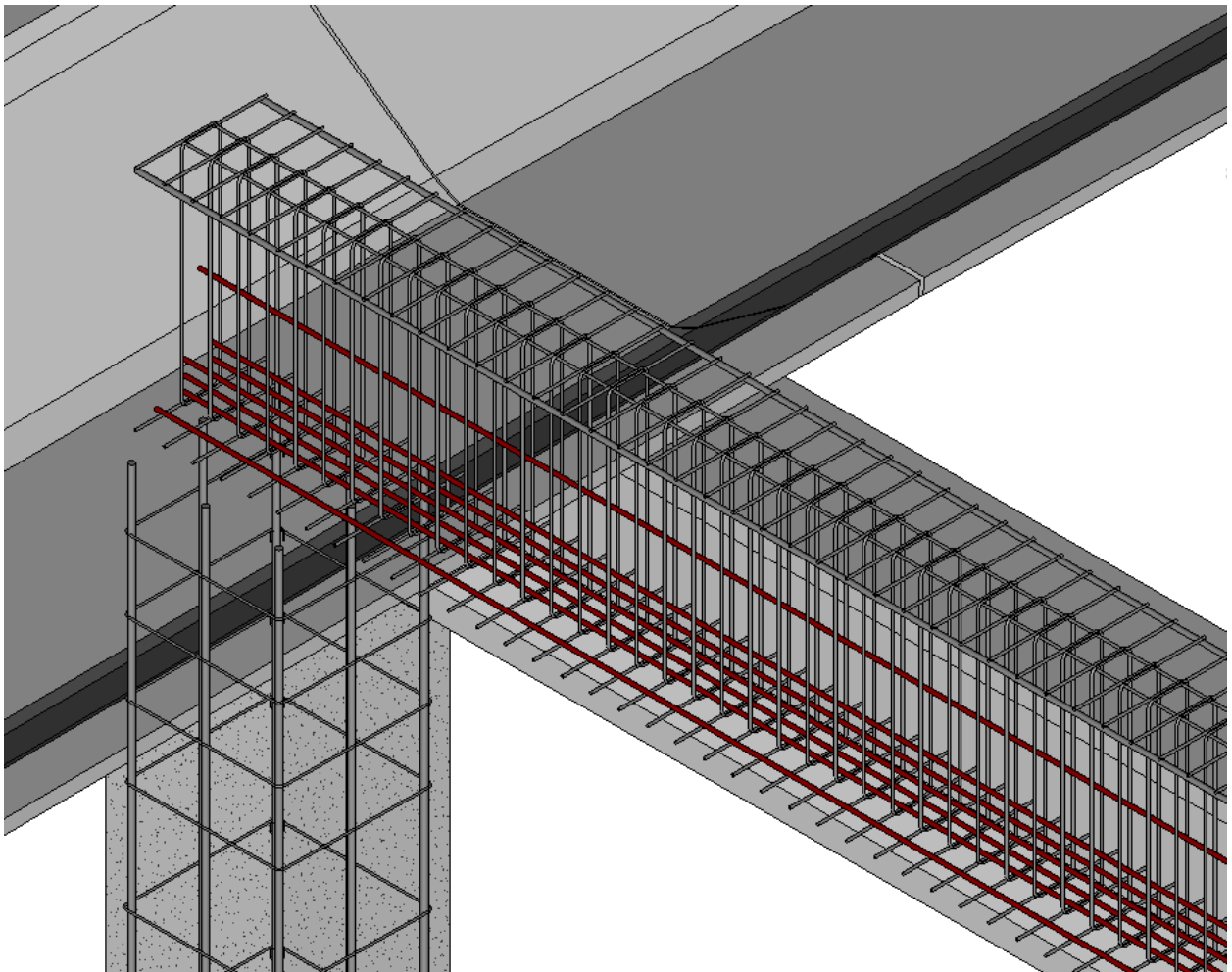
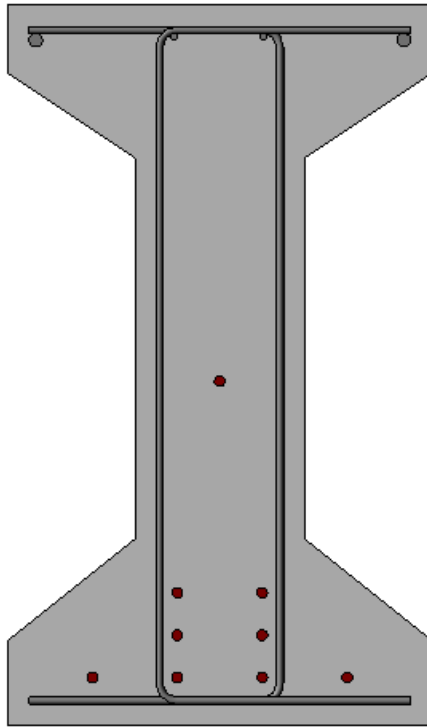


Figura 468 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Vista 3D



*Figura 469 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Sección*

## 2.4 Viga I-90

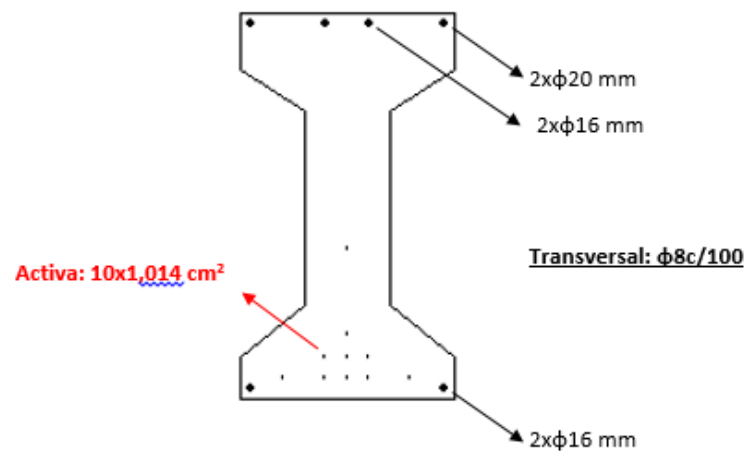


Figura 470 Armado total final viga salvapilar I-90

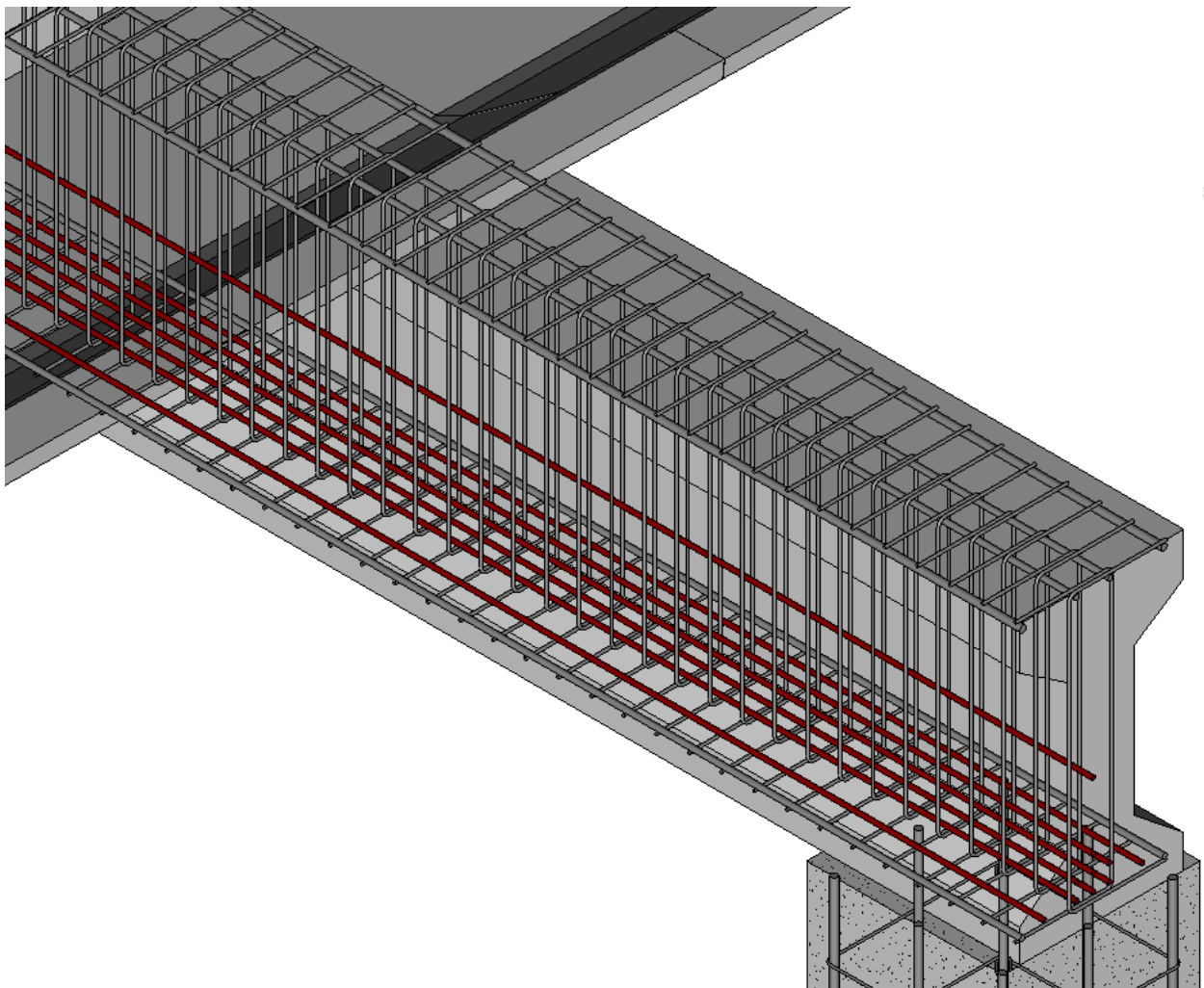
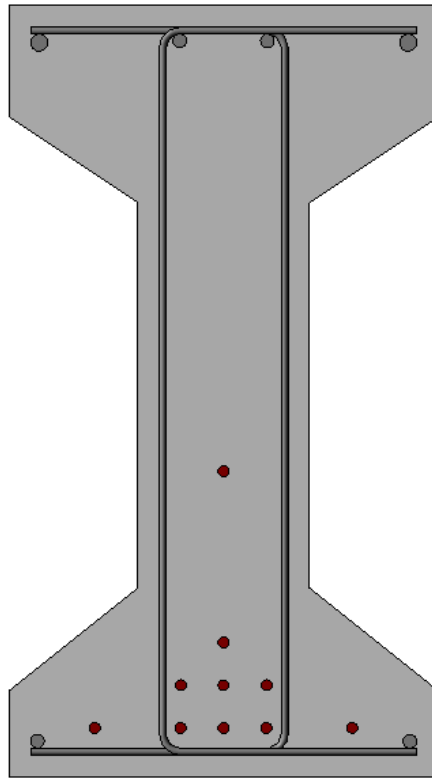


Figura 471 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Vista 3D



*Figura 472 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Sección*

## 2.5 Viga I-95

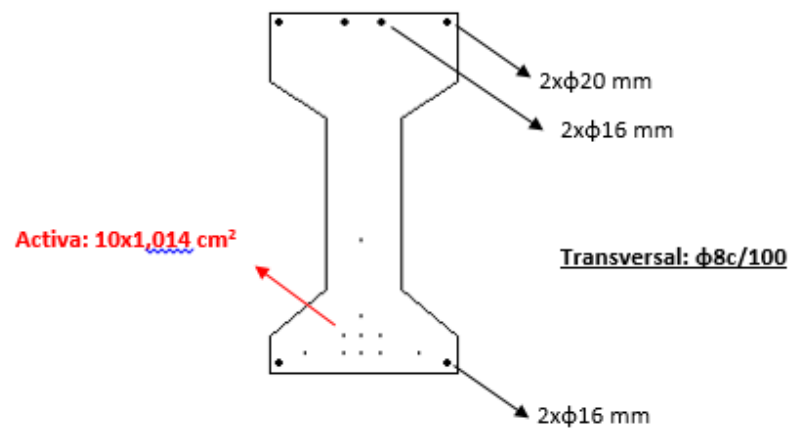


Figura 473 Armado total final viga salvapilar I-95

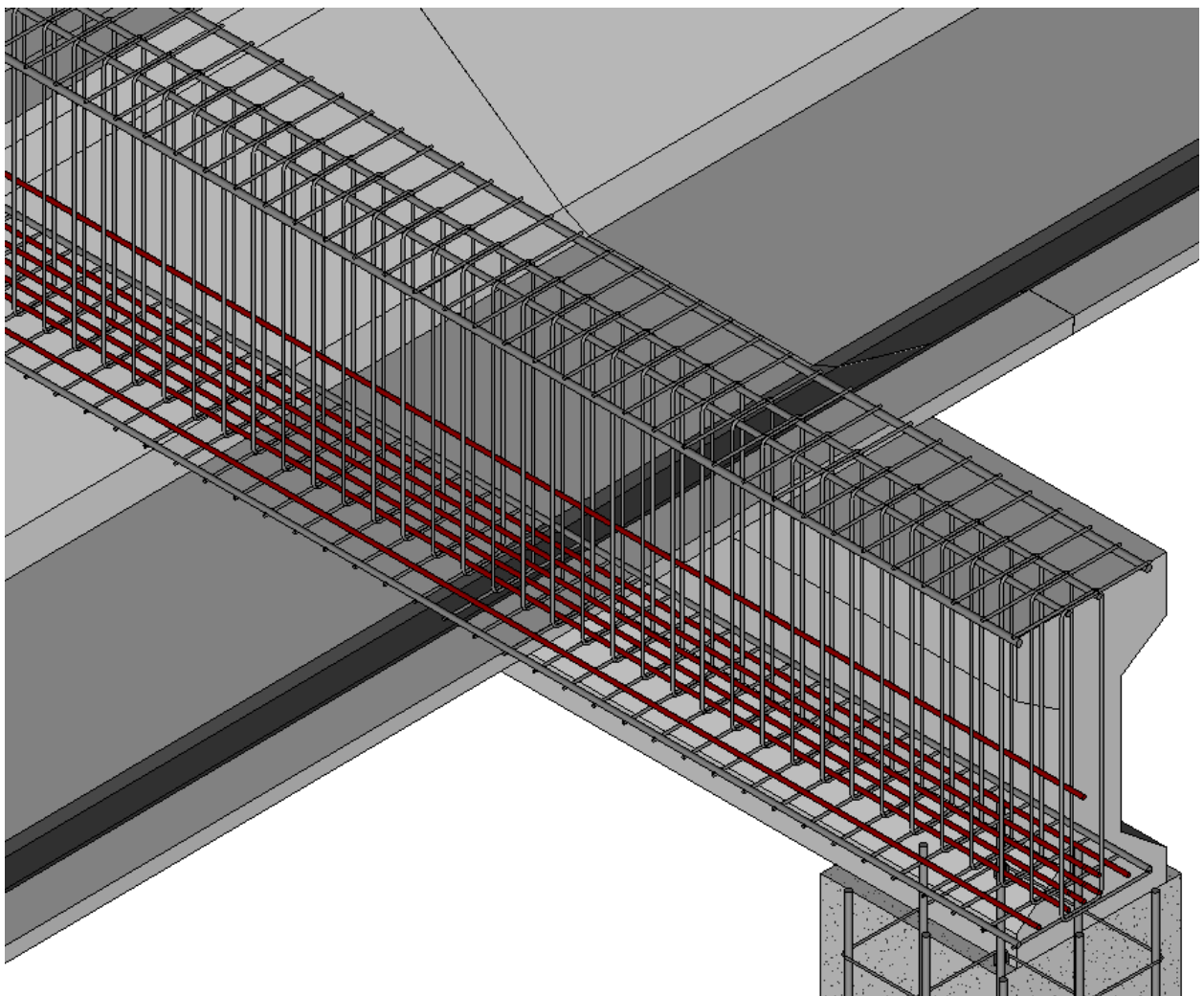
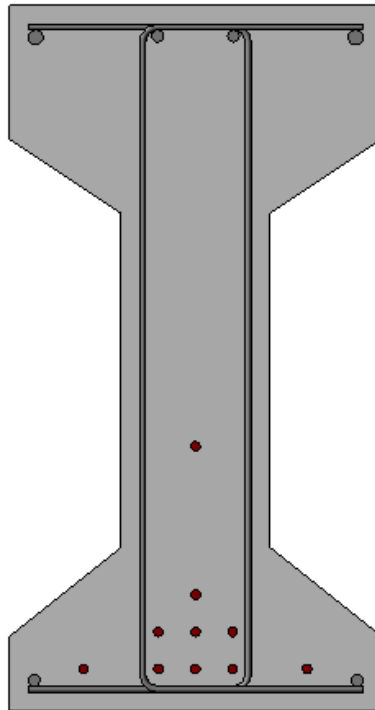


Figura 474 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Vista 3D



*Figura 475 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Sección*

## 2.6 Viga I-145

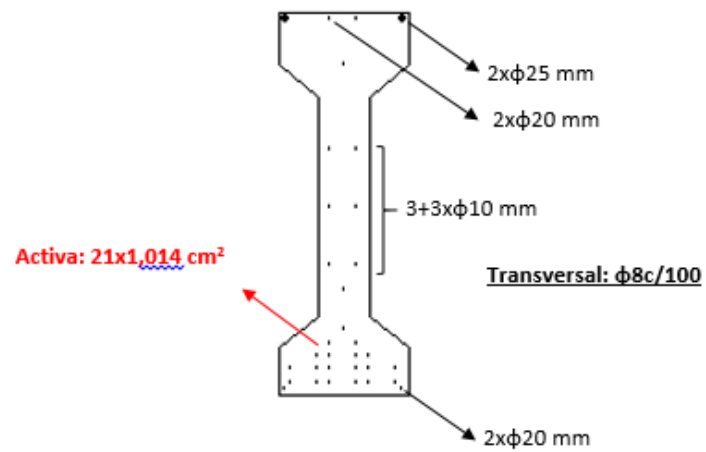


Figura 476 Armado total final viga salvapilar I-145

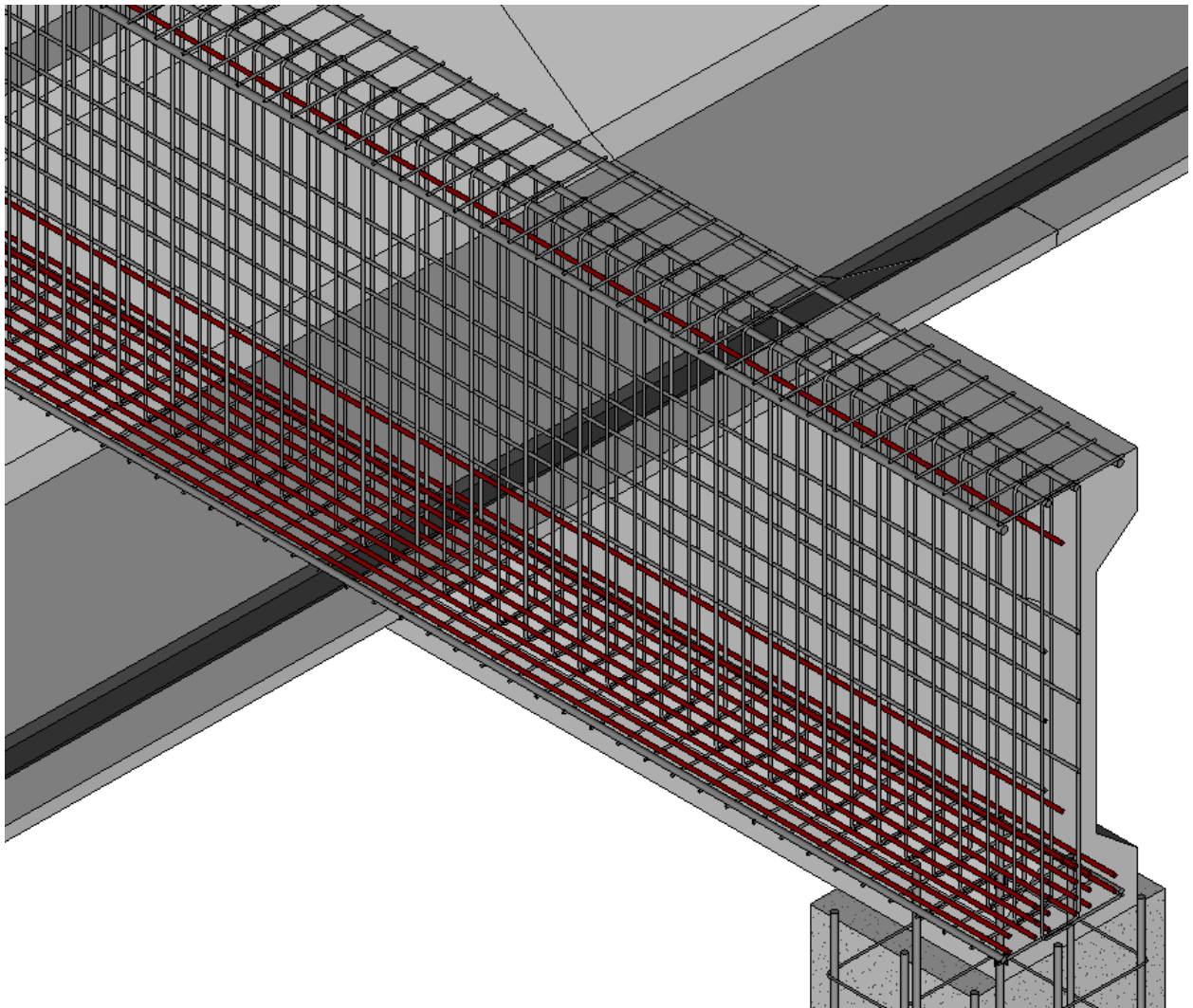
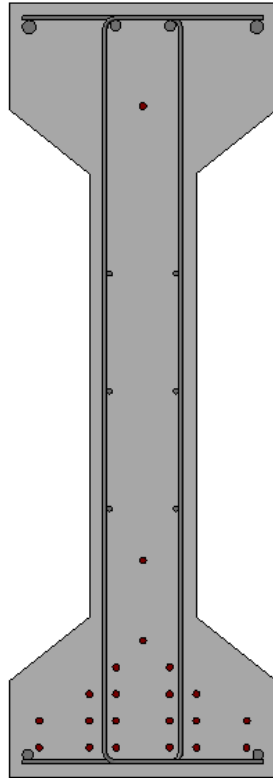


Figura 477 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Vista 3D





*Figura 478 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Sección*

## 2.7 Viga R 40x60

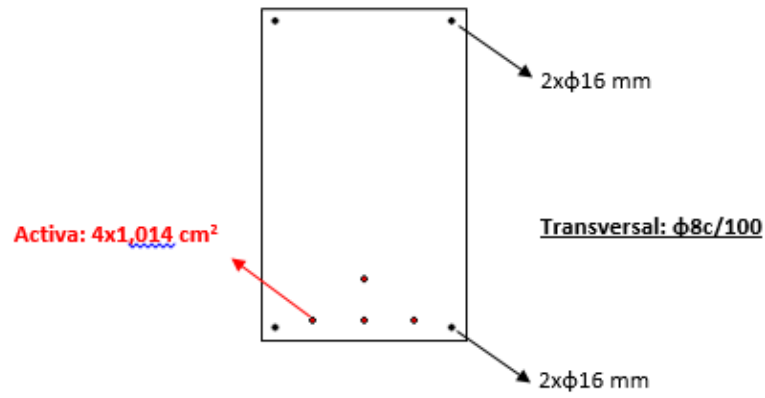


Figura 479 Armado total final viga salvapilar R 40x65

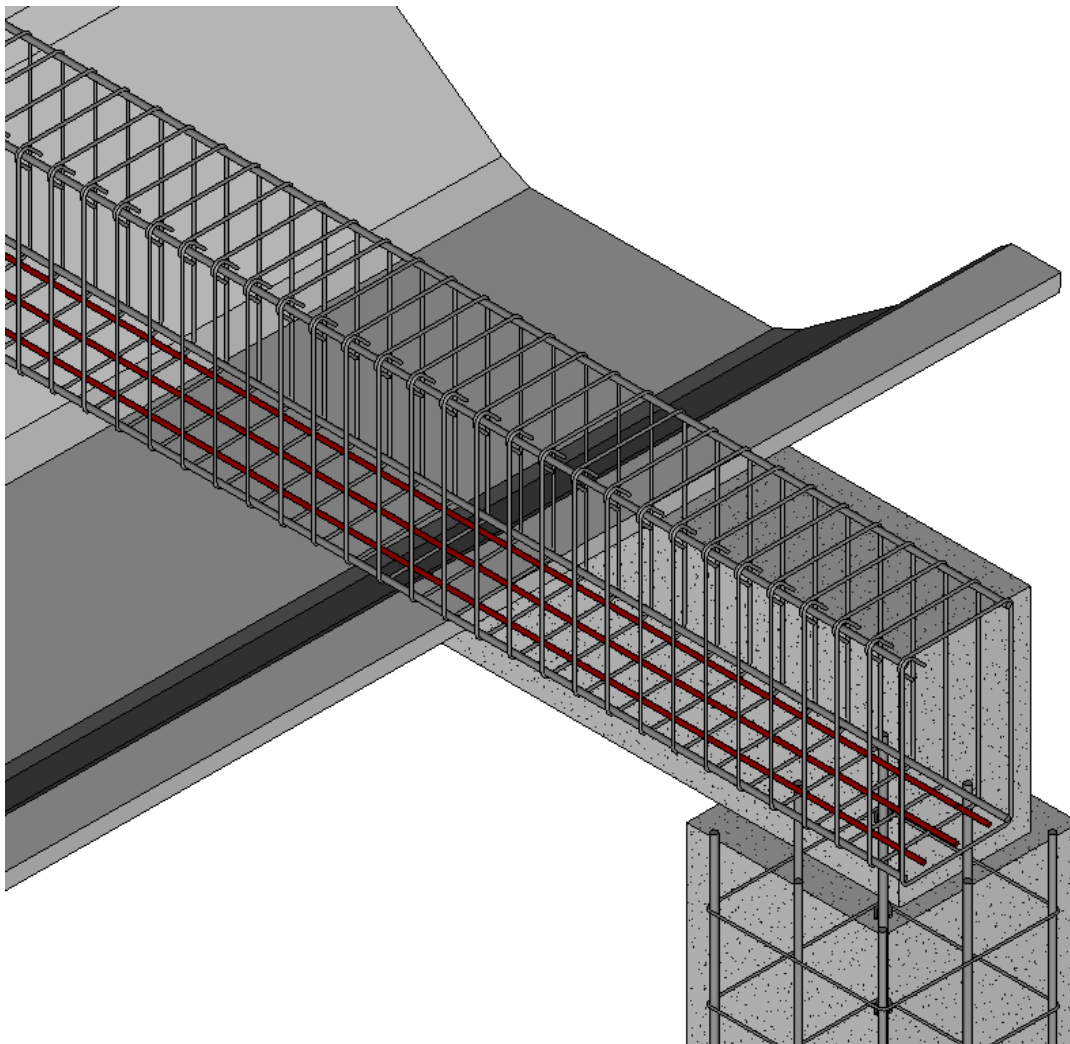
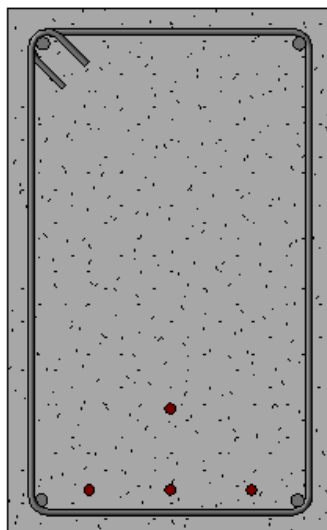
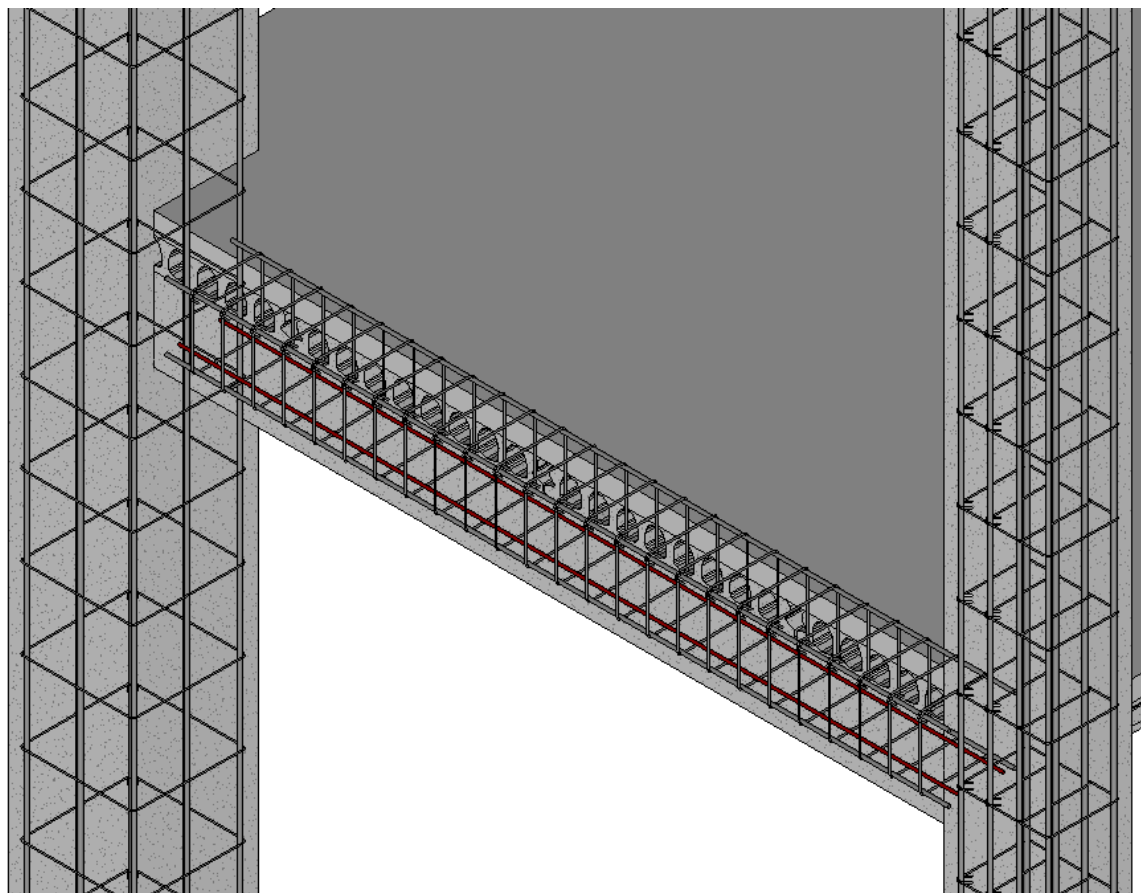


Figura 480 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Vista 3D



*Figura 481 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Sección*

Como se mencionó en el anexo de cálculo de elementos pretensados, las vigas 40x40 que pueden encontrarse en los forjados se armarán exactamente igual que esta tipología, obviando los dos tendones centrales de armado activo.



*Figura 482 Armado de viga R 40x40 en forjados 1 modelizado en Revit. Vista 3D*

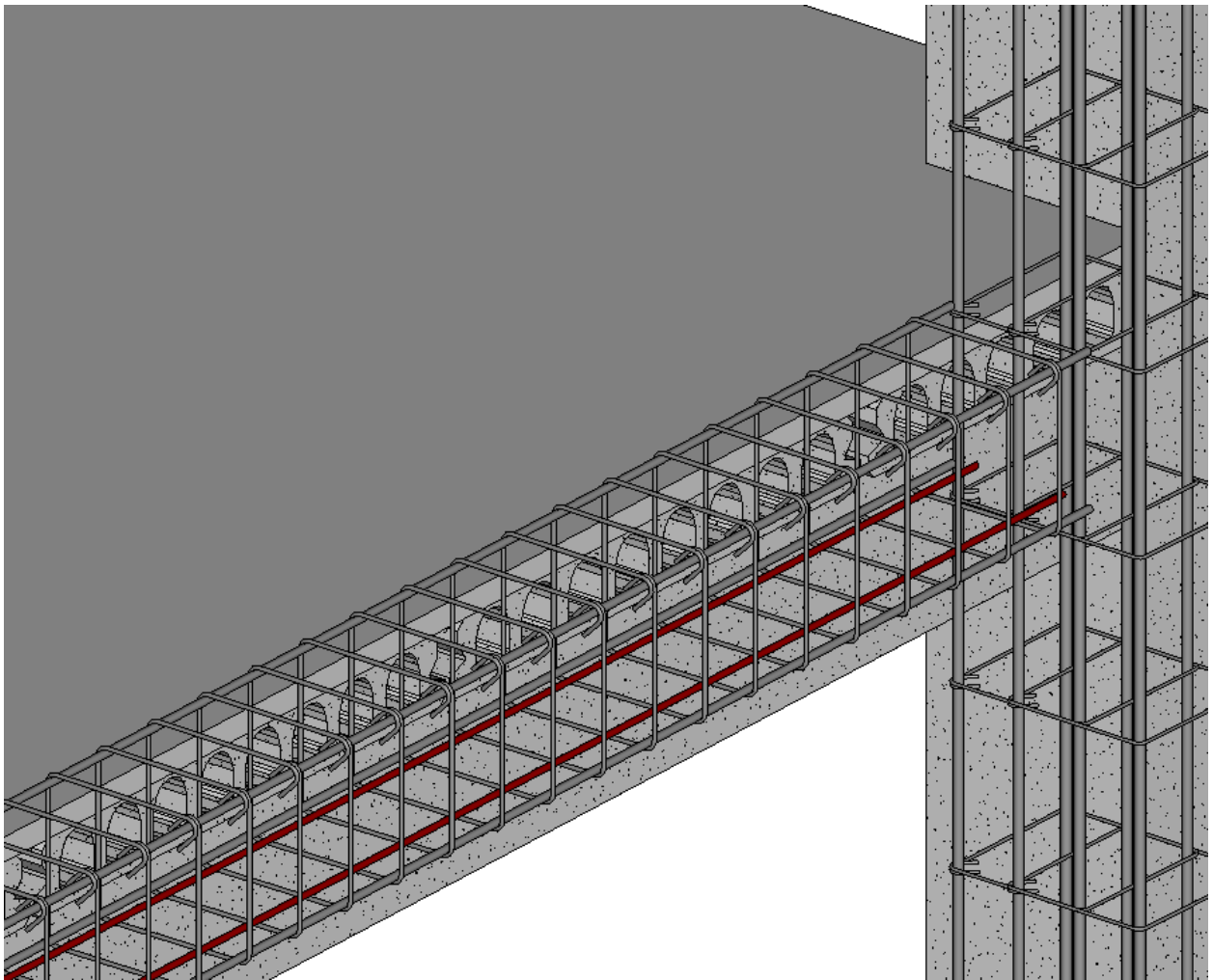
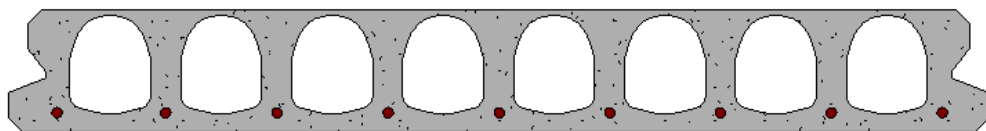


Figura 483 Armado de viga R 40x40 en forjados 2 modelizado en Revit. Vista 3D

Además, se sabe que las placas alveolares vienen con una serie de cordones de armado activo de fábrica. Las cotas de colocación de las mismas las proporcionó, una vez más, la empresa ARTEPREF.



Armado activo en placas alveolares

## 2.8 Viga Artwind 75+2

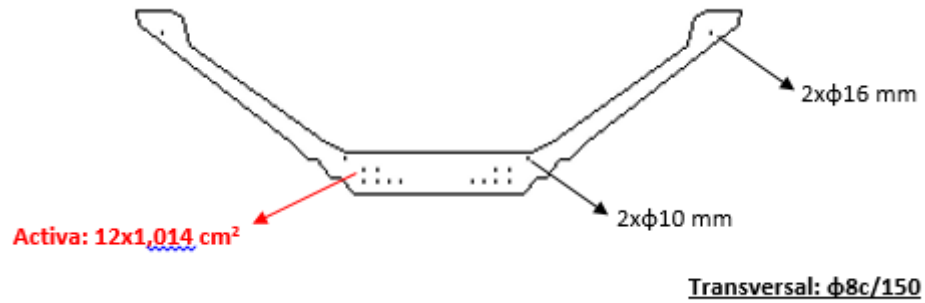


Figura 484 Armado total final viga Artwind 75+2

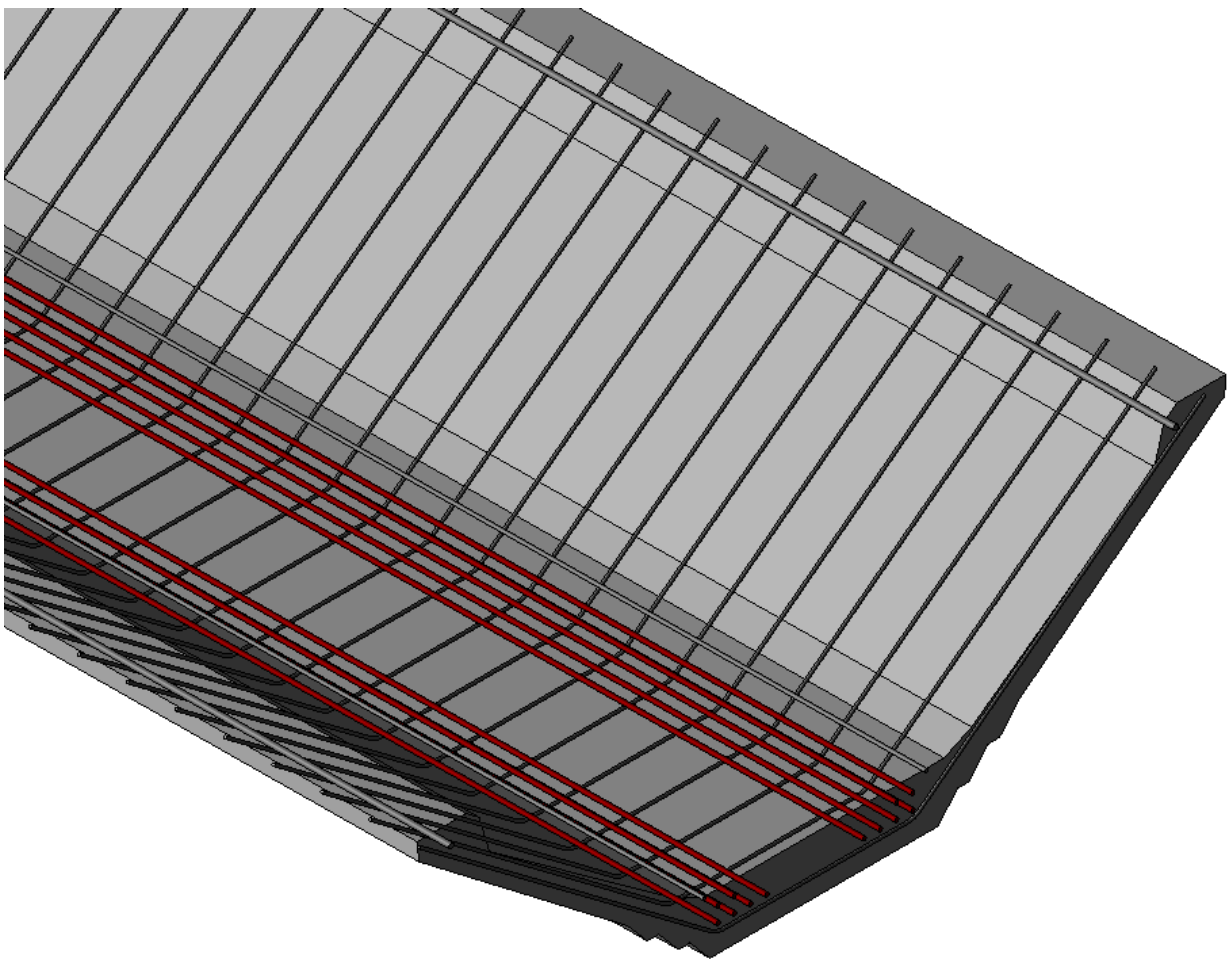
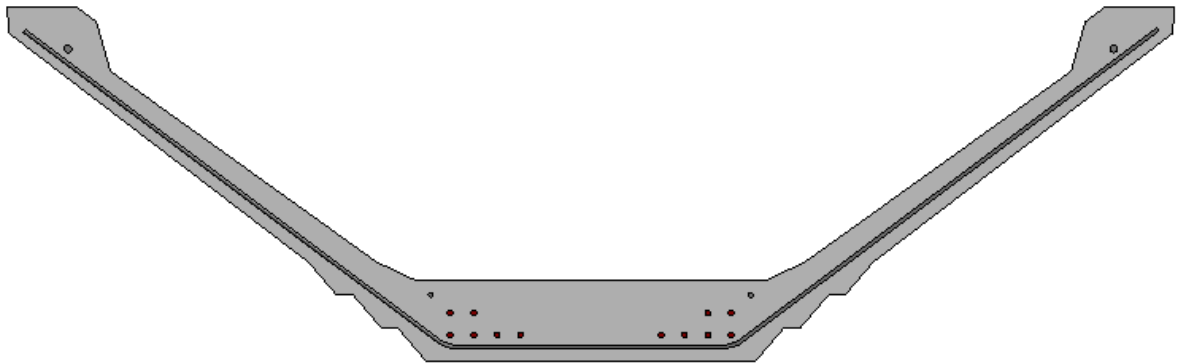


Figura 485 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Vista 3D



*Figura 486 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Sección*

## 2.9 Viga Artwind 110+2

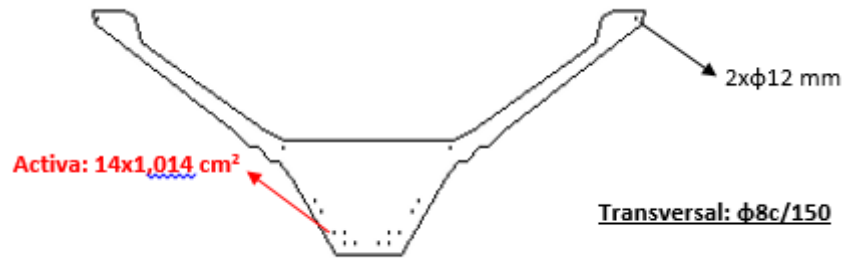


Figura 487 Armado total final viga Artwind 110+2

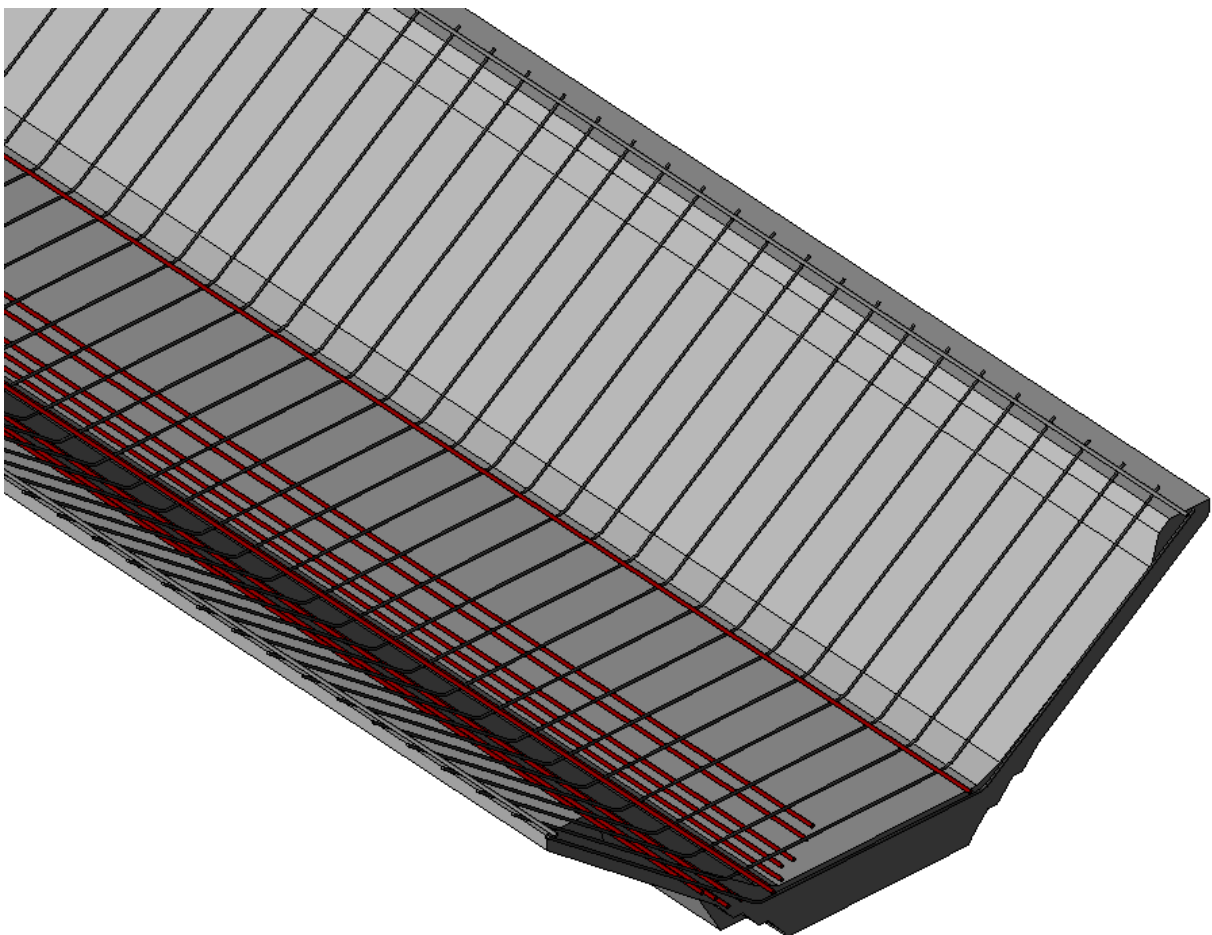


Figura 488 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Vista 3D

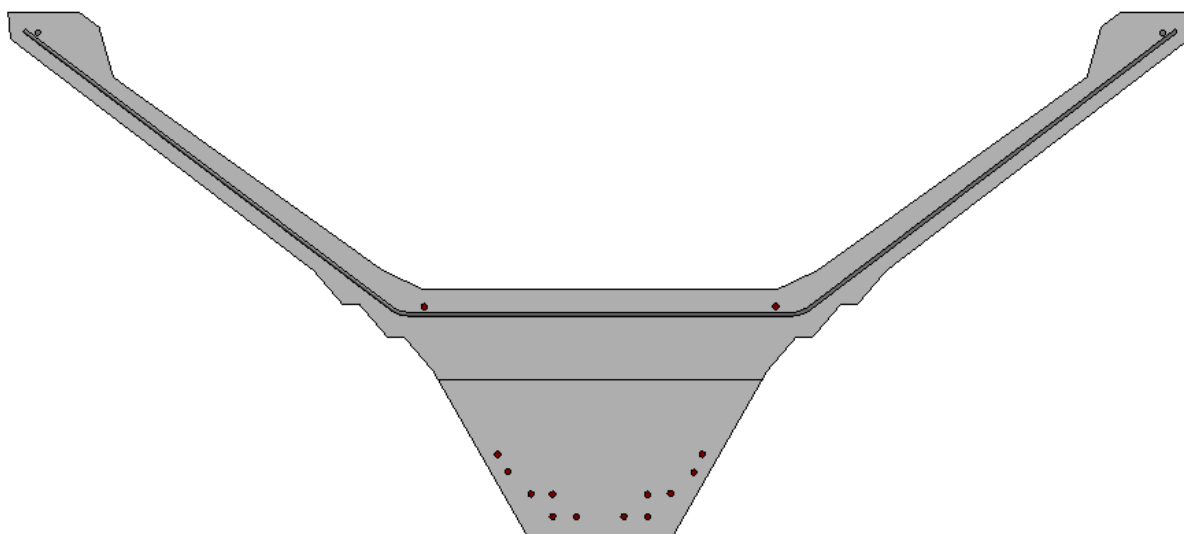


Figura 489 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección

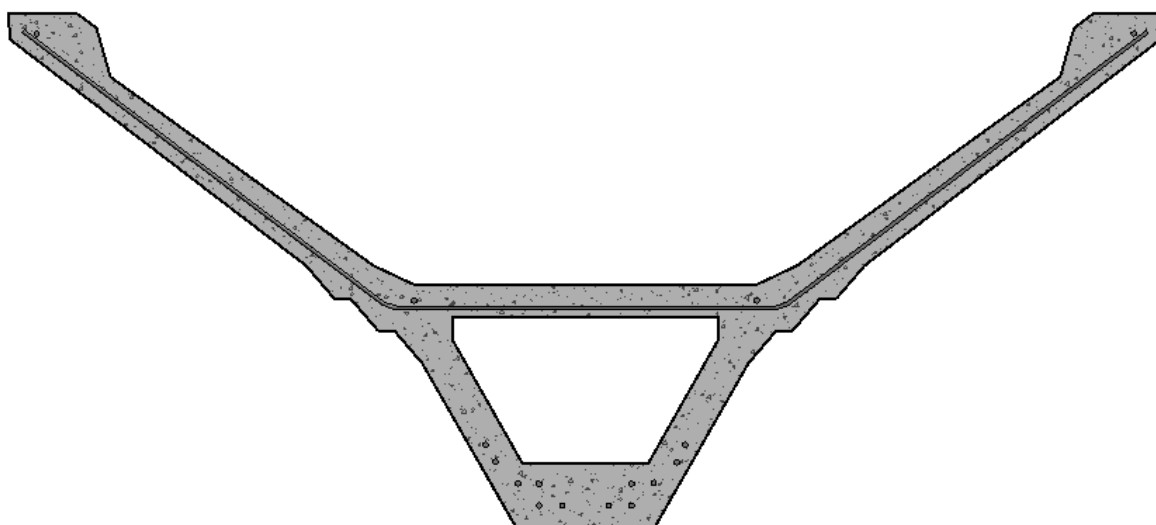
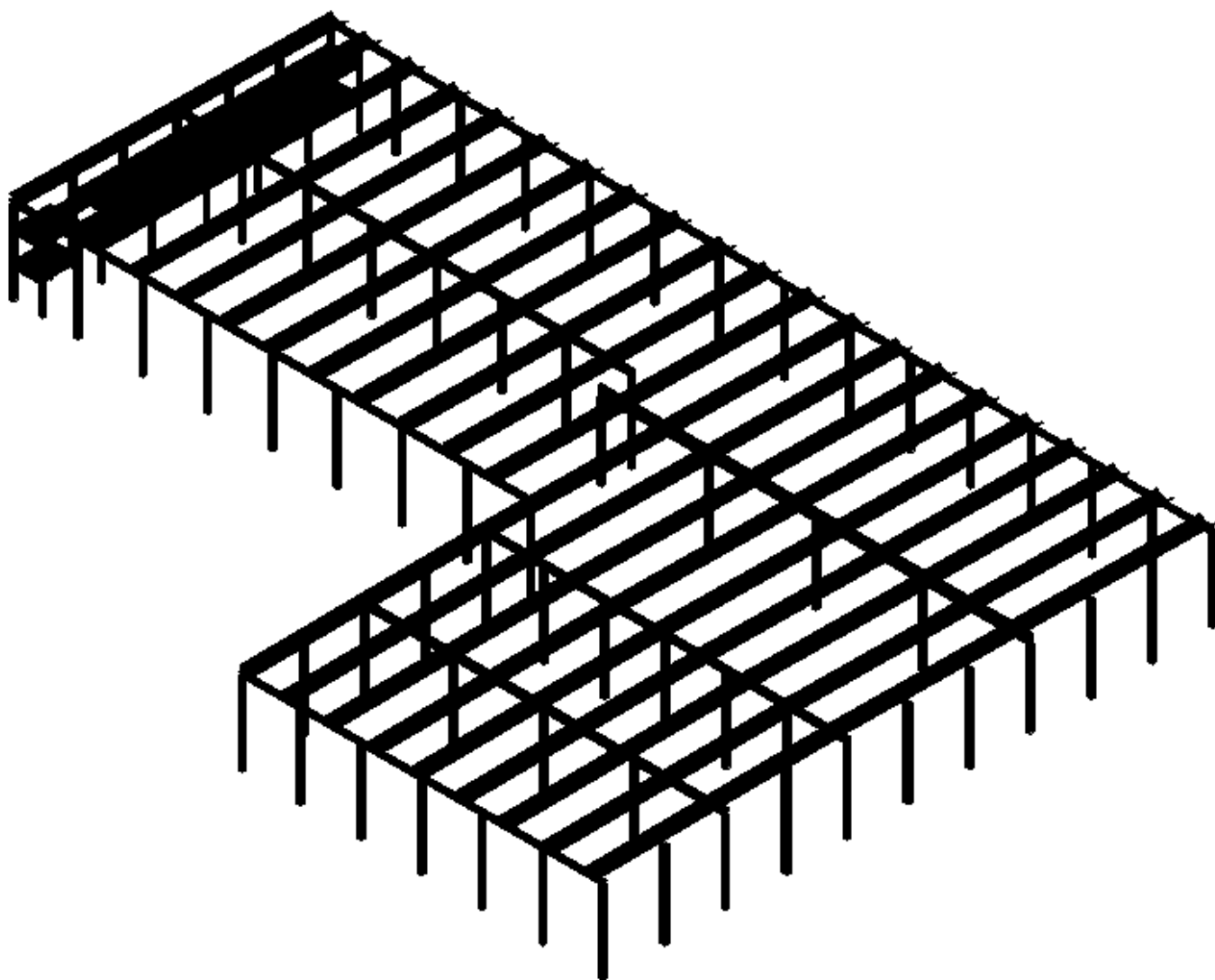


Figura 490 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección. Corte transversal

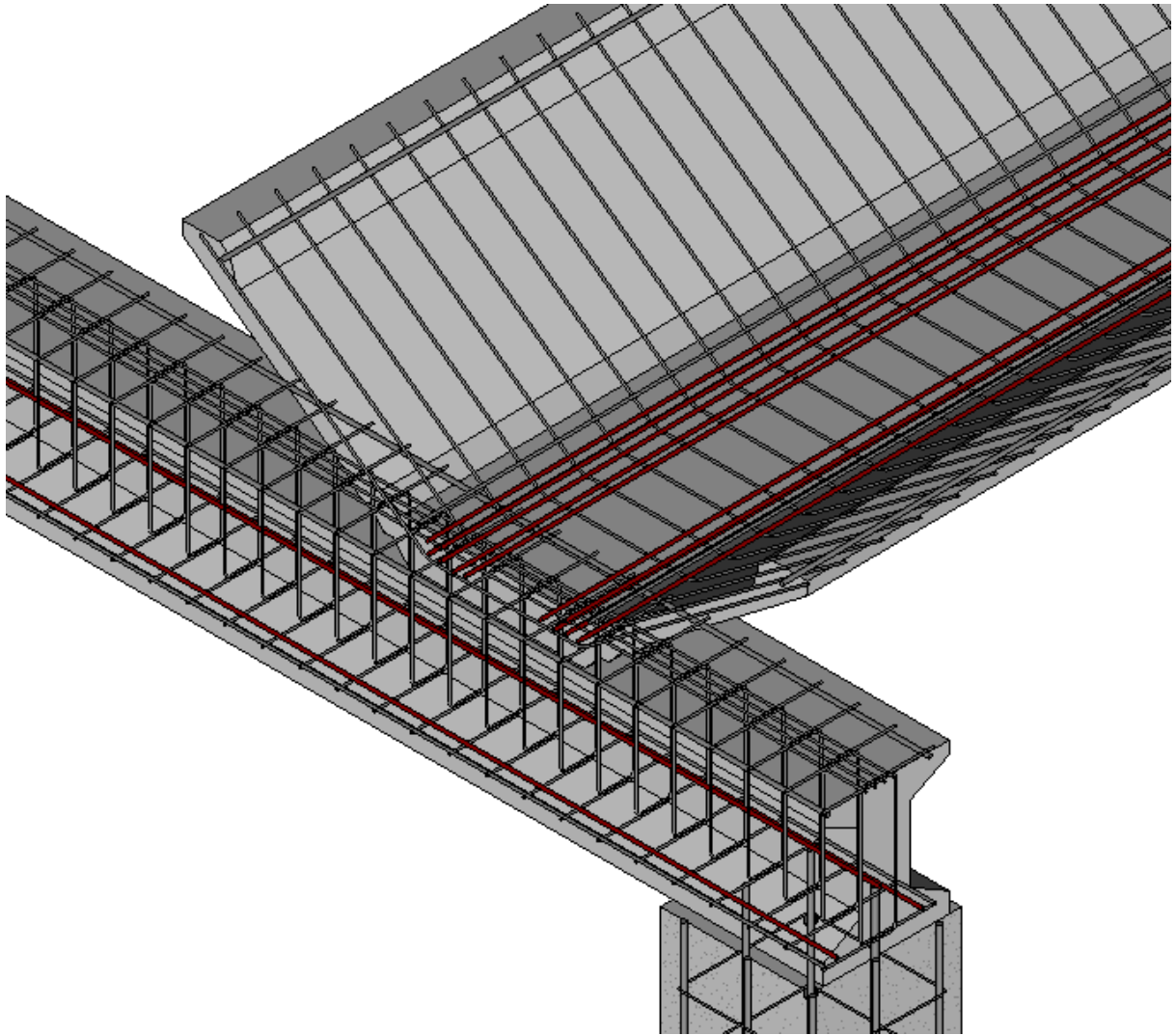
Con todos los armados obtenidos de los cálculos previos generados e introducidos en Revit, el modelo de estructura que se deseaba obtener como objetivo final de este TFM queda perfectamente modelizado, dándose por cumplidos todos los objetivos principales que se habían marcado.



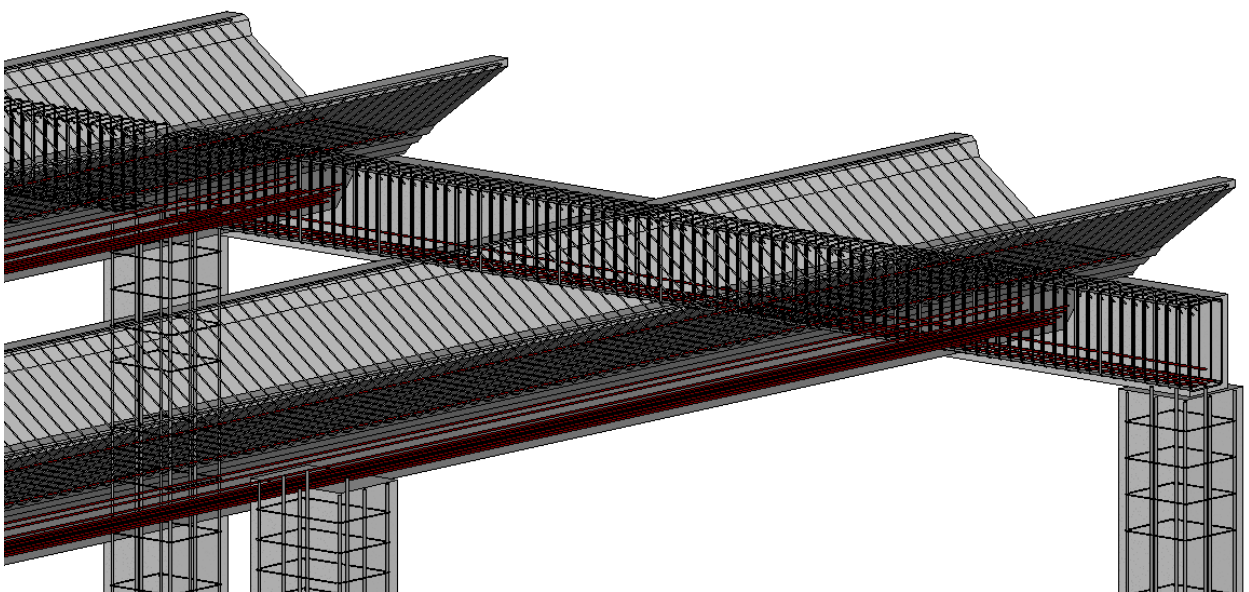


*Figura 491 Modelizado de armados. Modelo completo. Vista 3D*

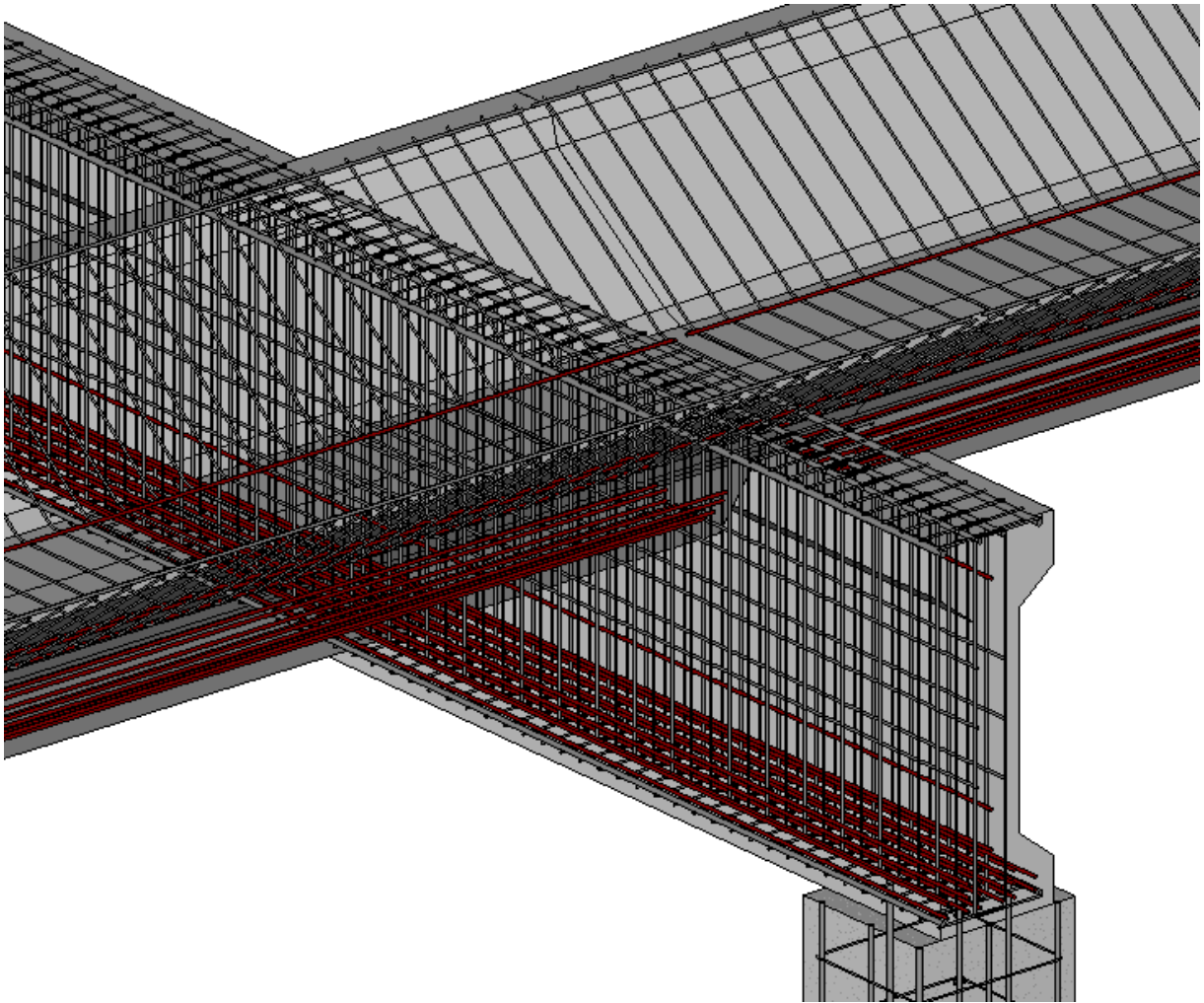
Se puede ver cómo en una vista isométrica completa de toda la estructura, en conjunto con los armados recién modelizados, éstos terminan por apoderarse por completo de toda la vista. Se adjuntan a continuación varias figuras con el fin de obtener una visión más detallada de la misma y de estos armados.



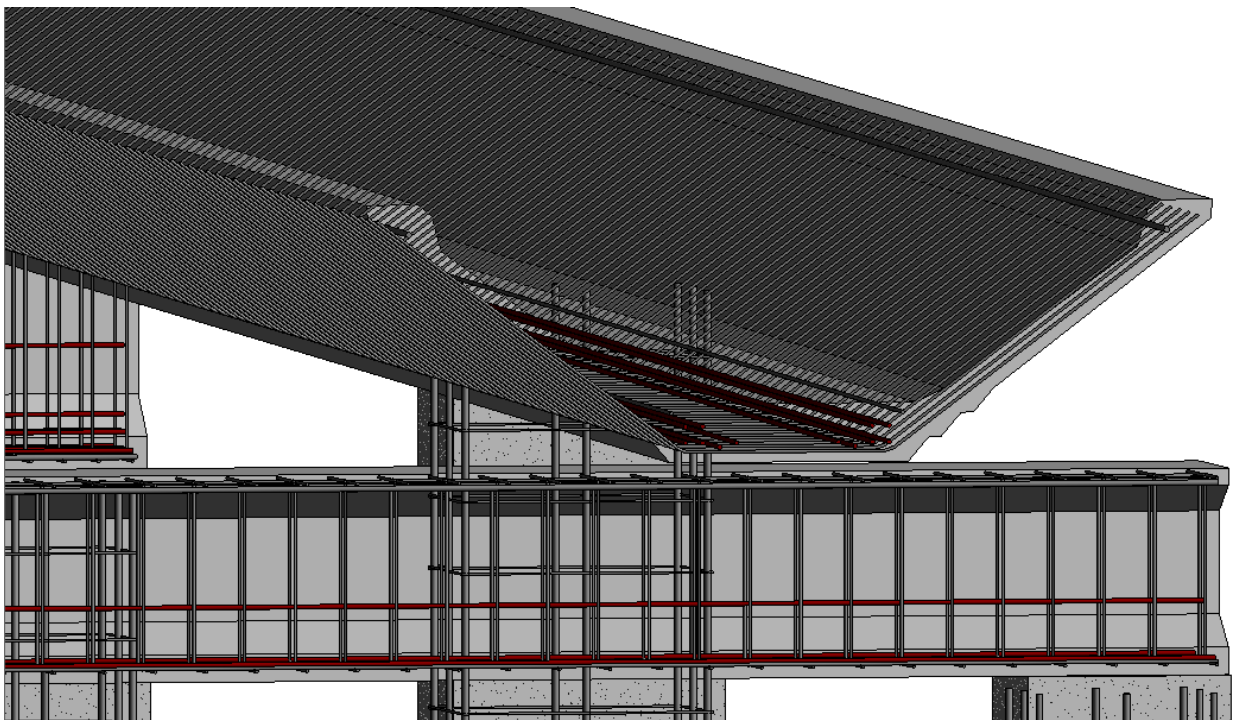
*Figura 492 Modelizado de armados. Detalle 1*



*Figura 493 Modelizado de armados. Detalle 2*

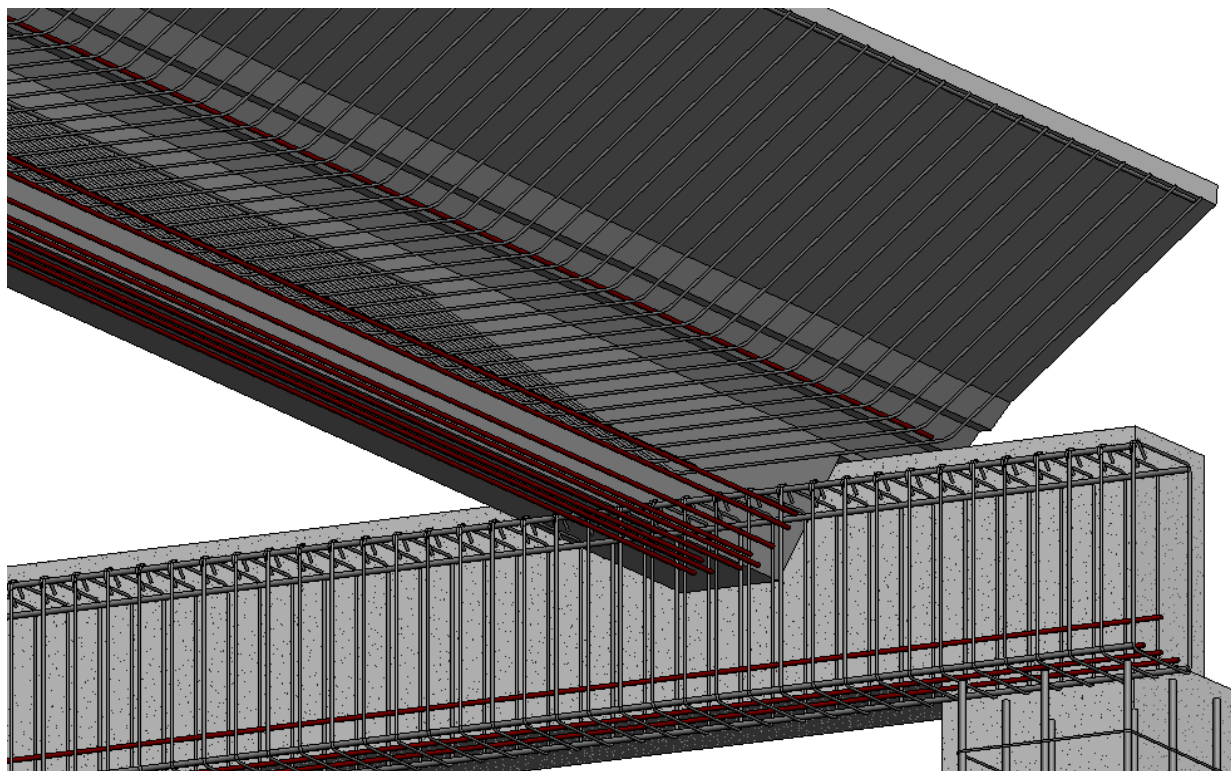
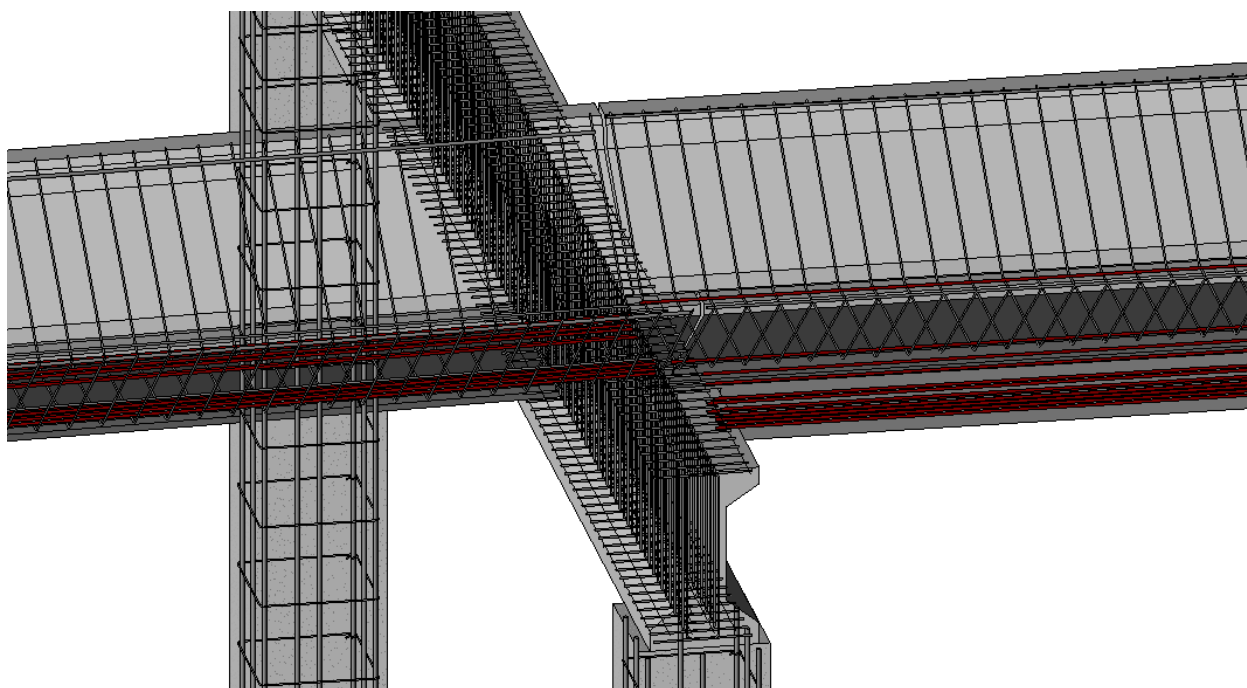


*Figura 494 Modelizado de armados. Detalle 3*



*Figura 495 Modelizado de armados. Detalle 4*



*Figura 496 Modelizado de armados. Detalle 5**Figura 497 Modelizado de armados. Detalle 6*

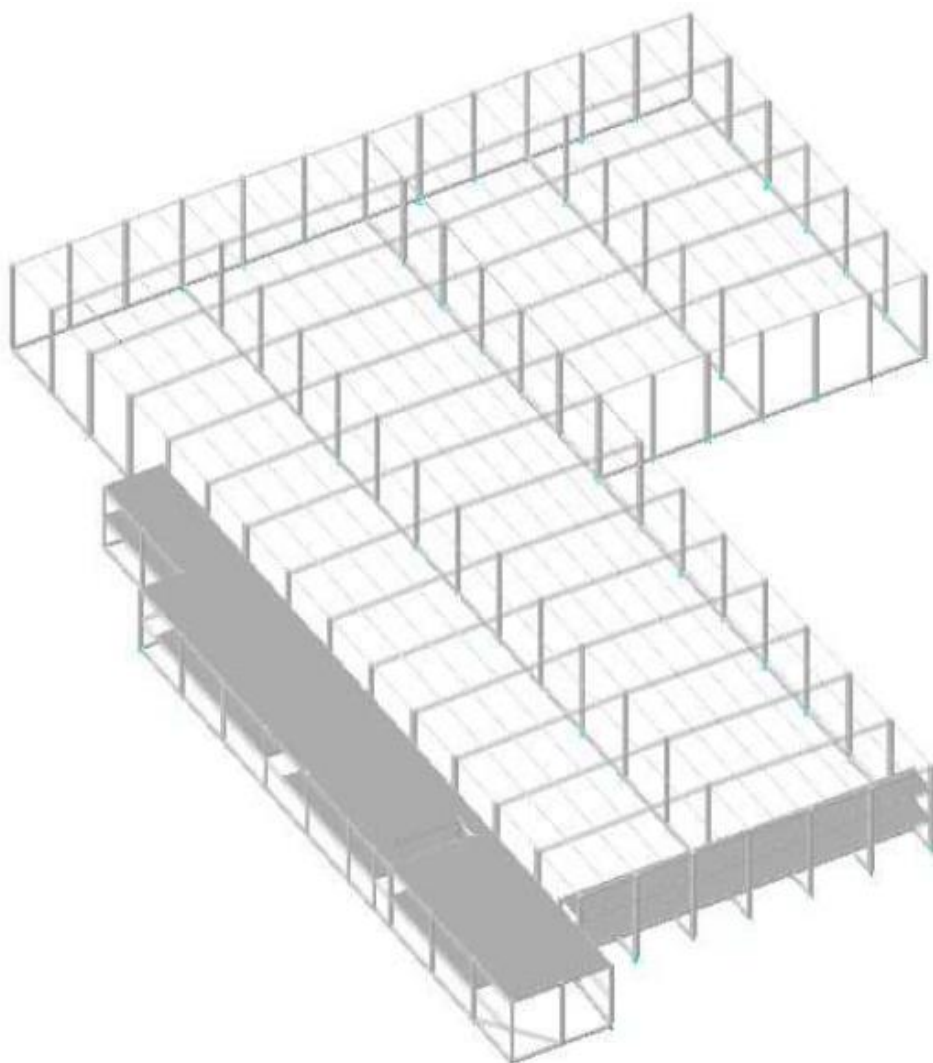
Con el fin de llevar el trabajo un paso más allá, y aproximar el modelo de estructura a la forma que terminaría teniendo el edificio en la realidad, una vez construido, se ha visto conveniente realizar un proceso de refinamiento estructural y arquitectónico. Se consigue así, además, mejorar visualmente la presentación tanto de la estructura como del modelo en Revit.

Los apartados que se modificaron se han detallado en las páginas que siguen.

### 3 Cimentaciones

Como se ha mencionado a lo largo de la memoria, Robot no calcula encepados, que son el tipo de cimentación que se tenía previsto proyectar en este edificio en el proyecto real. Dado que la estructura puede calcularse sin éstas, estableciendo como condición de contorno un empotramiento en la base de los pilares, y se consideró desde el principio que su cálculo escapa al alcance del presente trabajo, no se han incluido dentro del mismo hasta el momento. Sin embargo sí que se ha querido realizar una modelización de estos encepados para dejar “presentable” el modelo, con unas cimentaciones aproximadas que, si bien no serán las existentes en el proyecto final, se aproximarán bastante, y, ya generadas en el modelo, cambiar éstas no supondrá especial trabajo extra sobre el ya realizado si fuese necesario.

Se tomó como base para realizar estos encepados, los ya calculados por la empresa Idom en un modelo preliminar proyectado también con hormigón prefabricado, pero con una cubierta deck clásica doble a dos aguas:



*Figura 498 Modelo preliminar de nave y edificio de oficinas anexo (Idom)*

Las diferencias entre ambos modelos son notables. No obstante, realizando una comparativa entre este modelo, y el modelo actual, se observó que las reacciones en los apoyos no diferían en exceso, si bien las del modelo actual eran ligeramente superiores.

Siendo esto así, y viendo que se disponía de un material muy semejante, se consideró conveniente añadir estos encepados entre los elementos estructurales y arquitectónicos que se están colocando en este apartado de trabajo “extra” del alumno con el fin de completar la información que contendrá el modelo geométrico al final, y que la presentación del mismo ganase atractivo visual.

Se presenta a continuación la disposición de los encepados en el modelo preliminar:

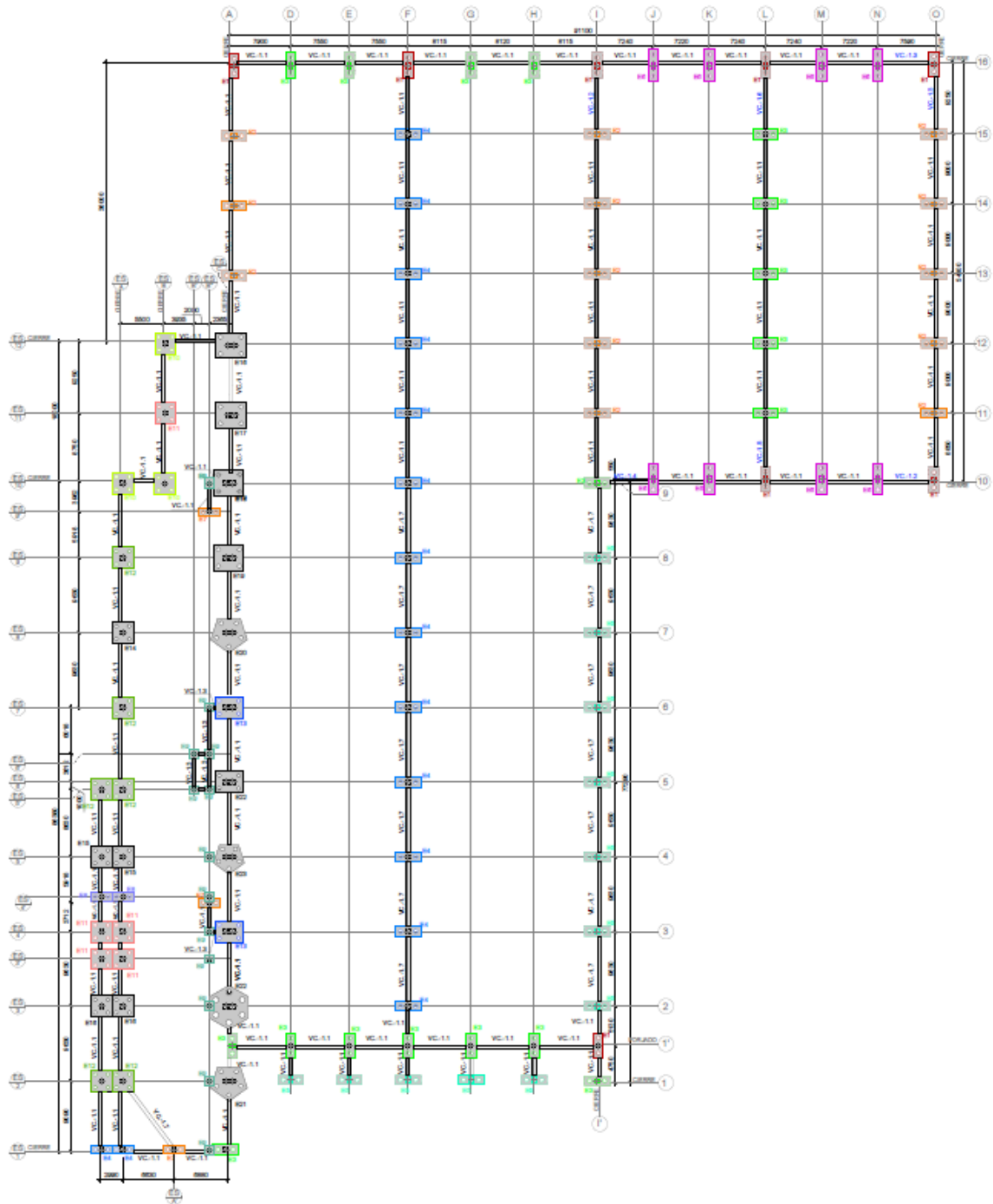


Figura 499 Disposición de encepados en modelo preliminar

Con el fin de hacer la tarea más sencilla y dado que esta tarea quiere realizarse meramente para proporcionar una presentación visual más completa, se modelarán encepados como si sólo fuese a edificarse la nave, sin el edificio de oficinas anexo; esto es, que se asemejarán todos los encepados que recogen pilar de nave y edificio de oficinas como únicos, e iguales a los de su fachada contraria:

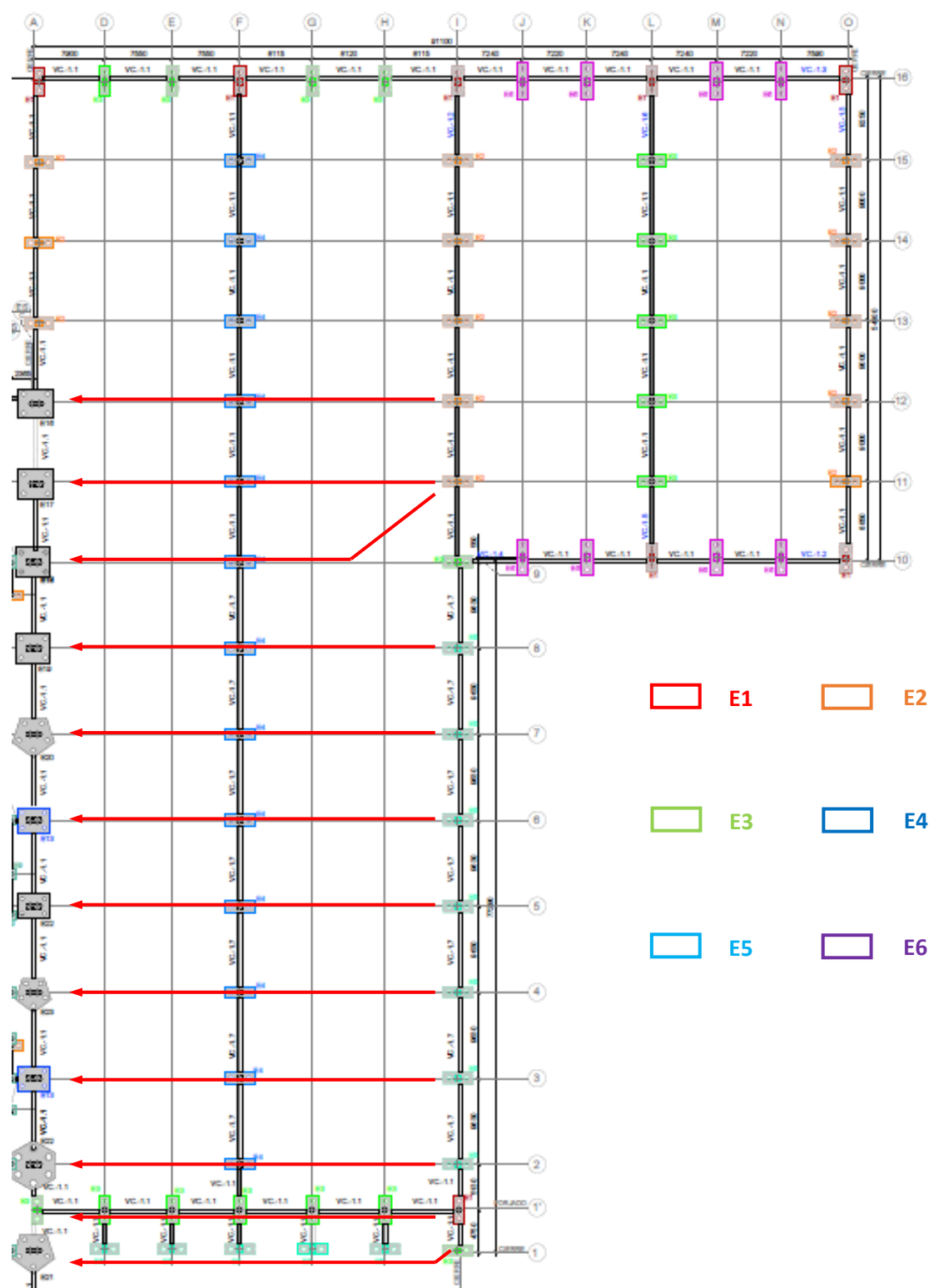


Figura 500 Disposición de encepados en modelo preliminar. Simplificaciones Nave

Queda pues, como puede verse en la figura previa, una disposición simplificada que sólo necesitará de la creación de 6 tipos de encepados en el programa de modelización. La geometría, y armado de éstos se pudo extraer de los planos del proyecto que se realizó entonces:

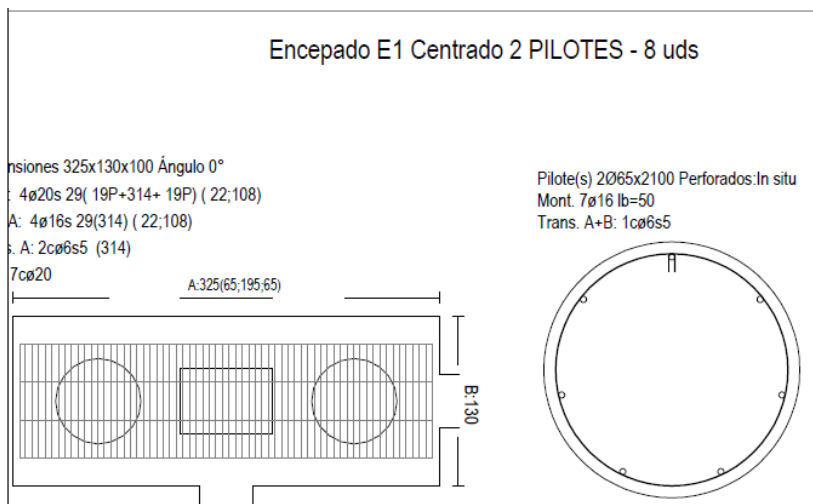


Figura 501 Geometría y armado encepado tipo E1

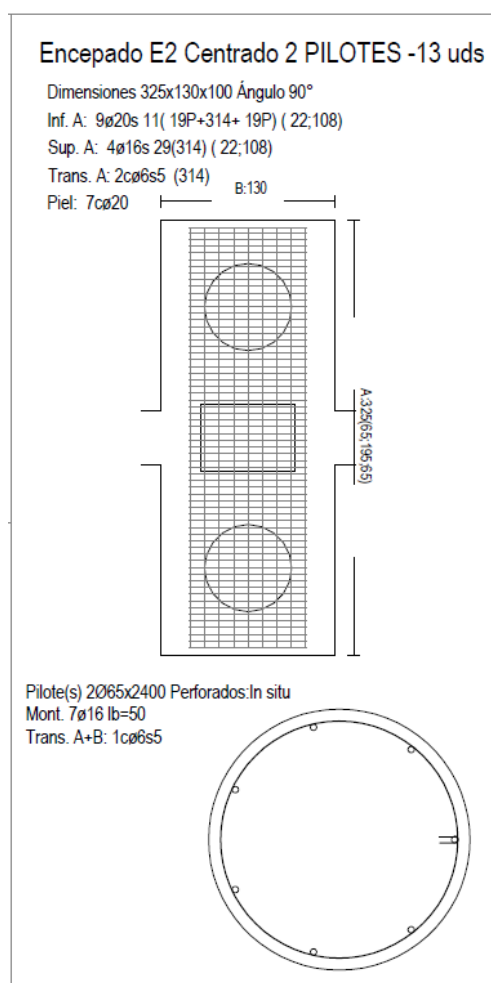


Figura 502 Geometría y armado encepado tipo E2



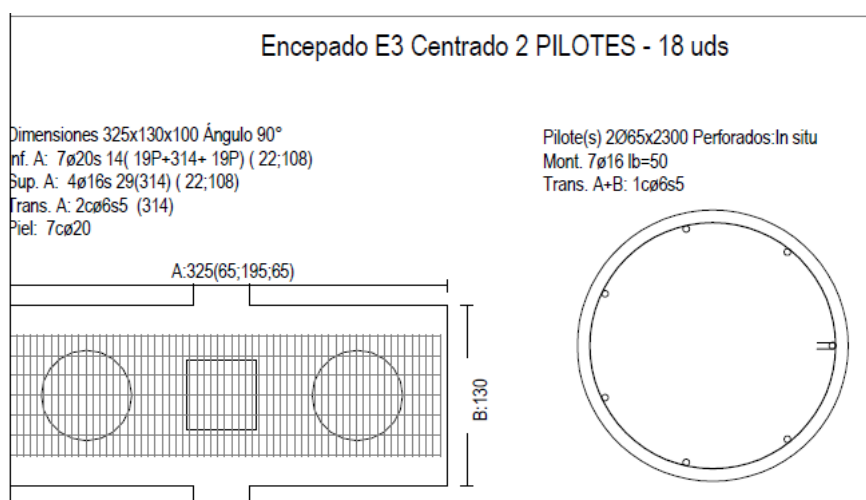


Figura 503 Geometría y armado encepado tipo E3

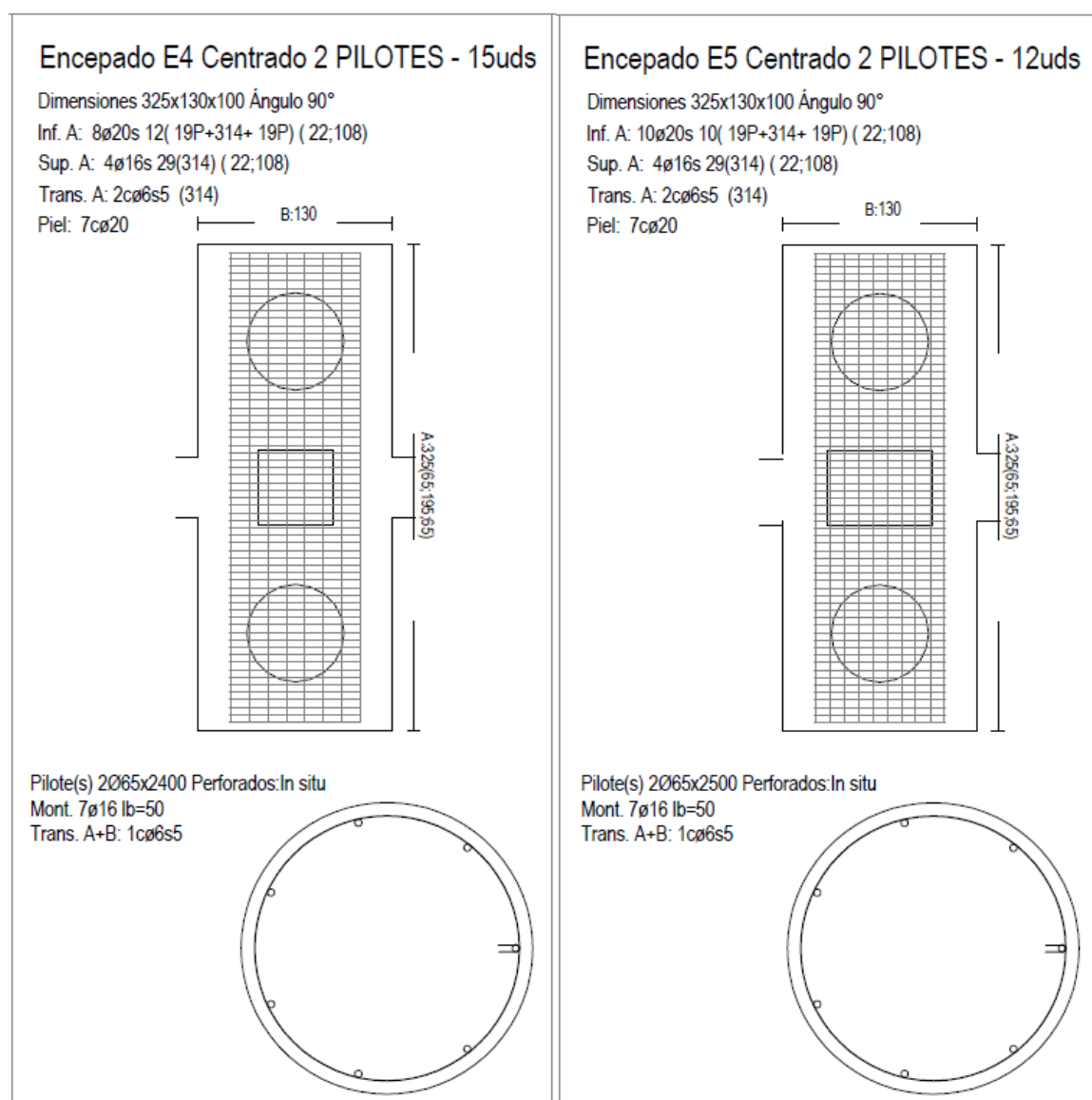


Figura 504 Geometría y armado encepado tipo E4 y E5

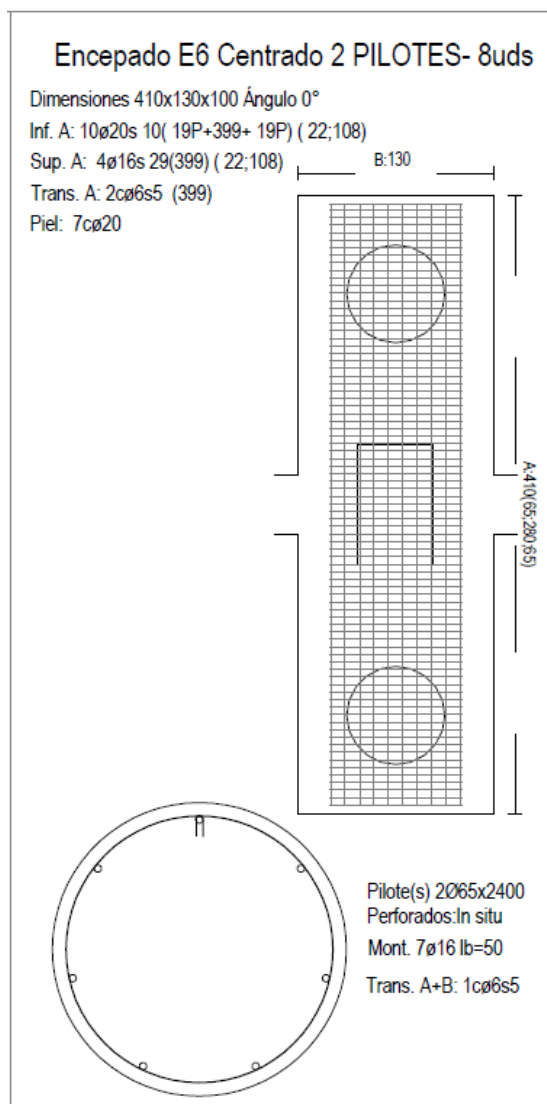


Figura 505 Geometría y armado encepado tipo E6

Con esta información, se procede a introducir las cimentaciones en el modelo en Revit. El comando puede encontrarse al lado del subapartado de Estructura, ya utilizado en apartados previos del trabajo:

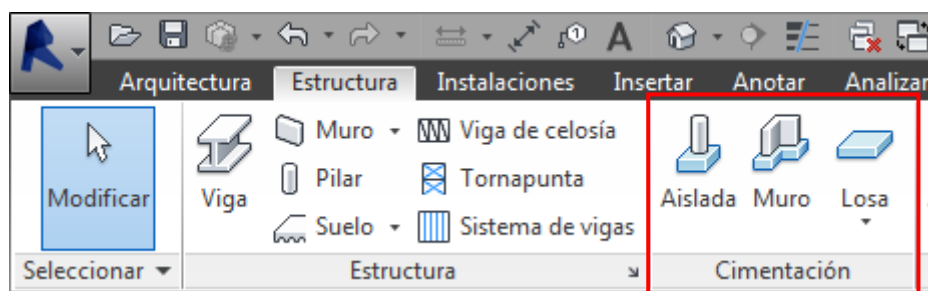


Figura 506 Localización opciones de cimentación

Se utilizará la opción de zapata aislada para ir introduciendo uno a uno cada encepado. En primer lugar, se requiere cargar la familia correspondiente en el proyecto, una vez en la opción de cimentación aislada, igual que pasaba con otros elementos, nos encontramos en la barra de herramientas superior la opción “Cargar familia”:

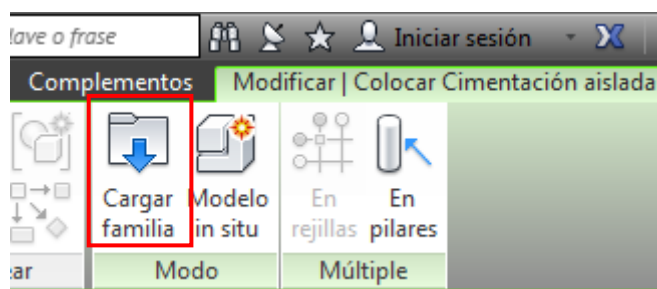


Figura 507 Localización comando Cargar familia

Una vez dentro, de entre las librerías de familias que tiene Revit se accede a la de Cimentación estructural, y ahí se puede encontrar el encepado con dos pilotes:

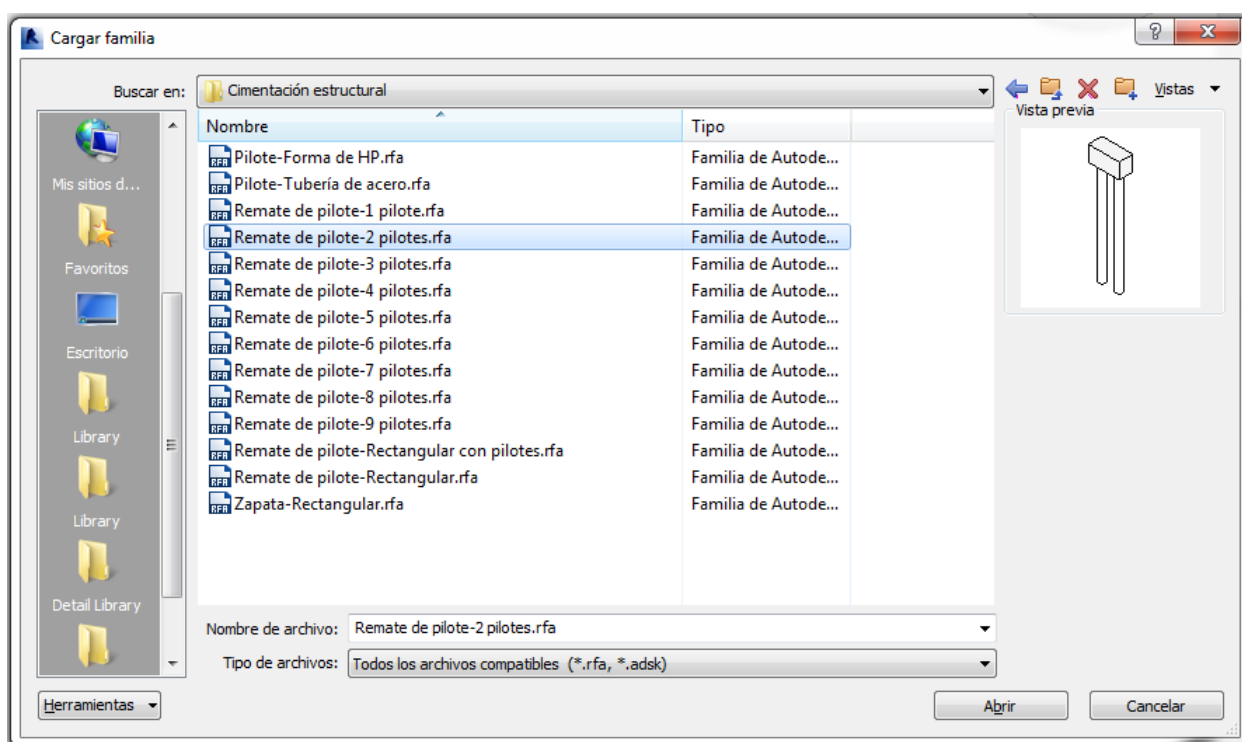


Figura 508 Familia de encepado con dos pilotes en las librerías de Revit: Cimentación estructural

La familia a manejar es especialmente compleja. Su conjunto de parámetros incluye una referencia a otra familia (pilotes) y la relación entre una y otra es difícil de coordinar. El tratamiento que se le ha dado ha sido relativamente sencillo para todo lo complejo que puede volverse; éste ha consistido en modificar, en primer lugar, la familia para añadirle un nuevo tipo de pilotes (diámetro 65 cm y longitud 25 metros para todos ellos):

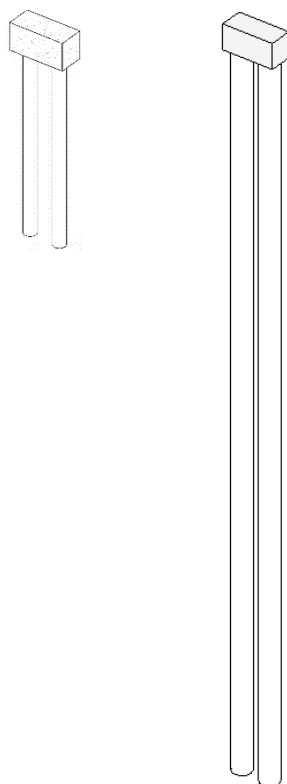


Figura 509 Pilotes por defecto (Diámetro 400mm) frente al tipo modificado con pilotes de Diámetro 650mm

El cambio puede realizarse modificando el tipo de pilotes dentro de la modificación de familia del encepado. Esto es:

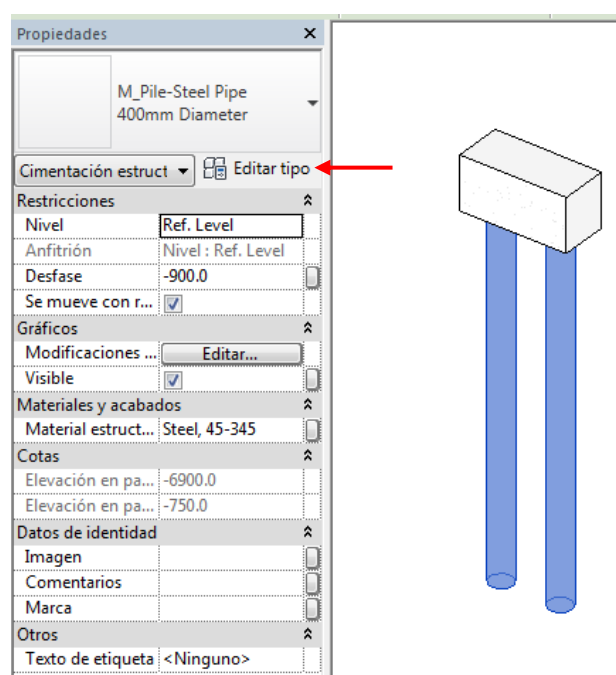


Figura 510 Editar tipo de pilotes dentro de la familia del encepado

Se duplica, como se ha visto en otras ocasiones, para no perder el diámetro por defecto, y en el duplicado se modifican los parámetros de diámetro y longitud de los pilotes así como el material estructural (hormigón).

El resultado final puede verse en la comparativa realizada dos figuras atrás, y una vez modificada la familia del encepado, se puede cargar en el modelo.

Es ya en éste cuando se procede a cambiar el tipo de encepado para modificar las dimensiones pertinentes de acuerdo con lo que se especifica en las imágenes de cada tipo (325x130x100cm de los tipos E1 a E5, y 410x130x100cm para el tipo E6). Como puede observarse en la figura siguiente, la selección de un primer encepado colocado para hacer todo este procedimiento, referencia tanto a la familia del propio encepado como a la de los pilotes, muestra de la lectura de sub-familias de la que se ha estado hablando hasta ahora.

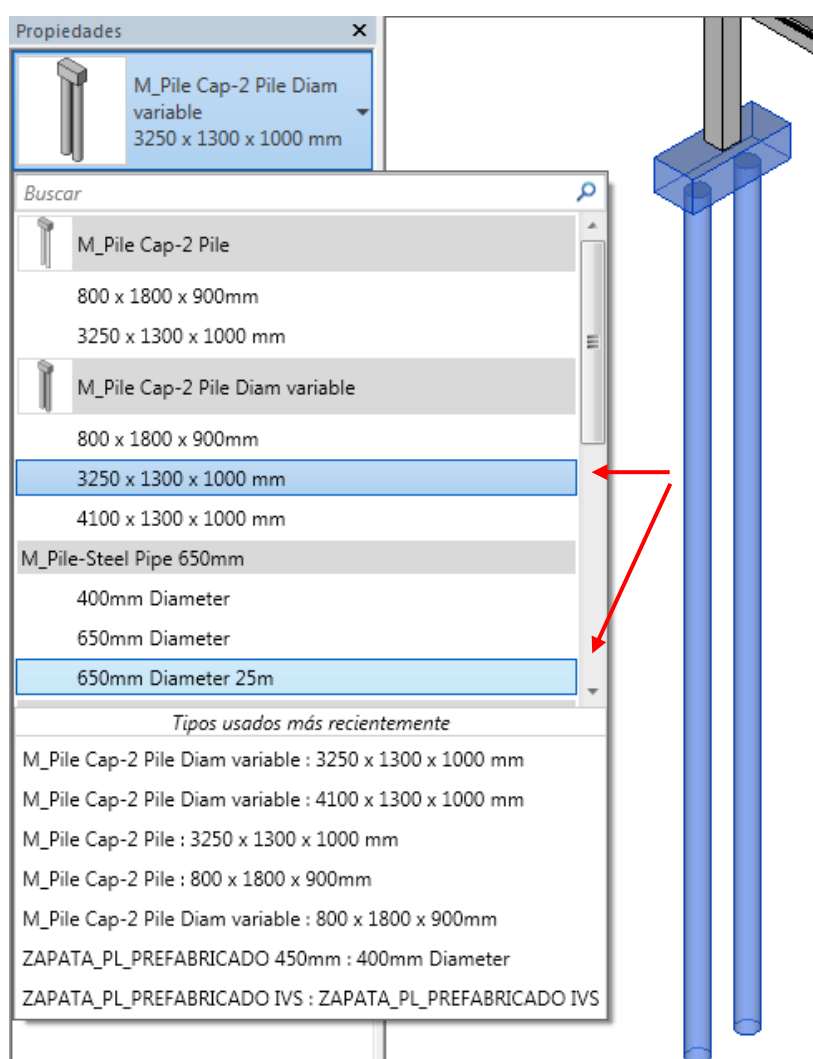


Figura 511 Ejemplar de encepado 325x130x100cm

Con ambas geometrías creadas entre los tipos de encepados de dos pilotes a colocar, se pueden ir disponiendo pilar a pilar mediante la opción Colocar – En pilares, localizada al lado de la opción Cargar familia utilizada hace escasos pasos:

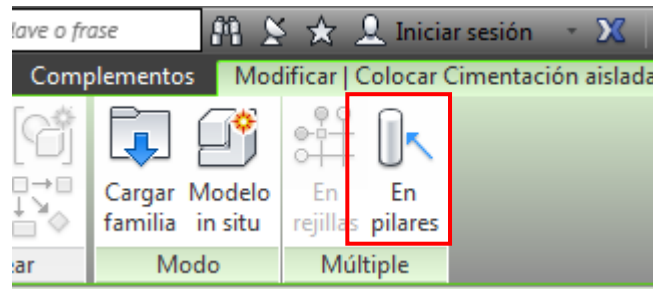


Figura 512 Localización comando Colocar-En pilares

La disposición responderá a la especificada por la del modelo preliminar comentada previamente con la simplificación de toda la fachada que daría al edificio de oficinas cuya modelización no entraba dentro del alcance del presente trabajo.

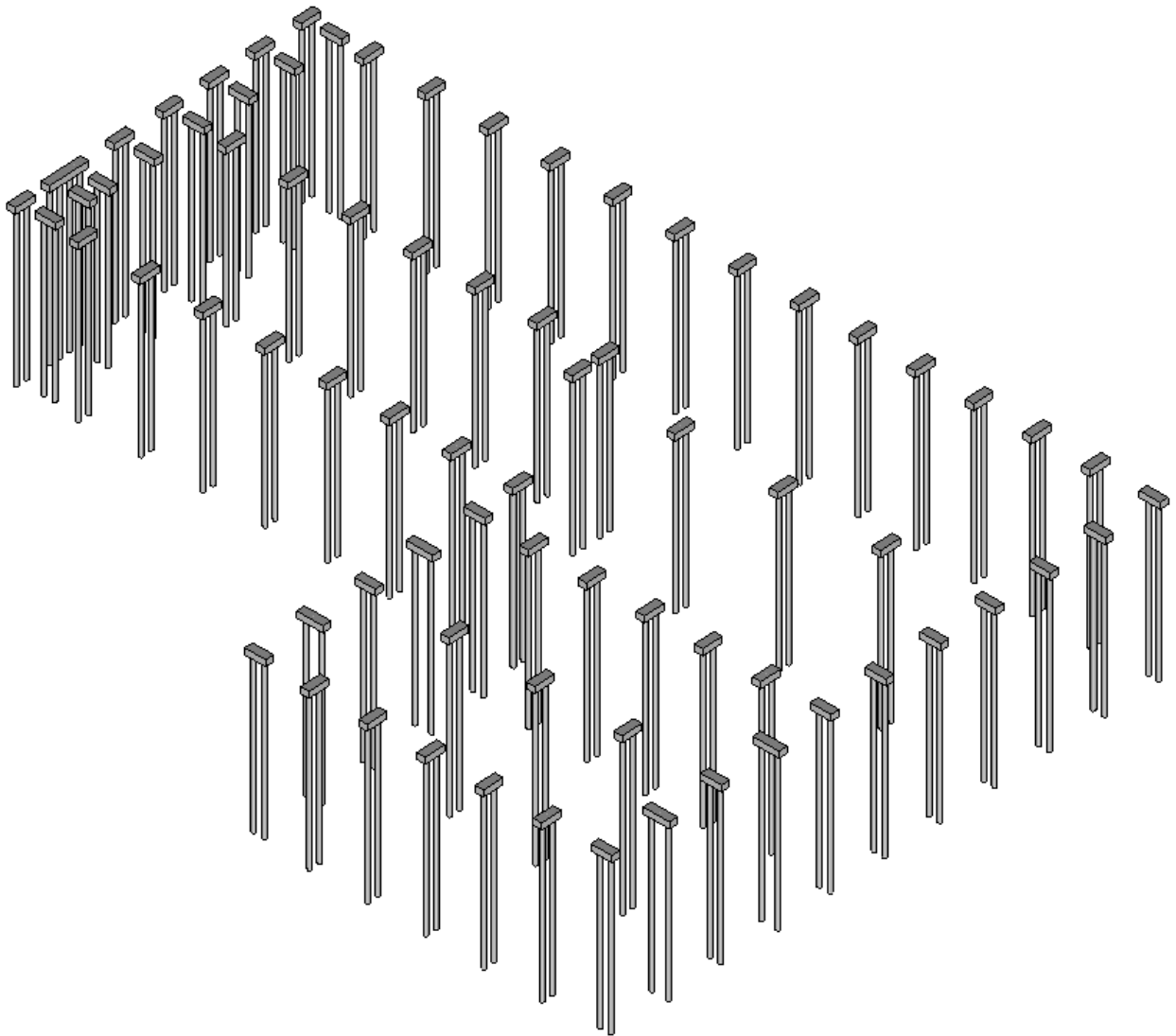
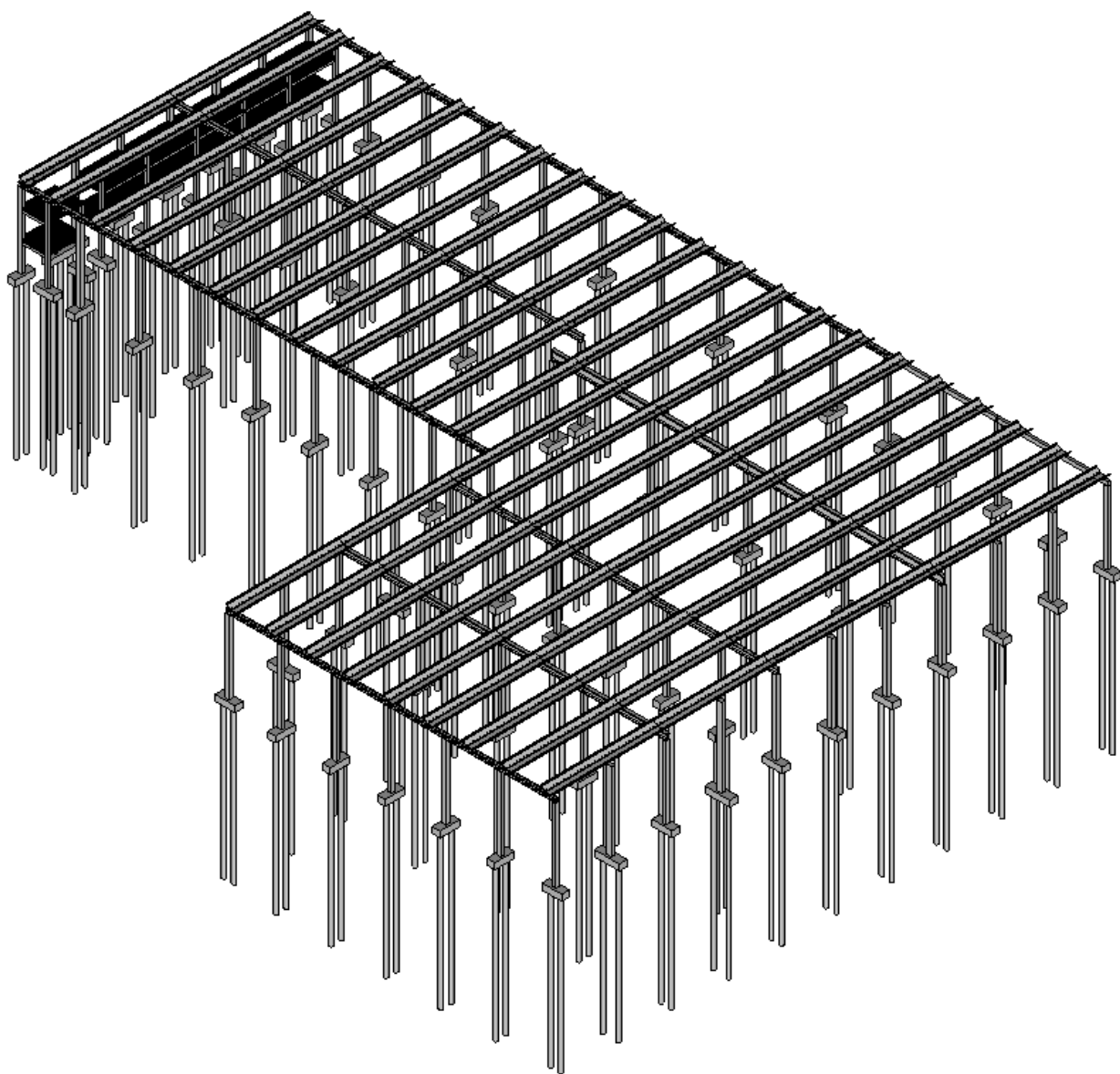


Figura 513 Disposición de encepados en el modelo geométrico en Revit



*Figura 514 Vista conjunta encepados y estructura en el modelo geométrico en Revit*

Como puede verse en el plano de la disposición de encepados en el modelo preliminar, existen también, como parte de la cimentación, una serie de riostras en el perímetro de la estructura, así como en las principales alineaciones de pilares.

Las dimensiones y armados de éstas pueden encontrarse en el mismo plano del que se obtuvieron las imágenes de los seis tipos de encepados, y se adjunta a continuación:



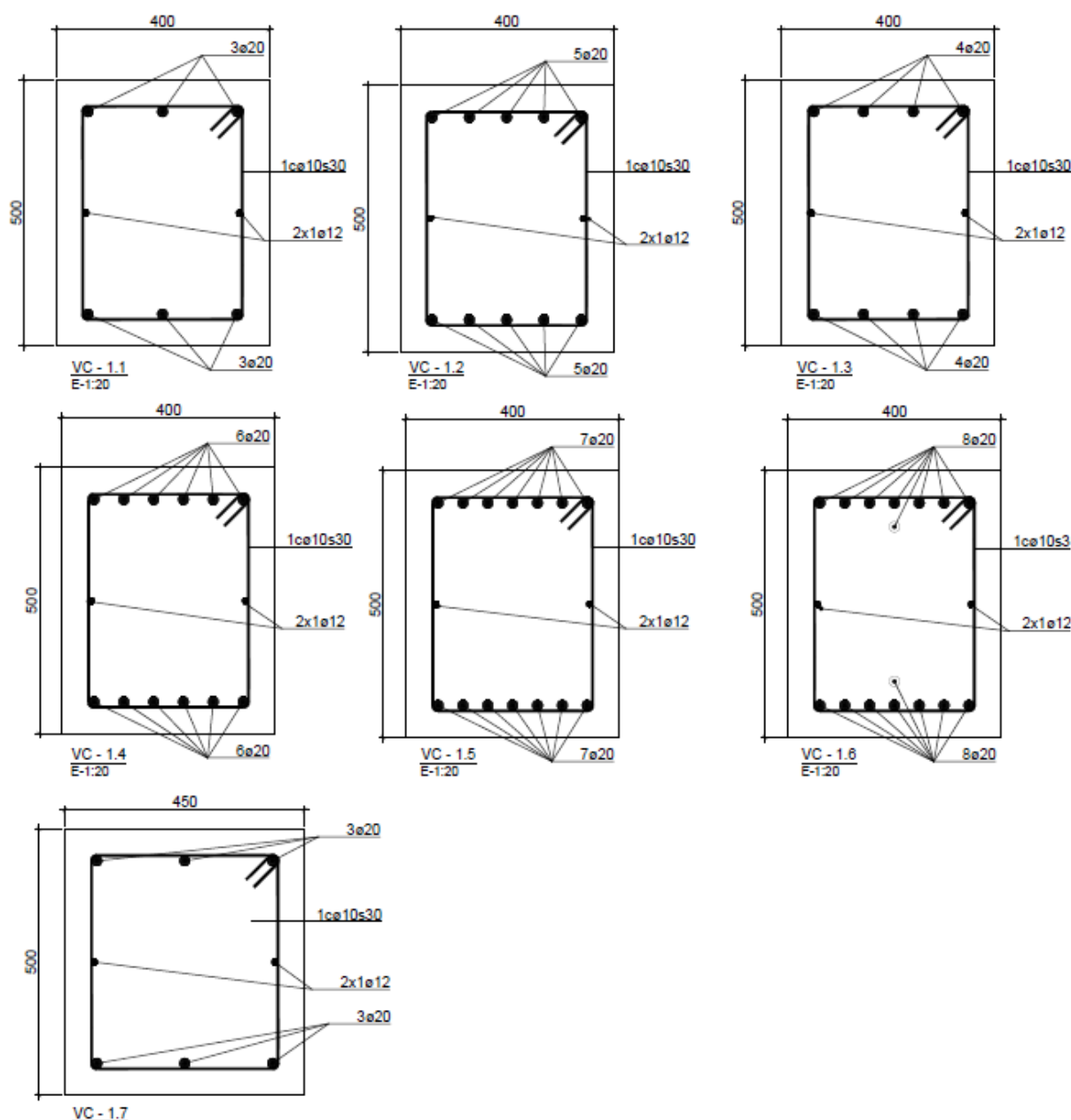
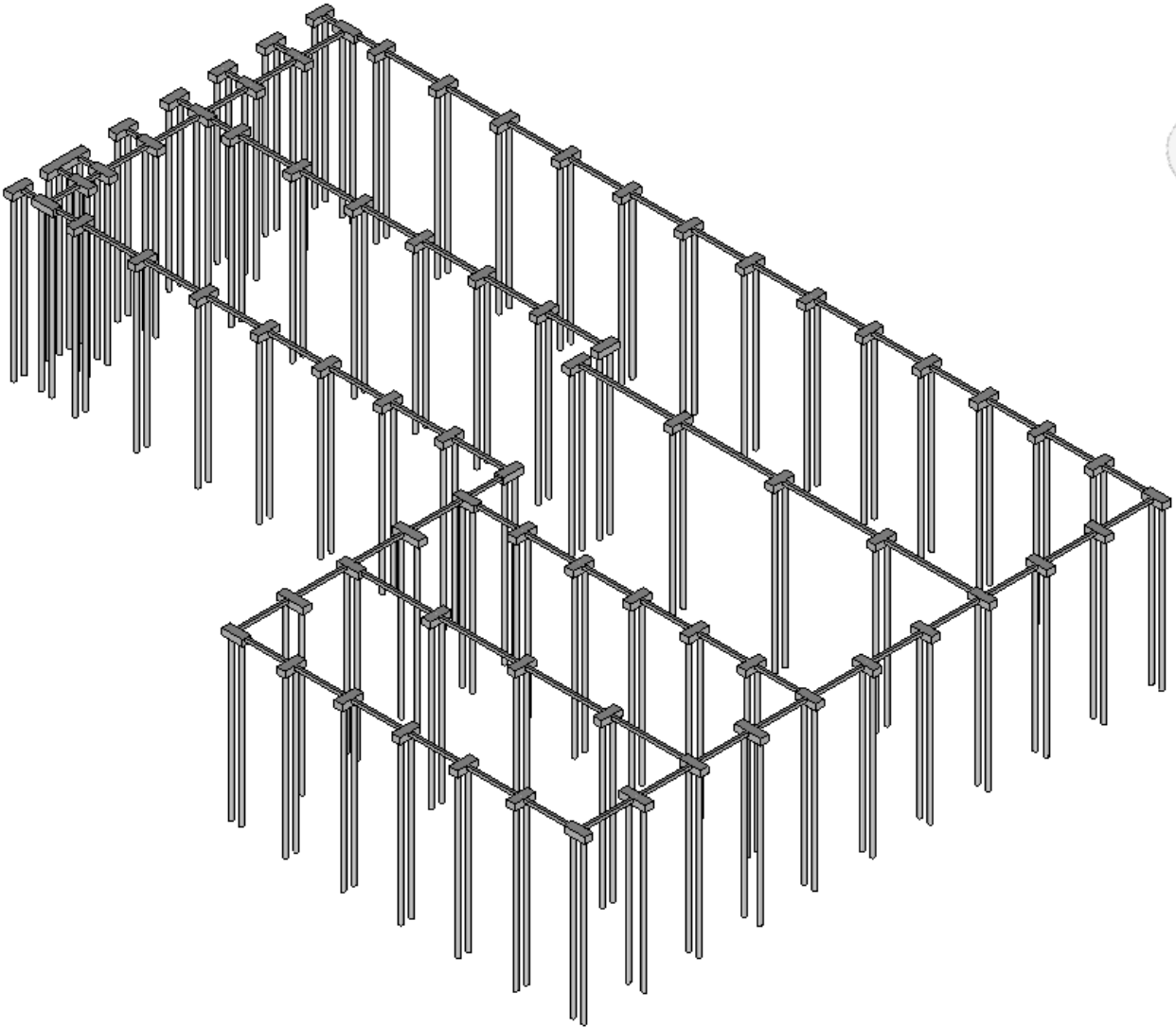


Figura 515 Dimensiones y armados vigas riostras.

Dado que la colocación de éstas se realiza desde la opción de elemento estructural – viga, se desactivará el elemento analítico de las mismas para no modificar el modelo analítico que se mandó a calcular. Esto permitirá que futuras, más que posibles modificaciones ahorren trabajo al calculista de estructuras que tuviera que realizar una nueva lectura y acondicionamiento del modelo.

Igual que se modificaron los tipos de vigas rectangulares para generar la salvapilar R40x65, se hace ahora para crear las secciones previamente expuestas de vigas riostras (40x50 y 45x50). Se remite al proceso de creación y editado de tipos de viga que se siguió entonces para más información al respecto de la creación de nuevas vigas.

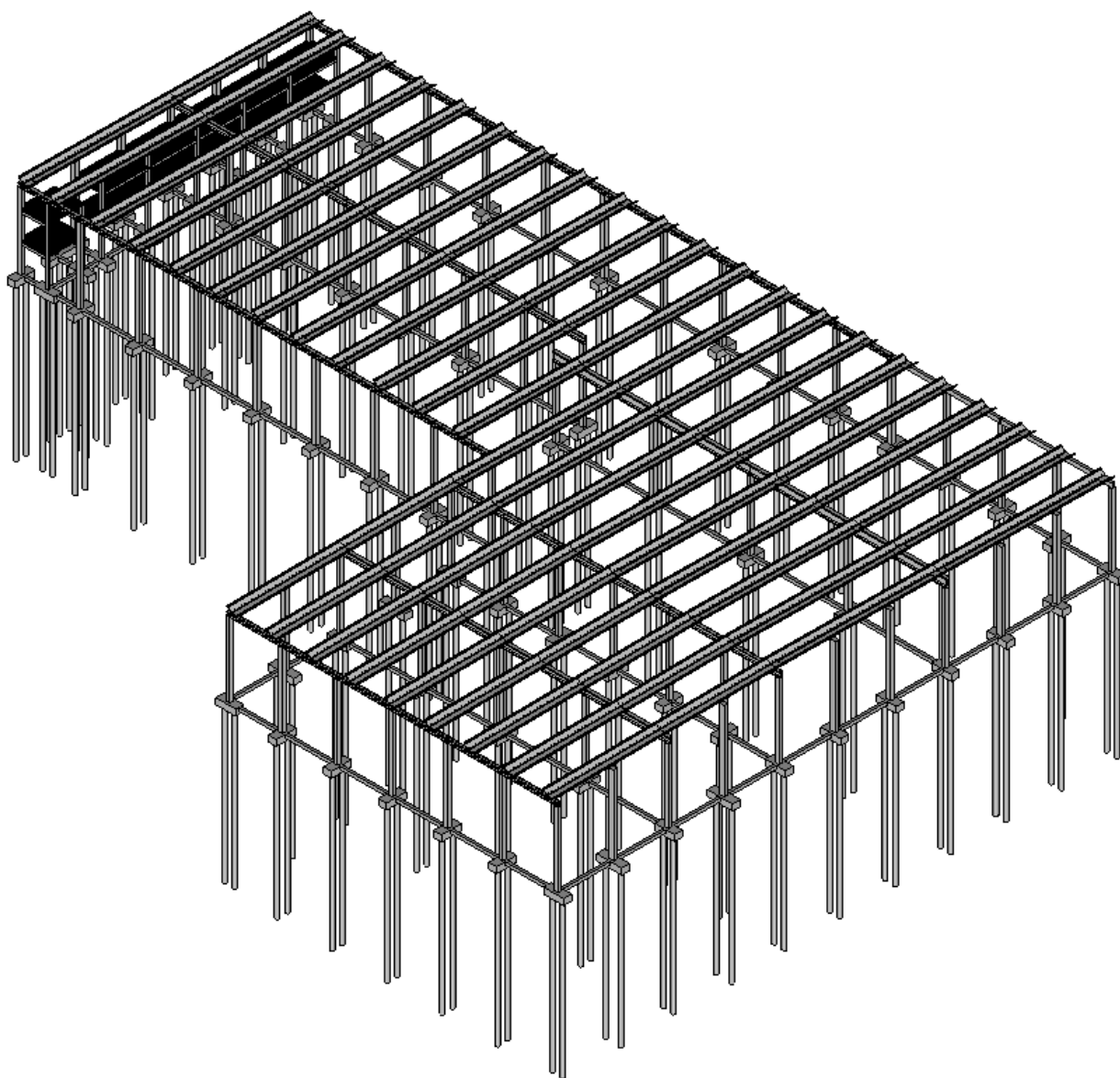
La colocación de las mismas se hace de pilar a pilar, y el propio programa respeta el encuentro con la zapata que se encuentra en la base de éstos. Se termina obteniendo la siguiente cimentación:



*Figura 516 Disposición de encepados y vigas riostra en el modelo geométrico en Revit*

La disposición de éstas, igual que se ha hecho con los encepados, se adapta a la nueva geometría de la nave, quedando como se ve en la imagen previa.

Colocadas las vigas riostras, el conjunto estructura más cimentación adopta la siguiente forma:



*Figura 517 Vista conjunta cimentación y estructura en el modelo geométrico en Revit*

El proceso de colocación de armados es muy similar al utilizado para armar los elementos de la estructura. Desde una vista que no sea 3D, y que contenga los encepados, puede procederse a colocar las barras de armado que se han considerado en la información de geometría y disposición de armados de las vigas riostras y de encepados.

Se recuerda de nuevo en la siguiente imagen el valor de los recubrimientos que será necesario introducir a la hora de colocar las armaduras en los elementos de cimentación.

CARACTERISTICAS DE MATERIALES SEGUN EHE						
	HORMIGON	ACERO	$\gamma_c$	$\gamma_s$	(perm./var.)	NIVEL DE CONTROL
CIMENTACION	HA-25/B/40/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	Acero y Hormigon Intenso
MUROS	HA-25/B/25/IIa	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
HOR. "IN SITU"	HA-25/B/20/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PILARES PREF.	HA-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
VIGAS PREF.	HP-45-AC/16/I	B-500-S	1.50	1.15	1.35/1.50	
PRETENSADO	HP-45-AC/16/I	(Pasivo) B-500-S (Activo) Y1860s7 Y1670C	1.50	1.15	1.35/1.50	
P. LAMINADOS	-	S-275-JR	-	1.15	1.33/1.50	P. Laminados
CONSIDERACIONES : 1.- RECUBRIMIENTO DE VIGAS Y PILARES : 25mm ESTRIBO. 2.- RECUBRIMIENTO LATERAL DE ZAPATAS, VIGAS RIOSTRAS Y ELEMENTOS HORMIGONADOS CONTRA EL TERRENO : 70mm. 3.- RECUBRIMIENTO ELEMENTOS DE CIMENTACION HORMIGONADOS CONTRA HORMIGON DE LIMPIEZA O ENCOFRADOS : 30mm. 4.- LAS JUNTAS DE DILATACION SON DE 2cm ENTRE CARAS DE ELEMENTOS. 5.- LAS JUNTAS DE HORMIGONADO SE DISPONDRÁN ENTRE EL CUARTO Y EL QUINTO DE LA LUZ (L/4, L/5), A 45 GRADOS Y SIN CORTAR LOS ABACOS.						

Figura 518 Tabla de materiales planos ARTEPREF

El ejemplo explicativo se hará simplemente para el primer tipo de encepado, el E1, y para el primer tipo de viga riostra, VC 1.1, cuya información se recuerda a continuación:

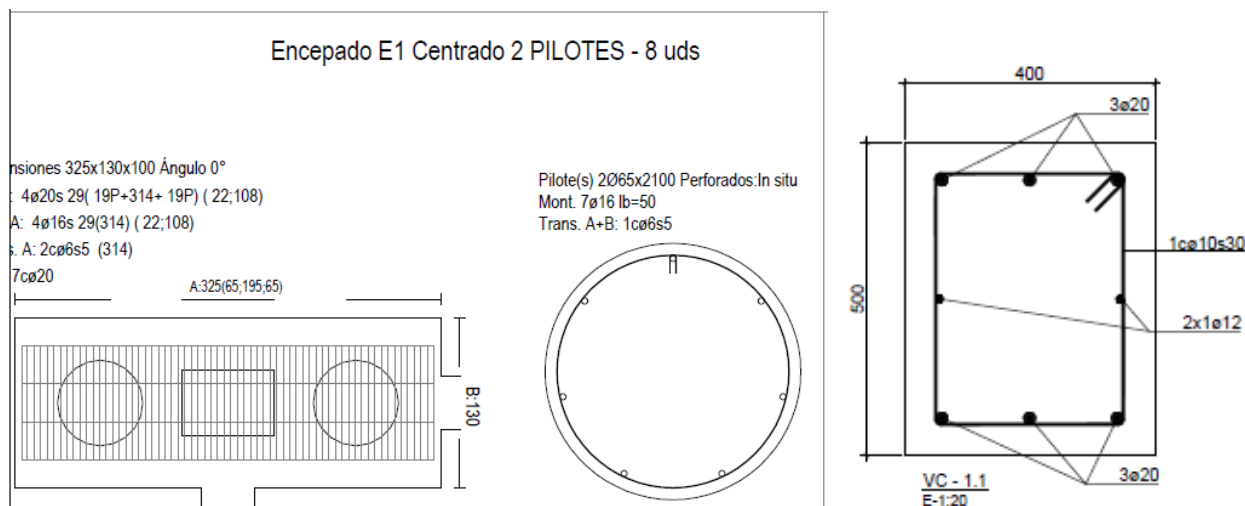


Figura 519 Geometría y armado encepado tipo E1 + dimensiones y armados viga riostra VC 1.1

La viga riostra y encepado con que se hará la explicación serán los señalados en la siguiente imagen, que se corresponden con las tipologías mencionadas y expuestas previamente:

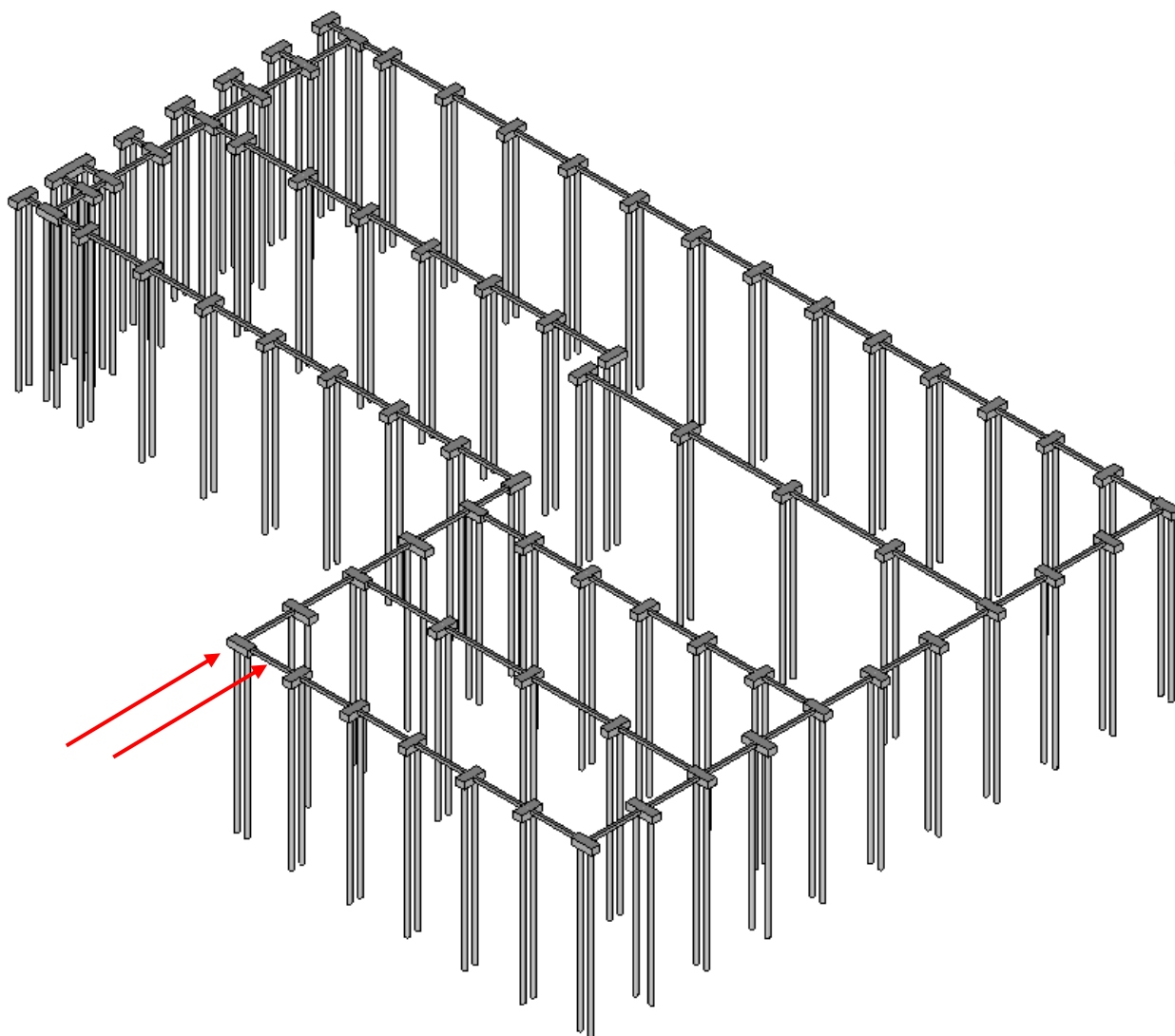


Figura 520 Encepado y viga riostra cuya modelización de armado se ejemplifica

Para empezar el proceso es conveniente hacer una sección transversal para ver la estructura desde el lateral; esto puede hacerse desde la ventana Vista, con el comando Sección:



Figura 521 Localización comando Sección

La sección se colocará y orientará como viene especificado en la siguiente figura:

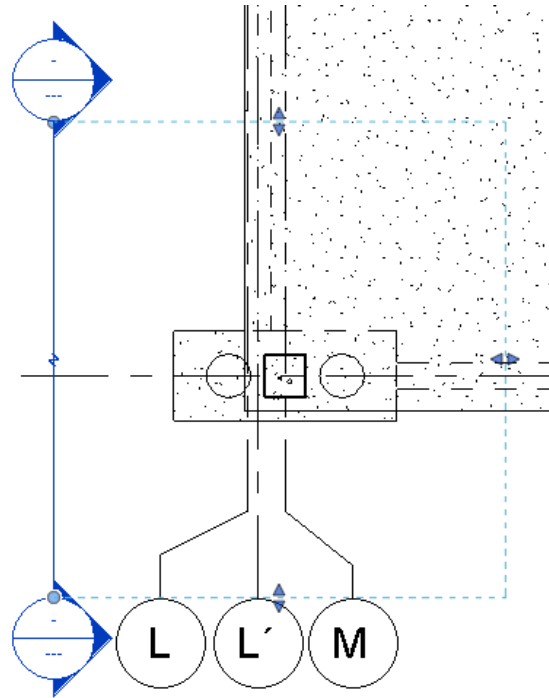


Figura 522 Localización y orientación de la sección para armar el encepado E1

De forma que se obtiene la siguiente sección:

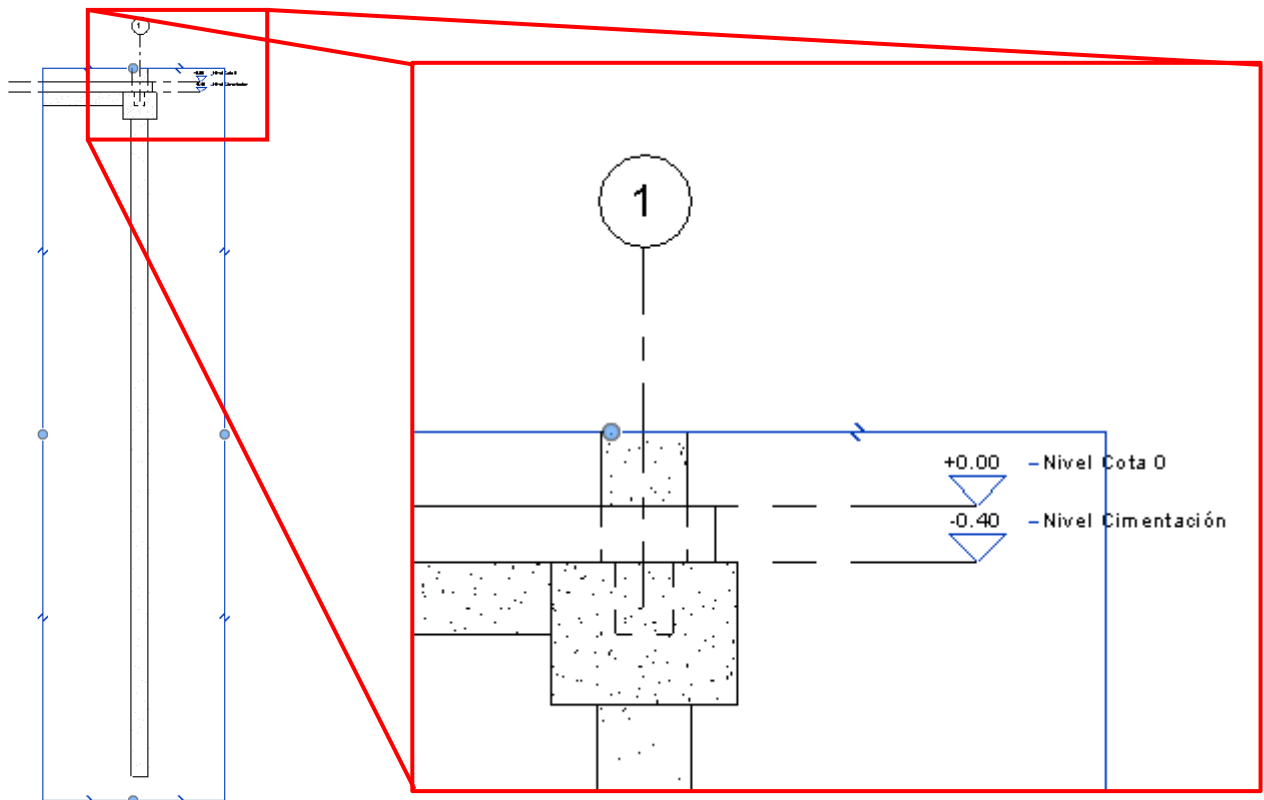


Figura 523 Sección obtenida y detalle para proceder a armar encepado E1

Revit sólo trae una opción de recubrimiento de armadura de 25 mm. Es por ello que se tendrán que añadir dos más, de 30, y de 70 mm para ser consecuentes con las medidas especificadas en los planos de ARTEPREF. Esto puede hacerse desde la ventana Estructura – Refuerzo – Recubrimiento y añadiendo las configuraciones pertinentes:

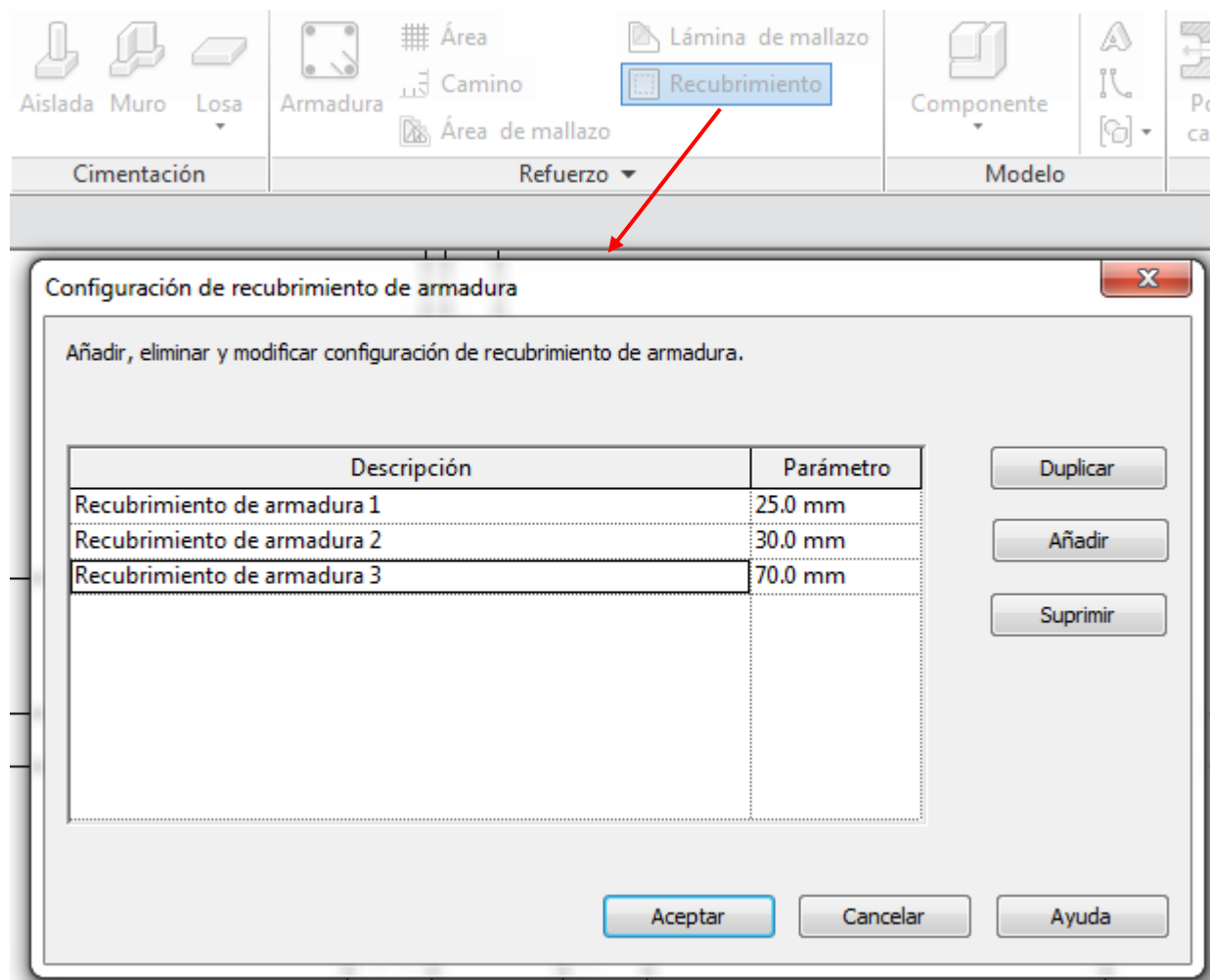


Figura 524 Menú Configuración de recubrimiento de armadura

Una vez se tienen generados estos recubrimientos, se necesita asignarlos al elemento cuyo armado se vaya a disponer desde el menú de propiedades del elemento, donde pueden encontrarse las pestañas de Recubrimiento de armadura – Cara inferior, superior, y de otras caras. En esta ventana se lleva un seguimiento automático del volumen de armado que se coloca en la pieza en la estaña inmediatamente inferior a las mencionadas:

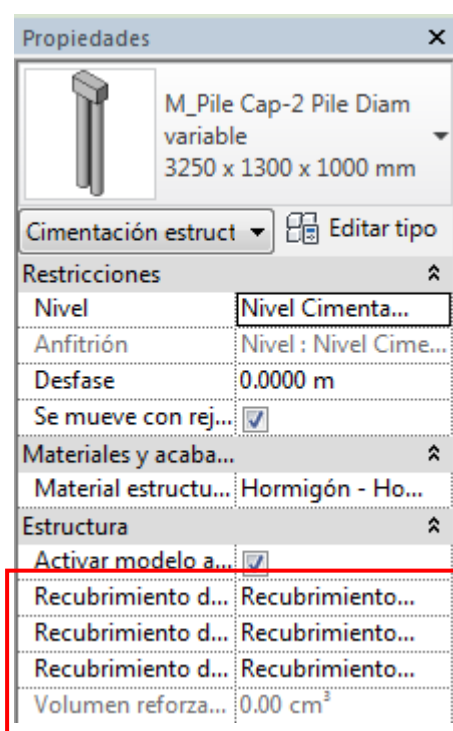


Figura 525 Menú propiedades de zapata. Recubrimientos y volumen de armado

Como ya se ha visto con el armado de los elementos de la estructura, una vez seleccionado, aparece en la barra de herramientas la opción Armadura, en este caso para elemento de cimentación:



Figura 526 Localización menú armadura

Una vez hecho esto, a la interfaz de Revit se añade el navegador de formas de armadura, en el que se pueden ver todas y cada una de las formas que Revit tiene cargadas en sus librerías. Se recuerda que también aparecen, en el menú Colocar armadura las opciones de trabajo de Plano de colocación, orientación de colocación, y Conjunto de armadura. En el primero de éstos se selecciona el plano en que se va a colocar el armado, en el segundo, la orientación que seguirá el armado respecto al plano escogido en el primero, y en el tercero, las posibilidades de agrupaciones, distancias entre armaduras, etc.



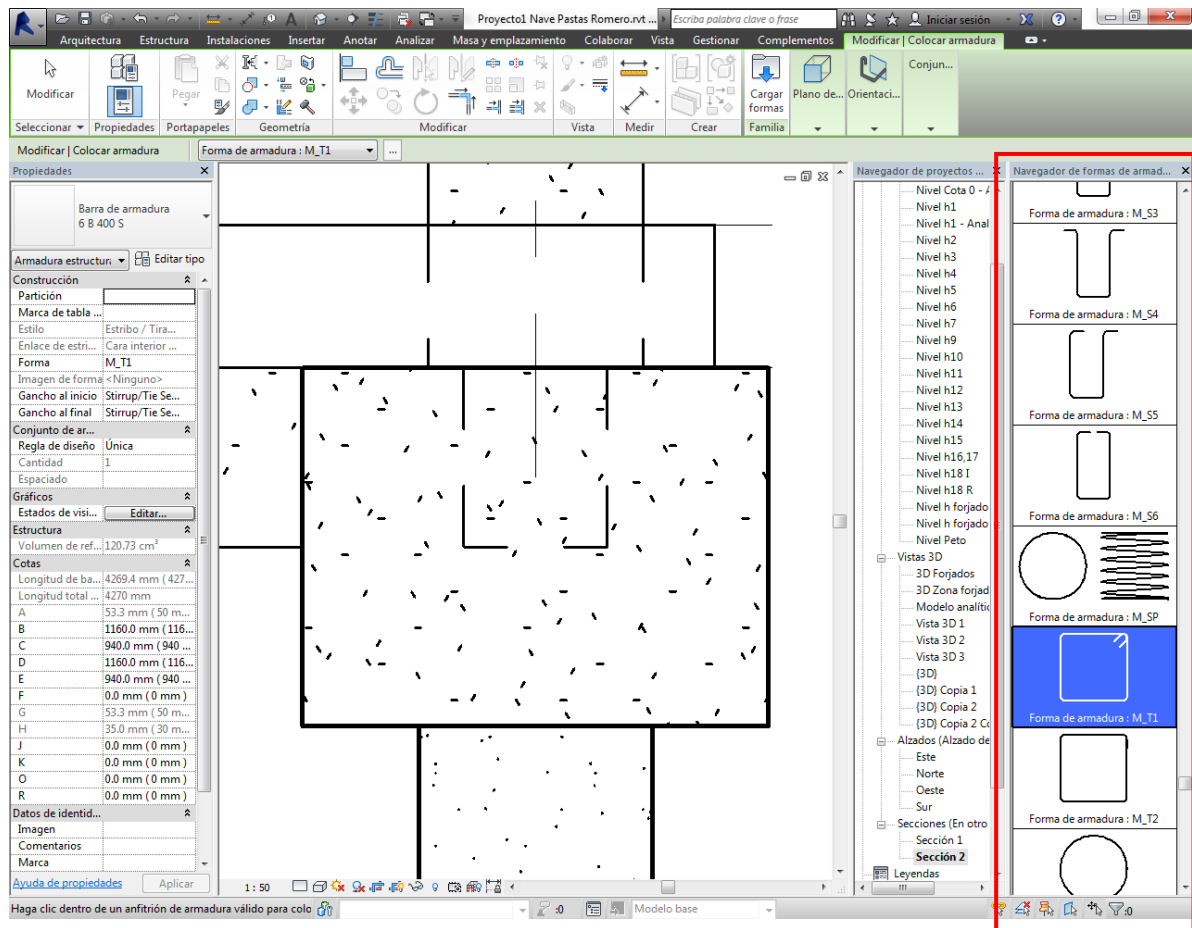


Figura 527 Localización del Navegador de formas de armadura

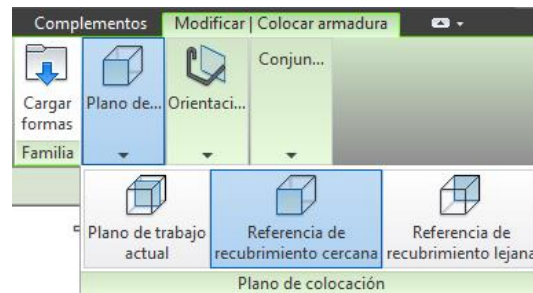


Figura 528 Opción Plano de colocación en menú Colocar armadura

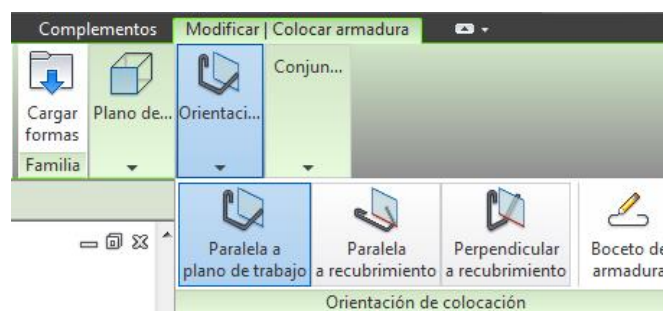


Figura 529 Opción Orientación de colocación en menú Colocar armadura

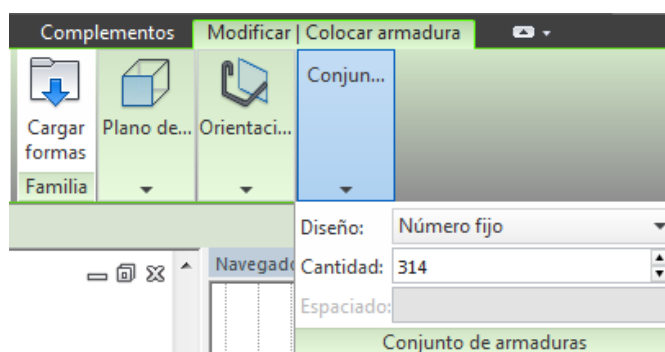


Figura 530 Opción Conjunto de armaduras en menú Colocar armadura

El armado que hay que disponer es complejo como para empezar por uno, y terminar por otro. Tiene que hacerse de manera conjunta. Así pues, se empieza colocando un armado de piel que abarque todo el recubrimiento (Armadura de Acero B-500-S, del diámetro correspondiente a cada tipo, de acuerdo a la información aportada en planos y figuras del presente anexo).

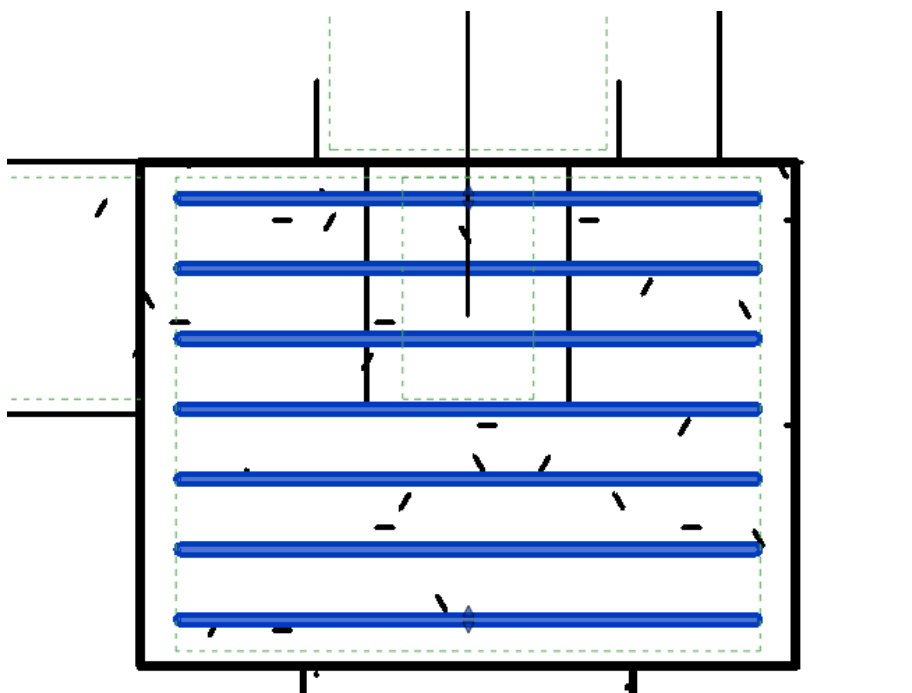
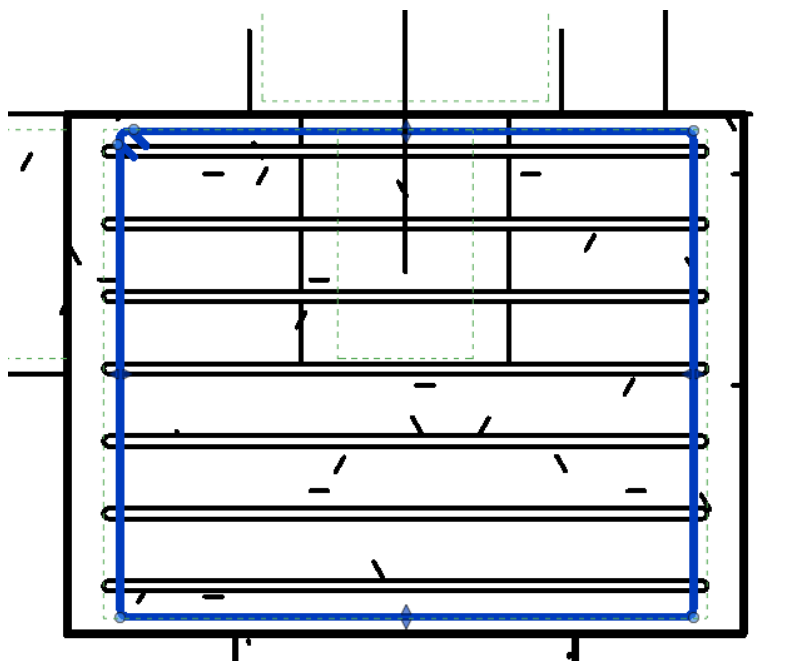


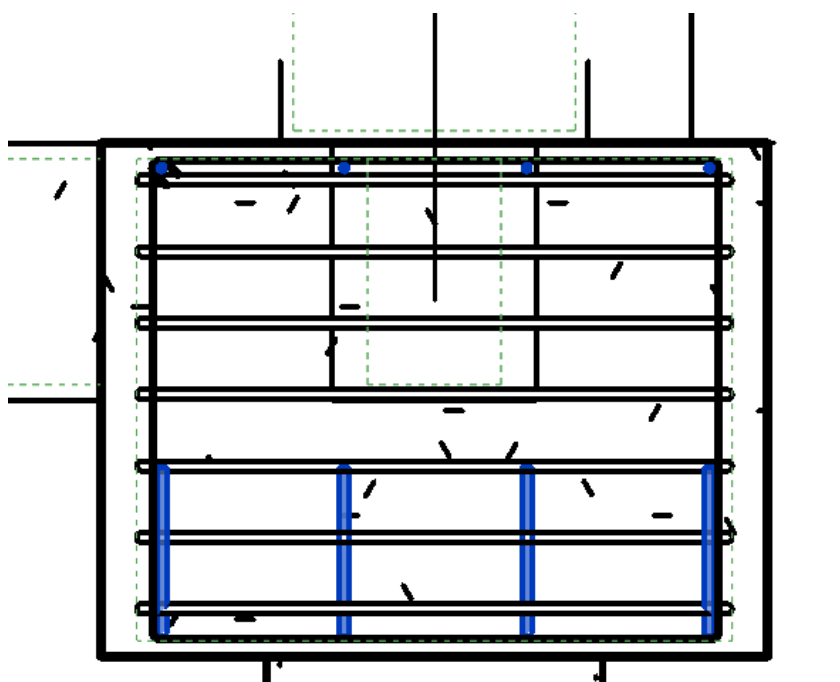
Figura 531 Armadura de piel

Con limitación este armado de piel, se dispone un estribo único, que servirá de referencia temporal para colocar los armados longitudinales:



*Figura 532 Estribo auxiliar de referencia*

A continuación se colocan los armados longitudinales superior e inferior, de tipo varilla simple de diámetro 16 mm en la parte superior, y de tipo varilla con doble patilla de diámetro 20 mm en la parte inferior:



*Figura 533 Armaduras longitudinales superior e inferior*

Finalmente, se aprovecha la referencia de posición que dan estos últimos para colocar los cercos correctamente, puesto que son dos los que se piden:

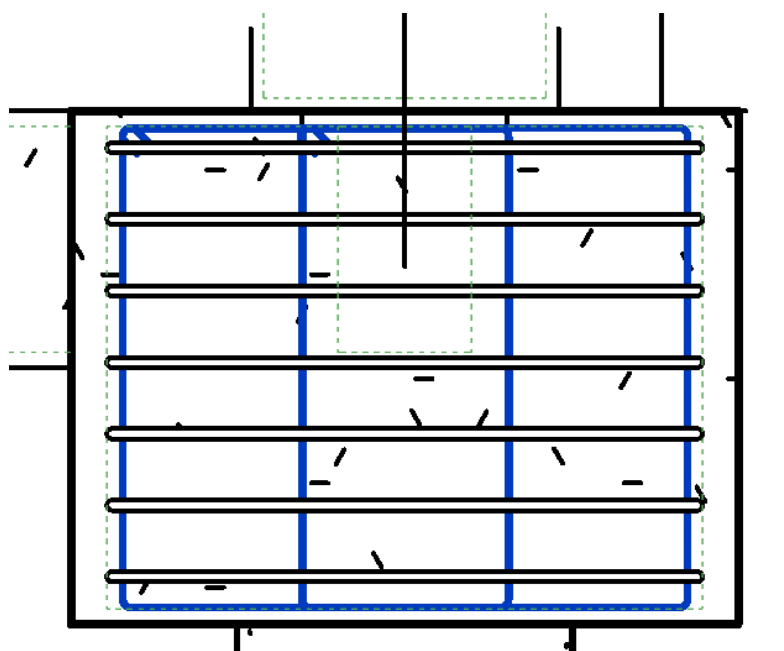


Figura 534 2 cercos de diámetro 6mm

Se eliminan los armados longitudinales, y se vuelven a colocar para que se correspondan con el límite que imponen estos dos nuevos cercos, y ya se tiene el armado de la zapata.

Con el fin de corregir algunos solapamientos se realizaron labores de perfeccionamiento de la posición de los armados para que quedase como debería quedar una vez en obra. El resultado de todo este proceso puede verse en las páginas que siguen a ésta, pasando antes por un paso muy importante que permite la visualización de los armados:

Como se ha hecho ya con los elementos estructurales, si uno selecciona un elemento de armadura y selecciona la opción Estilos de visibilidad en Vista, en el apartado Gráficos de la ventana de Propiedades, puede seleccionar que estos elementos se vean como elementos sólidos, y que no sean tapados por otros, como el hormigón que contendrá estos armados. En la vista 3D denominada 3D Detalle Armaduras Cimentación será donde se seleccionen estas opciones, pues es la que se ha generado precisamente para mostrar estos detalles:

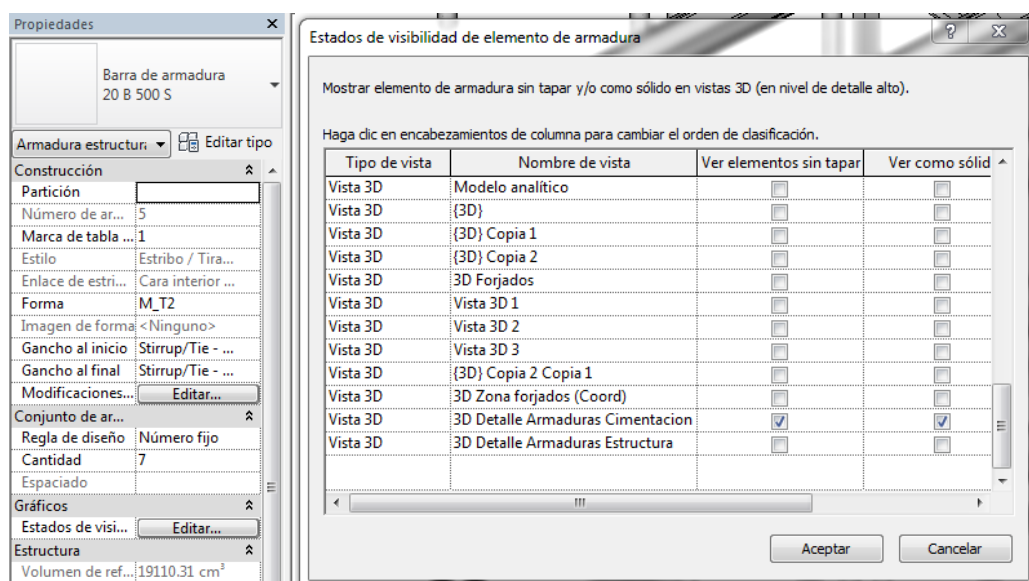


Figura 535 Menú Estilos de visibilidad de elemento de armadura

El resultado de hacer esto, se expone en la figura siguiente, con todos los armados de la zapata ya dispuestos y visibles a un detalle tan alto como se quiera simplemente modificando la escala y el nivel de detalle.

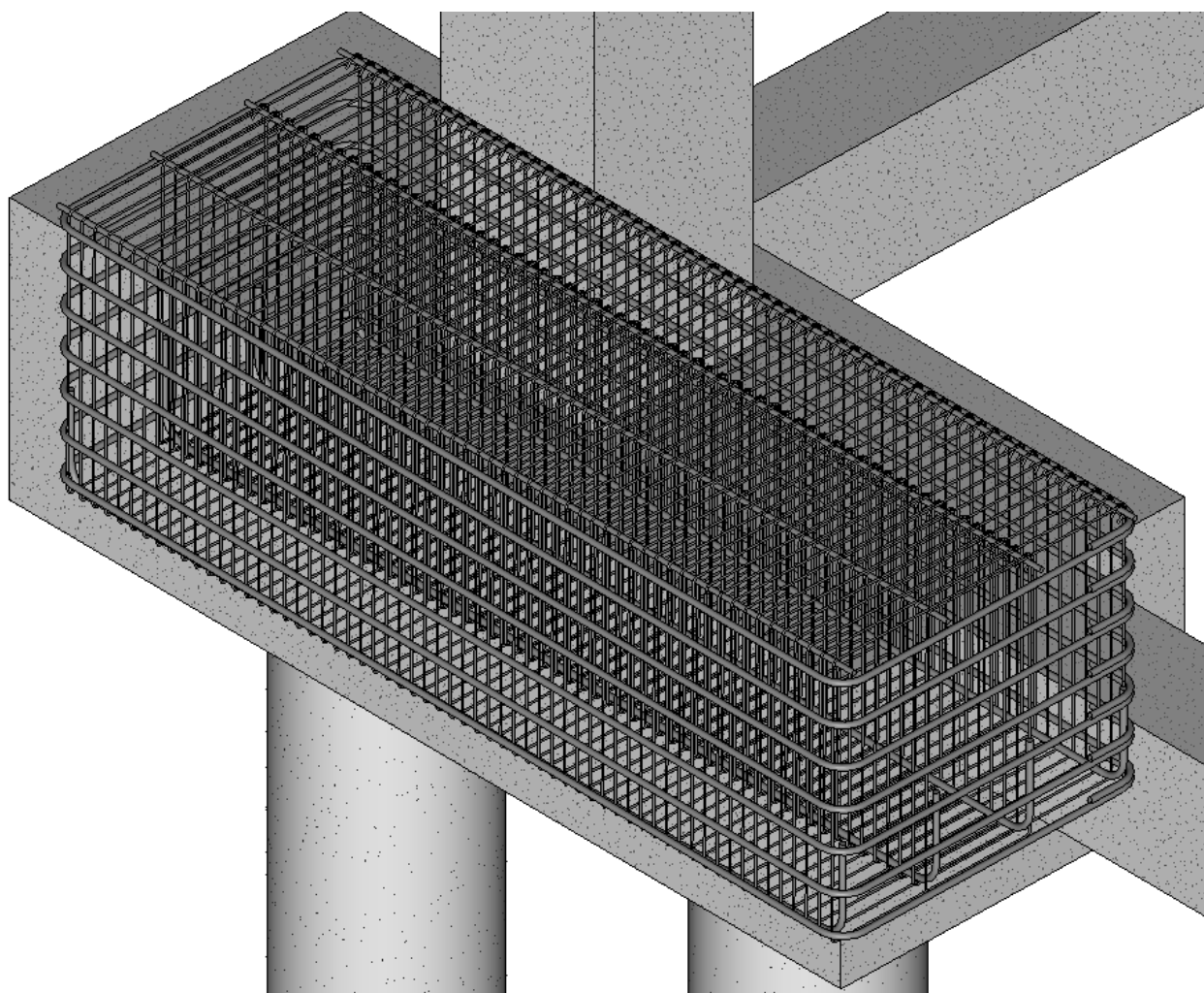
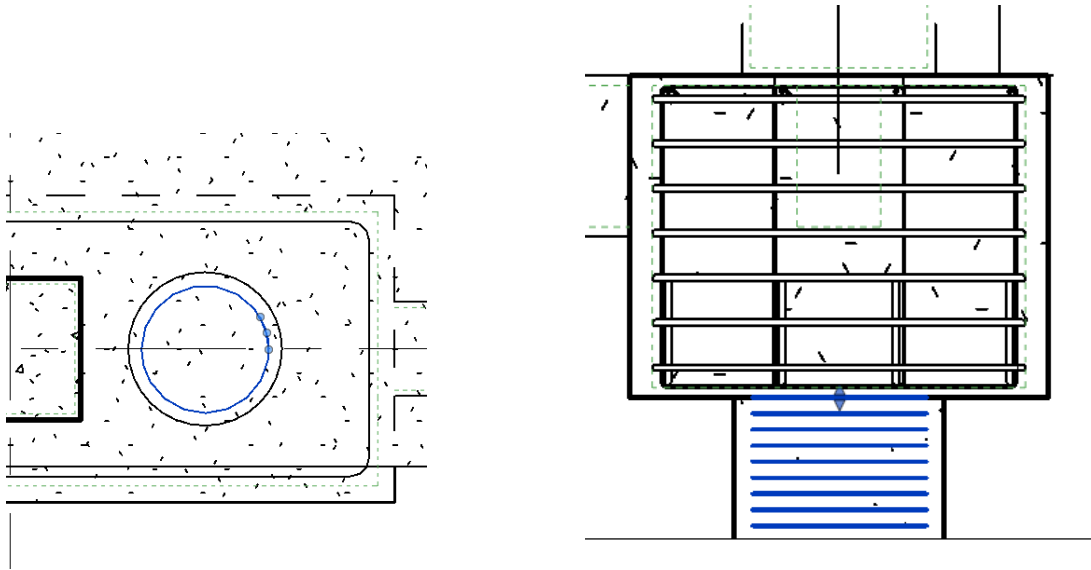


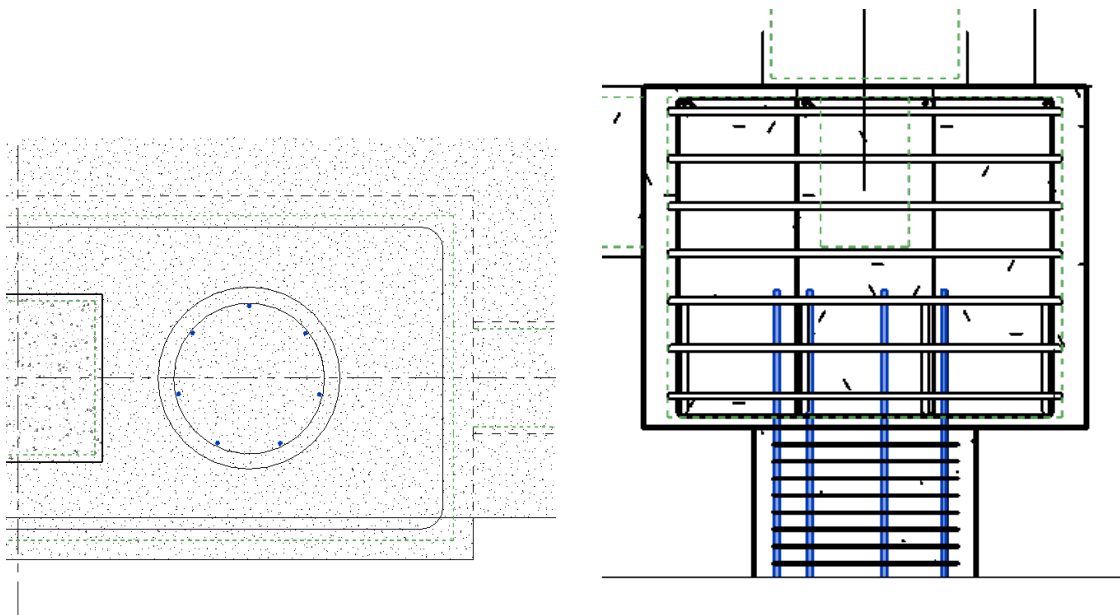
Figura 536 Vista en detalle del armado de la zapata

Una vez armada la zapata, se procede a armar los pilotes, empezando por los estribos o cercos:



*Figura 537 Cercos de los pilotes*

Y finalmente se colocan las armaduras longitudinales de éstos:



*Figura 538 Armado longitudinal de los pilotes*

El resultado final puede verse en la siguiente imagen:



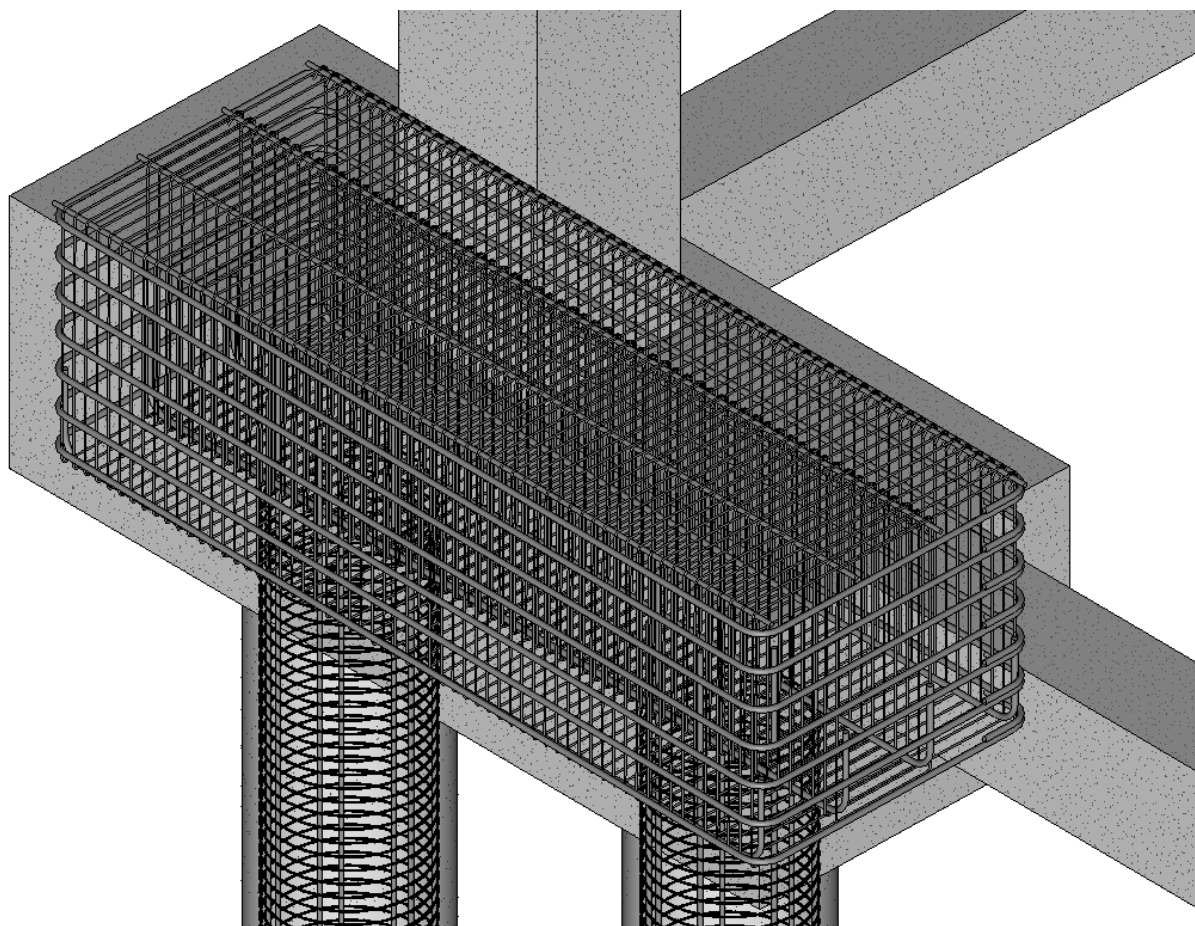


Figura 539 Vista en detalle del armado del encepado E1 completo

Una vez armado el encepado que se ha explicado a modo de ejemplo, se procede a armar la viga riostra VC 1.1. Para ello se empezará de manera muy similar a como se armó el encepado, colocando una sección desde la que se podrá ver la sección de la viga riostra:

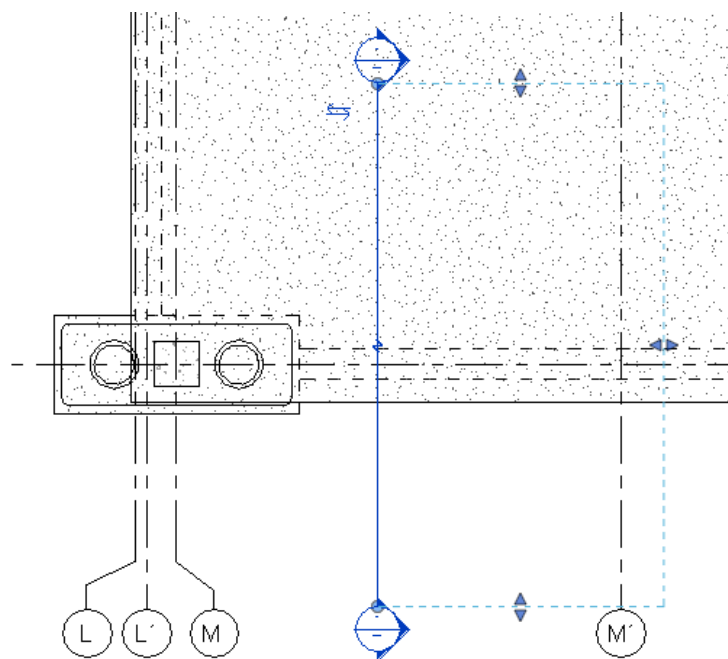


Figura 540 Localización y orientación de la sección para armar la viga riostra VC 1.1

Sección que toma la siguiente forma:

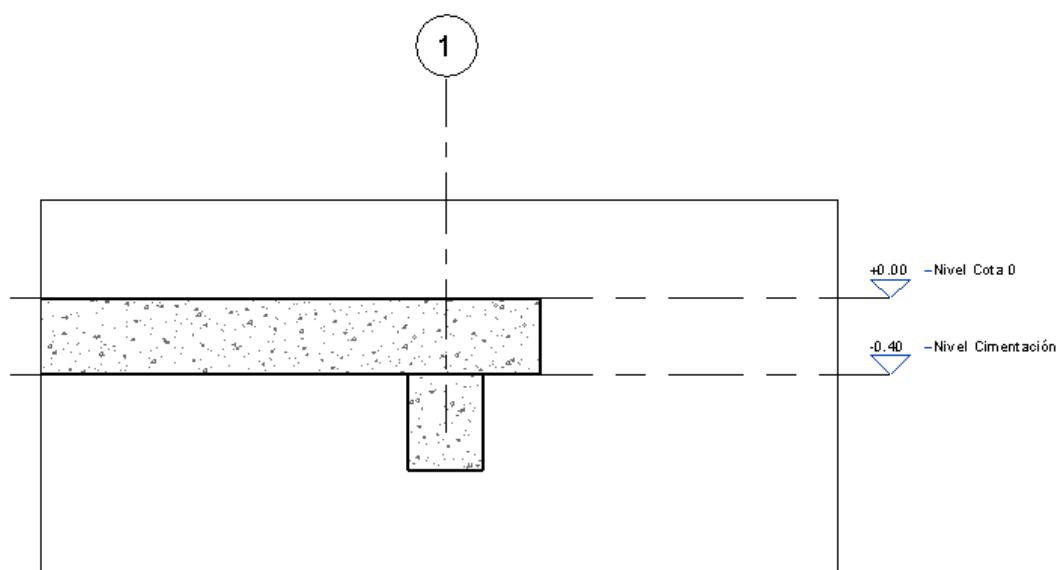


Figura 541 Sección obtenida para proceder a armar viga riostra VC 1.1

El proceso es muy similar al ya explicado para colocar armados en vigas y pilares, pues al fin y al cabo, no terminan de ser elementos barra también. Se comienza por los estribos, que definirán el respeto de la distancia de recubrimiento, y finalmente se introduce el armado longitudinal correspondiente a la sección.

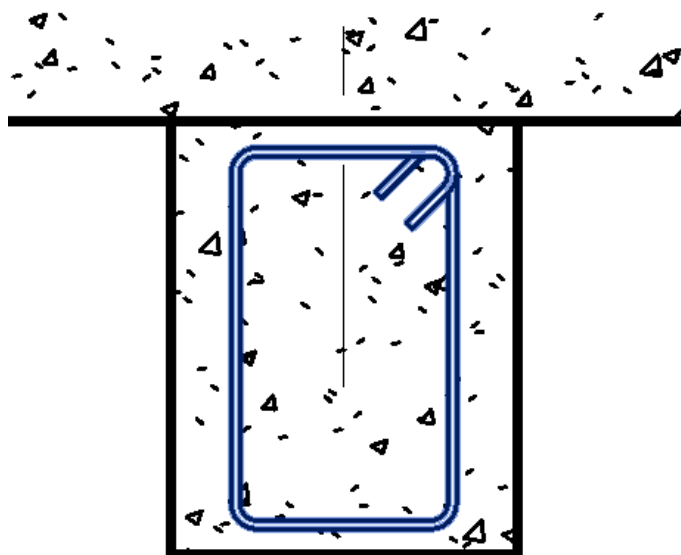
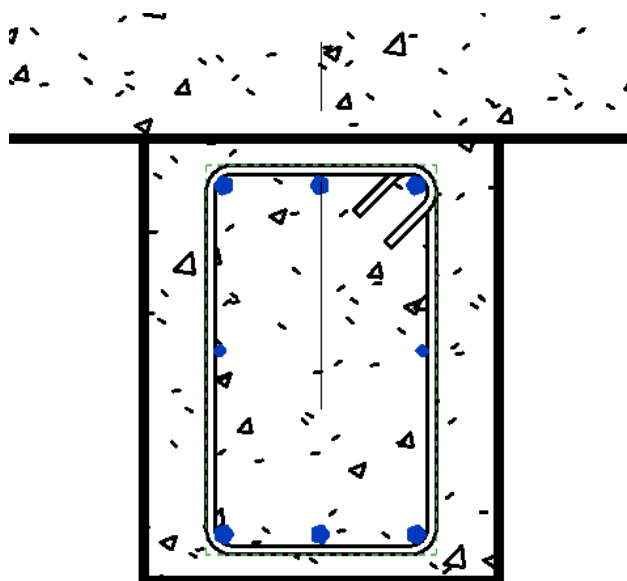


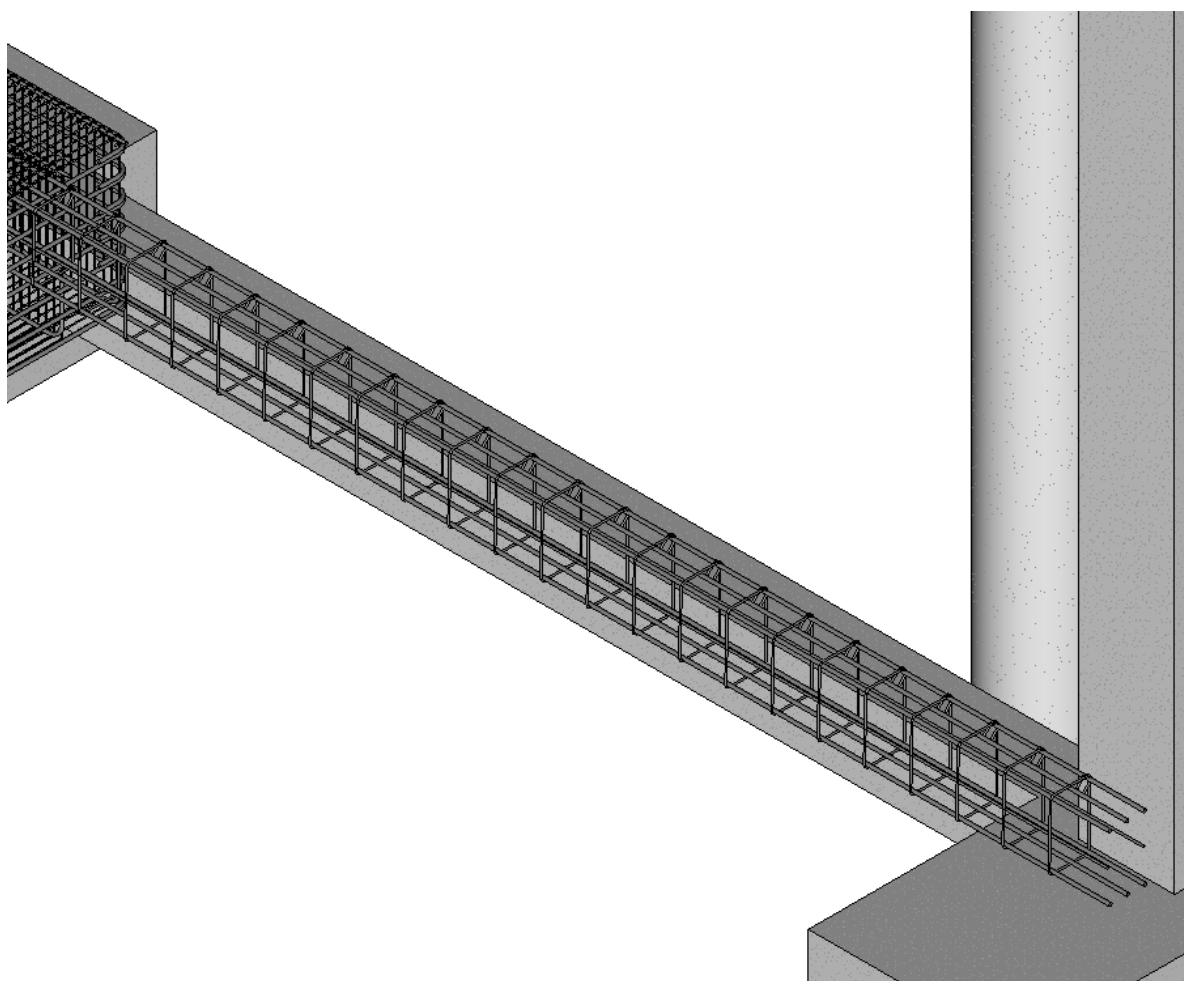
Figura 542 Estribos colocados en viga riostra. 1 cerco de diámetro 10 mm dispuesto cada 30 cm



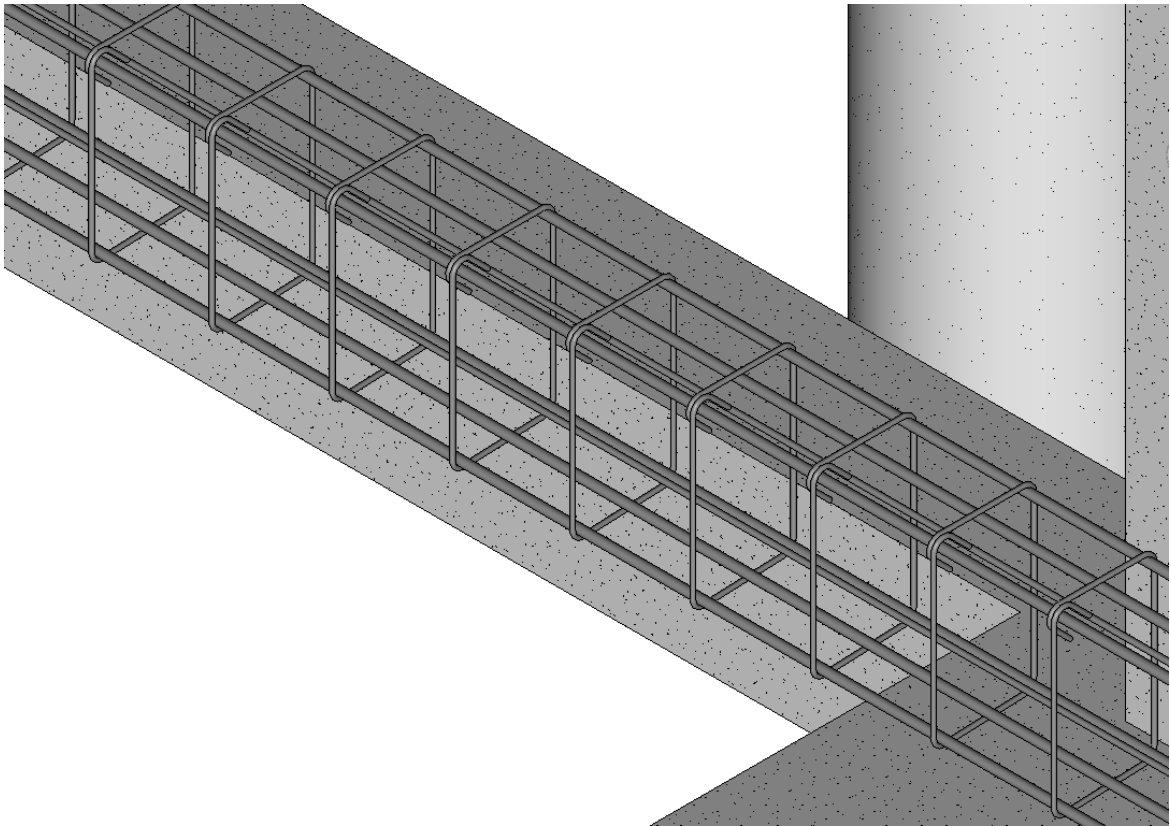


*Figura 543 Armaduras longitudinales colocadas en viga riostra*

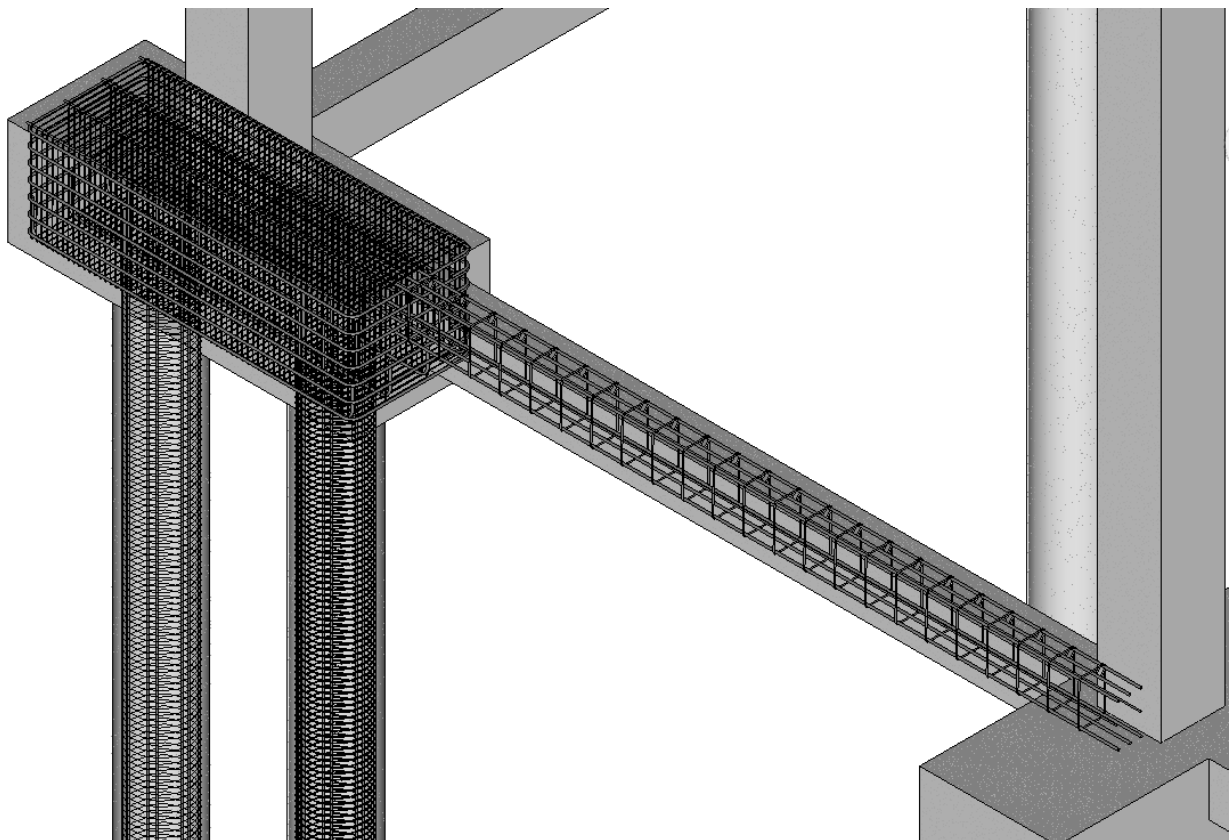
Se consideran las longitudes de anclaje dispuestas en planos de ARTEPREF para estos últimos armados longitudinales, de forma que el conjunto viga riostra más su armado, junto con el resto de elementos de cimentación ya modelados, queda como puede verse en las figuras siguientes:



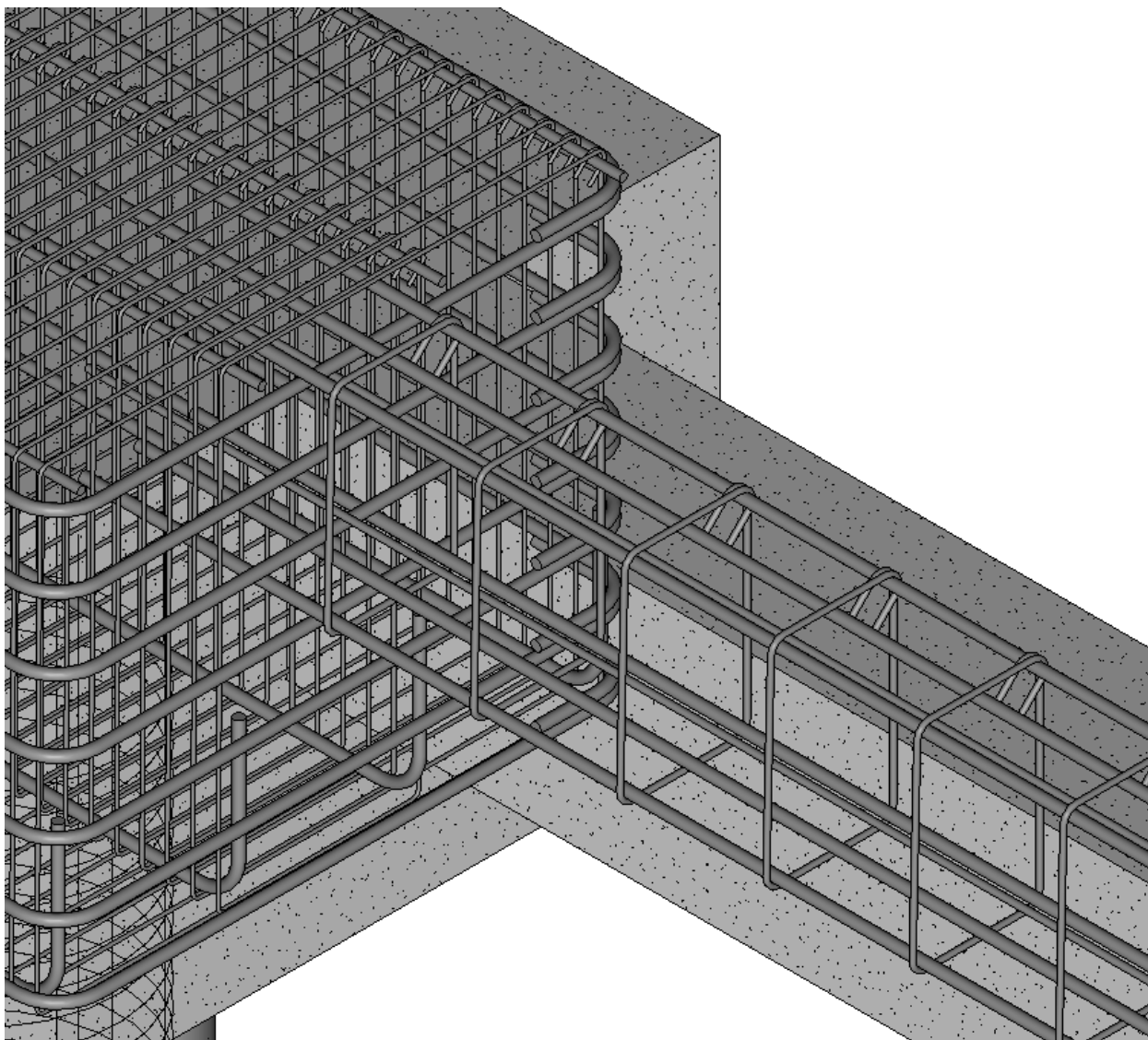
*Figura 544 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1*



*Figura 545 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1*



*Figura 546 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1 y encepado E1*



*Figura 547 Detalle resolución del encuentro viga riostra - encepado*

De la misma manera que se han realizado estos dos ejemplos, se van armando el resto de encepados y vigas riostras. El proceso gana en simplicidad en comparación con lo visto hasta ahora, pues la base de armado generada en dichos ejemplos puede utilizarse en el resto de elementos para “completarlos”, y una vez se tiene el armado del siguiente tipo de encepado colocado, éste puede copiarse a sus homólogos.

Algo similar pasa con las vigas riostra, en las cuales se tiene que tener especial cuidado a la hora de colocar la longitud de anclaje, dado que no todas las separaciones entre zapatas tienen el mismo valor.

Se adjunta a continuación una figura con la vista en detalle del armado de cada encepado y cada viga riostra restante:

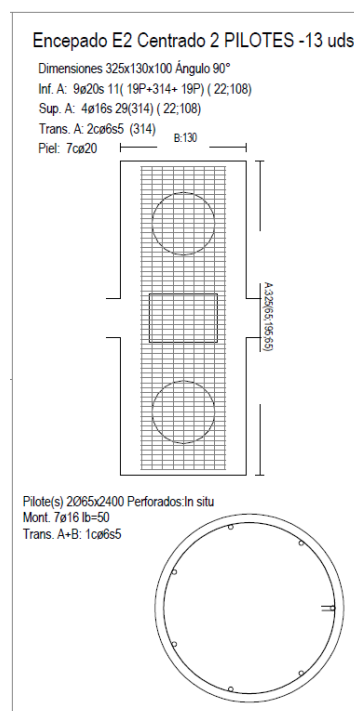


Figura 548 Geometría y armado encepado tipo E2

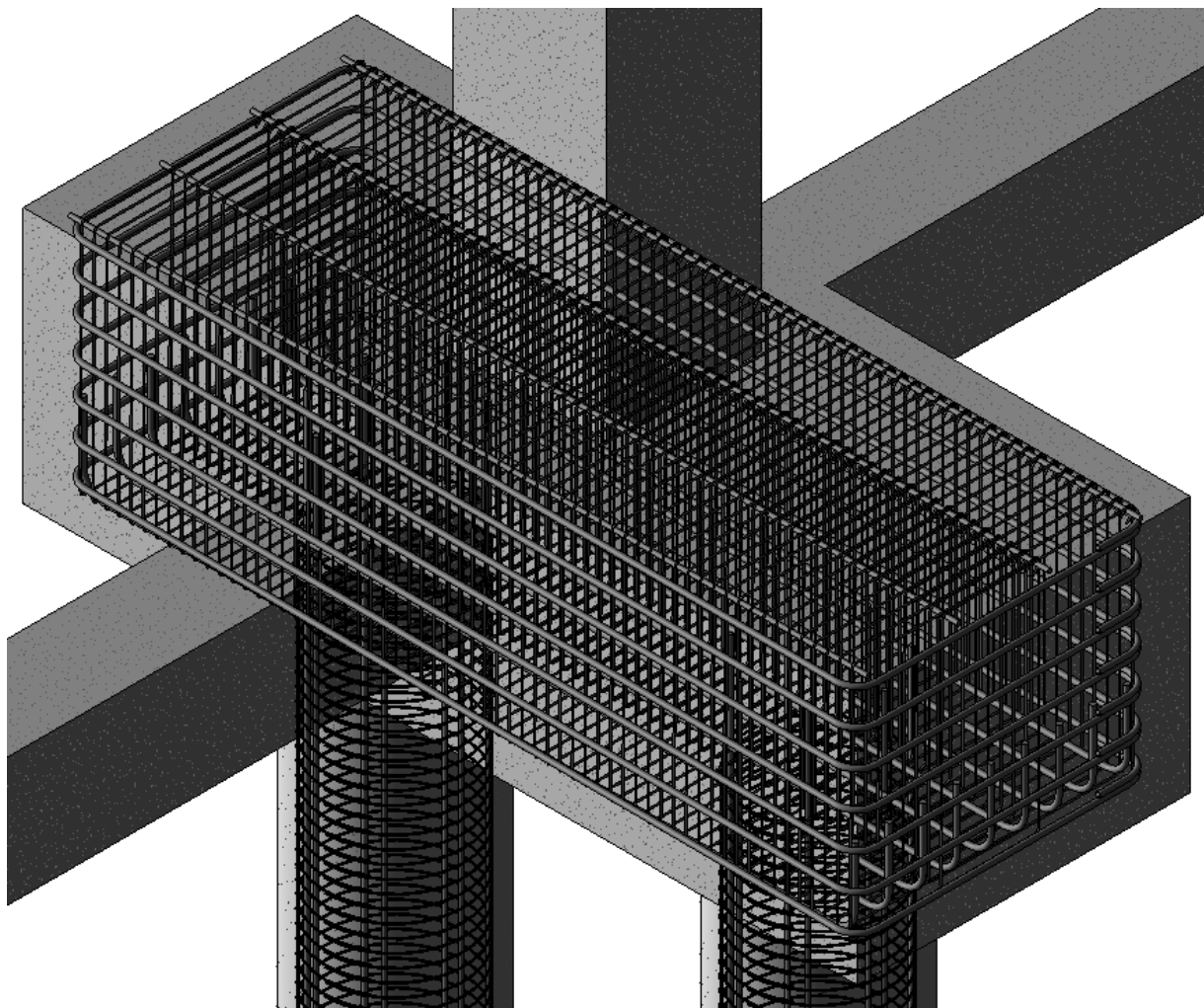


Figura 549 Vista en detalle del armado completo del encepado E2



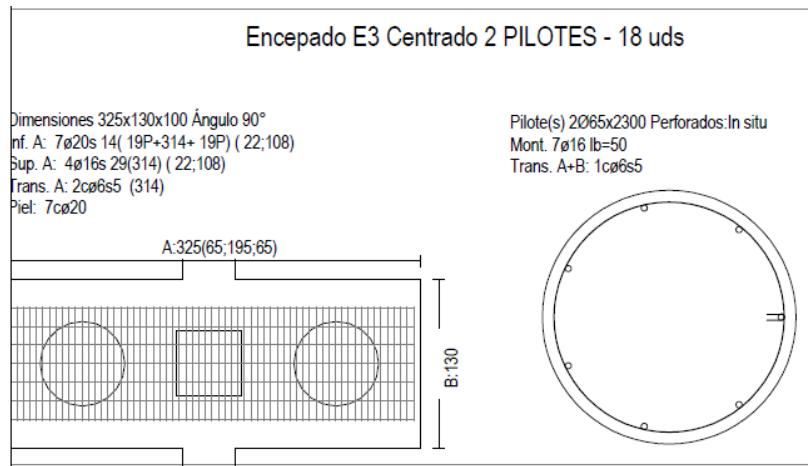


Figura 550 Geometría y armado encepado tipo E3

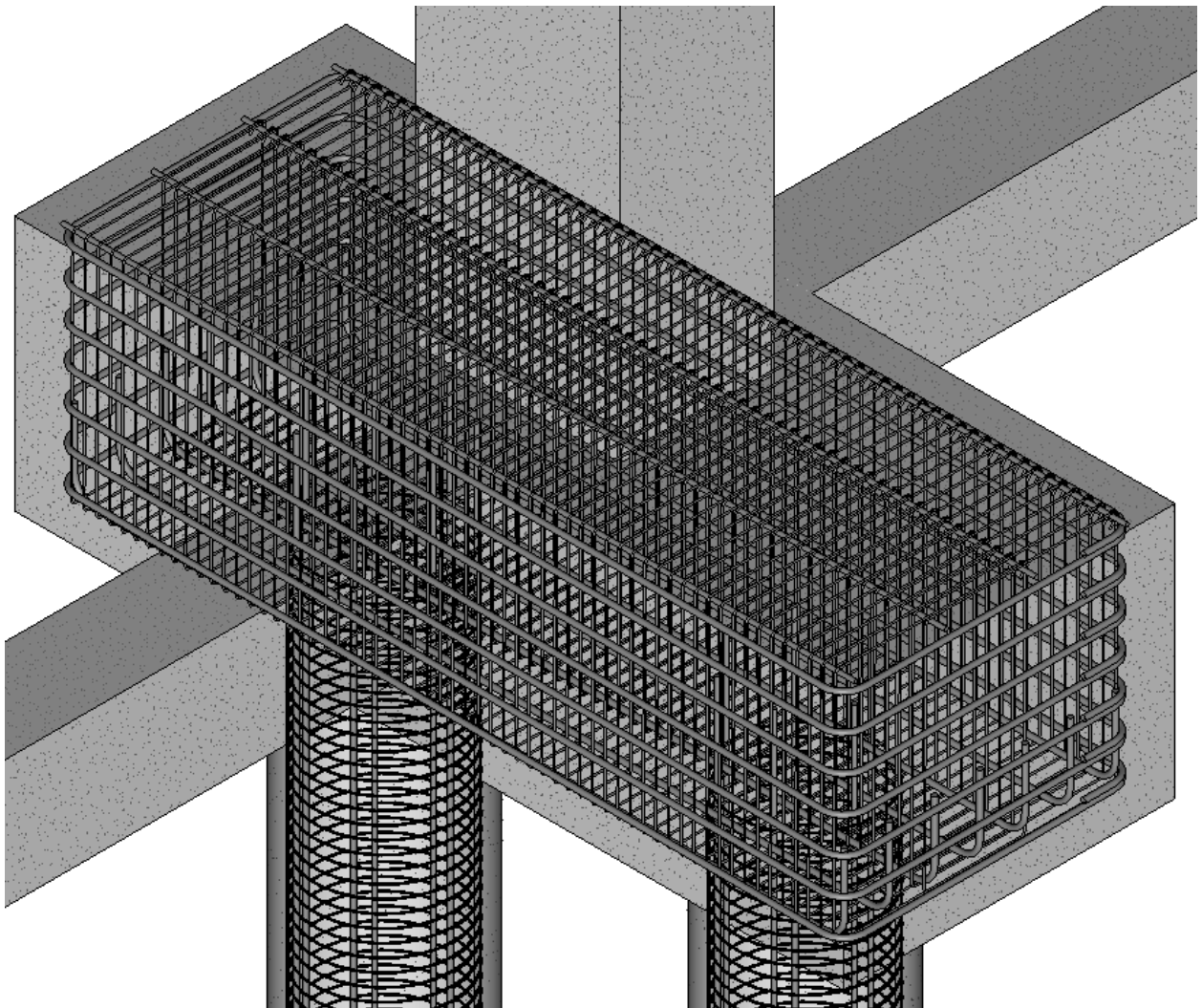


Figura 551 Vista en detalle del armado completo del encepado E3

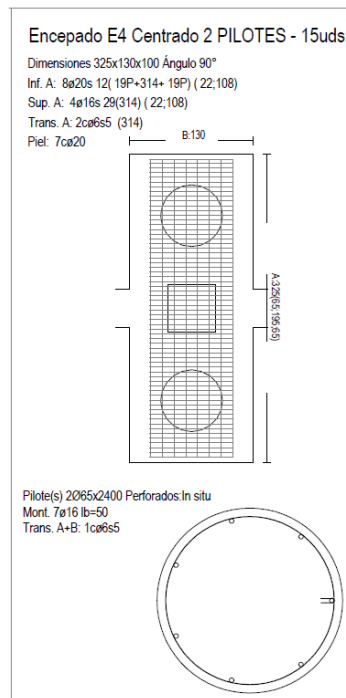


Figura 552 Geometría y armado encepado tipo E4

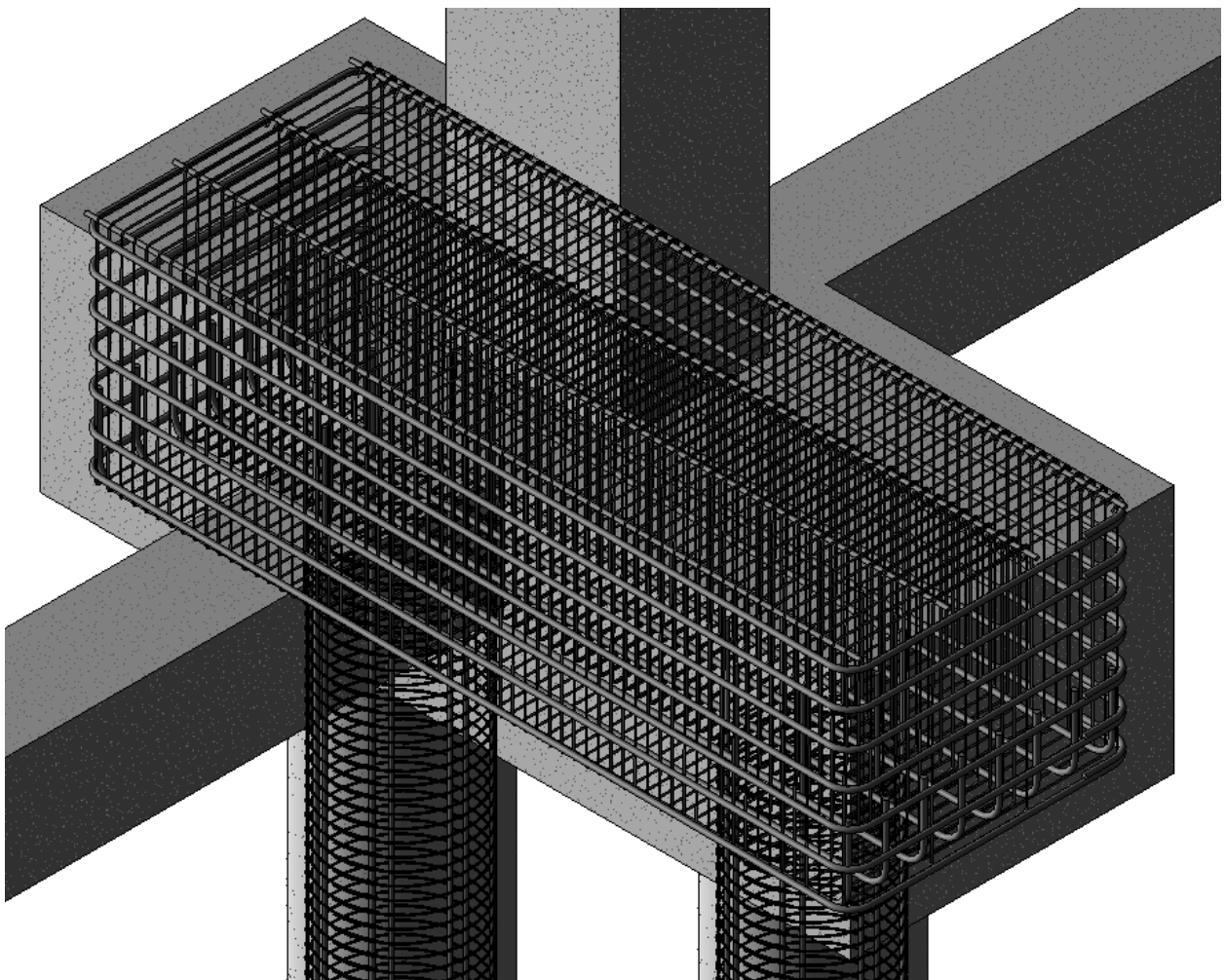


Figura 553 Vista en detalle del armado completo del encepado E4

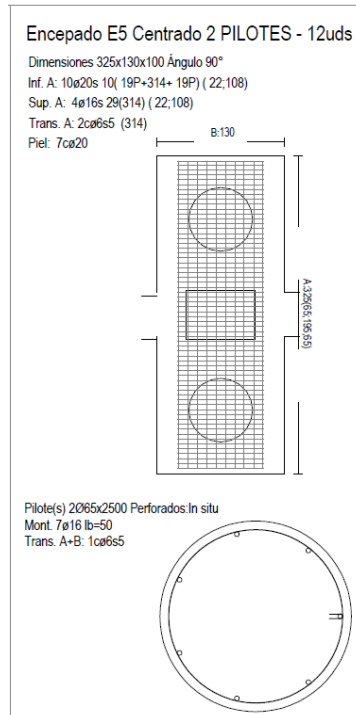


Figura 554 Geometría y armado encepado tipo E5

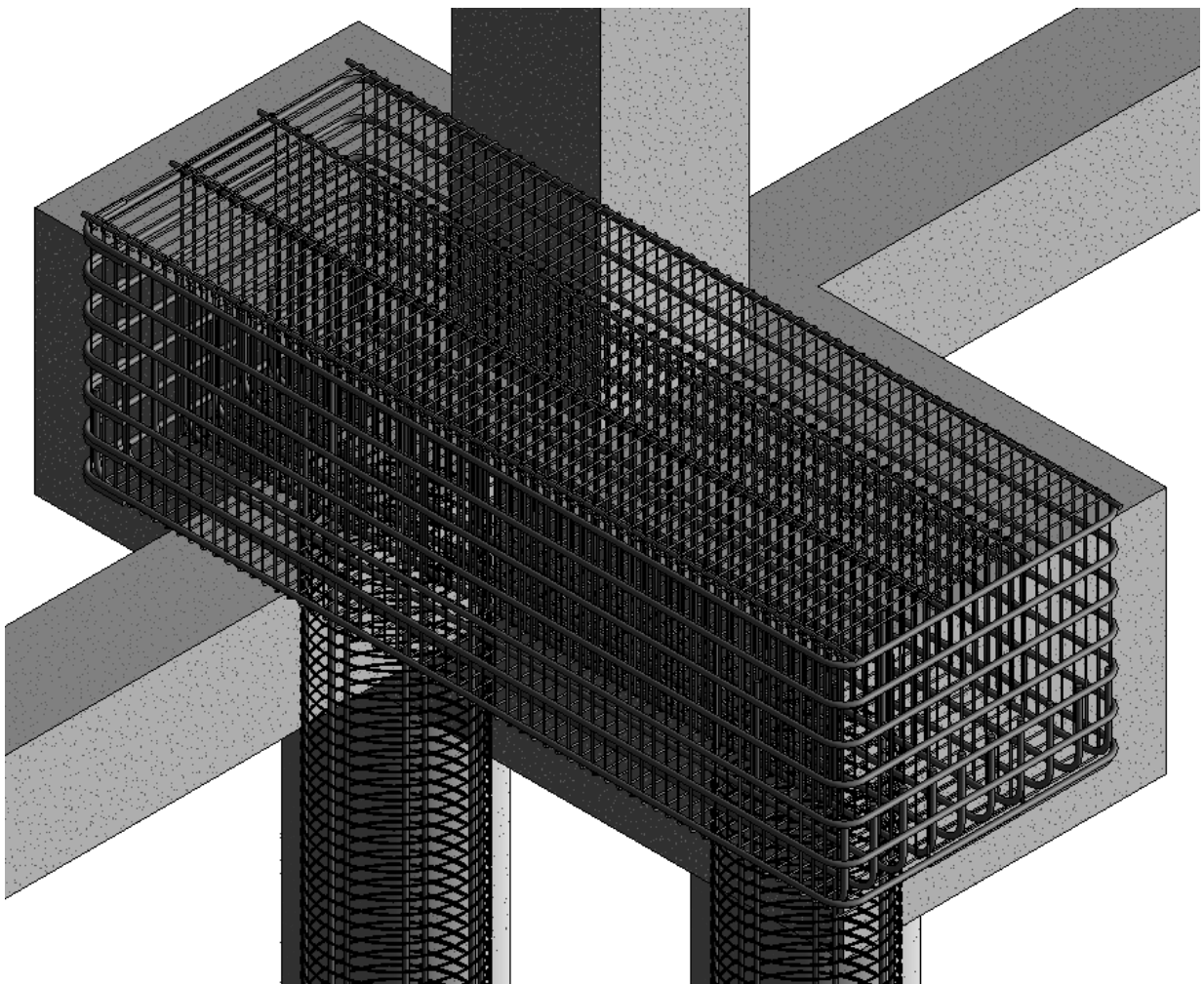


Figura 555 Vista en detalle del armado completo del encepado E5



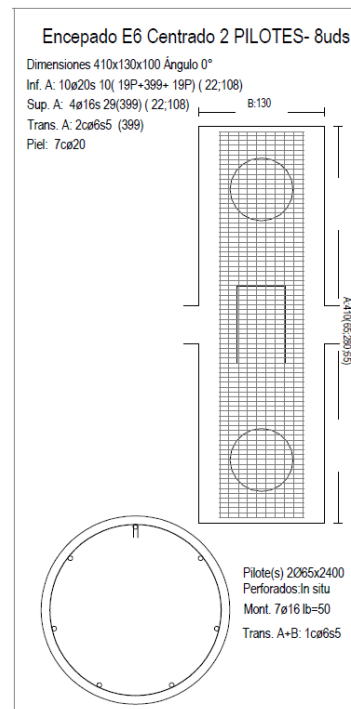


Figura 556 Geometría y armado encepado tipo E6

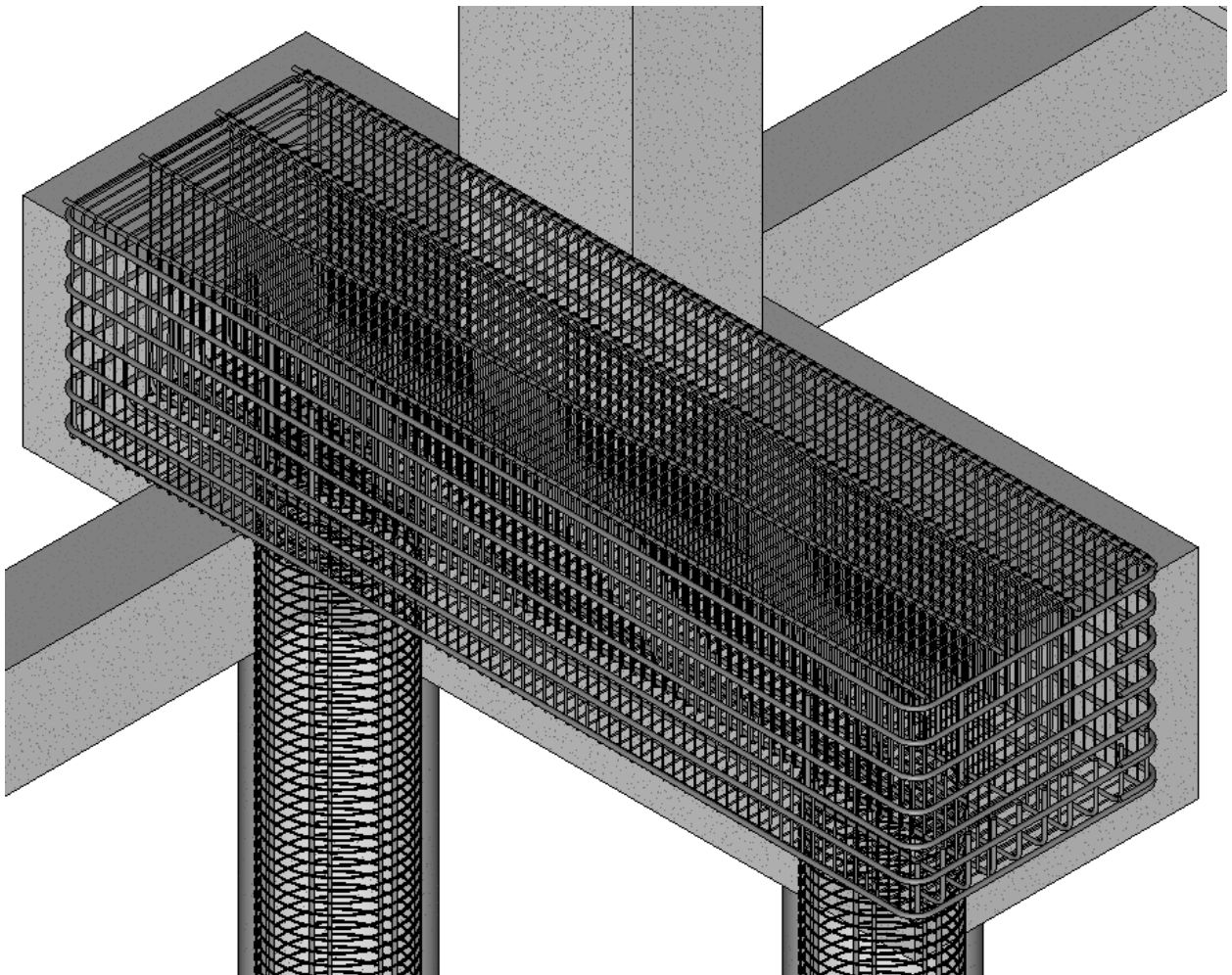


Figura 557 Vista en detalle del armado completo del encepado E6



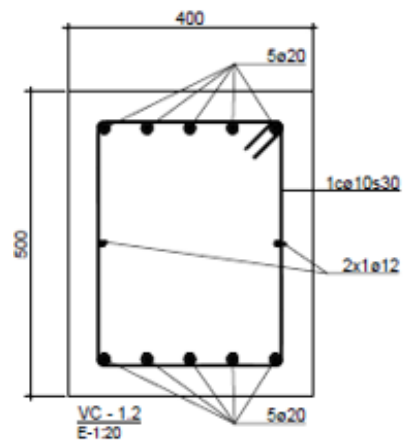


Figura 558 Geometría y armados viga riostra VC 1.2

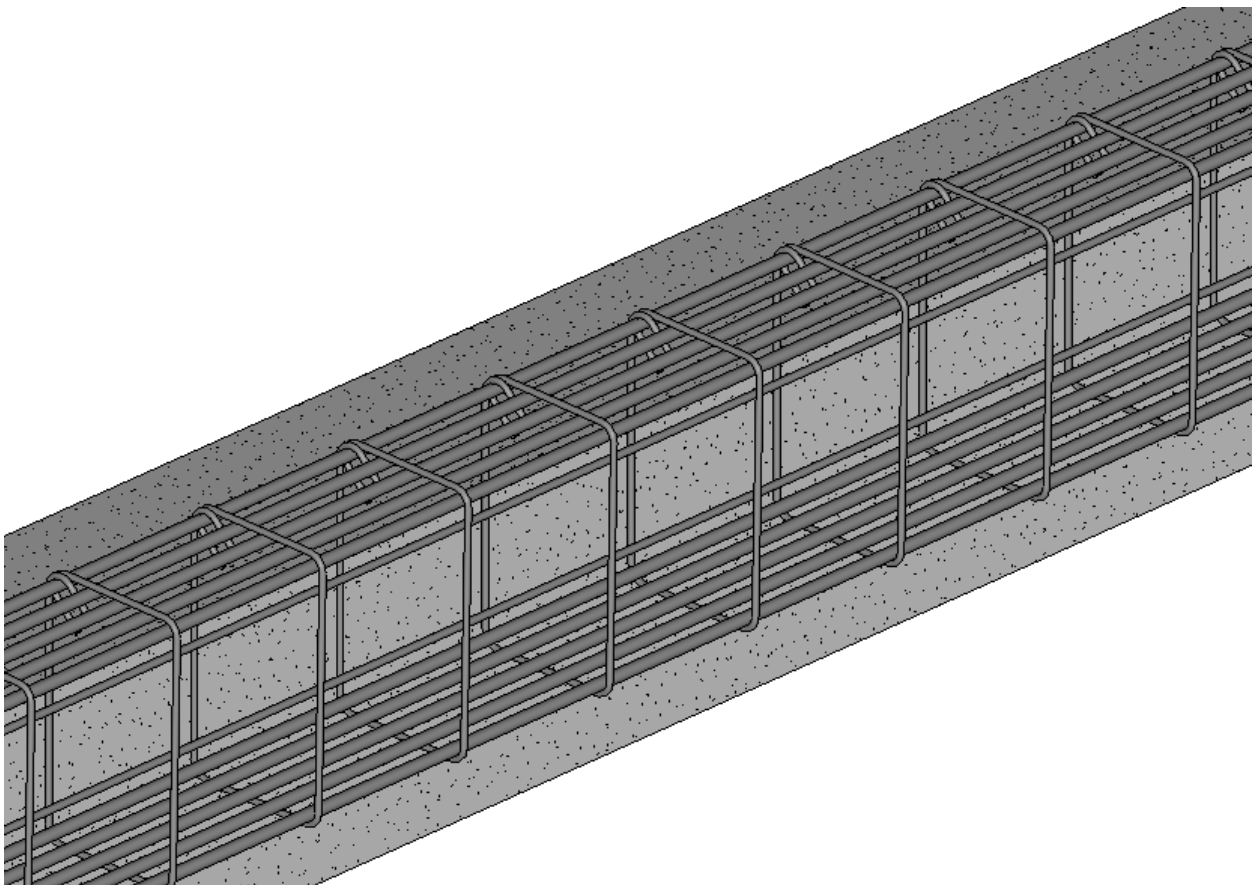


Figura 559 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.2

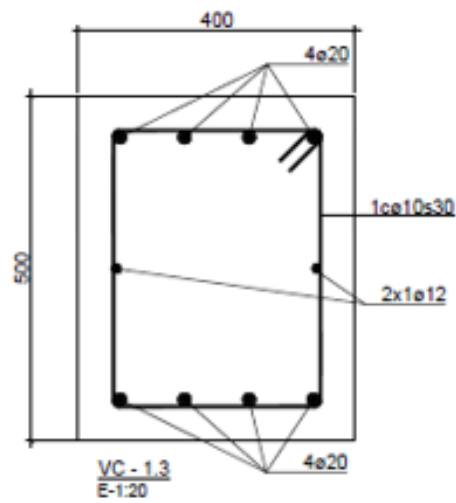


Figura 560 Geometría y armados viga riostra VC 1.3

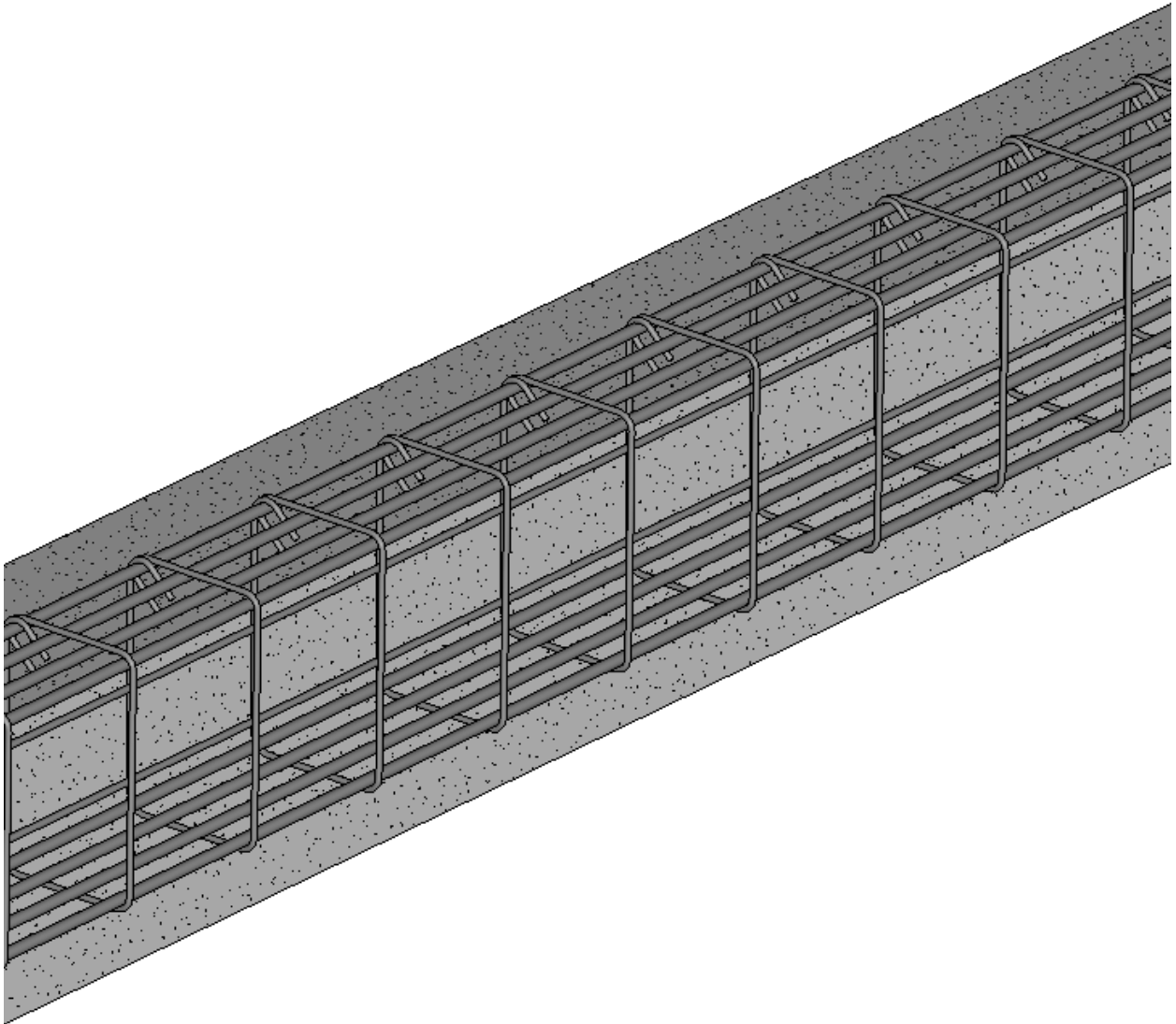


Figura 561 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.3

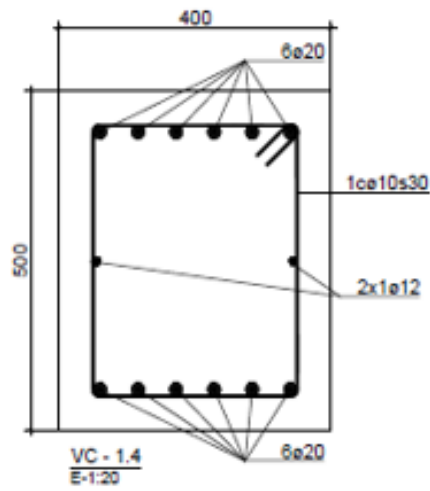


Figura 562 Geometría y armados viga riostra VC 1.4

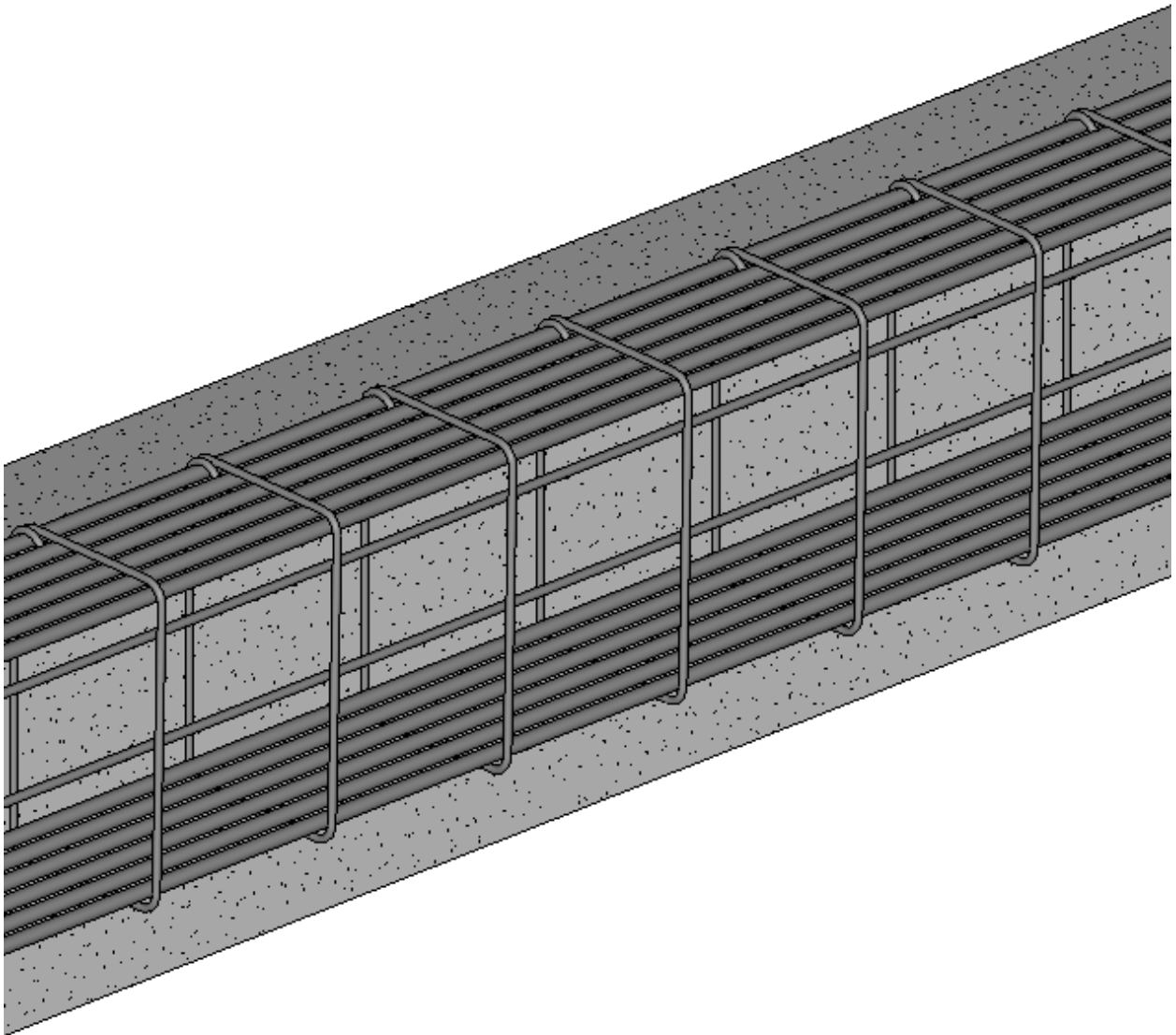


Figura 563 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.4

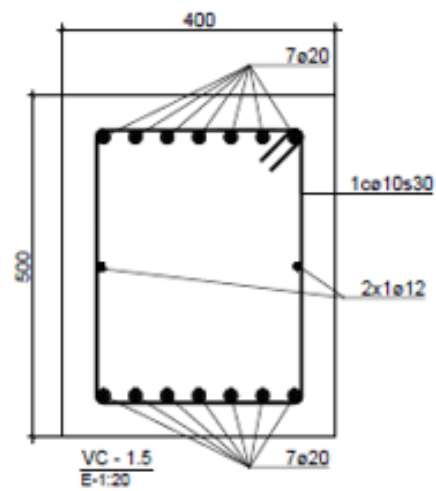


Figura 564 Geometría y armados viga riostra VC 1.5

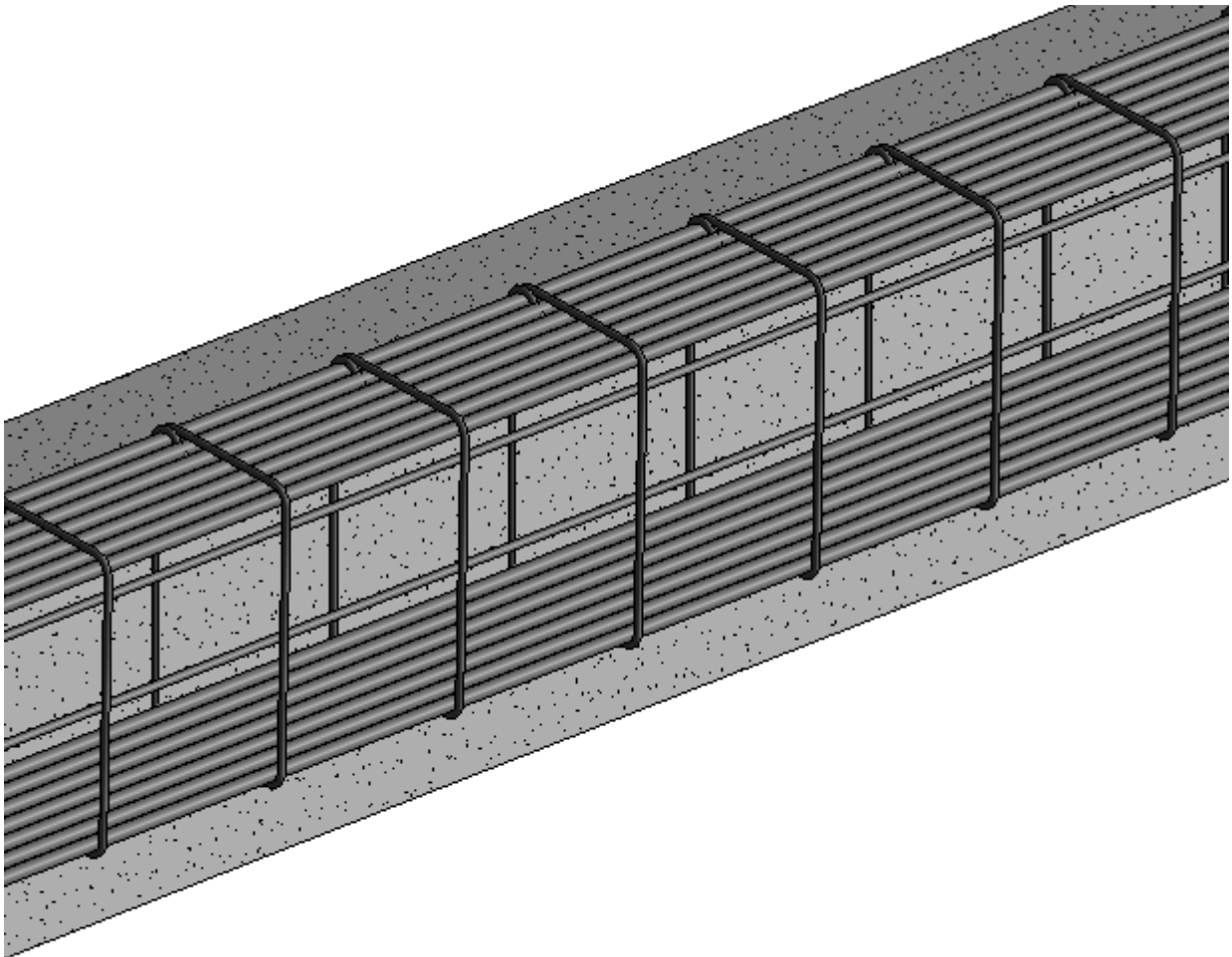


Figura 565 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.5

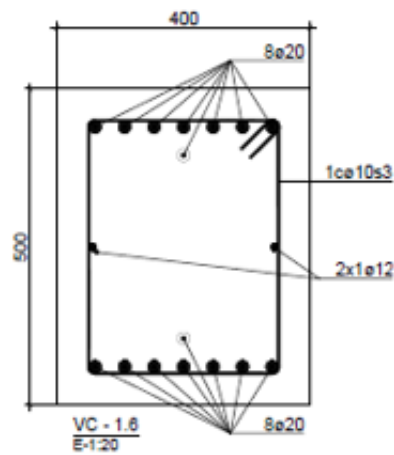


Figura 566 Geometría y armados viga riostra VC 1.6

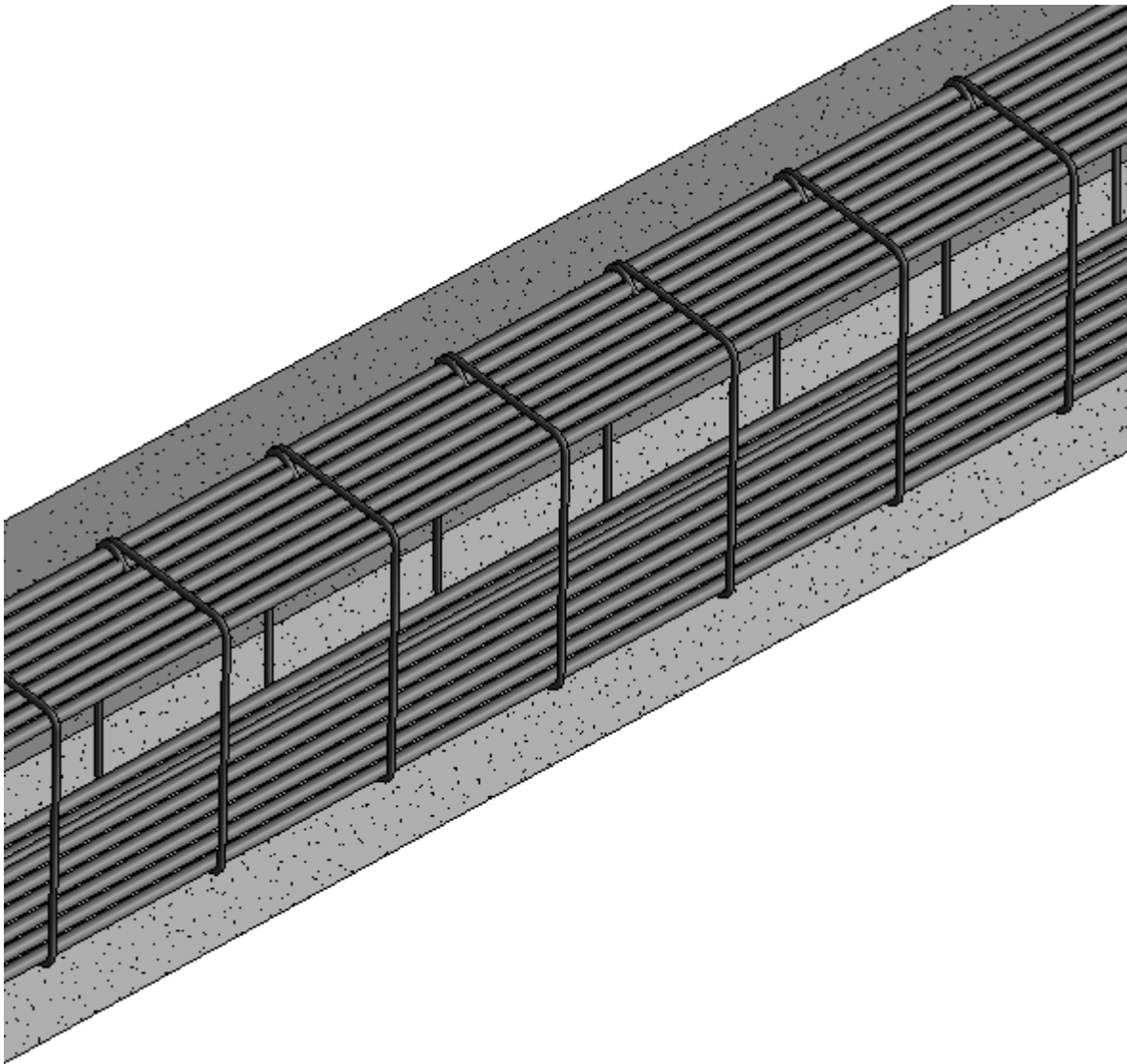


Figura 567 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.6

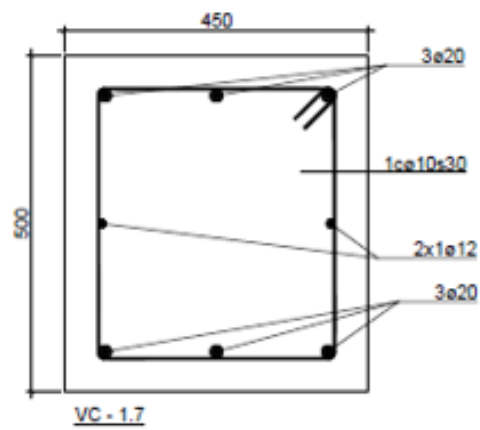


Figura 568 Geometría y armados viga riostra VC 1.7

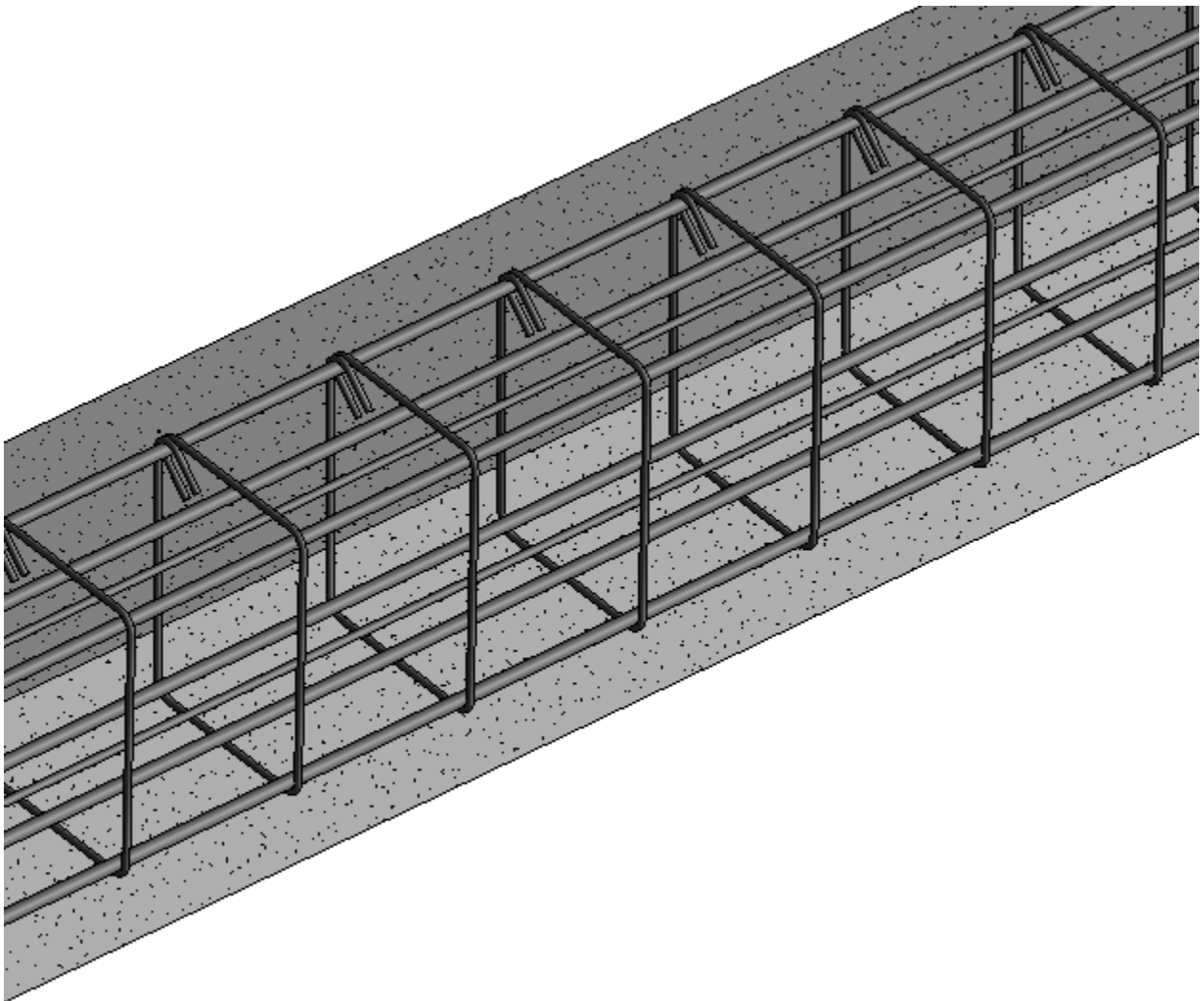
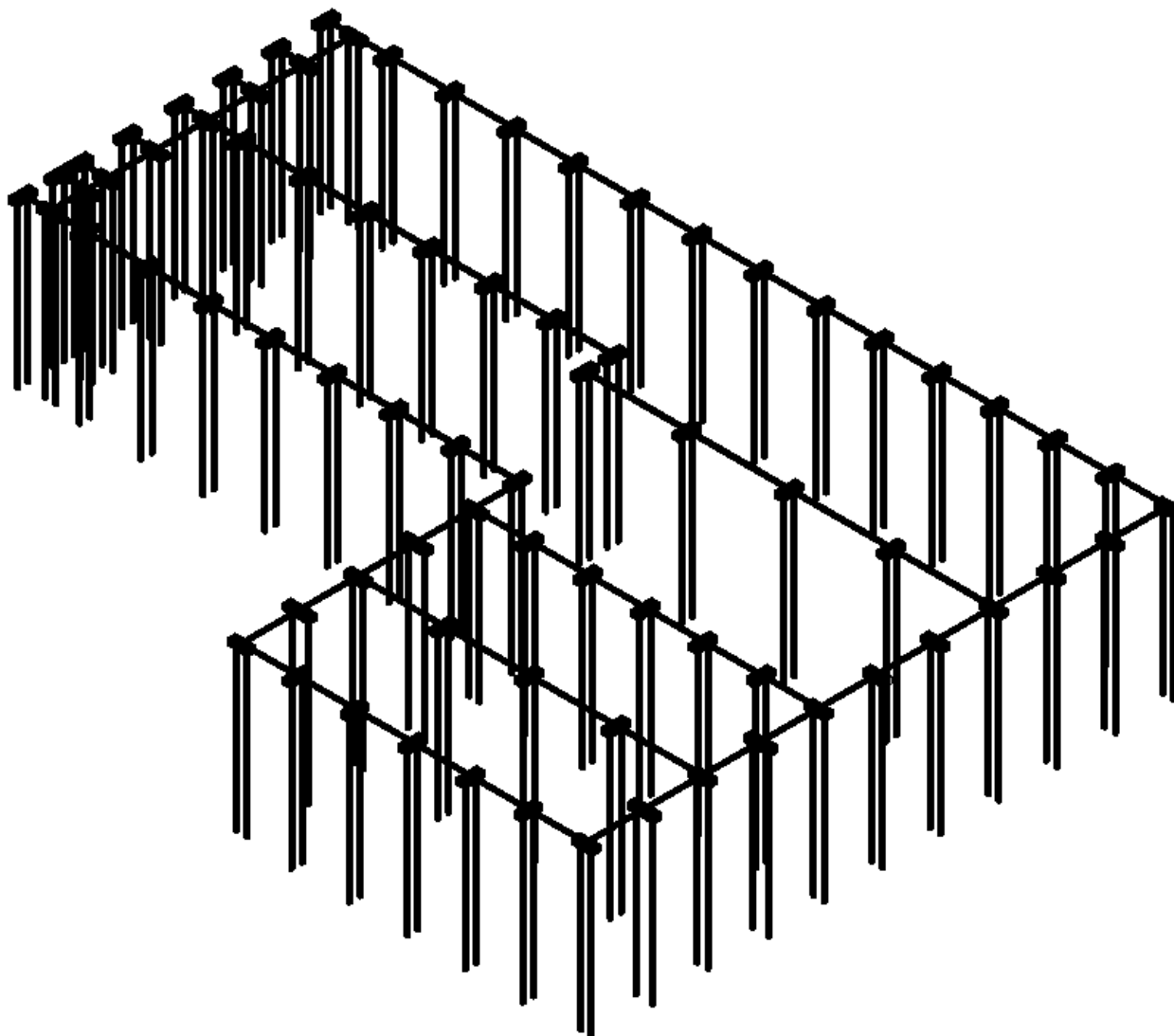


Figura 569 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.7

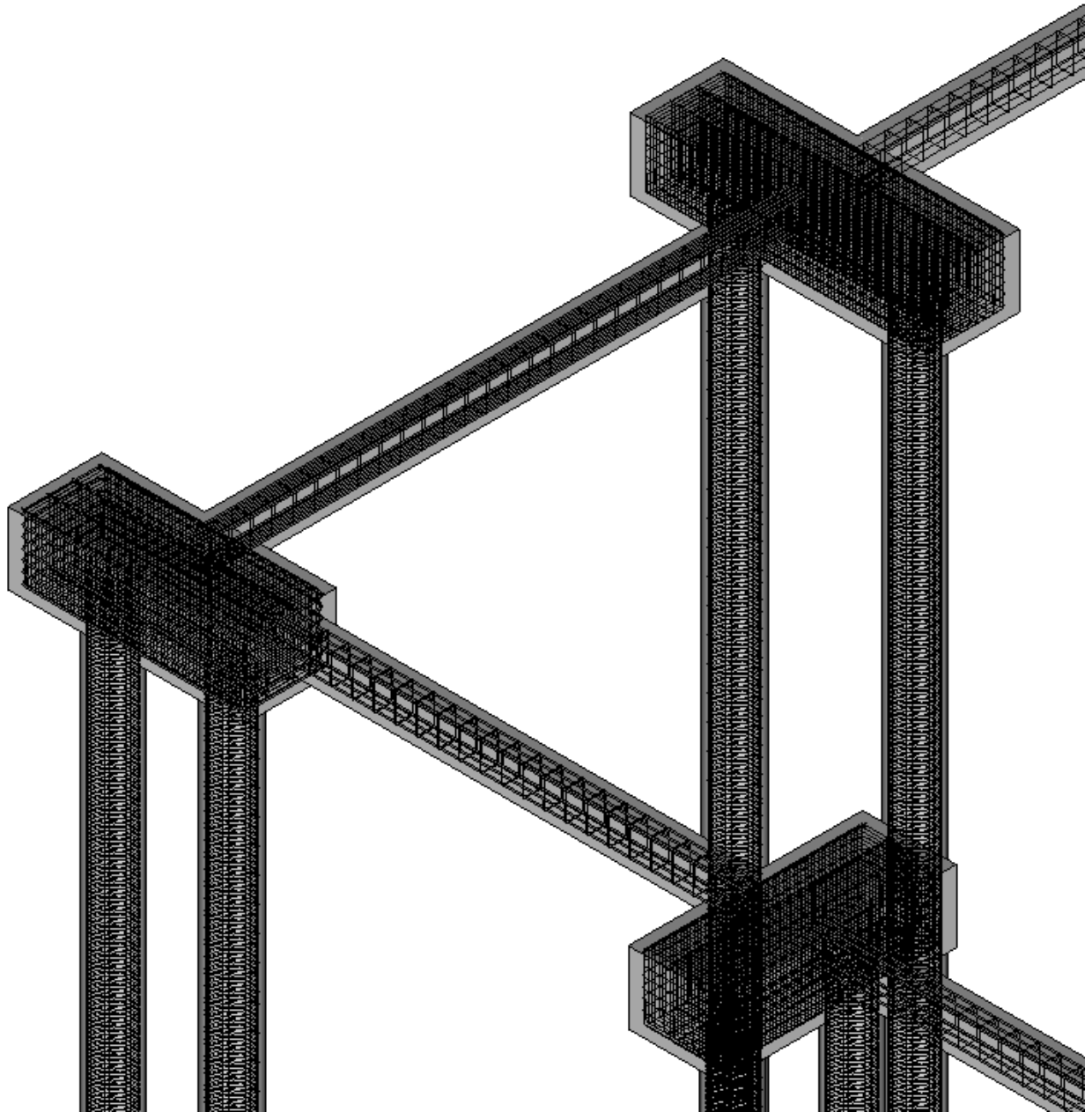
La parte de cimentación del modelo queda completa una vez generado el último armado. En el modelo, se puede ver cómo este armado se “apodera” del color del material en una vista isométrica:



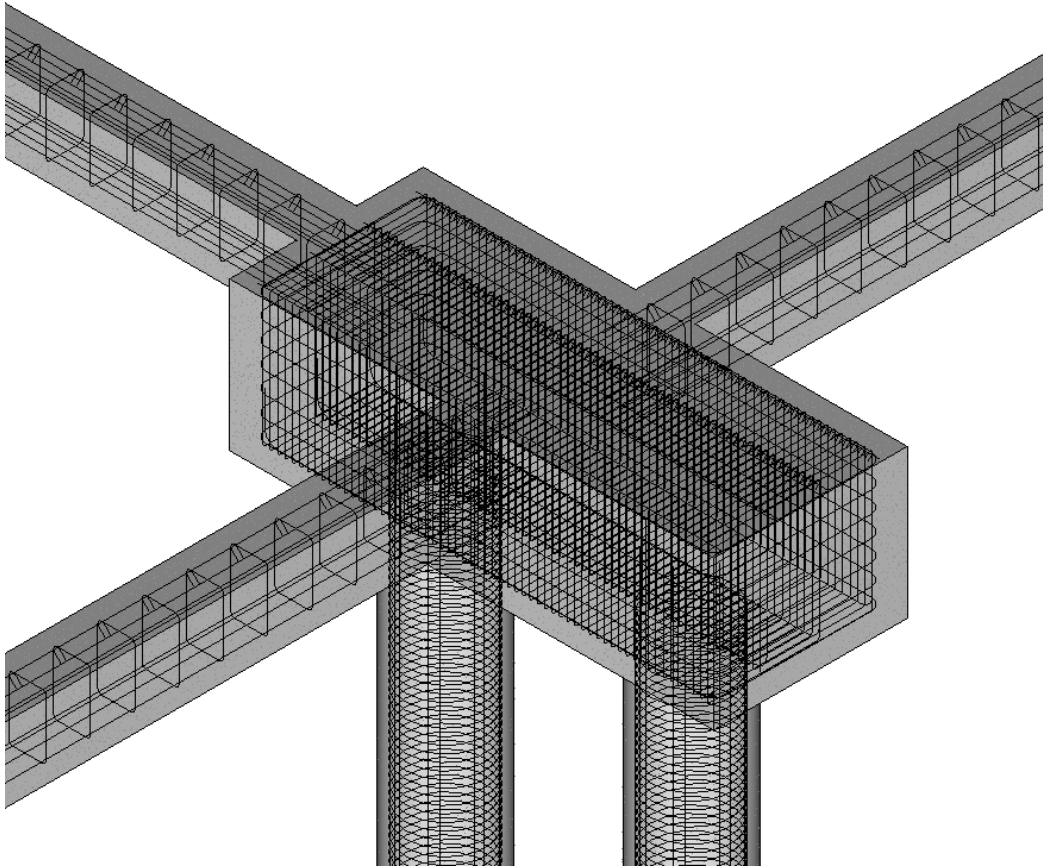
*Figura 570 Vista isométrica de cimentación. Armado visible*

El archivo comienza a pesar bastante en lo que respecta a la cantidad de información que tiene que ofrecer en pantalla, así como en número de elementos que tiene que relacionar. Hacer de esta armadura alambres, en lugar de elementos sólidos, ayuda a aligerar la carga visual, y permite realizar capturas como las que se han dispuesto a continuación sin necesidad de tener una tarjeta gráfica en el equipo especialmente potente:

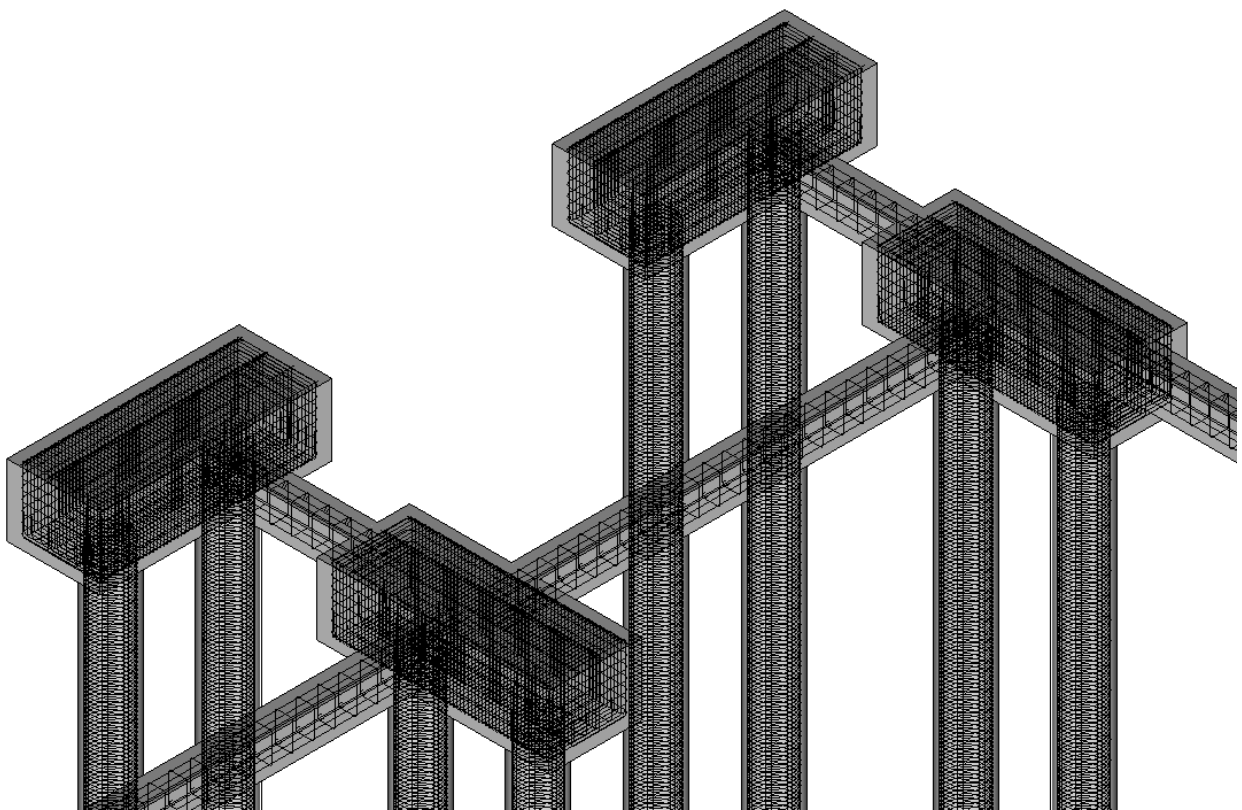




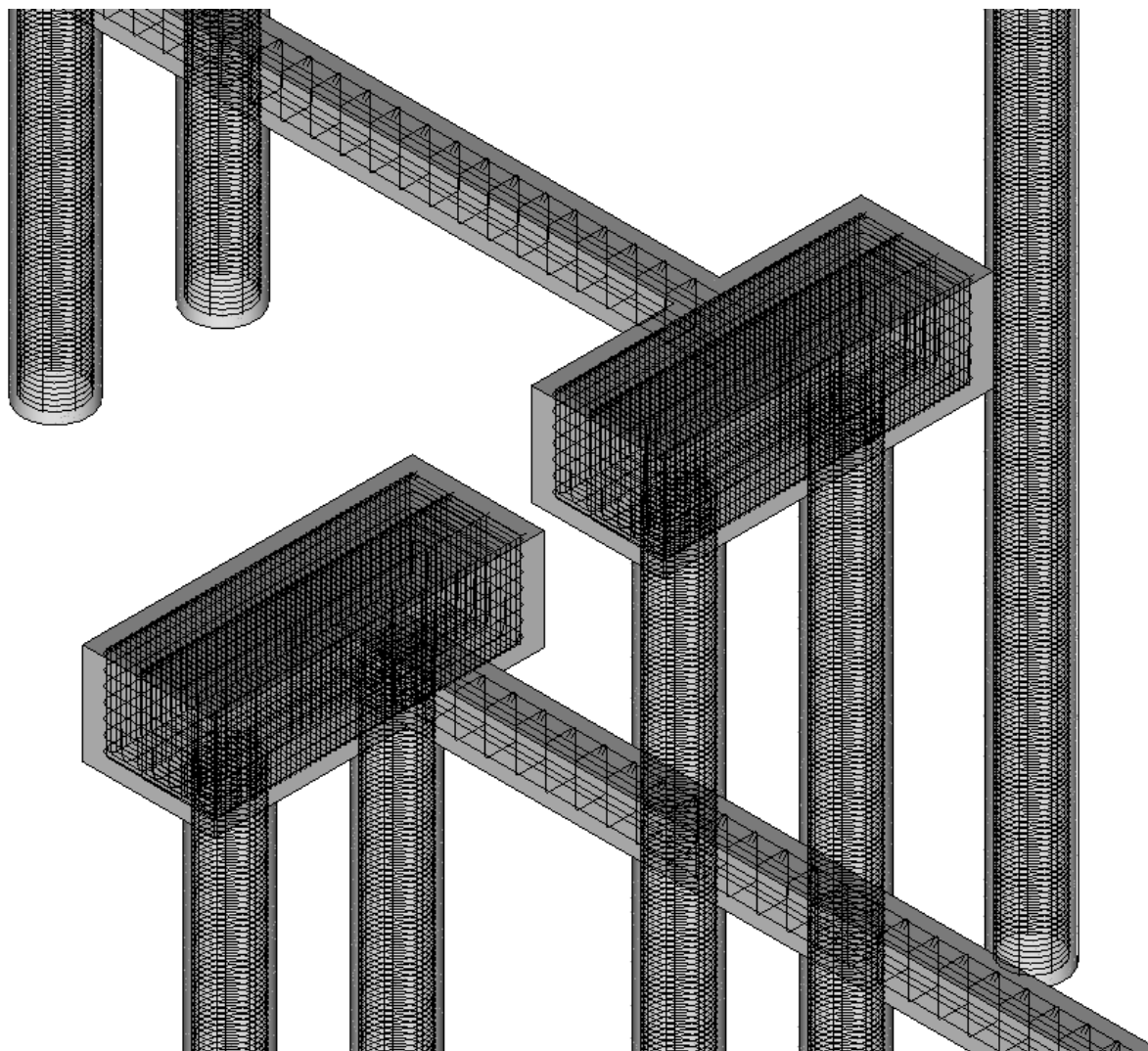
*Figura 571 Armado de la cimentación completo. Detalle 1*



*Figura 572 Armado de la cimentación completo. Detalle 2*



*Figura 573 Armado de la cimentación completo. Detalle 3*



*Figura 574 Armado de la cimentación completo. Detalle 4*

De cara a apartados posteriores, estos armados se ocultan en todas las vistas, salvo en aquellas específicamente creadas para albergarlos y poder visualizarlos, como puede ser el plano de cimentación o la vista 3D del modelo de Armados Cimentación. Es por ello, igual que ha ocurrido en este apartado con los armados ya dispuestos de los elementos de la estructura, los armados de cimentación dejarán de ser visibles para no cargar visualmente las capturas y permitir un manejo más fluido a la hora de colocar los elementos restantes.

## 4 Solera

La cota 0 sobre la que caminará el personal de la fábrica y se colocarán las máquinas de producción se consigue mediante la inserción de una solera. En lo que respecta a Revit, supondrá la introducción de un suelo de tipo arquitectónico de 40 cm de espesor, dado que como tal, y de cara al análisis estructural, no supondrá un elemento analítico a tener en cuenta en el cálculo (motivo por el cual se modeliza a posteriori del mismo).

El comando para introducir este suelo puede encontrarse en la pestaña Arquitectura – Suelo – Suelo arquitectónico, como puede verse en la siguiente imagen:

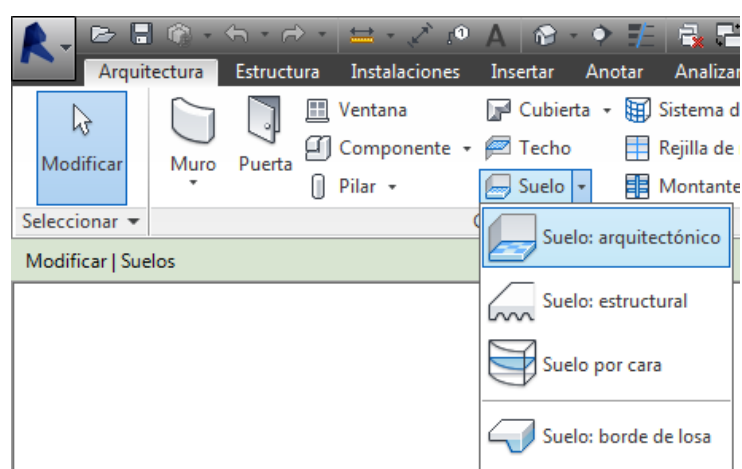


Figura 575 Localización comando Suelo arquitectónico

El comando requiere que el usuario esté situado en una vista en planta, puesto que necesita de un contorno para ser introducido, más concretamente, en la cota donde se situará su superficie superior. Además, se necesitará modificar el tipo de suelo, con base en uno genérico, igual que se han generado tipos de otros elementos hasta ahora en el trabajo para crear uno de espesor 40 cm.

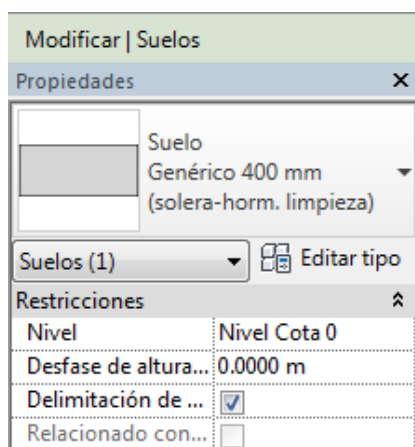
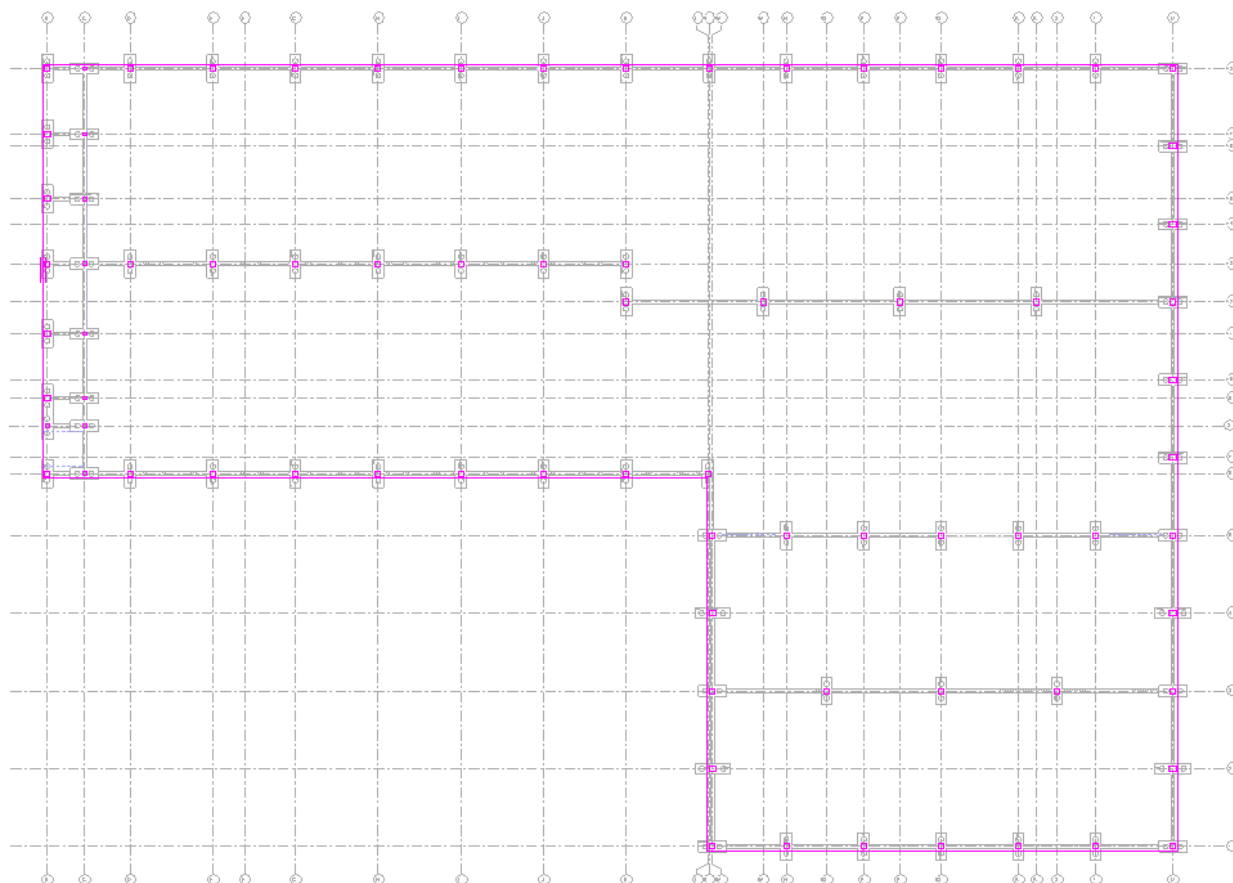


Figura 576 Tipo de suelo generado para solera: espesor 40 cm

La estructura de este suelo contendrá el material del que está compuesto el mismo: hormigón HA-25.

Con el tipo de suelo seleccionado, y desde una vista en planta en cota 0, se procede a definir el perímetro del suelo:



*Figura 577 Contorno de solera*

Como puede observarse, en esta definición se han incluido los huecos que supondrán los pilares en el propio suelo. Mero detalle realizado para que visualmente gane atractivo y realismo. Caso de no realizarse, en la visualización en 3D se tiene la impresión de que esta solera atraviesa a los pilares.

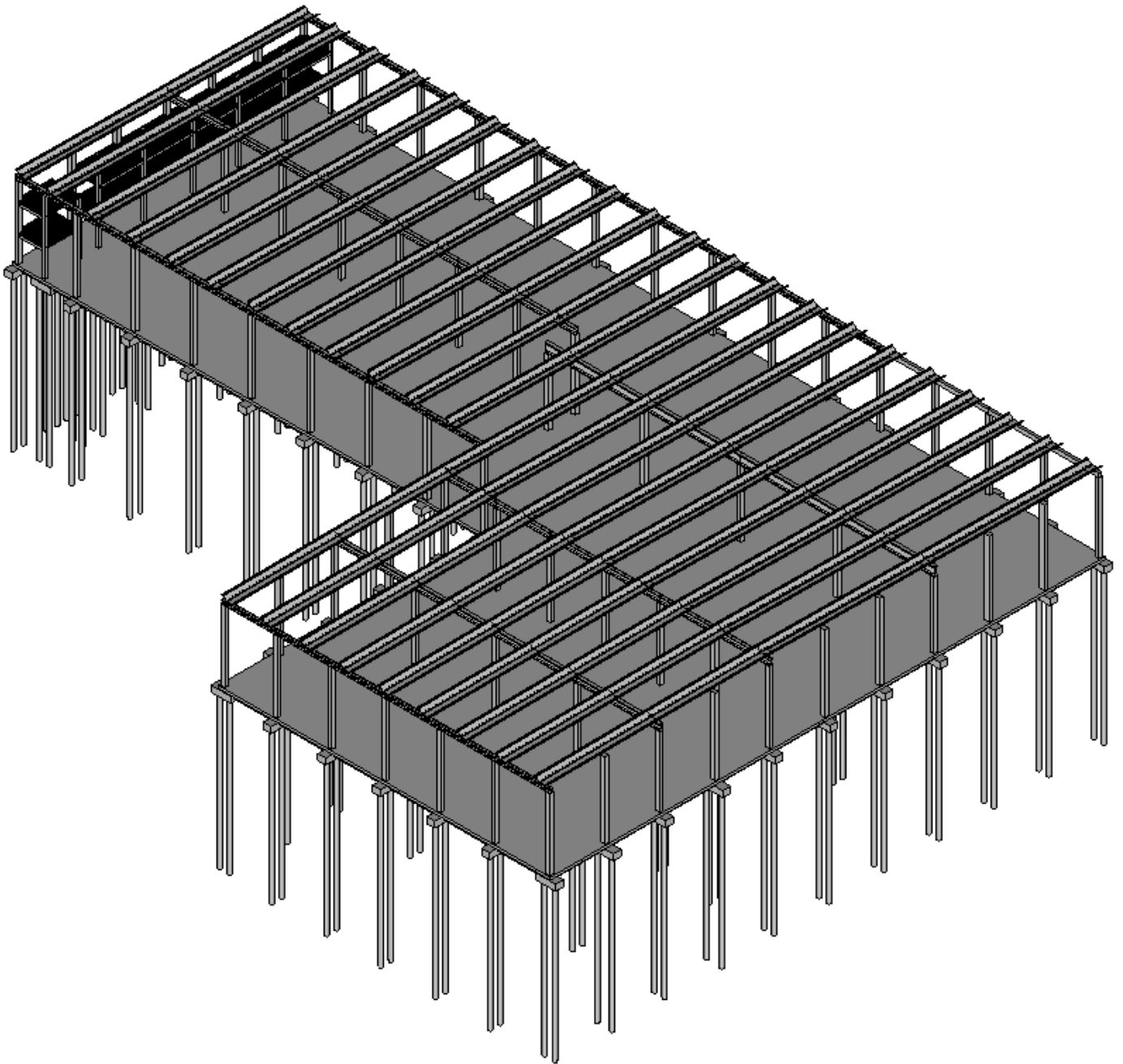
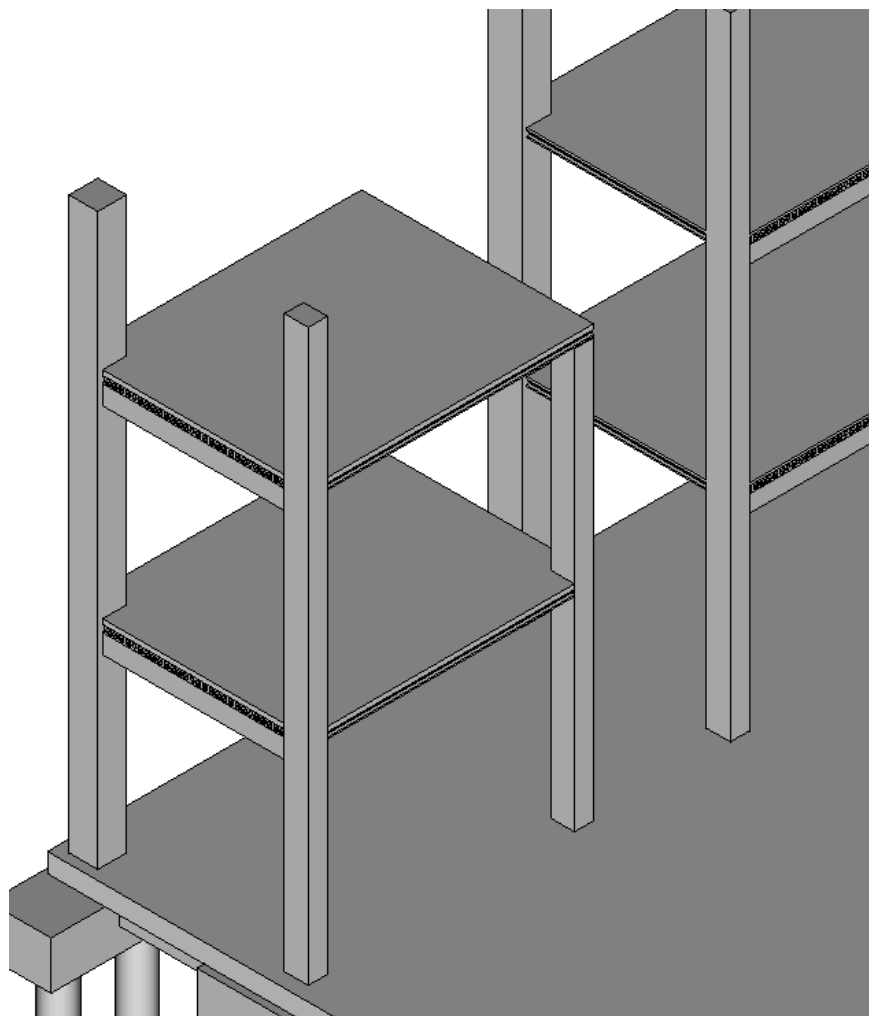


Figura 578 Vista 3D de la nave. Adición de la solera

## 5 Escalera

Siendo que existe una estructura con forjados, y un hueco especialmente generado para la colocación de una escalera, se ha visto conveniente colocar también este elemento en el proceso de refinamiento del modelo.

El hueco mencionado ha podido verse ya en varias imágenes en apartados previos de este documento, y es el presente entre las dos tipologías de forjados:



*Figura 579 Localización hueco para el tramo de escaleras. Vista 3D*

Ante la inexistencia de cualquier plano que especificase el tipo de escalera que se tiene previsto proyectar en la estructura real, se ha optado por introducir una escalera genérica de entre las opciones que ofrece Revit.



El comando puede localizarse en la pestaña Arquitectura – Escalera, y como puede verse en la imagen siguiente, existen dos metodologías de creación: por componente y por boceto. En la primera, se permite al usuario la colocación de los elementos de la escalera por separado: peldaños, descansillos y barandillas, se colocan de forma independiente; es un método especialmente útil cuando se van a seguir geometrías complejas. En la segunda metodología, por boceto, la escalera se coloca al completo, con todos sus componentes, simplemente indicándole el recorrido que seguirá, y los valores de sus parámetros (contrahuella de peldaños, ancho de descansillos, tipo de barandilla...). Será esta última la que se escoja para colocar la escalera genérica:

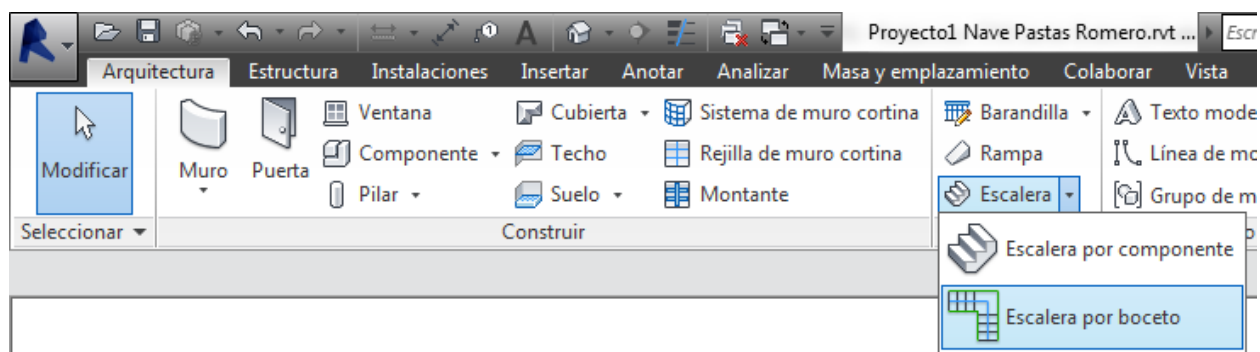


Figura 580 Localización comando Escalera por boceto

El recorrido del primer tramo, que empezará en cota 0, y llegará hasta cota altura de forjado 1, es el siguiente:

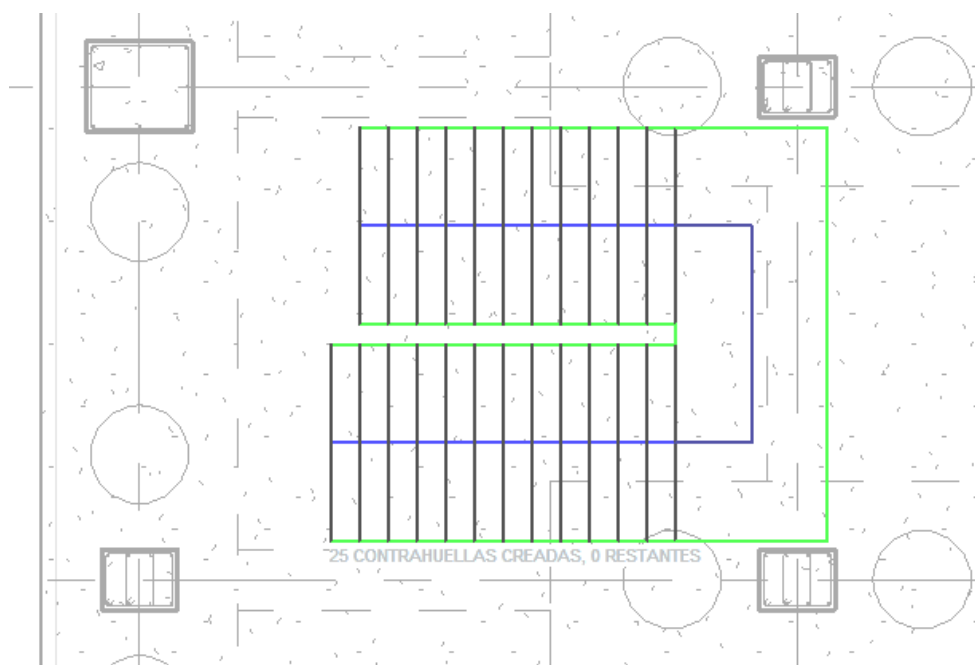
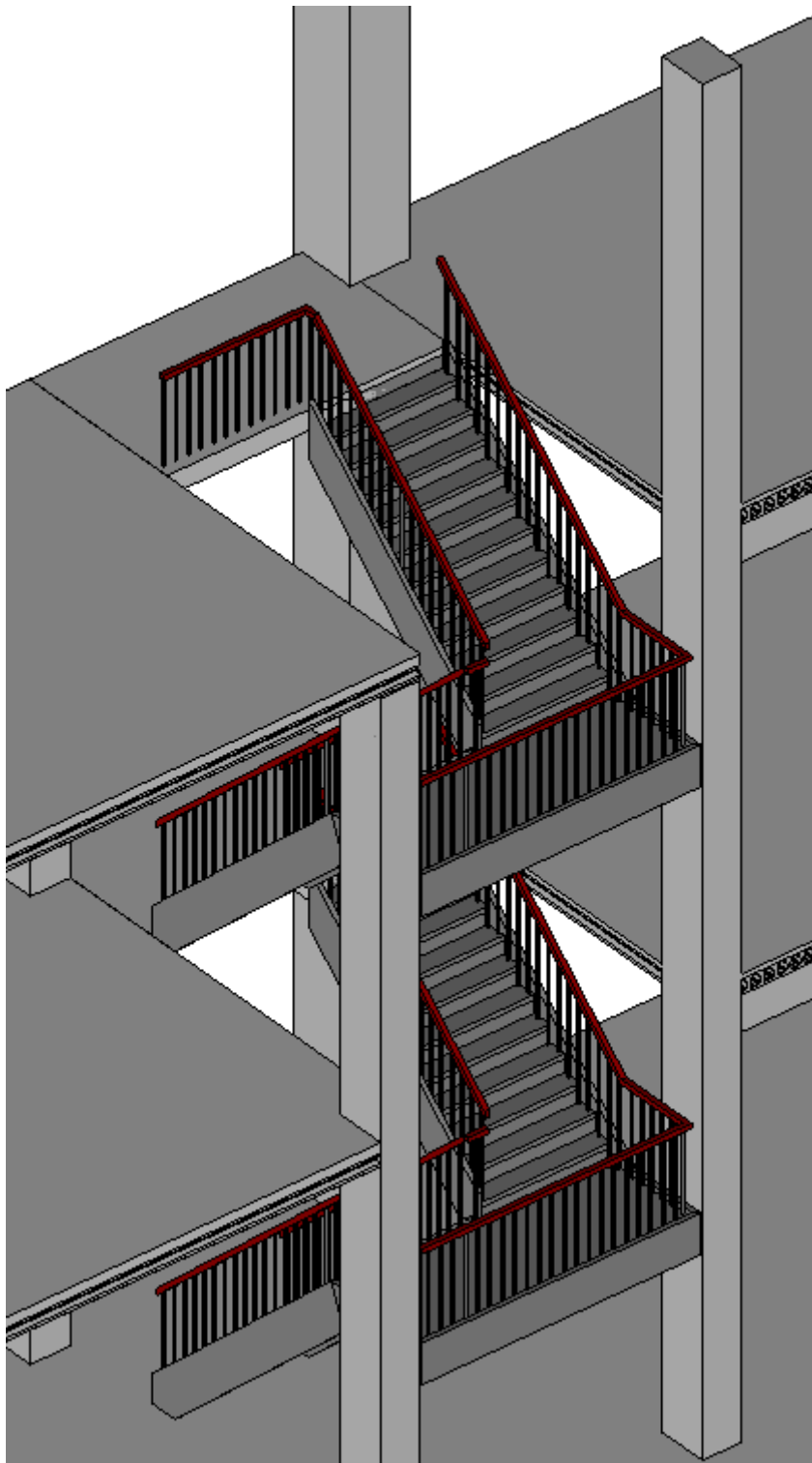


Figura 581 Boceto de recorrido de escalera genérica

Una vez se tiene este primer tramo, obtener el segundo es cuestión de duplicarlo en la cota altura forjado 1, y añadir un cierto desfase que adapte las alturas al entrepiso en que se sitúa el segundo tramo.

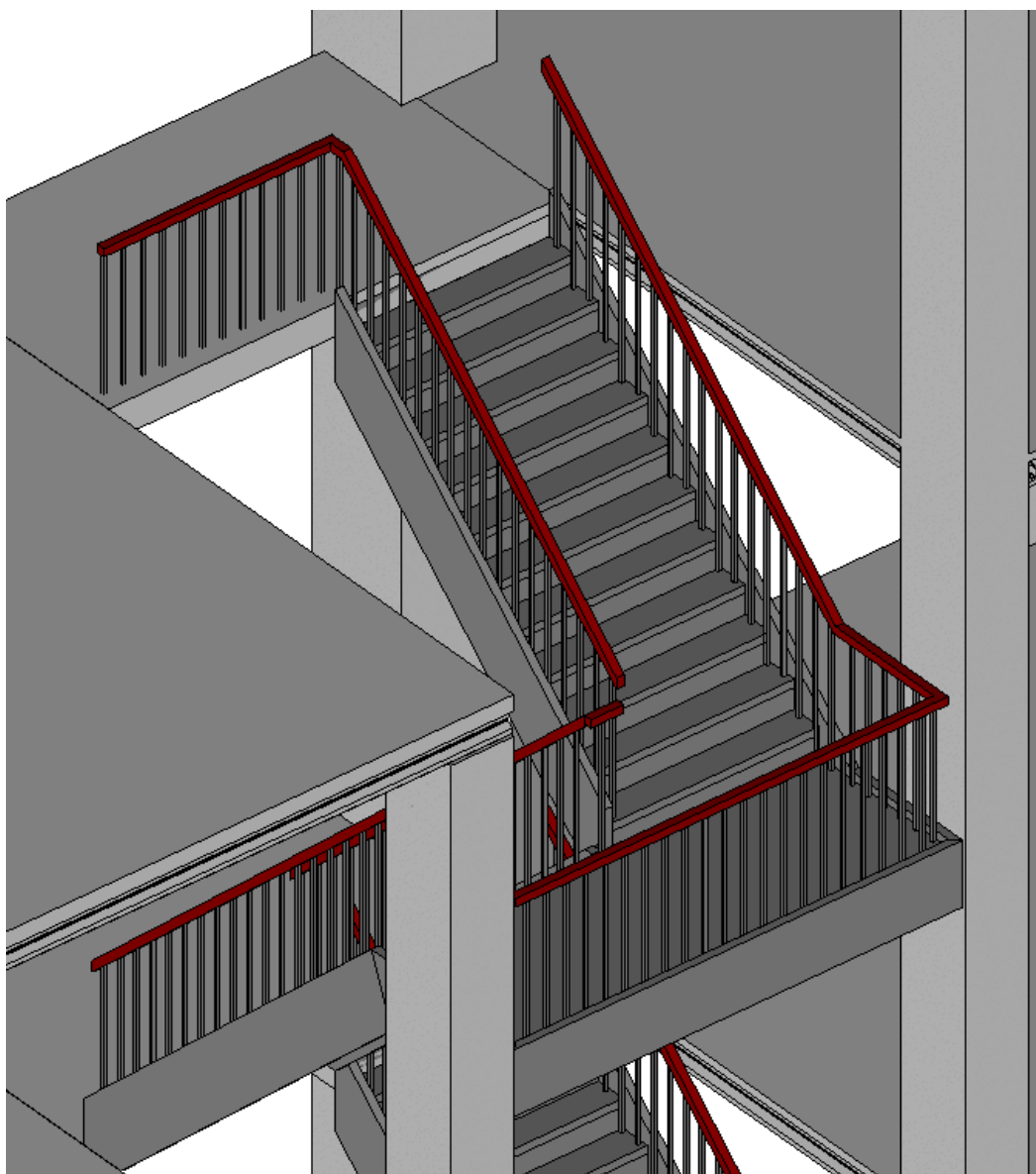
La escalera generada es del tipo que viene por defecto en Revit. Pueden modificarse los materiales de los elementos a voluntad. En este caso, se han editado para que las escaleras sean de hormigón HA-25, y la parte superior de las barandillas de acero con acabado en rojo metal, para que coincida con el acabado que se dará a puertas y marcos de ventanas.

El resultado final es el que puede verse a continuación:



*Figura 582 Escalera genérica modelizada en Revit*

Nótese el detalle que se ha conseguido, además, añadiendo los descansillos en los que termina cada tramo de escaleras en cada altura de forjado mediante un nuevo suelo arquitectónico a cada altura, así como la barandilla extra añadida en el que queda más alto para cerrar el hueco que daría a la escalera.



*Figura 583 Escalera genérica modelizada en Revit. Detalle barandilla superior*

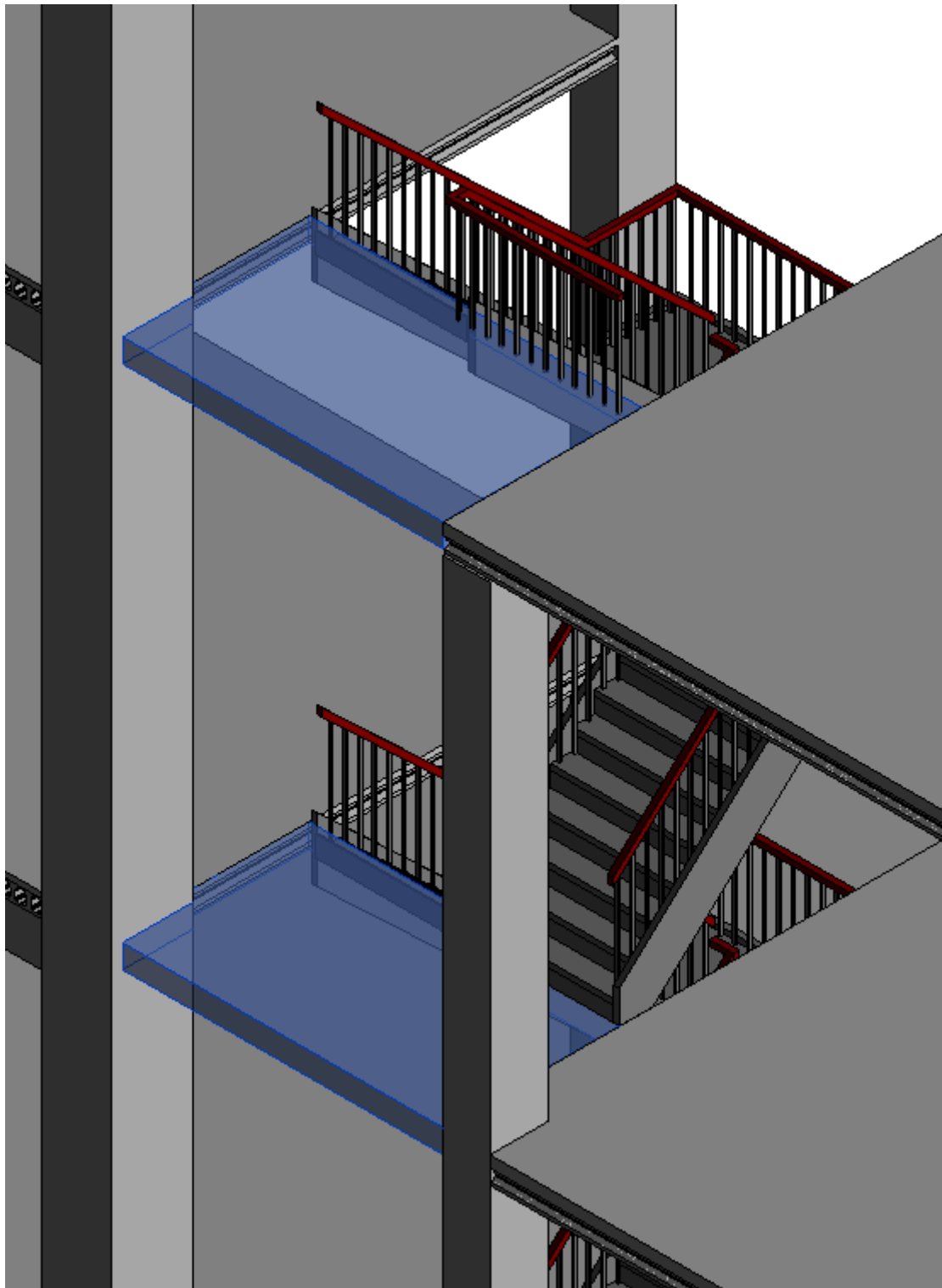
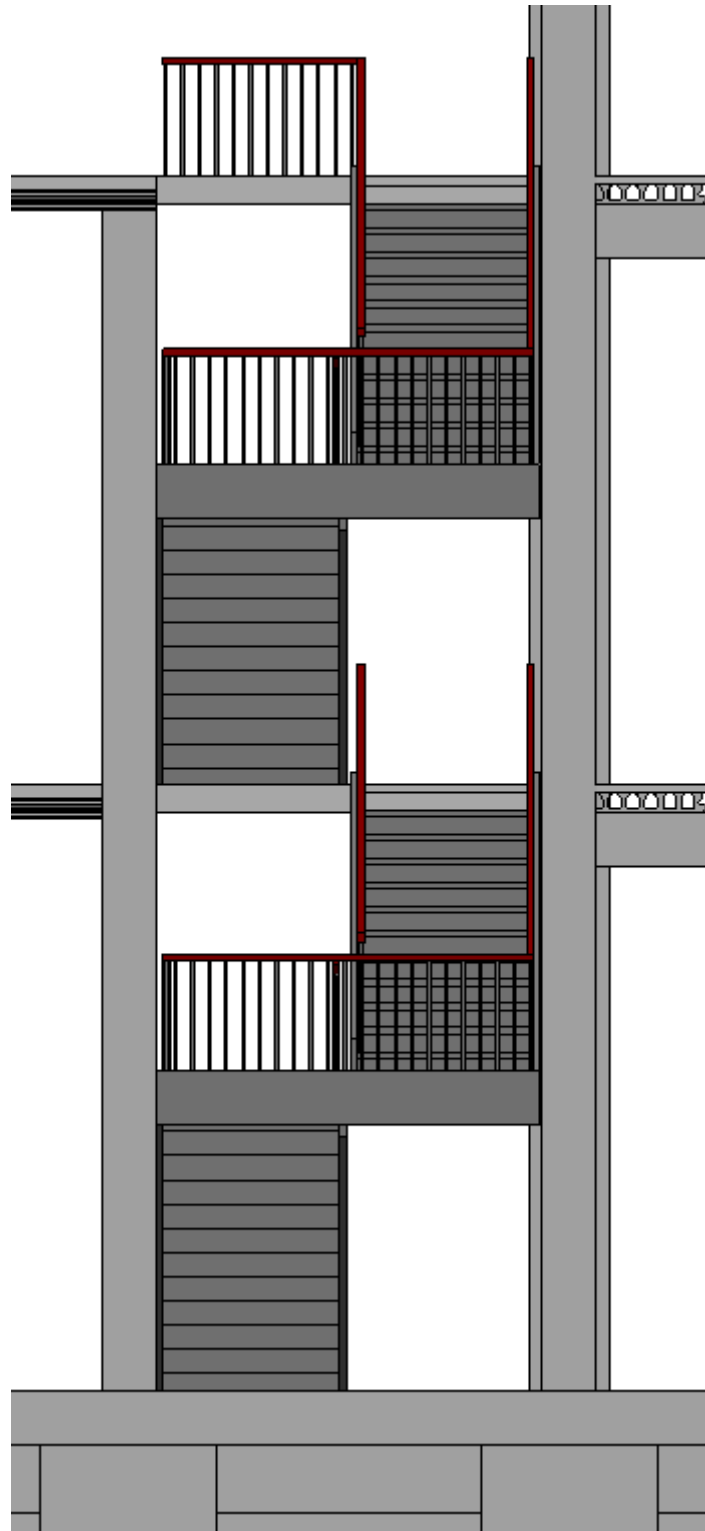


Figura 584 Escalera genérica modelizada en Revit. Detalle doble descansillo arquitectónico



*Figura 585 Escalera genérica modelizada en Revit. Vista lateral 1*

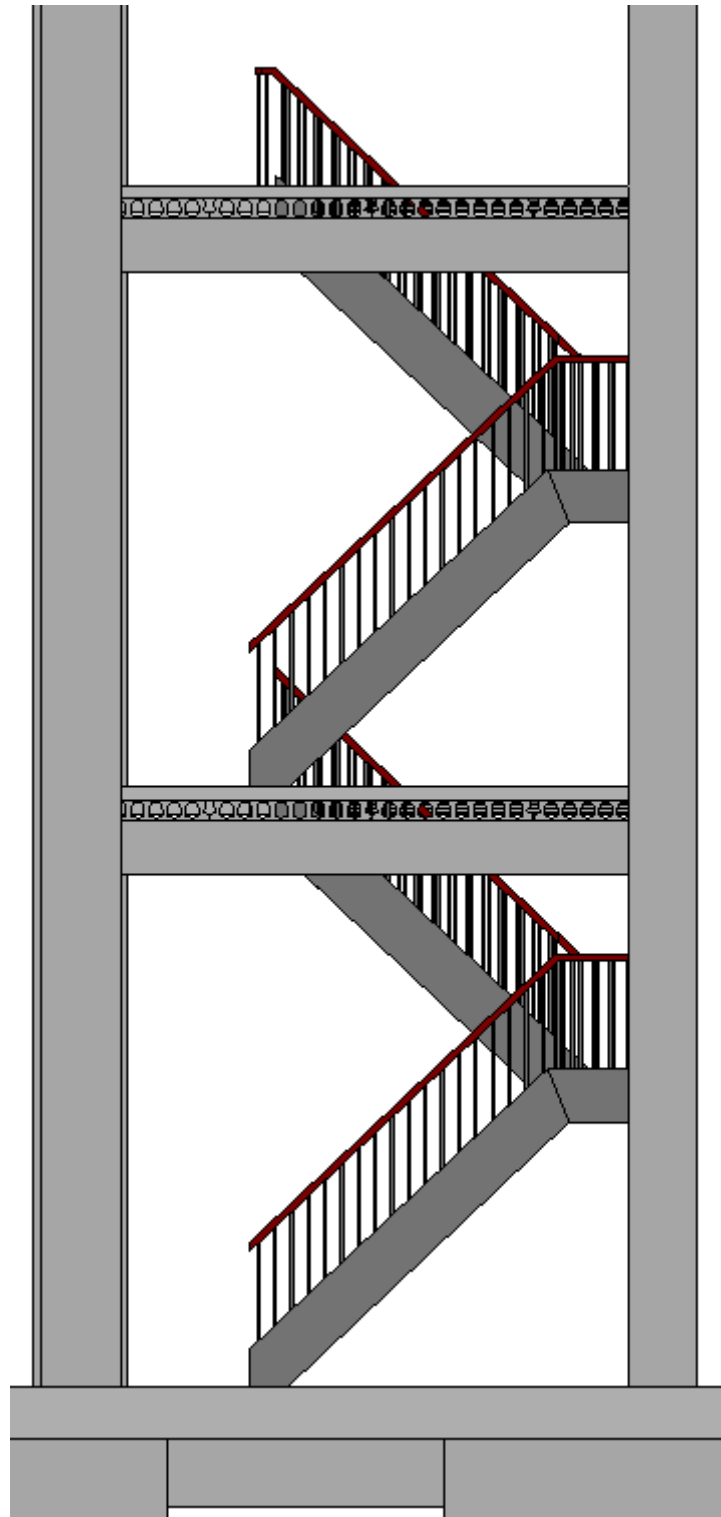


Figura 586 Escalera genérica modelizada en Revit. Vista lateral 2

## 6 Cerramiento, puertas y ventanas

Al revestimiento arquitectónico que tendrá el esqueleto estructural generado se le denomina cerramiento. En el proyecto real, se proyecta mediante láminas de hormigón prefabricado, pero dado el arduo trabajo que supondría modelizar un cerramiento de esas características, lo que se va a hacer en Revit es colocar un muro de espesor 20 cm continuo en todo el perímetro, apoyado en la cara exterior de los pilares, al que posteriormente se le asignará un material con un relieve que asemeje aquél que tendría una consecución de láminas de hormigón prefabricado.

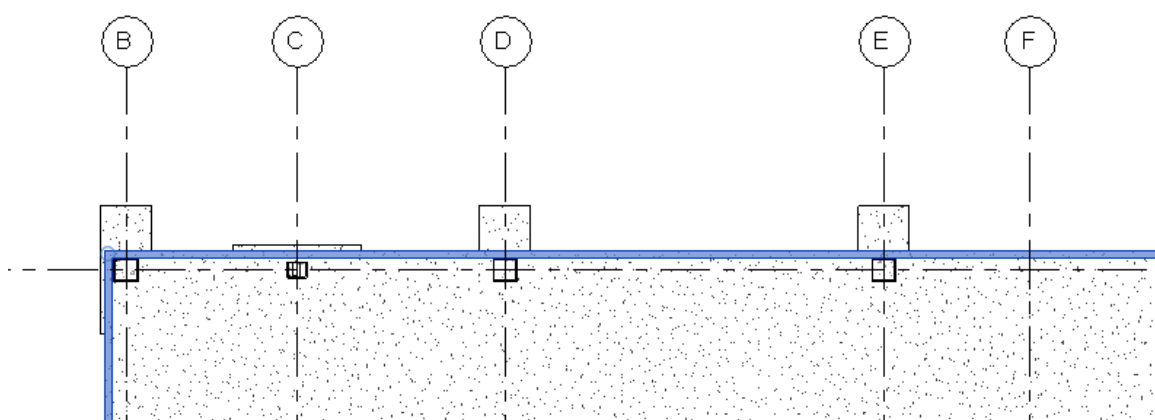


Figura 587 Cerramiento perimetral

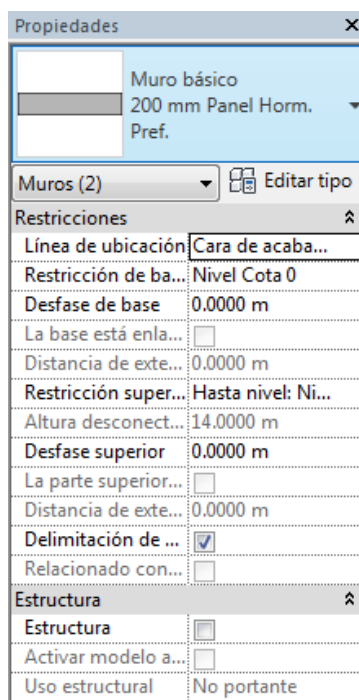


Figura 588 Tipo de muro generado. Espesor 20 cm



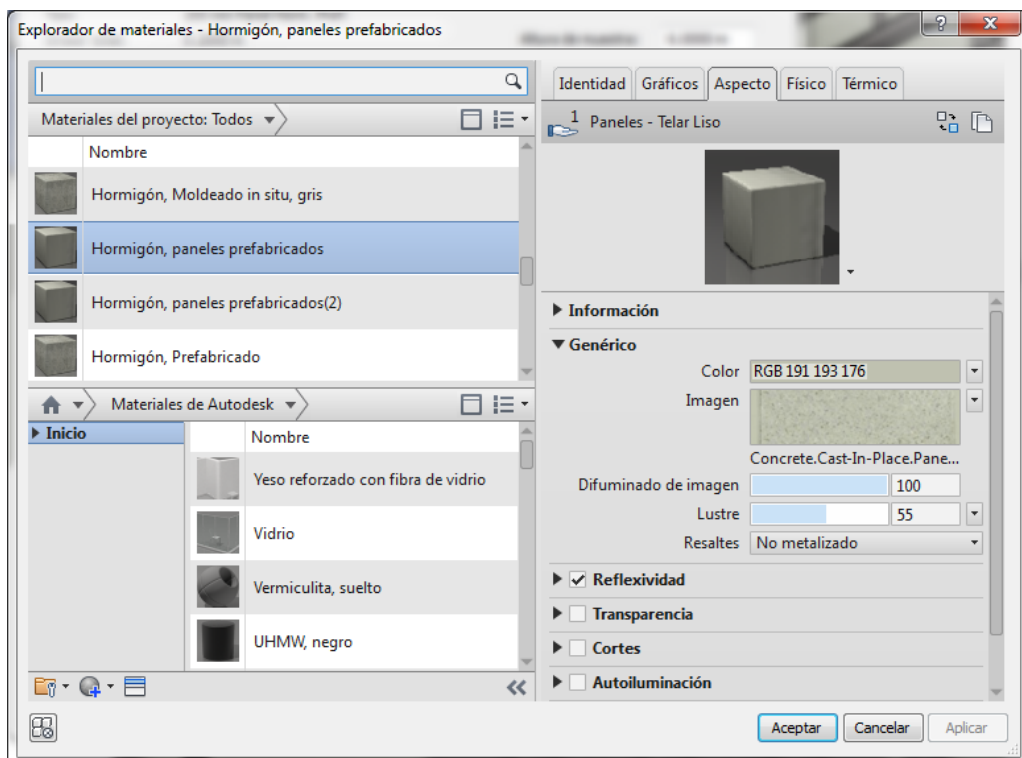


Figura 589 Material del muro de cerramiento: Hormigón, paneles prefabricados

El aspecto que ofrece el material en el modelo puede modificarse a voluntad y ampliar las dimensiones de la imagen con el fin de llevarlas a una dimensión que asemeje la distancia entre pilares que puede encontrarse repetida un mayor número de veces en la estructura:

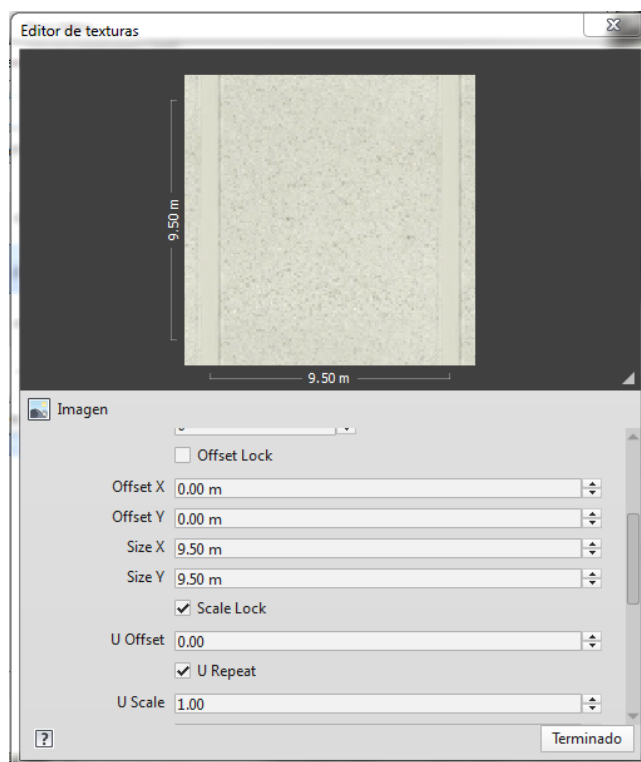
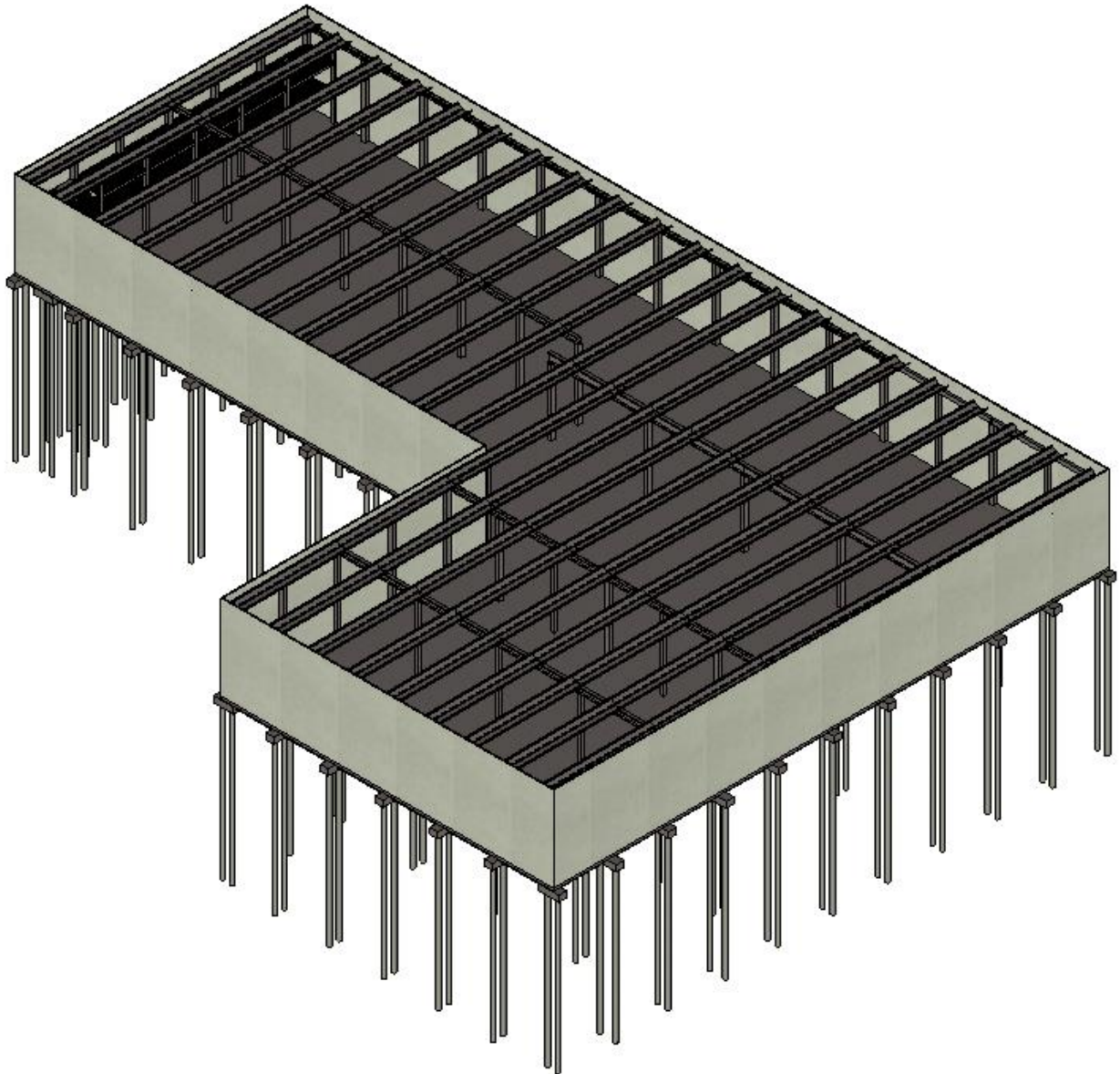
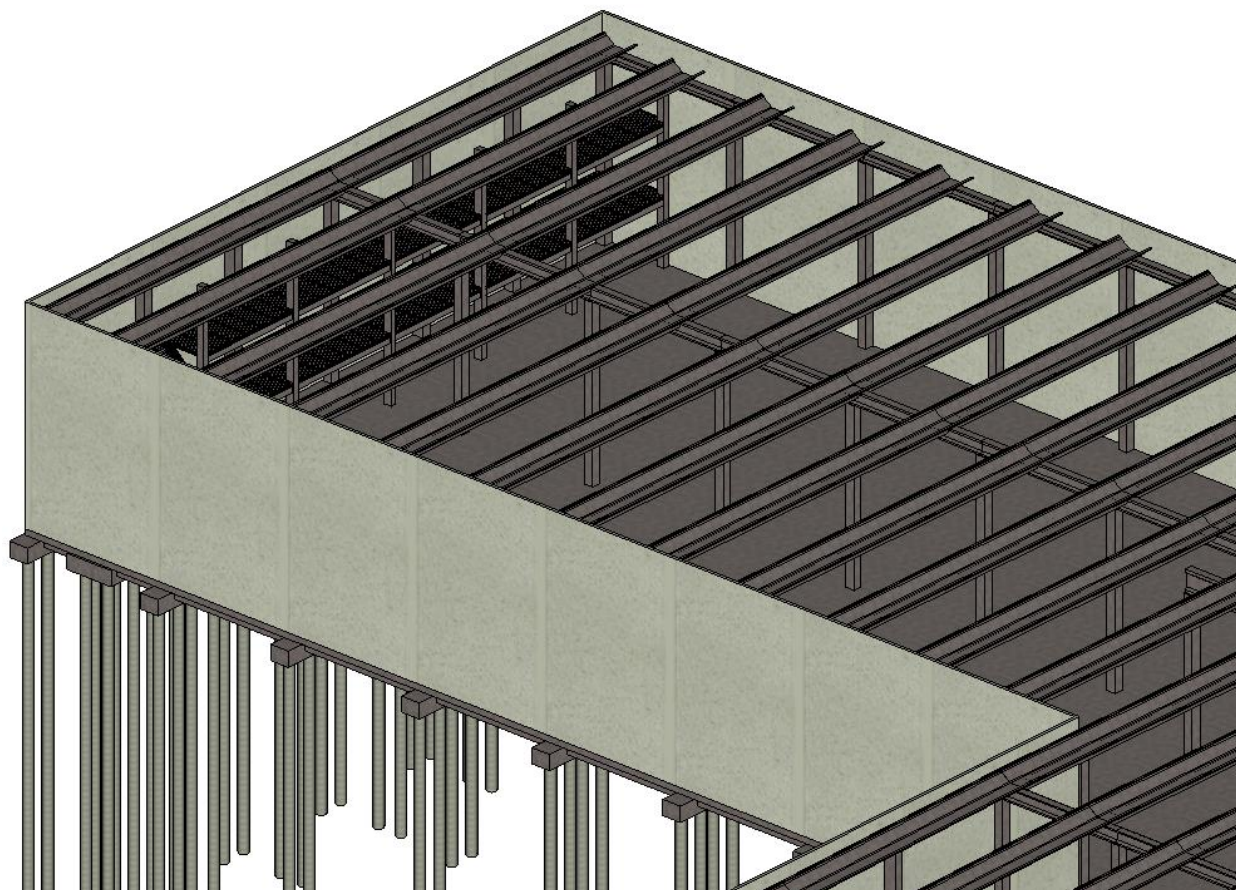


Figura 590 Editor de texturas. Material: Hormigón, paneles prefabricados

Al final, se termina obteniendo el siguiente resultado:

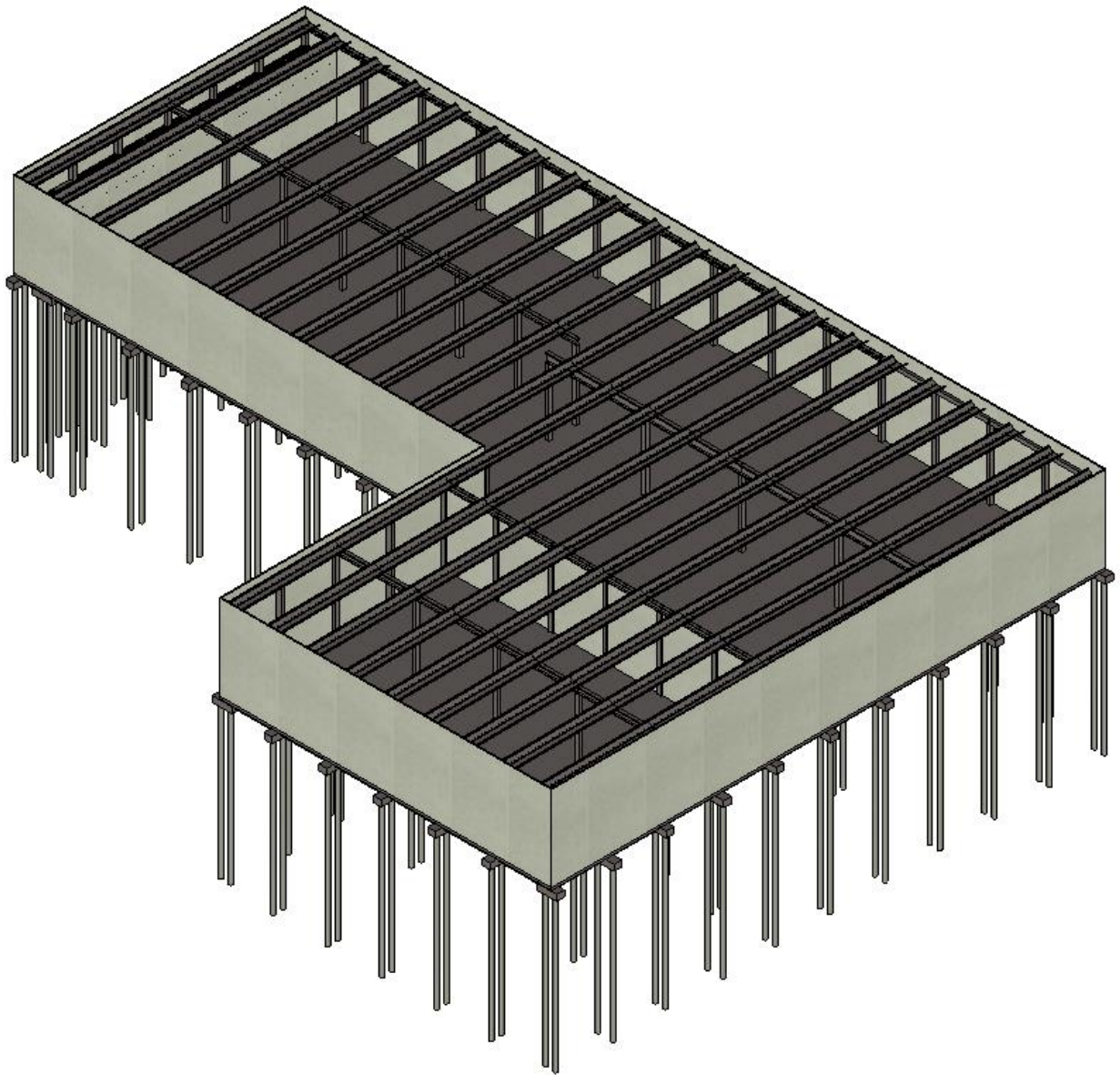


*Figura 591 Cerramiento perimetral modelizado en Revit. Modelo completo. Vista 3D*



*Figura 592 Cerramiento perimetral modelizado en Revit. Detalle*

A éste cerramiento puede añadirse el interno, es decir, el que cubre toda la zona de forjados y la separa del interior de la nave, y la que actúa de separación entre las zonas de producción y de expedición, esto es:



*Figura 593 Modelización de cerramientos y muros internos. Modelo completo. Vista 3D*



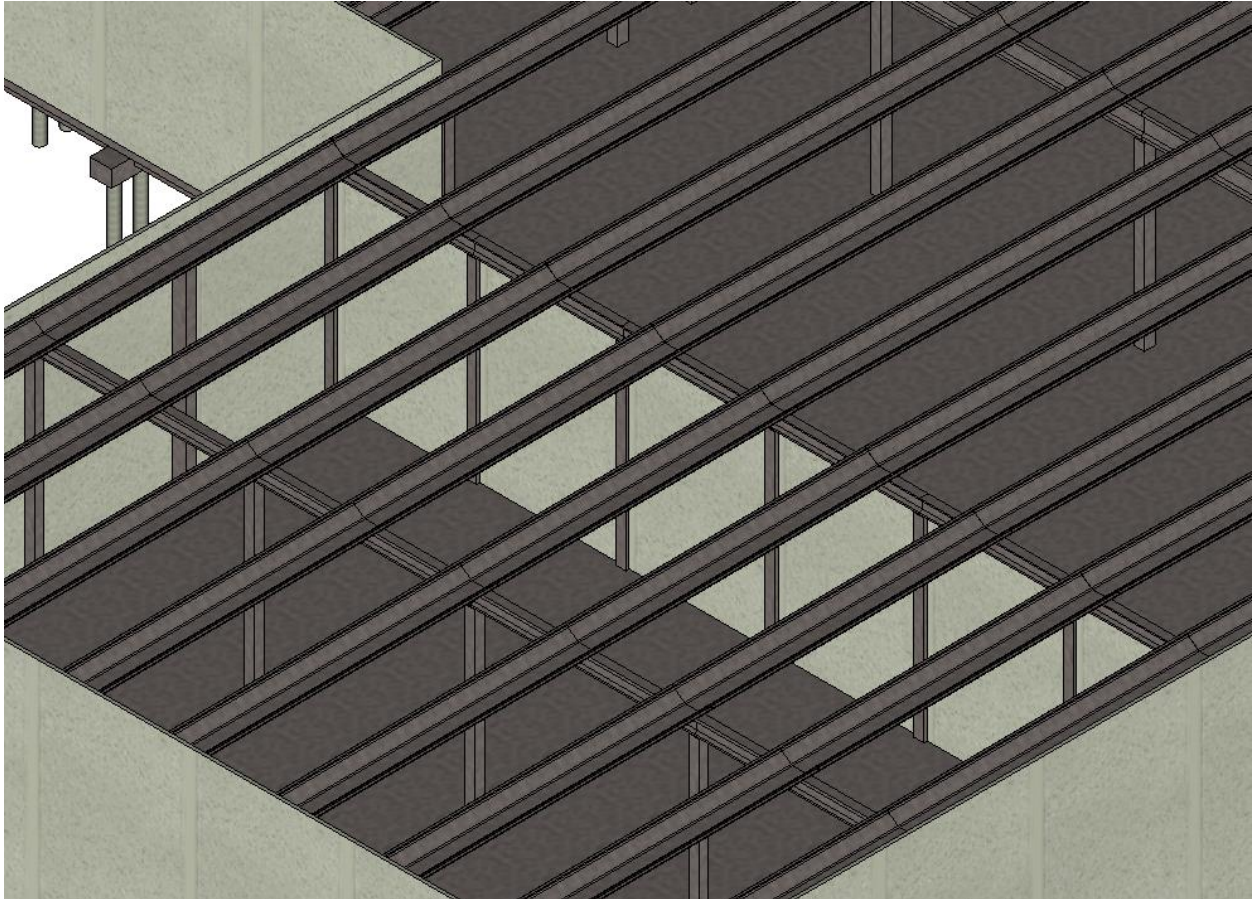


Figura 594 Modelización de cerramientos y muros internos. Detalle muro separación zonas. Vista 3D

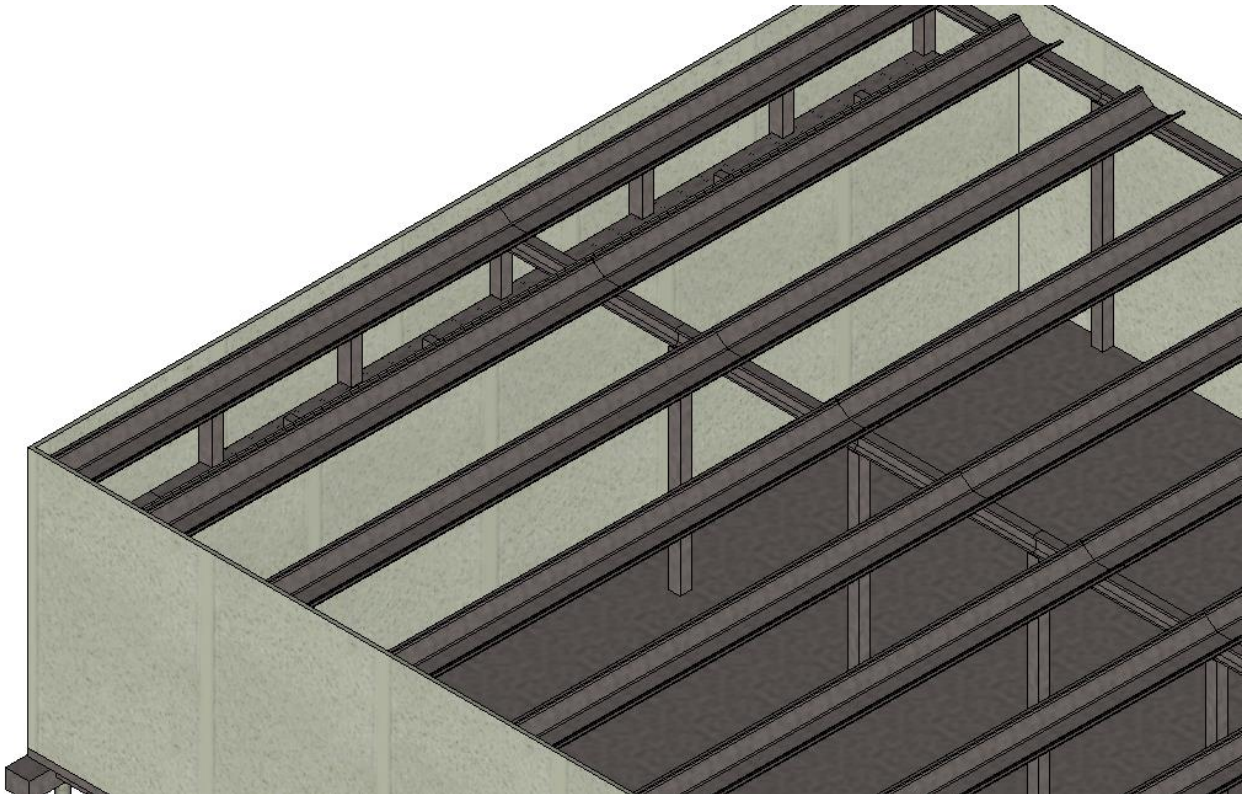


Figura 595 Modelización de cerramientos y muros internos. Detalle muro interno forjados. Vista 3D

La modelización de este último visto en las figuras previas conlleva un periodo posterior a la colocación de modificación de la forma para adaptar toda su parte superior a la pendiente de cubierta, dado que termina en el canto de las vigas Artwind colocadas inmediatamente encima del muro. Asimismo, en esta edición de forma, se generan los huecos en la misma que permitirán dejar pasar las vigas salvapilar.

A la modelización del cerramiento le sigue la colocación de puertas y ventanas. Ambos elementos son elementos hospedados, esto es, que necesitan de la existencia previa de un muro para poder ser colocados.

Los dos comandos pueden ser encontrados en la pestaña Arquitectura, y su colocación es completamente idéntica, con la salvedad de que las ventanas vienen con un cierto desfase por defecto respecto de la cota de colocación elegida.

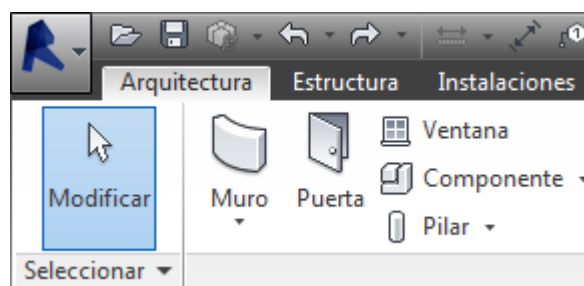


Figura 596 Localización comandos Puerta y Ventana

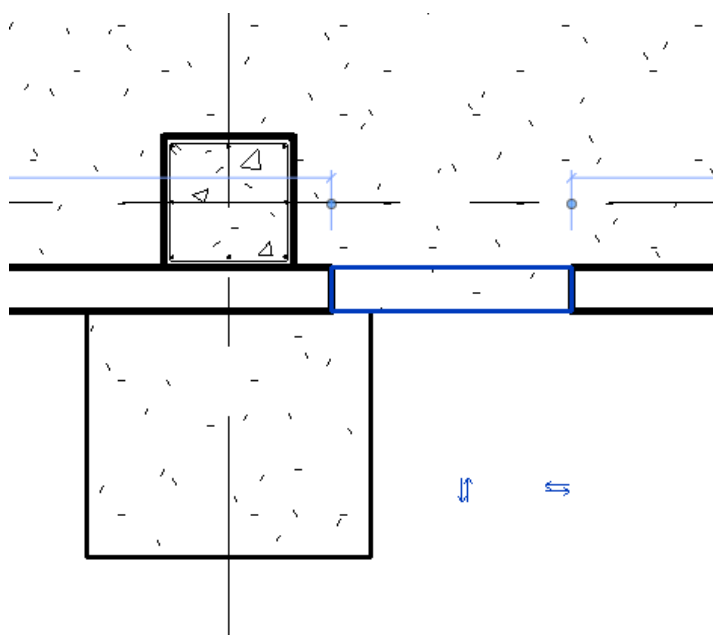


Figura 597 Puerta colocada en muro perimetral

Se disponen toda una serie de puertas, puertas dobles, puertas correderas, puertas enrollables y ventanas simples y dobles que vienen por defecto en las librerías del programa, de acuerdo a la información que puede extraerse de los planos de ARTEPREF en el Anexo I del presente trabajo.

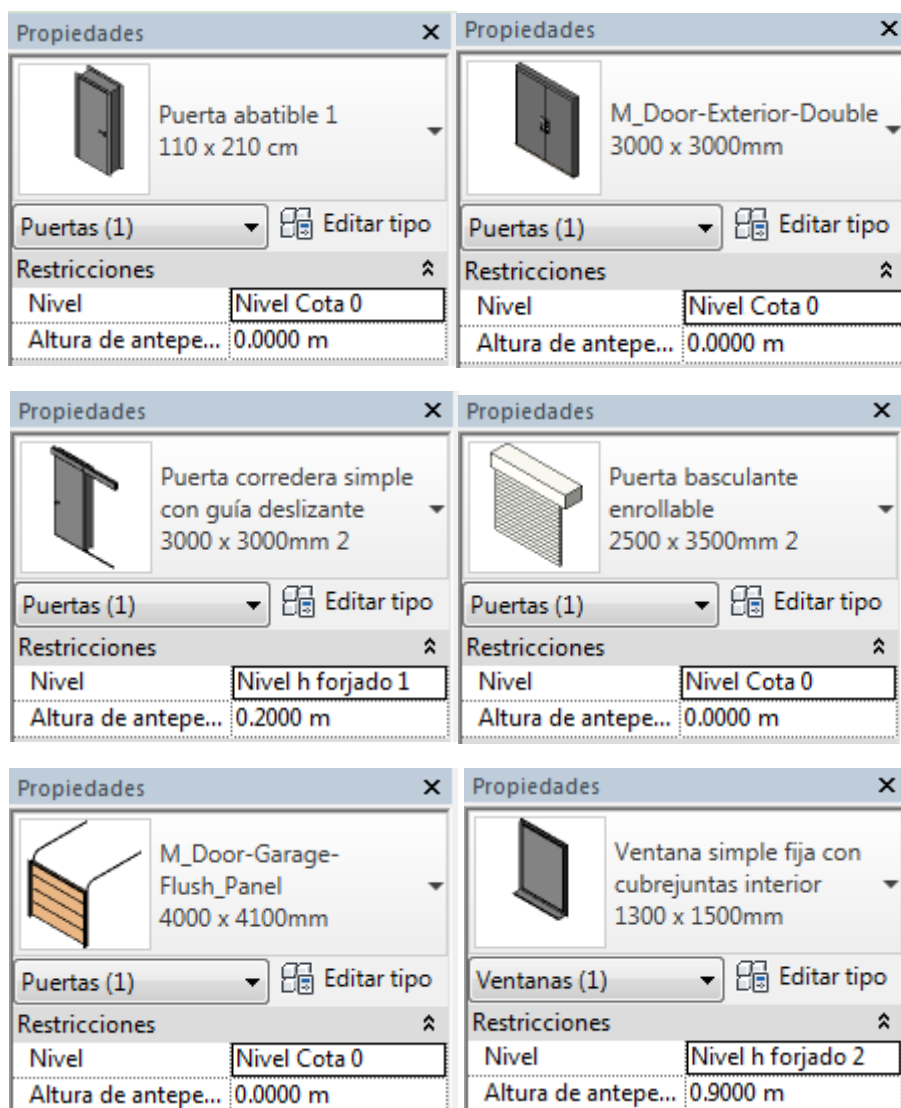
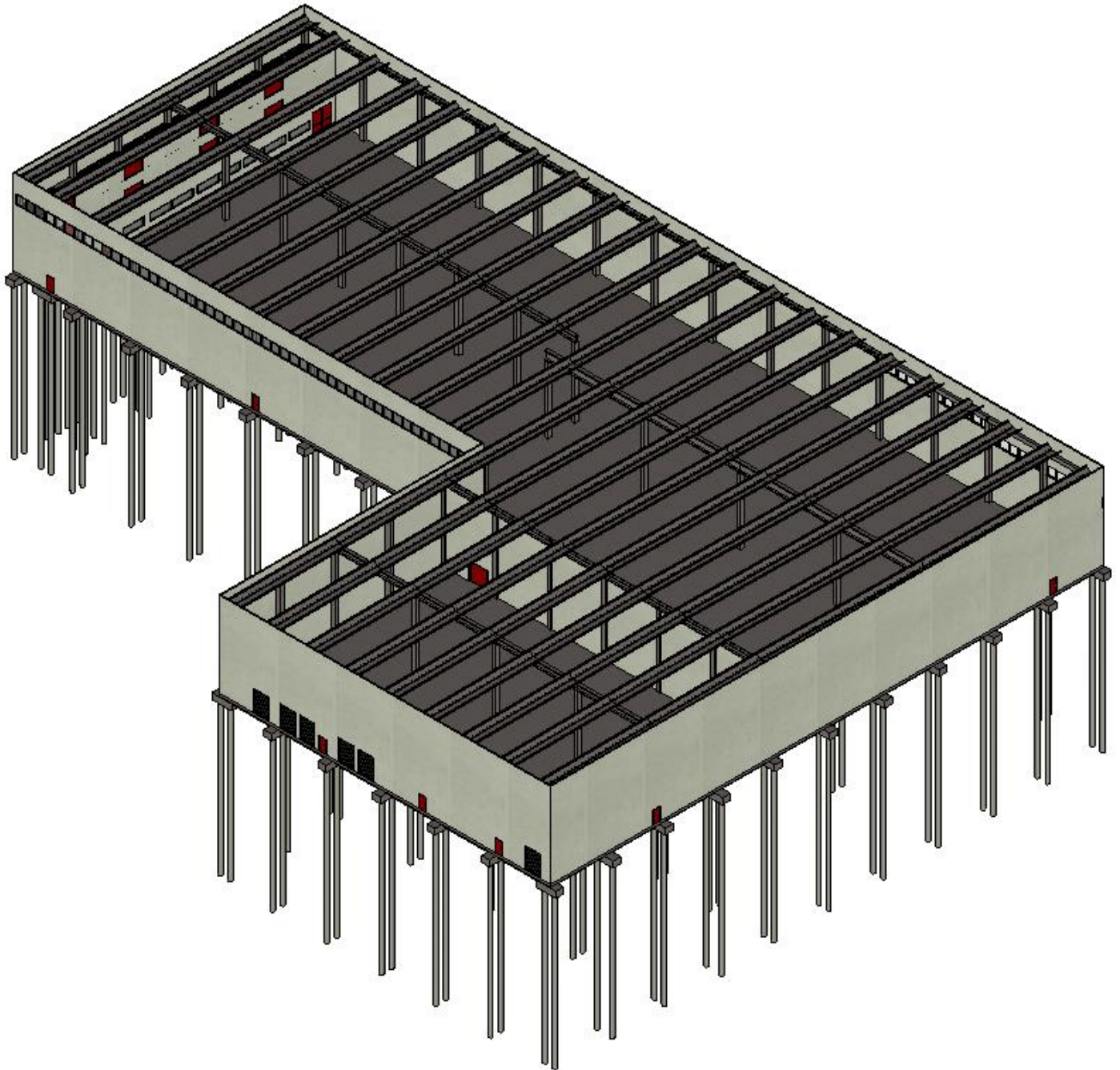


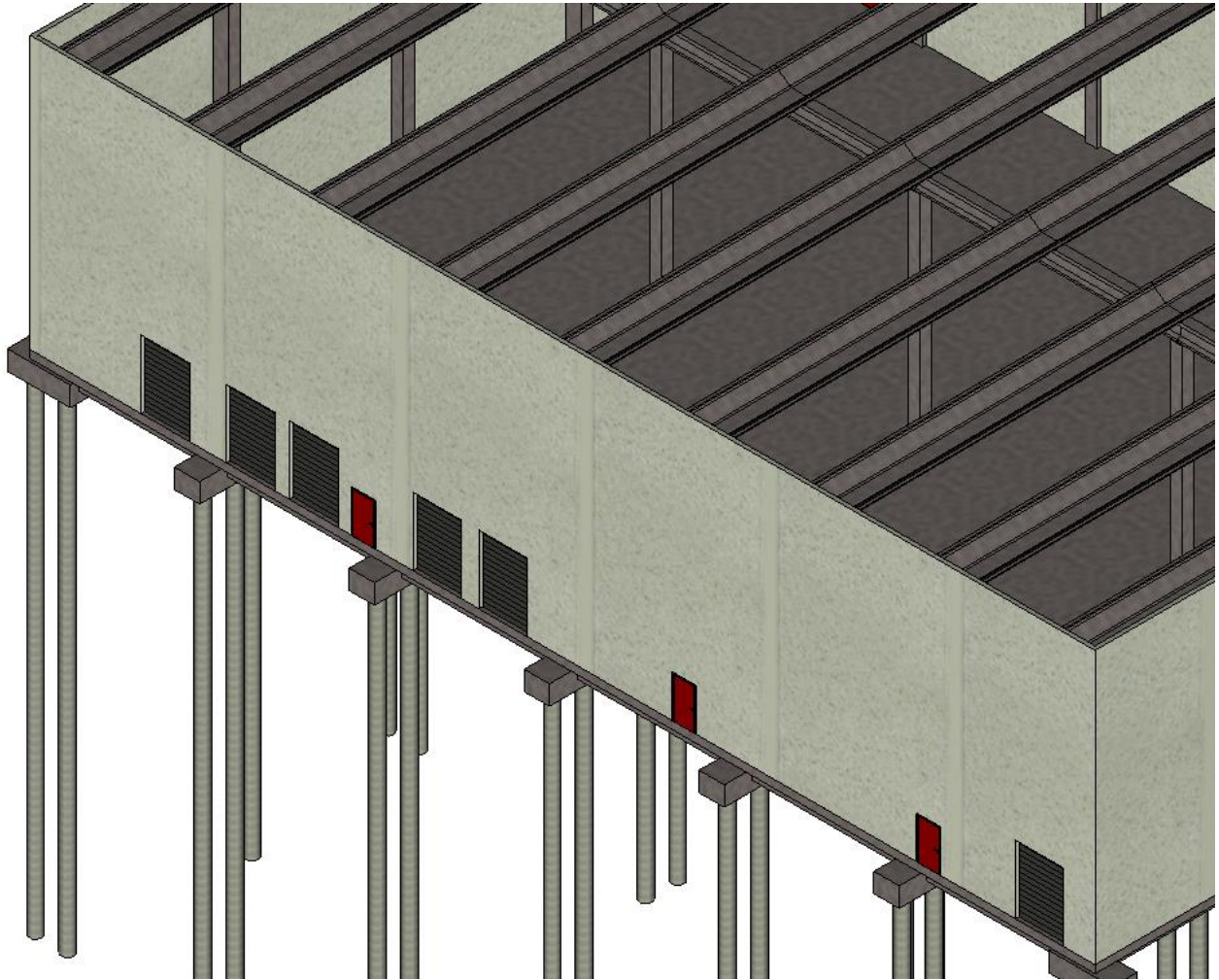
Figura 598 Listado de puertas y ventanas utilizadas en el modelo



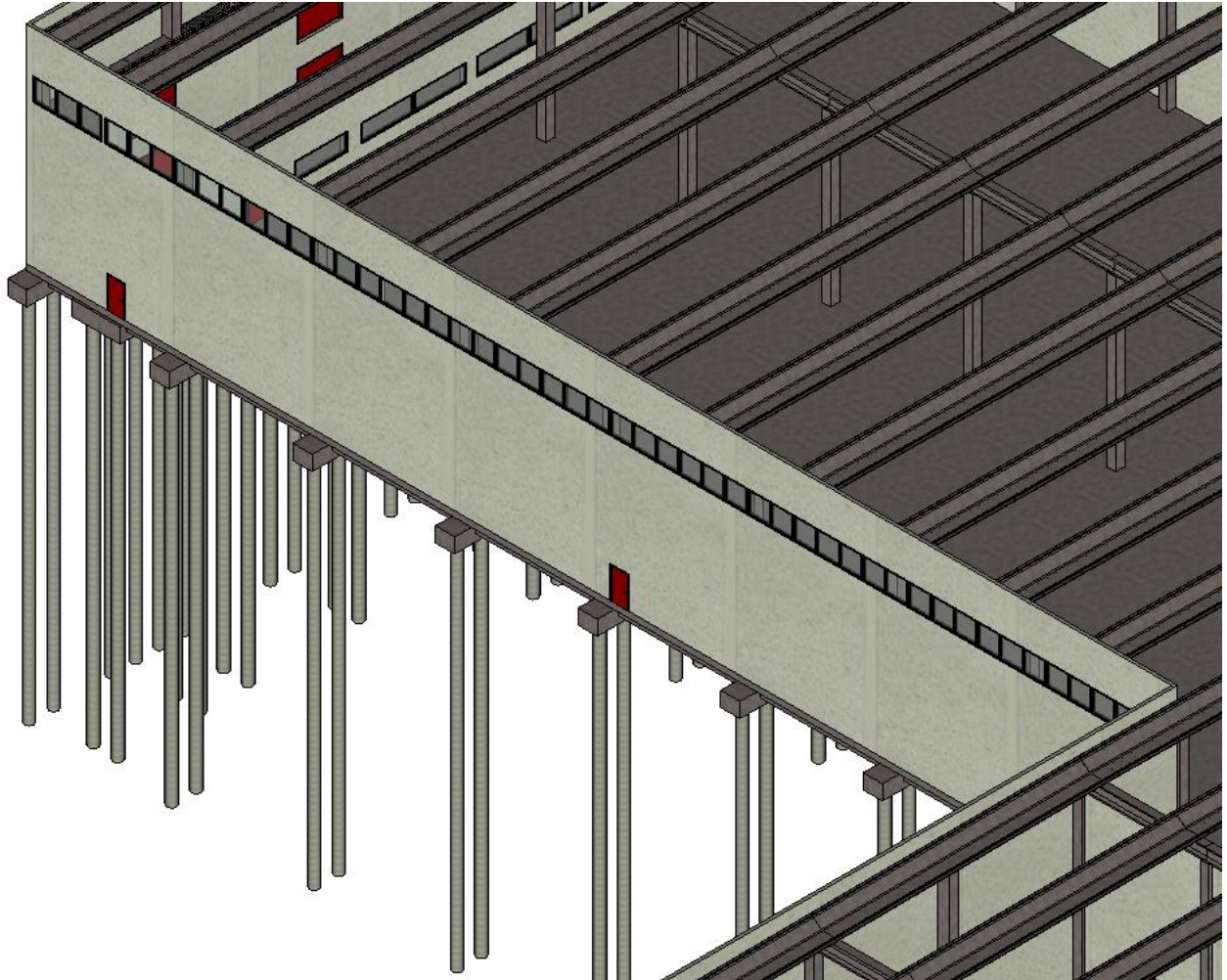
El modelo toma la siguiente forma, una vez se colocan toda esta serie de elementos:



*Figura 599 Modelización de puertas y ventanas. Modelo completo. Vista 3D*

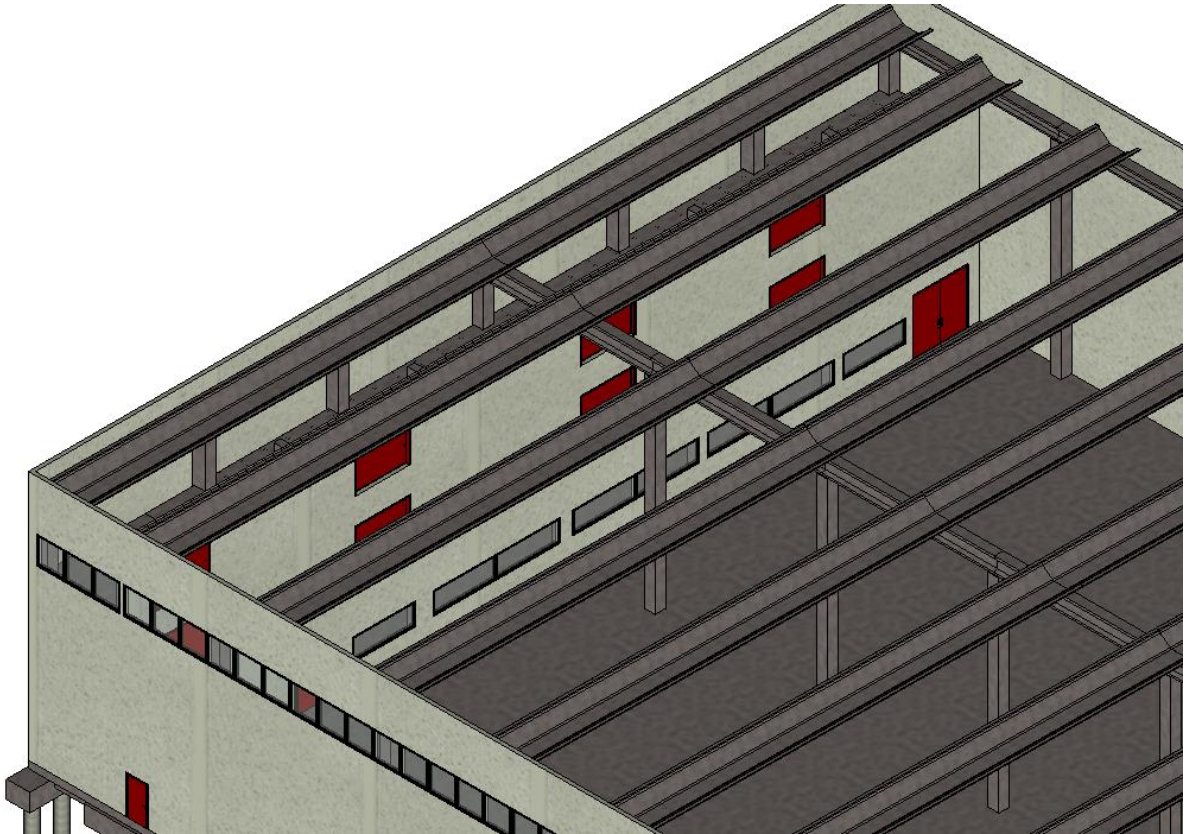


*Figura 600 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 1*

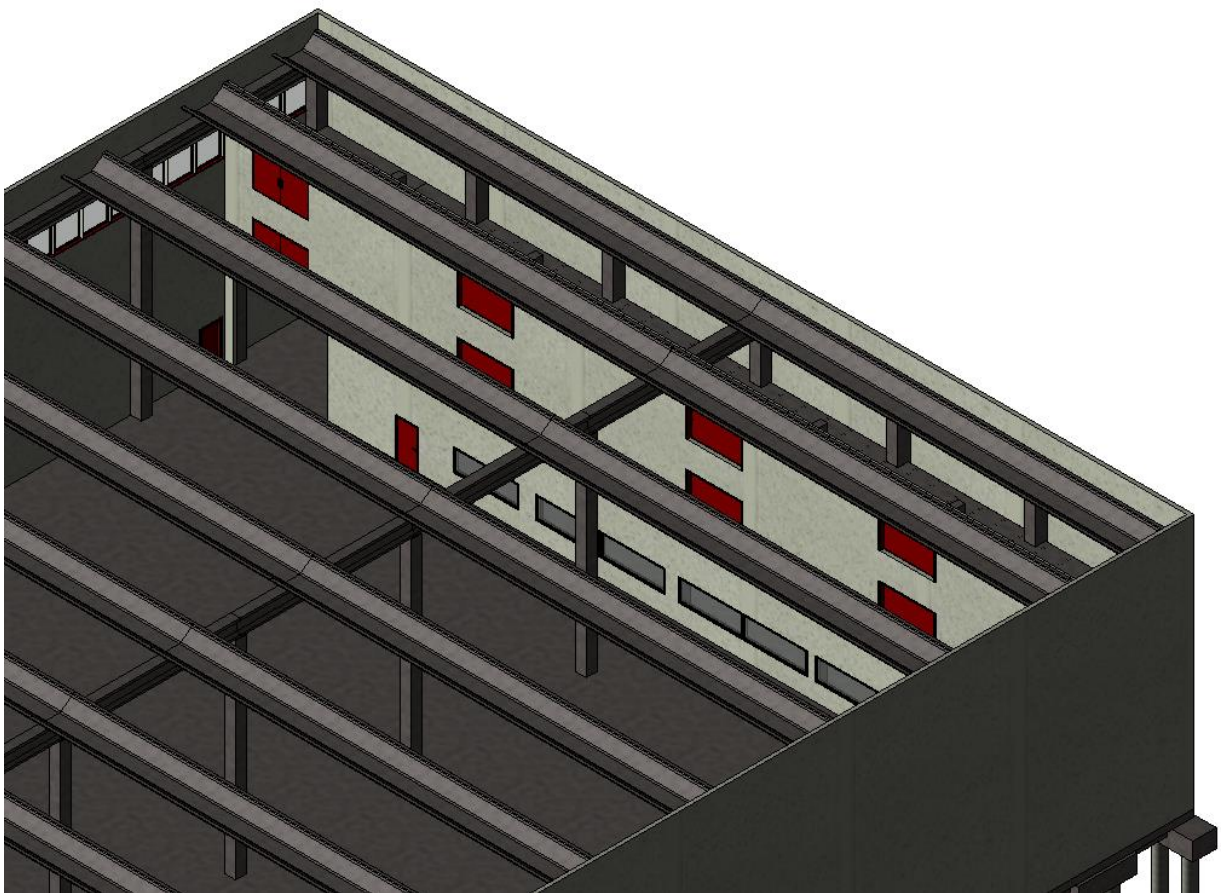


*Figura 601 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 2*





*Figura 602 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 3*



*Figura 603 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 4*

## 7 Cubierta Artwind

La propuesta que ARTEPREF propone consiste en una cubierta ligeramente aserrada, que consiguen mediante elevaciones puntuales de ciertas vigas Artwind, panel con chapa de cubierta y cristaleras verticales, tal y como viene representado en la figura siguiente:

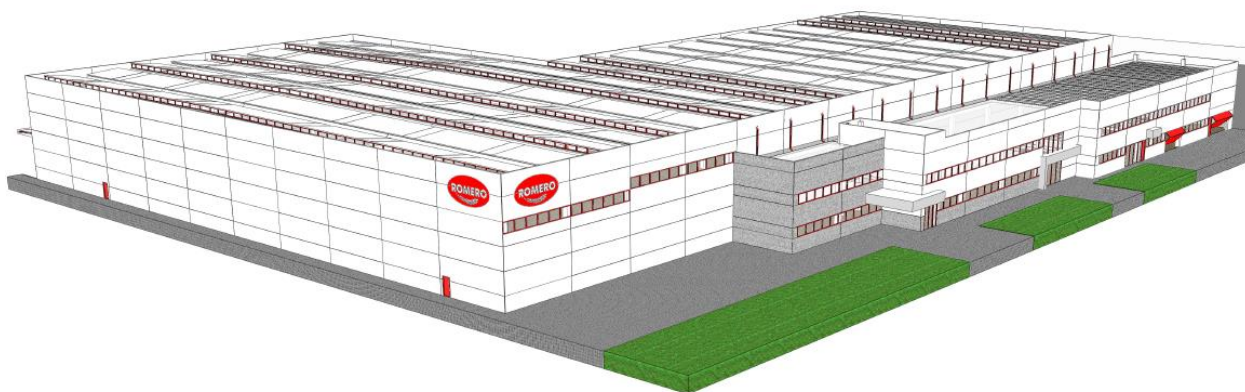


Figura 604 Sketch up modelo ampliación Pastas Romero (ARTEPREF)

Para modelizarla en el modelo de Revit, se va a empezar añadiendo un cierto desfase a las vigas Artwind correspondientes, un desfase de 25 cm en dirección vertical (que en obra consiguen mediante bloques colocados en los apoyos de cada viga). Estas vigas son las de las siguientes alineaciones:

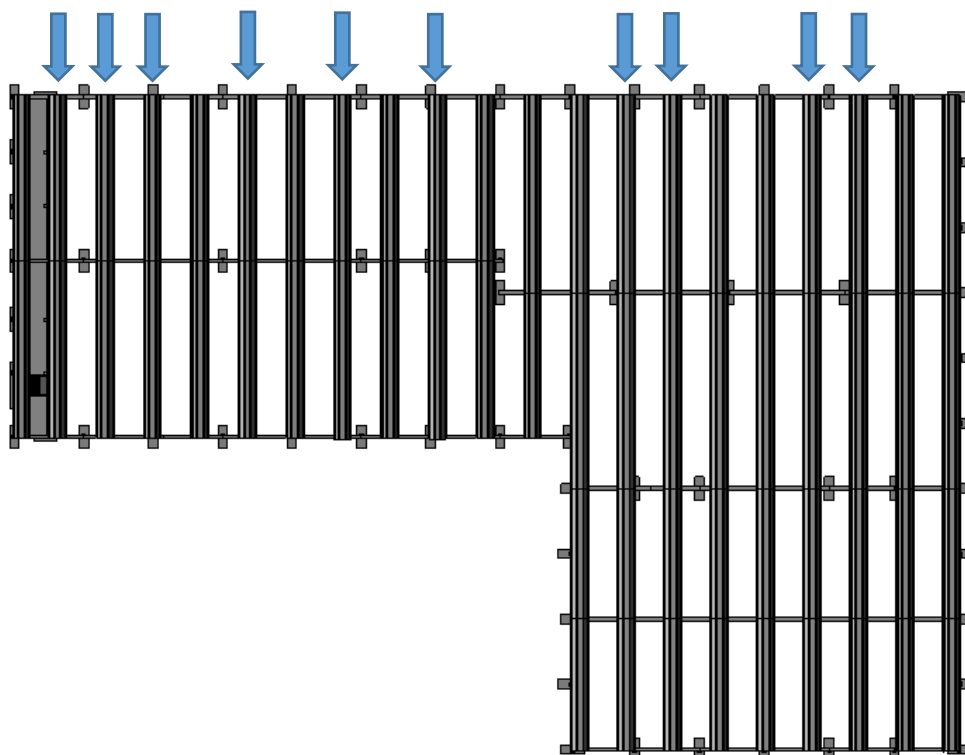


Figura 605 Alineaciones de vigas Artwind con elevación de 25 cm

Una vez se les ha colocado el desfase a todas las vigas Artwind presentes en esas alineaciones, se procede a colocar el panel de cubierta, considerado de 12,5 cm de espesor, de entre los que ofrece Revit por defecto, por carecer de información al respecto de la misma. No es algo importante, pues, de necesitarse, podría cambiarse con extrema facilidad por aquél que se colocase finalmente en el edificio real, y se recuerda, estos apartados se están haciendo con el fin de refinar visualmente el modelo geométrico y dar cuenta del potencial de trabajar en BIM.

El comando para colocar una cubierta se encuentra en la pestaña de Arquitectura y, como puede verse a continuación, es un comando que tiene varios modos de ejecución. Se escogerá la opción “Cubierta por perímetro”, puesto que la geometría tiene cierta complejidad, al necesitar generar pendiente en dos sentidos perpendiculares entre sí, un 1% de pendiente que genera las dos aguas de la nave, y la pendiente que se genera entre vigas Artwind por el desfase introducido.

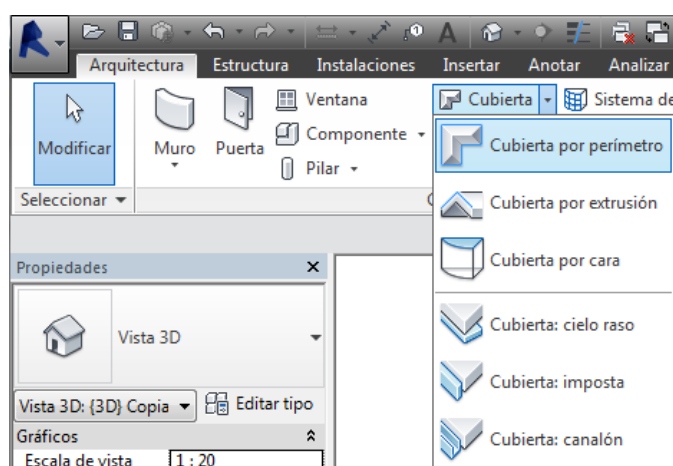


Figura 606 Localización comando Cubierta por perímetro

Se va a generar el panel que iría en la parte superior de los forjados de la nave, entre la primera y la segunda hilera de vigas Artwind 110+2, a modo de ejemplo para explicar el procedimiento. Su perímetro:

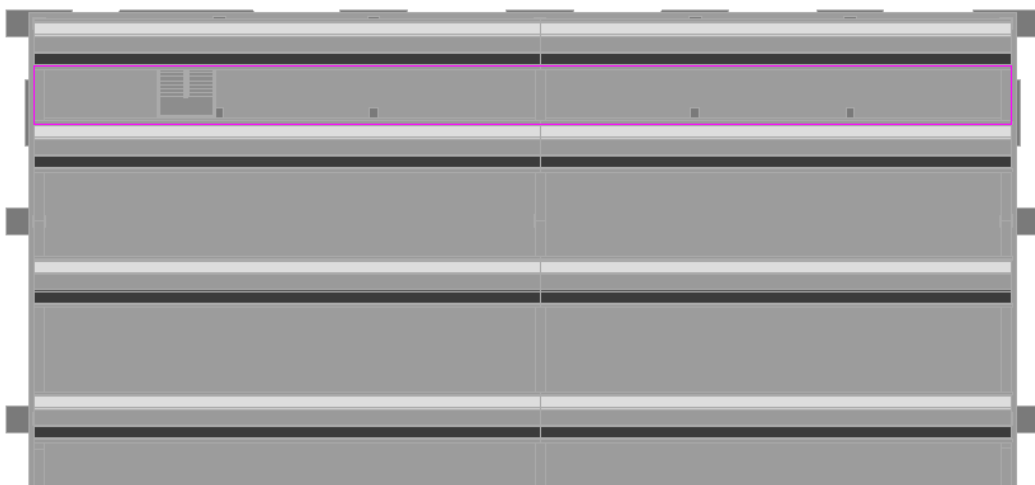


Figura 607 Perímetro panel de cubierta sobre forjados (en rosa)

El elemento generado no posee pendientes de ningún tipo, como puede verse en la imagen siguiente. Es un panel perfectamente horizontal que apoya en el borde inicial de la primera viga Artwind, pero no se eleva tampoco hacia la siguiente.

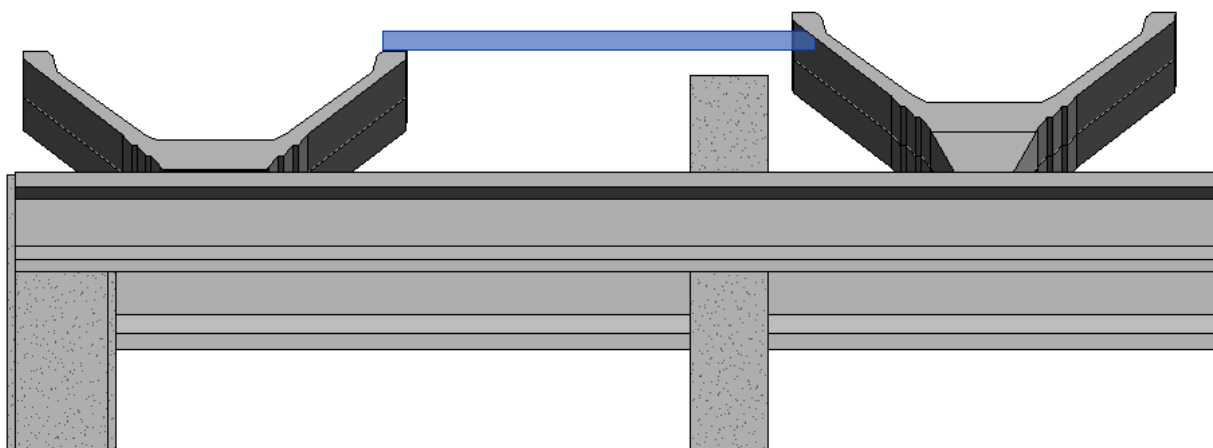


Figura 608 Vista lateral panel de cubierta sobre forjados

Para generar la pendiente en los dos sentidos, el programa no permite asignar un valor de pendiente en dos de sus lados perpendiculares, que es justo lo que se desea. En su lugar, es necesario utilizar el comando “Modificar subelementos” que puede encontrarse en la pestaña de modificación de cubiertas.

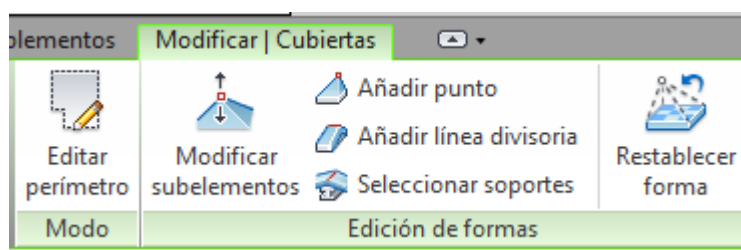
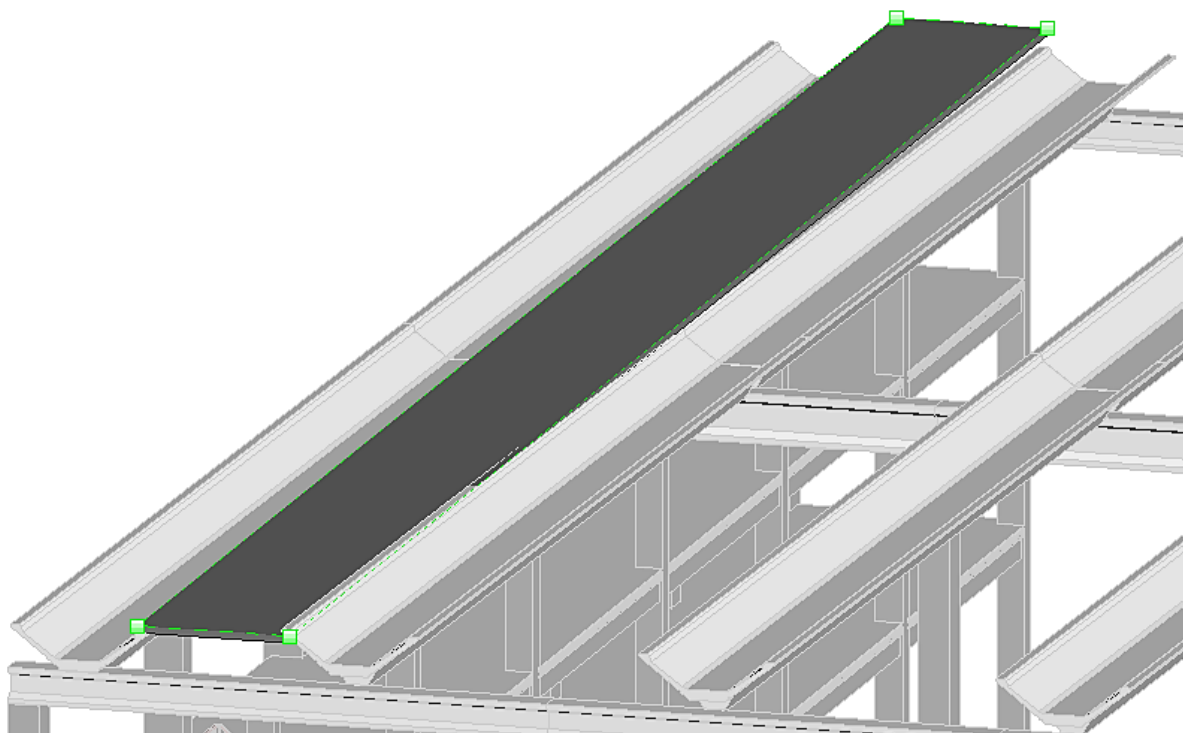


Figura 609 Localización comando Modificar subelementos

Las opciones de este menú tienen como finalidad permitir la creación de geometrías de cubierta especialmente complejas mediante la adición de más subelementos en puntos concretos de la misma. A cada subelemento se le puede asignar un valor de desfase respecto a la situación inicial en que se situaban para crear pendientes en la cubierta que de otra forma no podrían generarse.

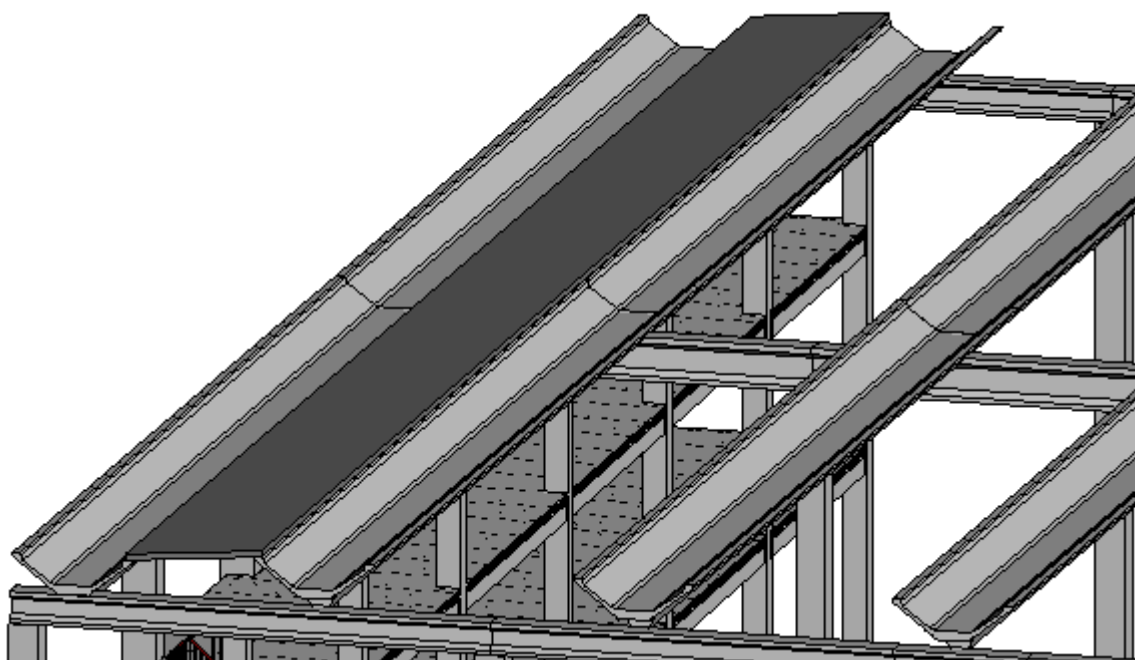
Por defecto, una cubierta plana rectangular tiene asignados como subelementos sus 4 esquinas, y para realizar los desfases que se requieren en este caso, no se va a necesitar de la adición de más subelementos.



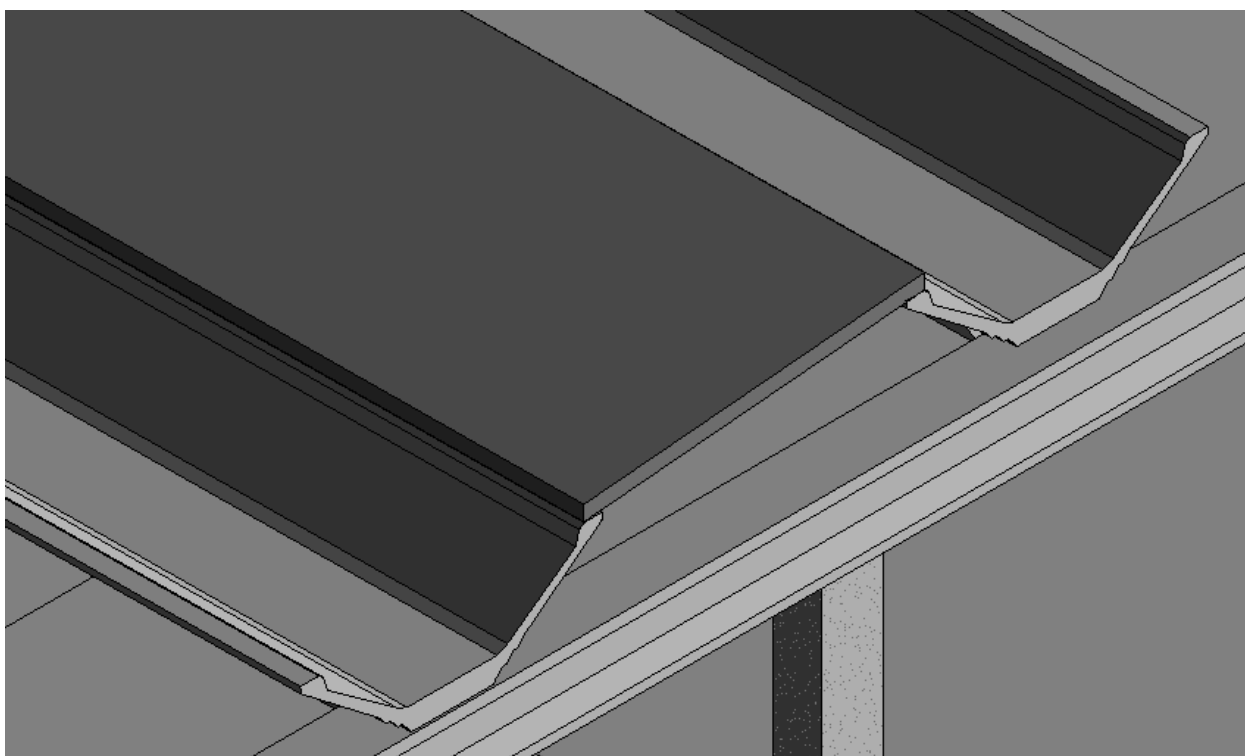


*Figura 610 Subelementos (cuadrados verdes) de la cubierta*

Como se ha explicado, a estos subelementos se les puede asignar un cierto desfase para generar las pendientes que se desean obtener, y adaptar su posición a la estructura de cubierta ya existente. Una vez realizado esto, el resultado es el siguiente:



*Figura 611 Panel de cubierta colocado mediante modificación de subelementos*

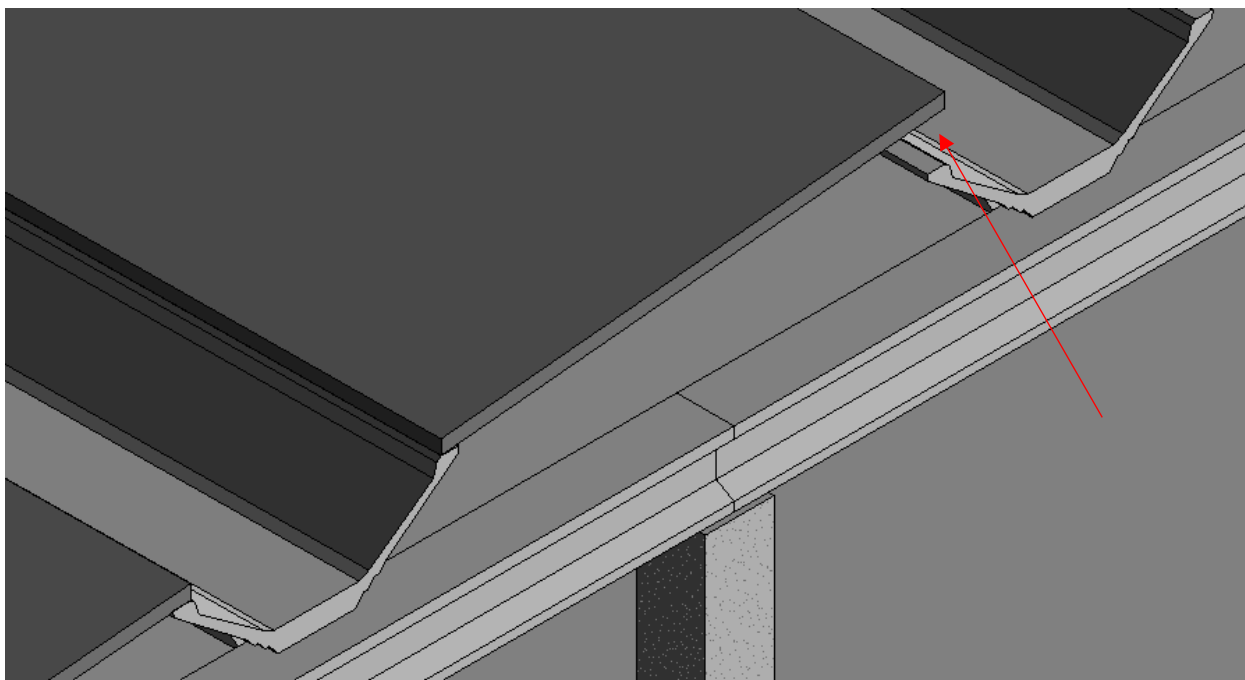


*Figura 612 Panel de cubierta colocado mediante modificación de subelementos. Detalle*

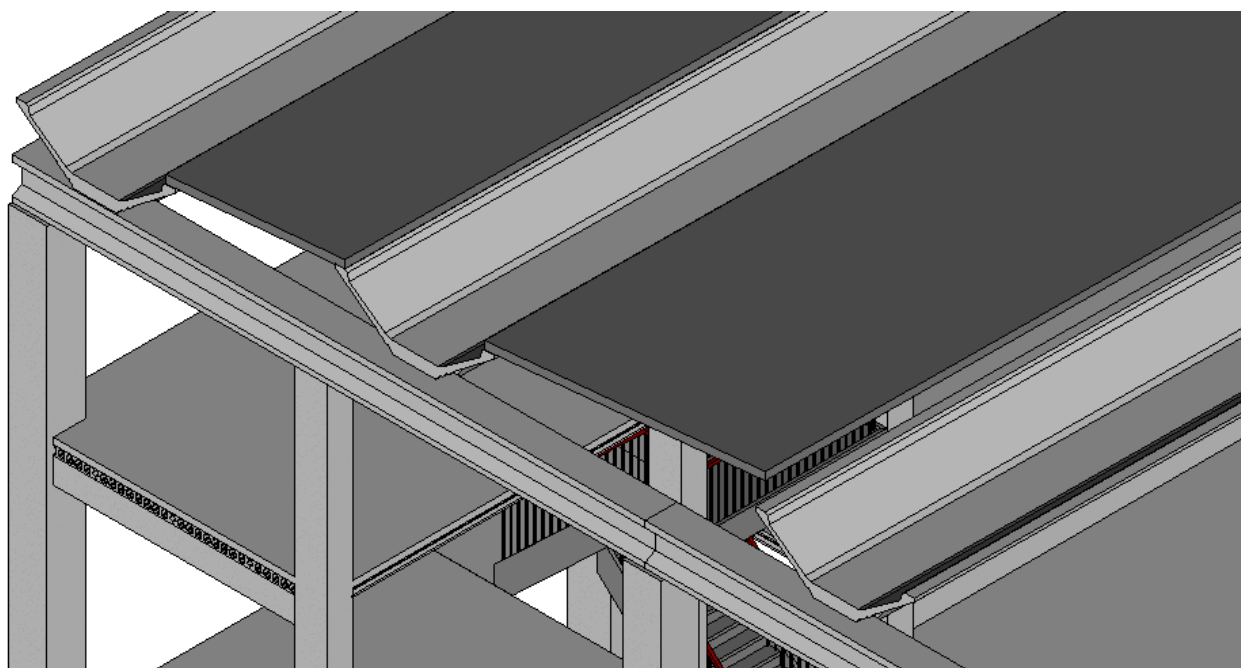
Siguiendo esta metodología se colocan todos los paneles que conforman la arquitectura de la cubierta.

No obstante, antes de poder ofrecer una imagen de cómo quedaría esta cubierta en su estado final, se procede a explicar el segundo elemento que conforma la misma: los lucernarios.

Los lucernarios se introducen en el modelo de Revit mediante el uso del comando Muro arquitectónico, ya utilizado para colocar el cerramiento de hormigón prefabricado. Éstos irán de un extremo de viga Artwind a otro (lucernarios corridos) y su forma se adaptará a la que deje el hueco entre el panel de cubierta elevado, y la viga que tenga éste en su parte inferior. Se aporta un ejemplo de este hueco en el panel inmediatamente posterior al colocado anteriormente.



*Figura 613 Hueco para colocación del panel acristalado de cubierta. Detalle 1*



*Figura 614 Hueco para colocación del panel acristalado de cubierta. Detalle 2*

A la hora de proceder a la colocación, se escogerá como tipo de muro arquitectónico: Muro cortina, para que en el modelo se introduzca un panel acristalado colocado en un plano de planta concreto, y a un desfase específico, que se elegirá el adecuado para situar el muro en el apoyo superior de la viga Artwind.

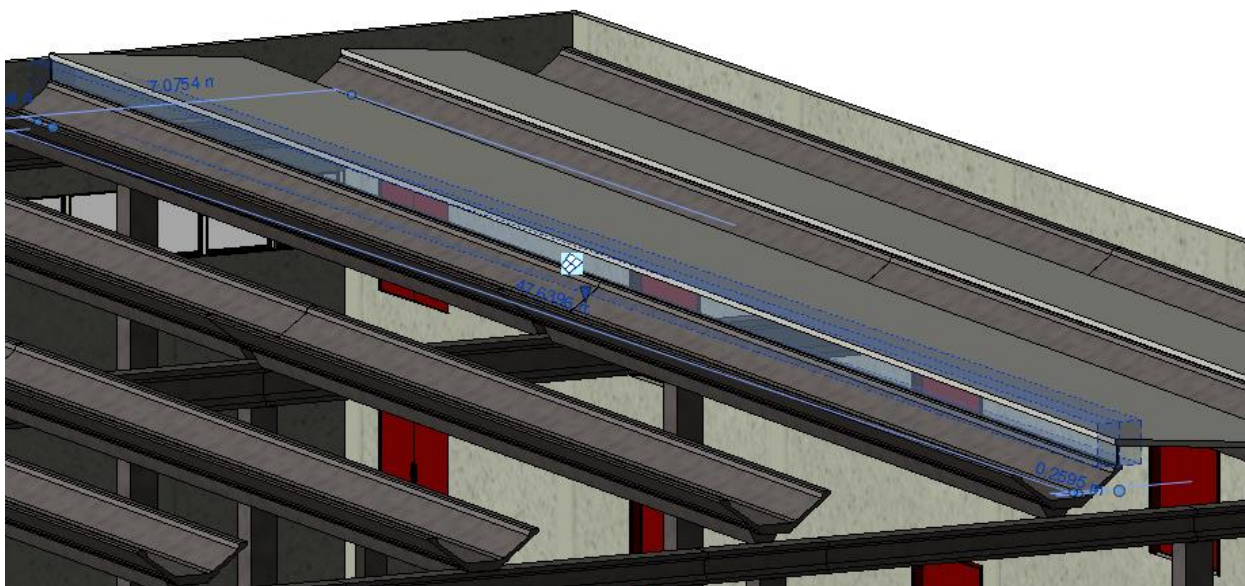


Figura 615 Colocación lucernario de principio a fin de viga Artwind

La adaptación de este muro cortina al hueco puede hacerse mediante 2 vías: la más lenta, modificando el perfil del mismo, desde el comando Editar Perfil, en la pestaña Modificar-Muros, y la más rápida, que enlazaría sus partes superior e inferior a los elementos geométricos que se le asignasen, también situada en la pestaña Modificar-Muros.

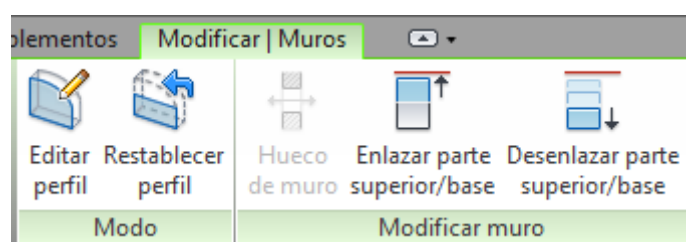
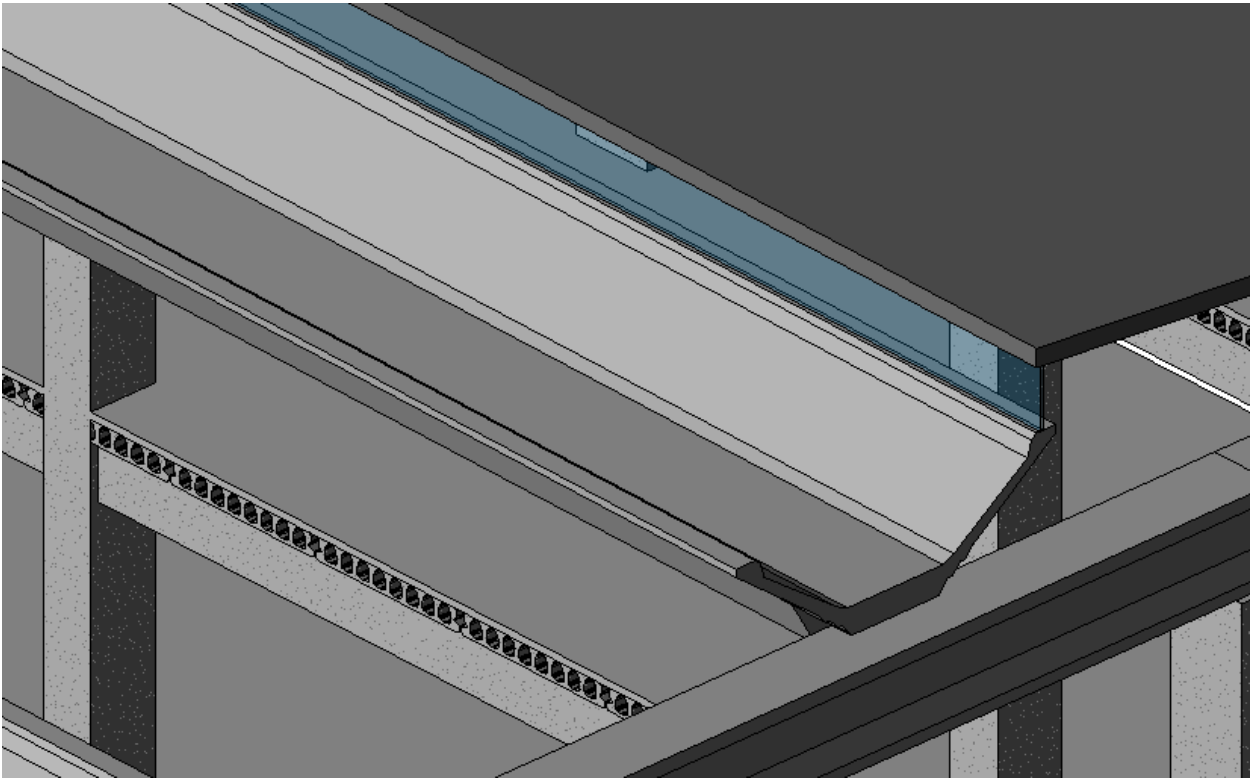
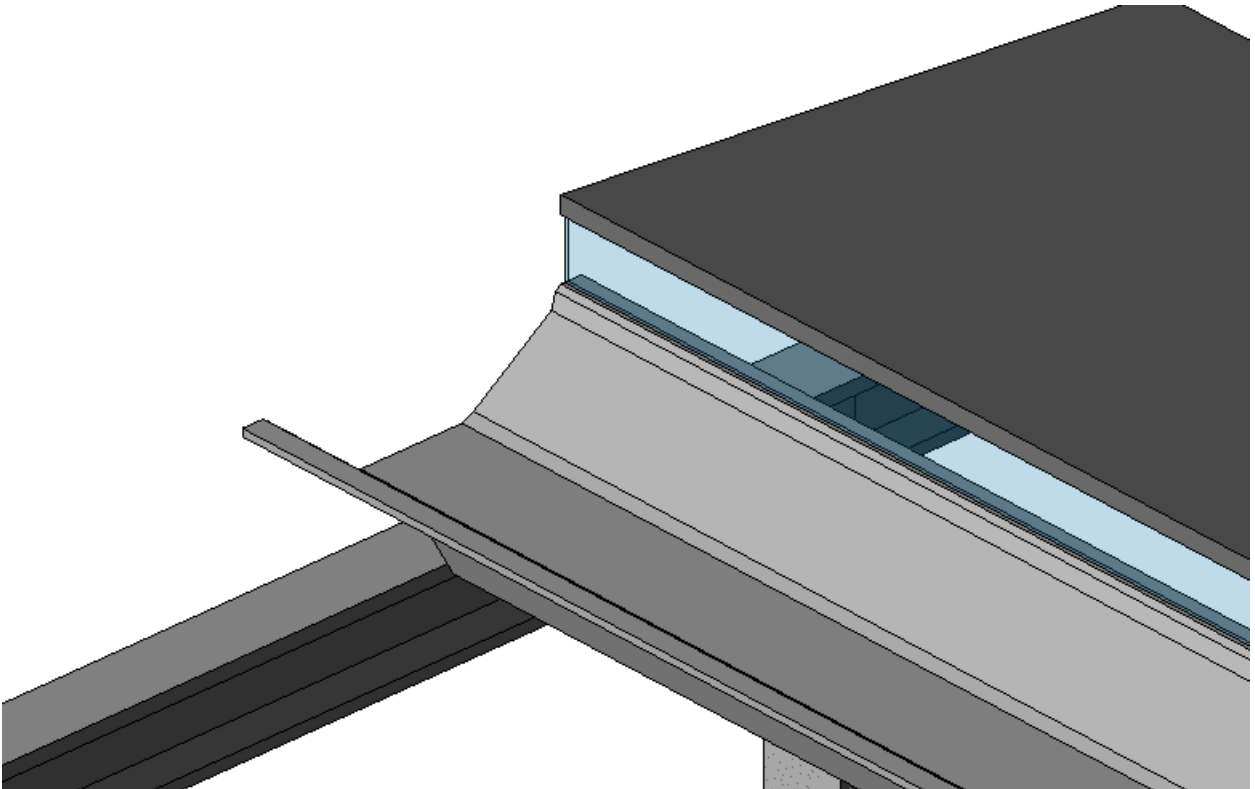


Figura 616 Localización comandos Editar Perfil y Enlazar parte superior/base

El resultado de este proceso puede verse en las siguientes imágenes, donde puede verse cómo el panel de vidrio ya se adapta a la perfección al hueco previamente existente.



*Figura 617 Panel de vidrio de lucernario modelizado en Revit. Detalle 1*



*Figura 618 Panel de vidrio de lucernario modelizado en Revit. Detalle 2*

El lucernario todavía necesita de montantes verticales y horizontales, así como definir una serie de cortes que dividan este panel de vidrio en varios más pequeños. Ambas órdenes pueden encontrarse en la pestaña de arquitectura, sub-pestaña de Construcción: Rejilla de muro cortina, y Montante.

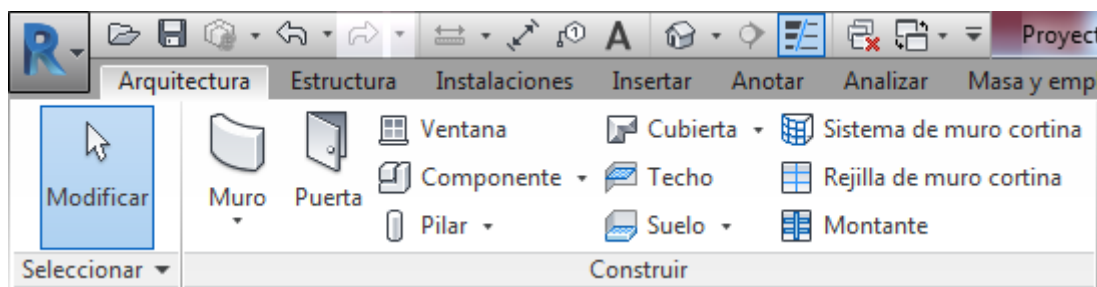


Figura 619 Localización comandos Rejilla muro cortina y Montante

En primer lugar, se crea la rejilla mediante selección de distancias concretas sobre el lucernario:

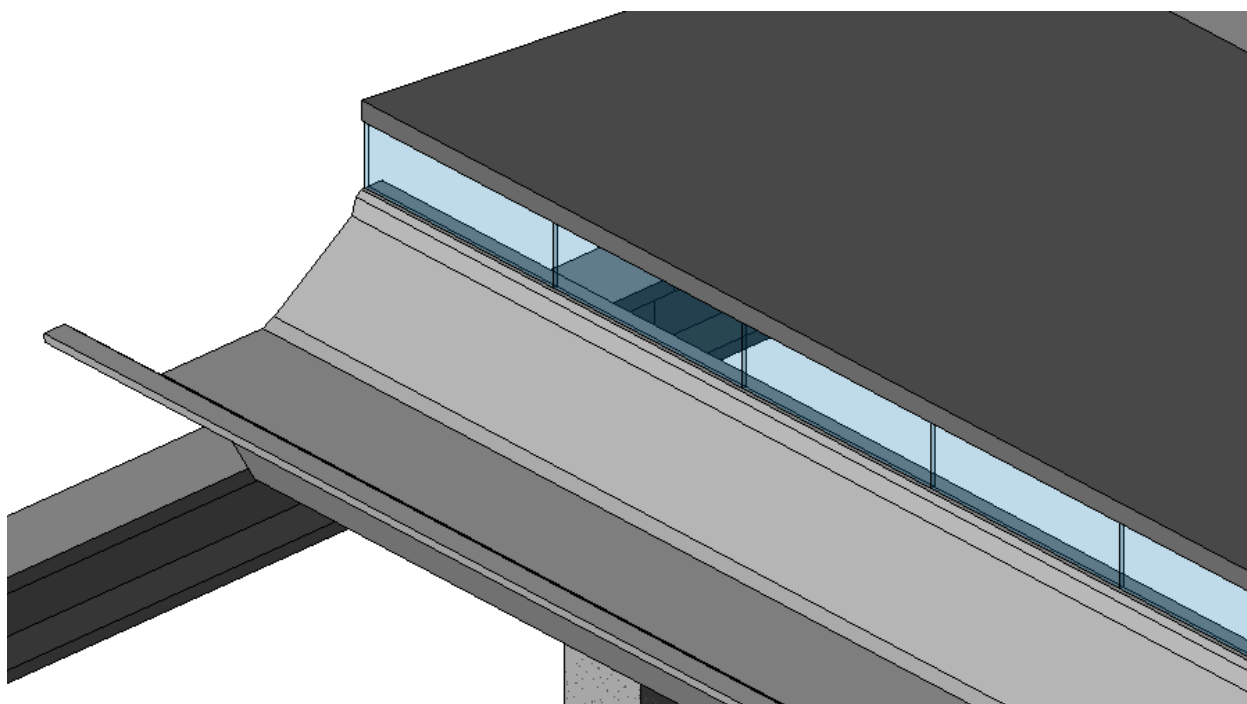
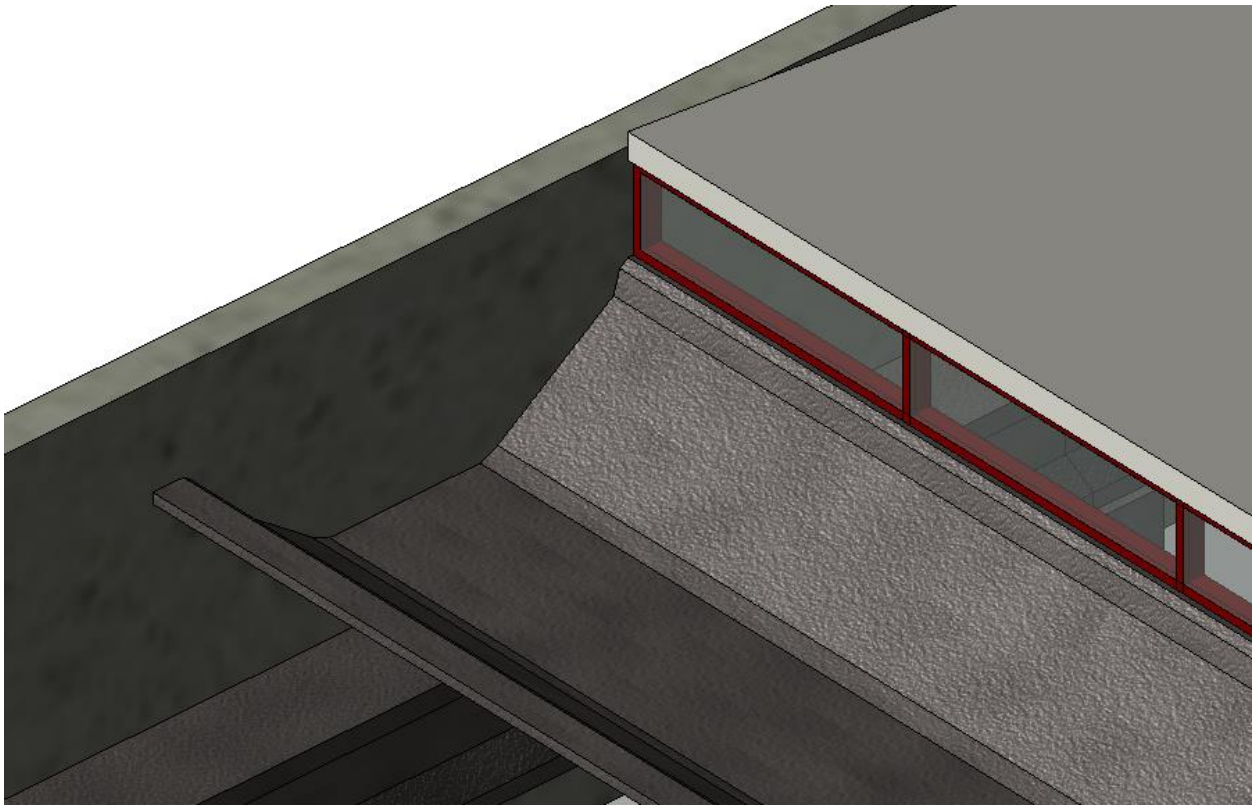


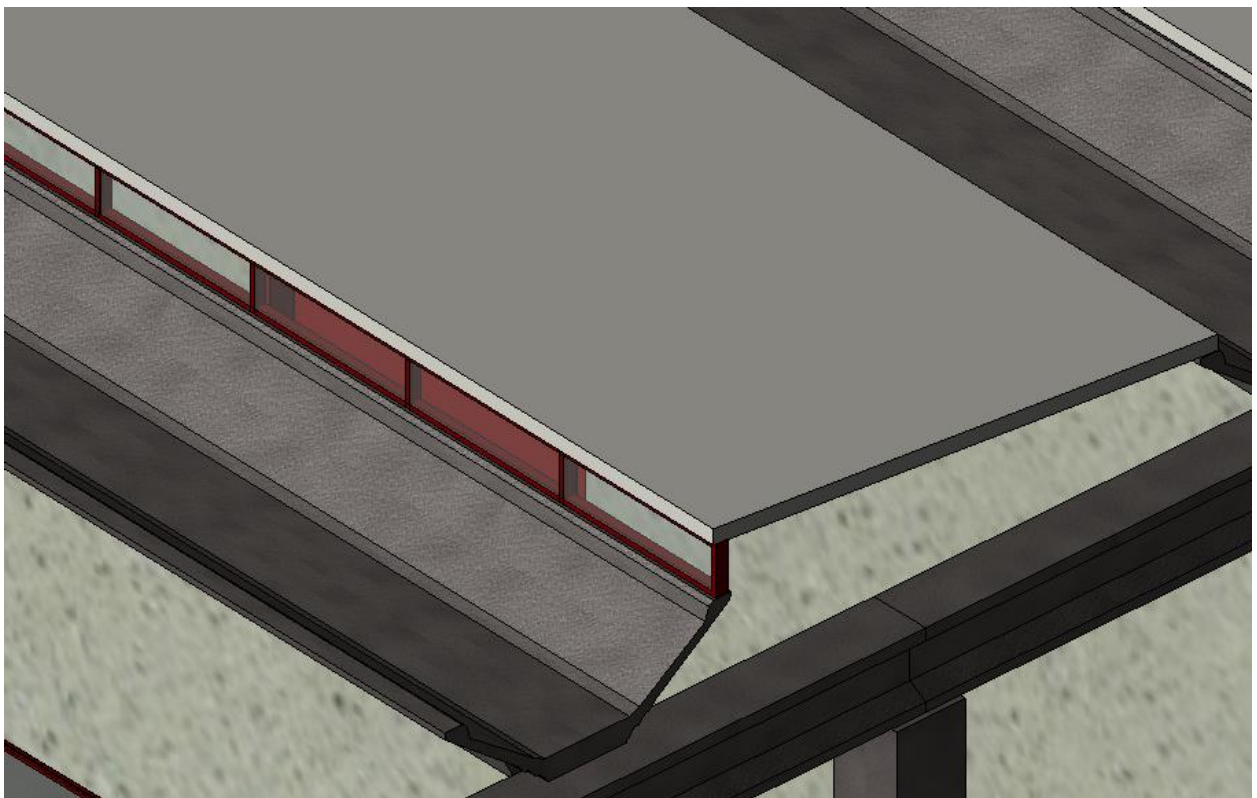
Figura 620 Rejilla generada en el lucernario

Y sobre ésta, se colocan los montantes, de material, geometría y coloración completamente personalizables. Se ha elegido un color rojo metálico utilizado ya en marcos de puertas y ventanas en el resto de la arquitectura del edificio. El resultado se expone en las figuras siguientes:



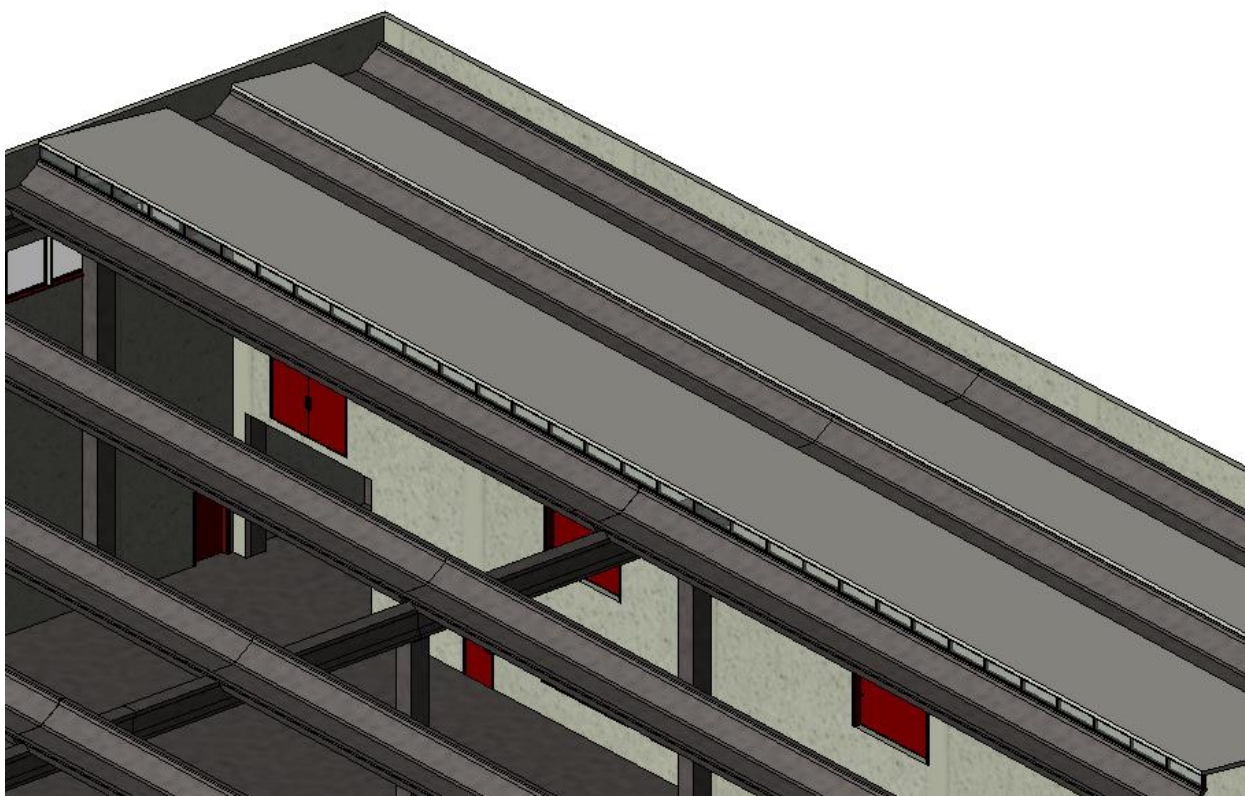


*Figura 621 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 1*



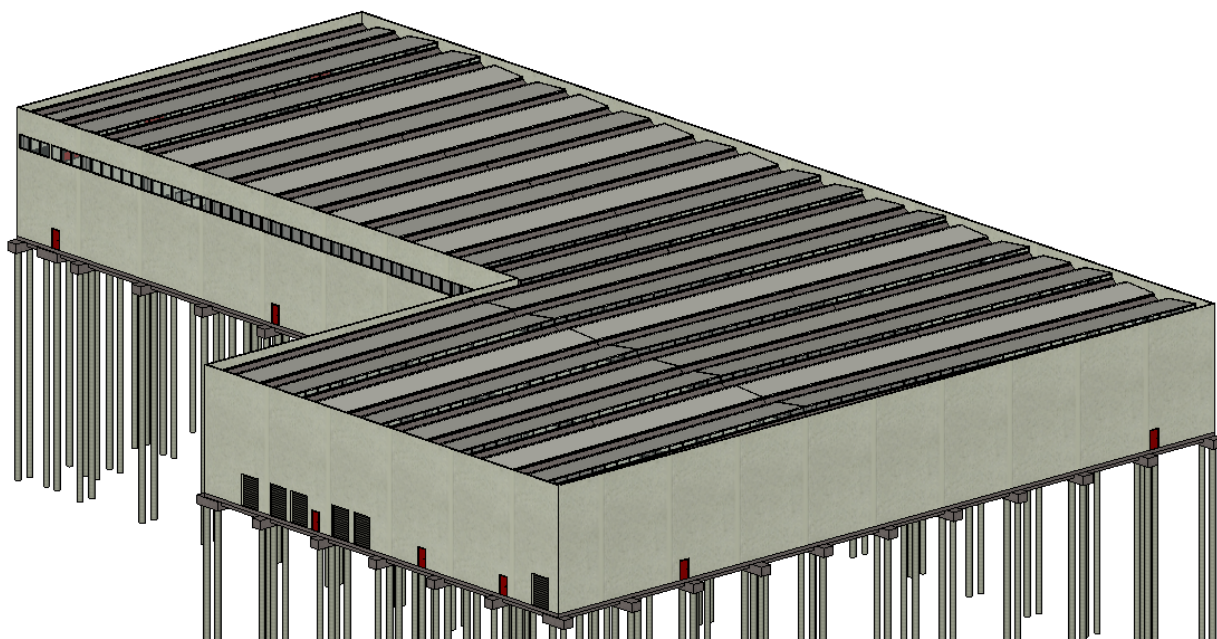
*Figura 622 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 2*



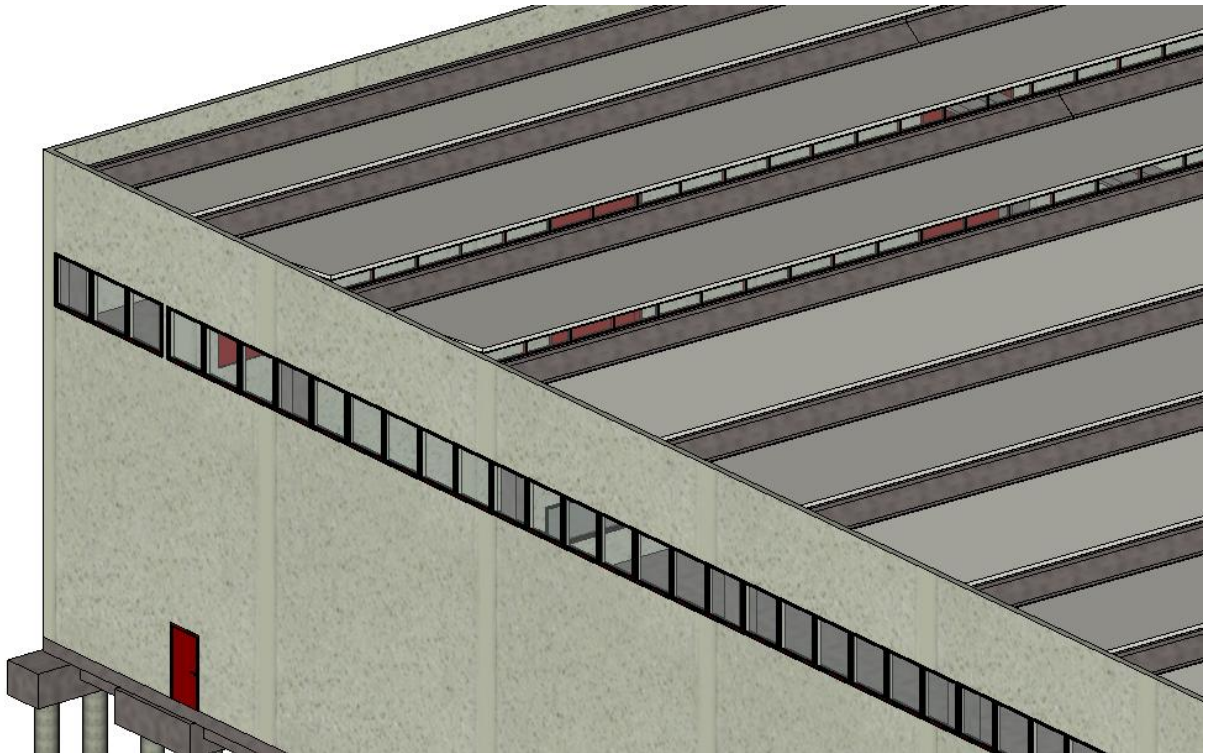


*Figura 623 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 3*

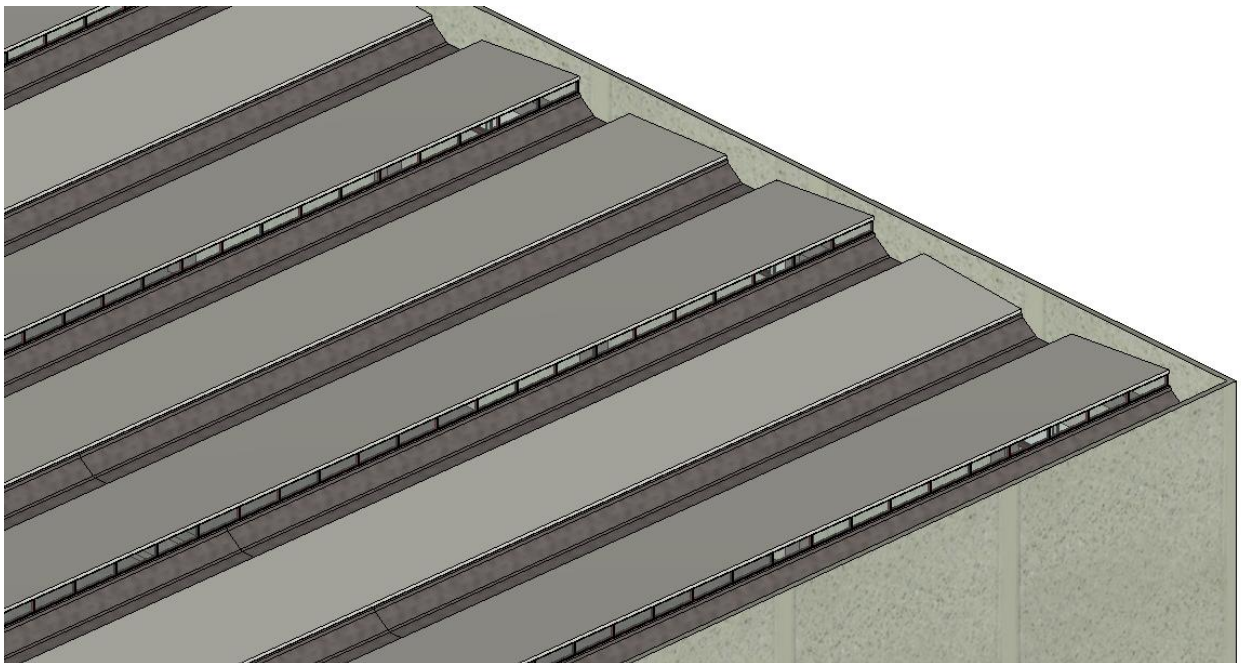
Sabiendo modelizar estos dos elementos, paneles de cubierta y lucernarios, puede modelizarse la cubierta al completo, obteniéndose, finalmente, el modelo geométrico en Revit con toda la información extra que se quería aportar en este anexo.



*Figura 624 Cubierta modelizada al completo en Revit*



*Figura 625 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 1*



*Figura 626 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 2*



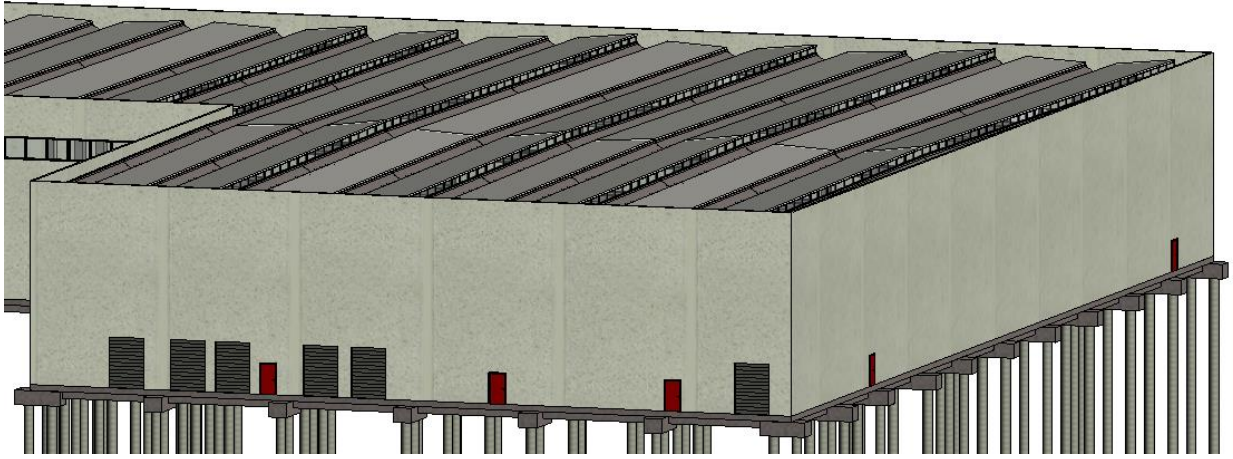


Figura 627 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 3

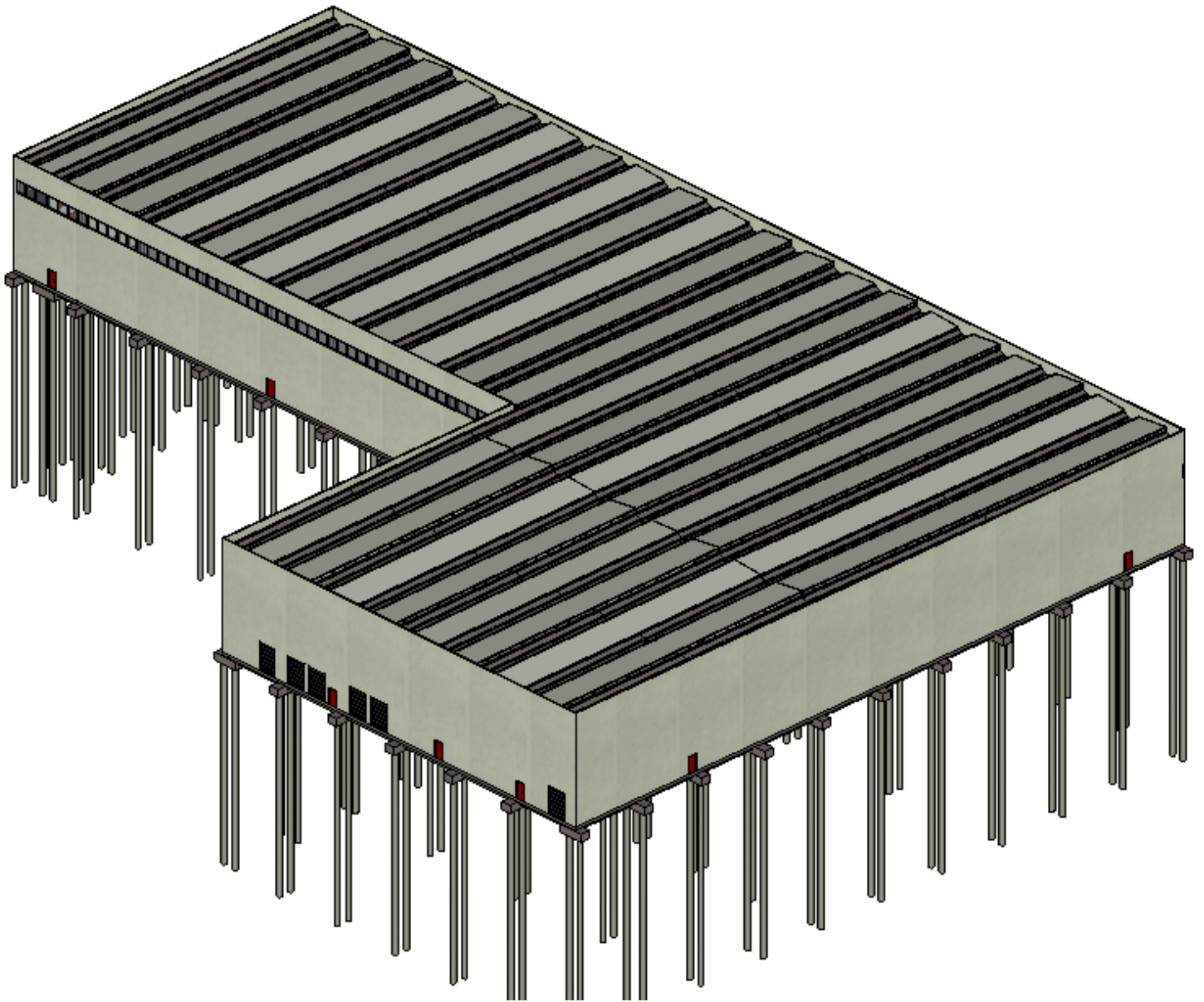


Figura 628 Cubierta modelizada al completo en Revit. Modelo completo. Vista 3D

---

## ANEXO VIII. INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplos de cubierta mediante vigas Artwind (ARTEPREF).....	9
Figura 2 Ciclo de vida de un edificio desde el punto de vista de la metodología BIM.....	12
Figura 3 2D CAD workflow vs BIM workflow.....	13
Figura 4 Utilidades BIM .....	14
Figura 5 Ejemplo estructura vista interior REVIT .....	15
Figura 6 Ejemplo archivo REVIT MEP (instalaciones) .....	16
Figura 7 SketchUp proyecto de ampliación Pastas Romero.....	19
Figura 8 Esquema geométrico diseño ampliación.....	20
Figura 9 Zonas interior nave.....	21
Figura 10 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar.....	22
Figura 11 Viga Artwind 110+2 Sección y 3D .....	22
Figura 12 Viga Artwind 75+2 Sección y 3D .....	22
Figura 13 Disposición y sección pilares .....	23
Figura 14 Tabla de materiales planos ARTEPREF .....	24
Figura 15 Autodesk Revit 2016 official background artwork .....	26
Figura 16 Rejilla completa del modelo .....	27
Figura 17 Pilares. Vista en planta .....	28
Figura 18 Pilares. Vista isométrica .....	29
Figura 19 Ejemplo sistema de cubierta Artwind .....	30
Figura 20 Vigas salvapilar. Vista isométrica .....	31
Figura 21 Vigas Artwind de cubierta. Vista isométrica.....	31
Figura 22 Forjados estructura interior. Vista isométrica.....	32
Figura 23 Características Hormigón HA-25 .....	33

Figura 24 Características Hormigón HA-45 .....	34
Figura 25 Modelo estructural completo en Revit .....	34
Figura 26 Modelo analítico completo en Revit .....	35
Figura 27 Modelo analítico completo con todas las cargas introducidas .....	36
Figura 28 Autodesk Robot Structural Analysis 2016 official background artwork.....	38
Figura 29 Ejemplo relación de bidireccionalidad entre Revit y Robot .....	39
Figura 30 Listado de Normas para hormigón armado en Robot.....	40
Figura 31 Comando “Structural Analysis” en Revit .....	41
Figura 32 Opciones comando “Structural Analysis” en Revit.....	41
Figura 33 Advertencias respecto a las secciones personalizadas en el proceso de lectura desde Robot .	41
Figura 34 Modelo de la estructura en Robot tras el proceso de lectura .....	42
Figura 35 Modelo acondicionado en Robot .....	43
Figura 36 Localización opción Combinaciones automáticas .....	43
Figura 37 Ventana Normativa a aplicar y tipo de generación de combinaciones automáticas .....	44
Figura 38 Localización opción Generación del modelo de cálculo.....	44
Figura 39 Localización opción Calcular .....	45
Figura 40 Localización opción Diagramas-barras .....	45
Figura 41 Diagramas de momentos en la estructura .....	45
Figura 42 Resultados armaduras de pilares .....	47
Figura 43 Armado total final viga salvapilar I-60.....	48
Figura 44 Armado total final viga salvapilar I-65.....	48
Figura 45 Armado total final viga salvapilar I-85.....	48
Figura 46 Armado total final viga salvapilar I-90.....	49
Figura 47 Armado total final viga salvapilar I-95.....	49
Figura 48 Armado total final viga salvapilar I-145.....	49
Figura 49 Armado total final viga salvapilar R 40x60 .....	50
Figura 50 Armado total final viga Artwind 75+2 .....	50
Figura 51 Armado total final viga Artwind 110+2 .....	50
Figura 52 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Sección .....	51
Figura 53 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Sección .....	51
Figura 54 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Sección .....	51

Figura 55 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Sección .....	52
Figura 56 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Sección .....	52
Figura 57 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Sección .....	52
Figura 58 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Sección.....	53
Figura 59 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Sección.....	53
Figura 60 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección.....	53
Figura 61 Modelo completo. Vista 3D.....	54
Figura 62 3D de la nave y edificio anexo proporcionado por ARTEPREF .....	65
Figura 63 Localización menú “Unidades de proyecto” .....	67
Figura 64 Unidades de proyecto. Disciplina común.....	68
Figura 65 Unidades de proyecto. Disciplina estructura .....	68
Figura 66 Localización comando rejilla y nivel .....	69
Figura 67 Rejilla completa del modelo .....	69
Figura 68 Detalle esquina inferior izquierda de la rejilla del modelo .....	70
Figura 69 Niveles de cubierta del modelo en Revit.....	71
Figura 70 Niveles de forjado del modelo en Revit .....	71
Figura 71 Niveles de cota 0 y cimentación en Revit.....	72
Figura 72 Localización pilar estructural en Revit.....	72

## 73

Figura 73 Disposición y sección de pilares .....	73
Figura 74 Ventana Propiedades de un pilar genérico 40x40cm.....	73
Figura 75 Menú “Propiedades de tipo” .....	74
Figura 76 Tipos de pilar #1 .....	74
Figura 77 Tipos de pilar #2 .....	75
Figura 78 Pilares. Vista en planta .....	76
Figura 79 Pilares. Vista 3D.....	76
Figura 80 Estructura de cubierta Artwind en Revit. Modelo en línea oculta. Vista 3D.....	77
Figura 81 Localización plantilla de familia “Armazón estructural – vigas y tornapuntas” .....	78
Figura 82 Interfaz base generación de familia de viga.....	78
Figura 83 Localización comando línea y plano de referencia.....	79
Figura 84 Sección de familia paramétrica. Planos de referencia .....	79



Figura 85 Localización comando Extrusión .....	80
Figura 86 Sección de la extrusión .....	80
Figura 87 Sección de familia paramétrica. Cotas .....	81
Figura 88 Localización opción Tipos de familia .....	81
Figura 89 Ventana Tipos de familia. Parámetros de la sección en I .....	82
Figura 90 Localización opción “Cargar en proyecto” (desde plantilla de familia) .....	82
Figura 91 Localización opción “Cargar familia” (desde el modelo) .....	82
Figura 92 Desplegable tipo de vigas utilizables en el modelo .....	83
Figura 93 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar .....	83
Figura 94 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF .....	84
Figura 95 Viga salvapilar I-60. Tipo generado en modelo .....	84
Figura 96 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF .....	85
Figura 97 Viga salvapilar I-65. Tipo generado en modelo .....	85
Figura 98 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF .....	86
Figura 99 Viga salvapilar I-85. Tipo generado en modelo .....	86
Figura 100 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF .....	87
Figura 101 Viga salvapilar I-90. Tipo generado en modelo .....	87
Figura 102 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF .....	88
Figura 103 Viga salvapilar I-95. Tipo generado en modelo .....	88
Figura 104 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF .....	89
Figura 105 Viga salvapilar I-145. Tipo generado en modelo .....	89
Figura 106 Viga salvapilar R 40x65. Tipo generado en modelo .....	90
Figura 107 Vista 3D zona expediciones. Vigas salvapilar I-60, I-95, I-85 .....	91
Figura 108 Vista 3D zona producción y envasado dcha. Vigas salvapilar I-65, I-145, R 40x65 .....	91
Figura 109 Vista 3D zona producción y envasado izda. Vigas salvapilar I-65, I-90 .....	92
Figura 110 Vigas salvapilar. Vista 3D .....	92
Figura 111 Planos en AutoCad3D de las vigas Artwind proporcionados por ARTEPREF .....	93
Figura 112 Dimensiones Artwind 75+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	94
Figura 113 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	95
Figura 114 Sección de familia Artwind 75+2. Planos de referencia .....	96
Figura 115 Sección de familia Artwind 110+2. Planos de referencia .....	96

Figura 116 Sección de extrusión de familia Artwind 75+2 .....	97
Figura 117 Sección de extrusión de familia Artwind 110+2 .....	97
Figura 118 Localización comando Formas vacías.....	98
Figura 119 Desplegable Formas vacías. Extrusión vacía .....	98
Figura 120 Artwind 110+2.Vista lateral. Huecos en la viga.....	98
Figura 121 Artwind 110+2.Vista 3D. Huecos en la viga.....	99
Figura 122 Vigas Artwind 75+2 en zona de expediciones. Vista 3D.....	99
Figura 123 Vigas Artwind 75+2 en zona de expediciones. Vista 3D. Detalle .....	100
Figura 124 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D.....	100
Figura 125 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle .....	101
Figura 126 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle encuentro en viga salvapilar	101
Figura 127 Vigas Artwind 110+2 en zona de producción y envasado. Vista 3D. Detalle hueco interior sección	102
Figura 128 Vigas Artwind de cubierta. Vista 3D.....	103
Figura 129 Disposición de forjados según planos de ARTEPREF .....	104
Figura 130 Forjados estructura interior. Vista 3D. Vigas 40x40 .....	105
Figura 131 Dimensiones placa alveolar proporcionadas por ARTEPREF .....	105
Figura 132 Modelo de placa alveolar en Revit, adaptado a las dimensiones reales.....	106
Figura 133 Propiedades modelo de placa alveolar. “Activar modelo analítico” desactivado .....	107
Figura 134 Localización comando “Sistema de vigas” .....	107
Figura 135 Forjados estructura interior. Placas alveolares. Detalle cambio de dirección y disposición	1108
Figura 136 Forjados estructura interior. Placas alveolares. Detalle cambio de dirección y disposición	2108
Figura 137 Desplegable Categorías y tipos de suelos. 50mm y 100 mm para el modelo .....	109
Figura 138 Propiedades de tipo de suelo 50 mm.....	109
Figura 139 Ventana Editar estructura de montaje del suelo 50 mm .....	110
Figura 140 Localización comando Suelo estructural .....	110
Figura 141 Contorno suelo forjado 15+10 .....	110
Figura 142 Contorno suelo forjado 15+5 .....	111
Figura 143 Forjados estructura interior. Placas alveolares y suelo 15+10.....	111
Figura 144 Forjados estructura interior. Placas alveolares y suelo 15+5.....	112
Figura 145 Estructura interior de forjados. Vista 3D.....	112

Figura 146 Localización “Material estructural” en panel de propiedades .....	113
Figura 147 Características Hormigón HA-25 .....	114
Figura 148 Características Hormigón HA-45 .....	114
Figura 149 Modelo estructural completo en Revit. Vista 3D .....	115
Figura 150 Vista en planta.....	116
Figura 151 Vista en planta. Convenio Revit nombramiento de alzados .....	117
Figura 152 Vista en Revit. Alzado Este .....	117
Figura 153 Vista en Revit. Alzado Norte .....	117
Figura 154 Vista en Revit. Alzado Oeste.....	118
Figura 155 Vista en Revit. Alzado Sur .....	118
Figura 156 Modelo estructural completo (línea oculta). Vista 3D .....	118
Figura 157 Modelo estructural completo (sombreado). Vista 3D .....	119
Figura 158 Modelo analítico completo. Vista 3D .....	120
Figura 159 Vista 3D. Cámara interior 1 .....	121
Figura 160 Vista 3D. Cámara interior 2 .....	121
Figura 161 Vista 3D. Cámara interior 3 .....	122
Figura 162 Vista 3D. Cámara interior 4 .....	122
Figura 163 Vista 3D. Cámara interior 5 .....	123
Figura 164 Localización herramienta Cámara .....	123
Figura 165 Coeficiente de exposición(3.3.3) apartado 1 CTE.....	127
Figura 166 Imagen paramentos verticales .....	128
Figura 167 Localización pestaña Casos de Carga .....	129
Figura 168 Ventana de Casos de carga en Revit .....	130
Figura 169 Casos de carga en Revit. Hipótesis de viento completas .....	130
Figura 170 Vista 3D isométrica. Modelo analítico completo .....	131
Figura 171 Datos geométricos de cubierta (aplicación de cargas).....	132
Figura 172 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas).....	133
Figura 173 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar .....	134
Figura 174 Localización opción Cargas.....	135
Figura 175 Localización tipos de carga.....	135
Figura 176 Propiedades de carga lineal (1,69 kN/m) en dirección -Z .....	136

Figura 177 Carga Permanente cubierta + instalaciones colocadas en vigas de cubierta.....	137
Figura 178 Propiedades de carga superficial (2 kN/m <sup>2</sup> ) en dirección -Z .....	137
Figura 179 Carga Permanente cubierta + instalaciones y de forjados.....	138
Figura 180 Caso de cargas permanentes. Modelo analítico completo .....	138
Figura 181 Propiedades de carga superficial (5 y 10 kN/m <sup>2</sup> ) en dirección -Z.....	139
Figura 182 Sobrecargas en forjados .....	139
Figura 183 Propiedades de carga lineal (1,5 kN/m) en dirección -Z .....	140
Figura 184 Sobrecargas de uso en cubierta y forjados .....	141
Figura 185 Caso de sobrecargas. Modelo analítico completo .....	141
Figura 186 Propiedades de carga lineal (4,13 kN/m) en dirección -Z .....	142
Figura 187 Carga de nieve en cubierta.....	143
Figura 188 Caso de cargas de nieve. Modelo analítico completo .....	143
Figura 189 Modelo geométrico completo en Revit. Direcciones de viento.....	145
Figura 190 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W1146	
Figura 191 Valores de Cp para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W1                      147	
Figura 192 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W1.....	148
Figura 193 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W1                      149	
Figura 194 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W1 .....	150
Figura 195 Propiedades de carga lineal (0,57 kN/m) en dirección -Y .....	151
Figura 196 Carga de viento en fachadas. WIND1 X+ .....	151
Figura 197 Caso de cargas de viento X+ (WIND1). Modelo analítico completo.....	152
Figura 198 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W2153	
Figura 199 Valores de Cp para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W2                      154	
Figura 200 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W2.....	155
Figura 201 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W2                      156	
Figura 202 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W2 .....	157
Figura 203 Propiedades de carga lineal (0,15 kN/m) en dirección -Y .....	158
Figura 204 Carga de viento en fachadas. WIND2 Y-.....	158

Figura 205 Caso de cargas de viento Y- (WIND2). Modelo analítico completo .....	159
Figura 206 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W3	160
Figura 207 Valores de $C_p$ para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W3	161
Figura 208 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W3.....	162
Figura 209 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W3	163
Figura 210 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W3 .....	164
Figura 211 Propiedades de carga lineal (0,11 kN/m) en dirección -Y .....	165
Figura 212 Carga de viento en fachadas. WIND3 X-.....	165
Figura 213 Caso de cargas de viento X- (WIND3). Modelo analítico completo .....	166
Figura 214 Adaptación geométrica de las divisiones de fachadas según CTE para cargas de viento. W4	167
Figura 215 Valores de $C_p$ para las distintas fachadas de la nave según adaptación geométrica del CTE. W4	168
Figura 216 Valores de la carga de viento por sección de acuerdo a la adaptación geométrica. W4.....	169
Figura 217 Datos geométricos de fachadas (aplicación de cargas). Distancia tributaria por pilar + carga. W4	170
Figura 218 Cargas lineales a colocar en pilares del modelo en Revit. W4 .....	171
Figura 219 Propiedades de carga lineal (0,08 kN/m) en dirección +Y .....	172
Figura 220 Carga de viento en fachadas. WIND4 Y+ .....	172
Figura 221 Caso de cargas de viento Y+ (WIND4). Modelo analítico completo.....	173
Figura 222 Modelo analítico completo con todas las cargas introducidas (*).....	174
Figura 223 Modelo analítico completo en conjunto con el geométrico con todas las cargas introducidas	175
Figura 224 Modelo de la estructura en Robot tras el proceso de lectura .....	178
Figura 225 Localización del generador de secciones en Robot.....	179
Figura 226 Interfaz del creador de secciones de Robot. Sección maciza.....	180
Figura 227 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF .....	181
Figura 228 Sección viga salvapilar I-60, generada en Robot .....	181
Figura 229 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF .....	182
Figura 230 Sección viga salvapilar I-65, generada en Robot.....	182
Figura 231 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF .....	183
Figura 232 Sección viga salvapilar I-85, generada en Robot .....	183

Figura 233 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF .....	184
Figura 234 Sección viga salvapilar I-90, generada en Robot .....	184
Figura 235 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF .....	185
Figura 236 Sección viga salvapilar I-95, generada en Robot .....	185
Figura 237 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF .....	186
Figura 238 Sección viga salvapilar I-145, generada en Robot .....	186
Figura 239 Dimensiones Artwind 75+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	187
Figura 240 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	188
Figura 241 Sección viga Artwind 75+2, generada en Robot.....	189
Figura 242 Propiedades sección viga Artwind 75+2, generada en Robot.....	189
Figura 243 Sección viga Artwind 110+2, generada en Robot.....	190
Figura 244 Propiedades sección viga Artwind 110+2, generada en Robot.....	190
Figura 245 Localización opción Sección en Robot.....	191
Figura 246 Menú Sección. Secciones iniciales.....	191
Figura 247 Menú búsqueda en catálogos .....	192
Figura 248 Menú Sección. Secciones personalizadas cargadas de catálogo.....	192
Figura 249 Localización pestaña Sección en características de barras .....	193
Figura 250 Vigas de la nave. Sección vigas salvapilar.....	194
Figura 251 Vigas salvapilar con sección asignada en Robot. Modelo completo.....	194
Figura 252 Vigas Artwind con sección asignada en Robot. Modelo completo .....	195
Figura 253 Ejemplo nivel de detalle Robot vs Revit .....	196
Figura 254 Localización opción Apoyos.....	197
Figura 255 Menú Apoyo. Condiciones de contorno por defecto .....	198
Figura 256 Empotramiento de pilares. Modelo completo .....	198
Figura 257 Forjados de la estructura interna en Robot .....	199
Figura 258 Características suelos actuales, previamente a la modificación .....	200
Figura 259 Localización opción Espesor .....	200
Figura 260 Menú Espesor. Espesores leídos de Revit .....	201
Figura 261 Dimensiones placa alveolar proporcionadas por ARTEPREF.....	201
Figura 262 Propiedades de espesores equivalentes en Robot .....	202
Figura 263 Espesor 15+10 en dirección Y asignado en el modelo .....	202

Figura 264 Espesor 15+5 en dirección Y asignado en el modelo .....	203
Figura 265 Modelo acondicionado.....	204
Figura 266 Bidireccionalidad no conseguida.....	205
Figura 267 Trabajo en paralelo con ambos modelo.....	206
Figura 268 Ejes locales.....	208
Figura 269 Diagramas de esfuerzos – Momentos flectores $M_y$ .....	209
Figura 270 Diagramas de esfuerzos – Momentos flectores $M_z$ .....	210
Figura 271 Diagramas de esfuerzos – Axiles $F_x$ .....	211
Figura 272 Diagramas de esfuerzos – Cortantes $F_y$ .....	212
Figura 273 Diagramas de esfuerzos – Cortantes $F_z$ .....	213
Figura 274 Diagramas de deformación en ELU .....	214
Figura 275 Diagramas de deformación en ELU .....	215
Figura 276 Diagramas de deformación en DL1 .....	216
Figura 277 Diagramas de deformación en LL1 .....	216
Figura 278 Diagramas de deformación en WIND1.....	217
Figura 279 Diagramas de deformación en WIND2.....	217
Figura 280 Diagramas de deformación en WIND3.....	218
Figura 281 Diagramas de deformación en WIND4.....	218
Figura 282 Diagramas de deformación en SNOW1.....	219
Figura 283 Diagramas de deformación en LR1.....	219
Figura 284 Localización comando Refuerzo proporcionado de elementos RC.....	220
Figura 285 Disposición y sección de pilares .....	221
Figura 286 Columnas – Parámetros de elementos de hormigón armado .....	222
Figura 287 Interfaz Refuerzo proporcionado de elementos de RC.....	223
Figura 288 Opciones de cálculo. General .....	224
Figura 289 Opciones de cálculo. Hormigón.....	224
Figura 290 Opciones de cálculo. Arm. longitudinales .....	225
Figura 291 Opciones de cálculo. Arm. transversales.....	226
Figura 292 Opciones de cálculo. Guardar configuración.....	226
Figura 293 Disposición de armaduras. Barras longitudinales .....	227
Figura 294 Disposición de armaduras. Barras transversales.....	228



Figura 295 Localización comando Calcular.....	228
Figura 296 Pestaña Columna – resultados (pilar 50x40).....	229
Figura 297 Pestaña Columna – armaduras (pilar 50x40) .....	230
Figura 298 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 1) .....	231
Figura 299 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 2) .....	232
Figura 300 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 50x40) (página 3) .....	233
Figura 301 Pestaña Columna – armaduras (pilar 60x60) .....	234
Figura 302 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 1) .....	235
Figura 303 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 2) .....	236
Figura 304 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x60) (página 3) .....	237
Figura 305 Pestaña Columna – armaduras (pilar 60x70) .....	238
Figura 306 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 1) .....	239
Figura 307 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 2) .....	240
Figura 308 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 60x70) (página 3) .....	241
Figura 309 Pestaña Columna – armaduras (pilar 70x60) .....	242
Figura 310 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 1) .....	243
Figura 311 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 2) .....	244
Figura 312 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 70x60) (página 3) .....	245
Figura 313 Pestaña Columna – armaduras (pilar 80x60) .....	246
Figura 314 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 1) .....	247
Figura 315 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 2) .....	248
Figura 316 Pestaña Columna – nota de cálculo (pilar 80x60) (página 3) .....	249
Figura 317 Localización comando Integración .....	250
Figura 318 Ventana Integración con Revit Structure .....	250
Figura 319 Ventana Integración con Revit Structure – Opciones de envío.....	250
Figura 320 Bidireccionalidad selectiva aplicada a los pilares ya armados de la estructura.....	251
Figura 321 Ejemplo comparativo pilar 50x40.....	252
Figura 322 Ejemplo comparativo pilares 60x60, 60x70, 70x60 (de izquierda a derecha).....	253
Figura 323 Ejemplo comparativo pilar 80x60.....	254
Figura 324 Armado de pilares. Detalle 1 .....	255
Figura 325 Armado de pilares. Detalle 2 .....	256

Figura 326 Armado de pilares. Detalle 3 .....	257
Figura 327 Armado de pilares. Detalle 4 .....	258
Figura 328 Armado de pilares. Detalle 5 .....	259
Figura 329 Vista 3D Nave. Armados vistos a través de objetos .....	260
Figura 330 Interfaz inicial del programa.....	264
Figura 331 Pestaña Materiales. Material: Hormigón HA-45 .....	264
Figura 332 Pestaña Materiales. Material: Acero B-500-S .....	265
Figura 333 Pestaña Materiales. Material: Acero Y-1860-S.....	265
Figura 334 Pestaña Secciones. Sección indefinida .....	266
Figura 335 Pestaña Secciones. Parámetros de la sección viga I-60 .....	266
Figura 336 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF .....	267
Figura 337 Geometría de sección genérica. Definición de sección viga salvapilar I-60.....	267
Figura 338 Geometría de sección genérica. Definición de armaduras viga salvapilar I-60.....	268
Figura 339 Tablas estándar de fabricante. Cordones de armadura activa.....	269
Figura 340 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-60.....	270
Figura 341 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-60 (método 1) .....	271
Figura 342 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-60 .....	271
Figura 343 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-60 (método 2).....	272
Figura 344 Armado longitudinal final viga salvapilar I-60 .....	272
Figura 345 Viga salvapilar I-60. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma.....	273
Figura 346 Armado longitudinal final viga salvapilar I-60. Delimitación del alma .....	273
Figura 347 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-60 .....	274
Figura 348 Resistencia a cortante viga salvapilar I-60.....	275
Figura 349 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-60 .....	276
Figura 350 Armado total final viga salvapilar I-60.....	276
Figura 351 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF .....	277
Figura 352 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-65.....	277
Figura 353 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-65 (método 1) .....	278
Figura 354 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-65 .....	278
Figura 355 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-65 (método 2).....	279
Figura 356 Armado longitudinal final viga salvapilar I-65 .....	279

Figura 357 Viga salvapilar I-65. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma.....	280
Figura 358 Armado longitudinal final viga salvapilar I-65. Delimitación del alma .....	280
Figura 359 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-65 .....	281
Figura 360 Resistencia a cortante viga salvapilar I-65.....	281
Figura 361 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-65 .....	282
Figura 362 Armado total final viga salvapilar I-65.....	282
Figura 363 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF .....	283
Figura 364 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-85 .....	283
Figura 365 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-85 (método 1) .....	284
Figura 366 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-85 .....	284
Figura 367 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-85 (método 2).....	285
Figura 368 Armado longitudinal final viga salvapilar I-85 .....	285
Figura 369 Viga salvapilar I-85. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma.....	286
Figura 370 Armado longitudinal final viga salvapilar I-85. Delimitación del alma .....	286
Figura 371 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-85 .....	287
Figura 372 Resistencia a cortante viga salvapilar I-85.....	287
Figura 373 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-85 .....	288
Figura 374 Armado total final viga salvapilar I-85.....	288
Figura 375 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF .....	289
Figura 376 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-90 .....	289
Figura 377 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-90 (método 1) .....	290
Figura 378 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-90 .....	290
Figura 379 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-90 (método 2).....	291
Figura 380 Armado longitudinal final viga salvapilar I-90 .....	291
Figura 381 Viga salvapilar I-90. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma.....	292
Figura 382 Armado longitudinal final viga salvapilar I-90. Delimitación del alma .....	292
Figura 383 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-90 .....	293
Figura 384 Resistencia a cortante viga salvapilar I-90.....	293
Figura 385 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-90.....	294
Figura 386 Armado total final viga salvapilar I-90.....	294
Figura 387 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF .....	295

Figura 388 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-95 .....	295
Figura 389 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-95 (método 1) .....	296
Figura 390 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-95 .....	296
Figura 391 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-95 (método 2) .....	297
Figura 392 Armado longitudinal final viga salvapilar I-95 .....	297
Figura 393 Viga salvapilar I-95. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma.....	298
Figura 394 Armado longitudinal final viga salvapilar I-95. Delimitación del alma .....	298
Figura 395 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-95 .....	299
Figura 396 Resistencia a cortante viga salvapilar I-95.....	299
Figura 397 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-95 .....	300
Figura 398 Armado total final viga salvapilar I-95.....	300
Figura 399 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF .....	301
Figura 400 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar I-145 .....	301
Figura 401 Curva momento-curvatura viga salvapilar I-145 (método 1) .....	302
Figura 402 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar I-145 .....	302
Figura 403 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar I-145 (método 2) .....	303
Figura 404 Armado longitudinal final viga salvapilar I-145 .....	303
Figura 405 Viga salvapilar I-145. Cotas de ARTEPREF. Geometría del alma .....	304
Figura 406 Armado longitudinal final viga salvapilar I-145. Delimitación del alma .....	304
Figura 407 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar I-145 .....	305
Figura 408 Resistencia a cortante viga salvapilar I-145 .....	305
Figura 409 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar I-145.....	306
Figura 410 Armado total final viga salvapilar I-145.....	306
Figura 411 Viga salvapilar R 40x65. Cotas de ARTEPREF .....	307
Figura 412 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga salvapilar R-40x65 .....	307
Figura 413 Curva momento-curvatura viga salvapilar R 40x65 (método 1).....	308
Figura 414 Máximo momento flector encontrado en vigas salvapilar R 40x65.....	308
Figura 415 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga salvapilar R 40x65 (método 2) .....	309
Figura 416 Armado longitudinal final viga salvapilar R 40x65** .....	309
Figura 417 Viga salvapilar R 40x65. Cotas de ARTEPREF .....	310
Figura 418 Armado longitudinal final viga salvapilar R 40x65 .....	310

Figura 419 Módulo secciones rectangulares por área para viga salvapilar R 40x65.....	311
Figura 420 Resistencia a cortante viga salvapilar R 40x65 .....	311
Figura 421 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar R 40x65 .....	312
Figura 422 Armado total final viga salvapilar R 40x65 .....	312
Figura 423 Dimensiones Artwind 75+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	313
Figura 424 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga Artwind 75+2.....	314
Figura 425 Curva momento-curvatura viga Artwind 75+2 (método 1).....	315
Figura 426 Máximo momento flector encontrado en vigas Artwind 75+2 .....	315
Figura 427 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga Arwind 75+2 (método 2).....	316
Figura 428 Armado longitudinal final viga Artwind 75+2.....	316
Figura 429 Viga Artwind 75+2. ....	317
Figura 430 Módulo secciones rectangulares por área para viga Artwind 75+2.....	317
Figura 431 Resistencia a cortante viga Artwind 75+2 .....	318
Figura 432 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar Artwind 75+2** .....	319
Figura 433 Armado total final viga Artwind 75+2 .....	319
Figura 434 Dimensiones Artwind 110+2, proporcionadas por ARTEPREF .....	320
Figura 435 Gráfico, características mecánicas. Resultados sección viga Artwind 110+2.....	321
Figura 436 Curva momento-curvatura viga Artwind 110+2 (método 1).....	322
Figura 437 Máximo momento flector encontrado en vigas Artwind 110+2 .....	322
Figura 438 Cálculo coeficiente de seguridad flexión esviada viga Arwind 110+2 (método 2).....	323
Figura 439 Armado longitudinal final viga Artwind 110+2** .....	323
Figura 440 Viga Artwind 110+2. ....	324
Figura 441 Módulo secciones rectangulares por área para viga Artwind 110+2.....	324
Figura 442 Resistencia a cortante viga Artwind 110+2 .....	325
Figura 443 Máximo cortante encontrado en vigas salvapilar Artwind 110+2** .....	326
Figura 444 Armado total final viga Artwind 110+2 .....	326
Figura 445 Localización comando Sección .....	328
Figura 446 Localización y orientación de la sección para armar viga salvapilar I-60 .....	328
Figura 447 Sección obtenida y detalle para proceder a armar viga salvapilar I-60 .....	329
Figura 448 Localización menú armadura .....	329
Figura 449 Localización del Navegador de formas de armadura .....	330

Figura 450 Opción Plano de colocación en menú Colocar armadura .....	330
Figura 451 Opción Orientación de colocación en menú Colocar armadura .....	330
Figura 452 Opción Conjunto de armaduras en menú Colocar armadura .....	331
Figura 453 Armado total final viga salvapilar I-60.....	331
Figura 454 Propiedades de Armado. Diámetro y tipo de acero.....	331
Figura 455 Primera rama del armado transversal.....	332
Figura 456 Segunda rama del armado transversal.....	332
Figura 457 Armado longitudinal pasivo.....	333
Figura 458 Nuevo tipo de diámetro generado para simular el armado activo.....	333
Figura 459 Armado longitudinal activo (de pretensar) .....	334
Figura 460 Menú Estilos de visibilidad de elemento armadura .....	334
Figura 461 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Vista 3D .....	335
Figura 462 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Sección .....	335
Figura 463 Armado de viga I-60 modelizado en Revit. Detalle .....	336
Figura 464 Armado total final viga salvapilar I-65.....	337
Figura 465 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Vista 3D .....	337
Figura 466 Armado de viga I-65 modelizado en Revit. Sección .....	338
Figura 467 Armado total final viga salvapilar I-85.....	339
Figura 468 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Vista 3D .....	339
Figura 469 Armado de viga I-85 modelizado en Revit. Sección .....	340
Figura 470 Armado total final viga salvapilar I-90.....	341
Figura 471 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Vista 3D .....	341
Figura 472 Armado de viga I-90 modelizado en Revit. Sección .....	342
Figura 473 Armado total final viga salvapilar I-95.....	343
Figura 474 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Vista 3D .....	343
Figura 475 Armado de viga I-95 modelizado en Revit. Sección .....	344
Figura 476 Armado total final viga salvapilar I-145.....	345
Figura 477 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Vista 3D .....	345
Figura 478 Armado de viga I-145 modelizado en Revit. Sección .....	346
Figura 479 Armado total final viga salvapilar R 40x65 .....	347
Figura 480 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Vista 3D.....	347

Figura 481 Armado de viga R 40x65 modelizado en Revit. Sección.....	348
Figura 482 Armado de viga R 40x40 en forjados 1 modelizado en Revit. Vista 3D.....	348
Figura 483 Armado de viga R 40x40 en forjados 2 modelizado en Revit. Vista 3D.....	349
Figura 484 Armado total final viga Artwind 75+2 .....	350
Figura 485 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Vista 3D.....	350
Figura 486 Armado de viga Artwind 75+2 modelizado en Revit. Sección.....	351
Figura 487 Armado total final viga Artwind 110+2 .....	352
Figura 488 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Vista 3D.....	352
Figura 489 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección.....	353
Figura 490 Armado de viga Artwind 110+2 modelizado en Revit. Sección. Corte transversal .....	353
Figura 491 Modelizado de armados. Modelo completo. Vista 3D.....	354
Figura 492 Modelizado de armados. Detalle 1 .....	355
Figura 493 Modelizado de armados. Detalle 2 .....	355
Figura 494 Modelizado de armados. Detalle 3 .....	356
Figura 495 Modelizado de armados. Detalle 4 .....	356
Figura 496 Modelizado de armados. Detalle 5 .....	357
Figura 497 Modelizado de armados. Detalle 6 .....	357
Figura 498 Modelo preliminar de nave y edificio de oficinas anexo (Idom) .....	358
Figura 499 Disposición de encepados en modelo preliminar .....	359
Figura 500 Disposición de encepados en modelo preliminar. Simplificaciones Nave .....	360
Figura 501 Geometría y armado encepado tipo E1 .....	361
Figura 502 Geometría y armado encepado tipo E2 .....	361
Figura 503 Geometría y armado encepado tipo E3 .....	362
Figura 504 Geometría y armado encepado tipo E4 y E5.....	362
Figura 505 Geometría y armado encepado tipo E6 .....	363
Figura 506 Localización opciones de cimentación .....	363
Figura 507 Localización comando Cargar familia .....	364
Figura 508 Familia de encepado con dos pilotes en las librerías de Revit: Cimentación estructural .....	364
Figura 509 Pilotes por defecto (Diámetro 400mm) frente al tipo modificado con pilotes de Diámetro 650mm	365
Figura 510 Editar tipo de pilotes dentro de la familia del encepado .....	365



Figura 511 Ejemplar de encepado 325x130x100cm .....	366
Figura 512 Localización comando Colocar-En pilares .....	367
Figura 513 Disposición de encepados en el modelo geométrico en Revit.....	367
Figura 514 Vista conjunta encepados y estructura en el modelo geométrico en Revit .....	368
Figura 515 Dimensiones y armados vigas riostras. ....	369
Figura 516 Disposición de encepados y vigas riostra en el modelo geométrico en Revit .....	370
Figura 517 Vista conjunta cimentación y estructura en el modelo geométrico en Revit .....	371
Figura 518 Tabla de materiales planos ARTEPREF .....	372
Figura 519 Geometría y armado encepado tipo E1 + dimensiones y armados viga riostra VC 1.1 .....	372
Figura 520 Encepado y viga riostra cuya modelización de armado se ejemplifica .....	373
Figura 521 Localización comando Sección .....	373
Figura 522 Localización y orientación de la sección para armar el encepado E1 .....	374
Figura 523 Sección obtenida y detalle para proceder a armar encepado E1 .....	374
Figura 524 Menú Configuración de recubrimiento de armadura .....	375
Figura 525 Menú propiedades de zapata. Recubrimientos y volumen de armado .....	376
Figura 526 Localización menú armadura .....	376
Figura 527 Localización del Navegador de formas de armadura .....	377
Figura 528 Opción Plano de colocación en menú Colocar armadura .....	377
Figura 529 Opción Orientación de colocación en menú Colocar armadura .....	377
Figura 530 Opción Conjunto de armaduras en menú Colocar armadura .....	378
Figura 531 Armadura de piel.....	378
Figura 532 Estribo auxiliar de referencia.....	379
Figura 533 Armaduras longitudinales superior e inferior .....	379
Figura 534 2 cercos de diámetro 6mm.....	380
Figura 535 Menú Estilos de visibilidad de elemento de armadura .....	381
Figura 536 Vista en detalle del armado de la zapata .....	381
Figura 537 Cercos de los pilotes.....	382
Figura 538 Armado longitudinal de los pilotes.....	382
Figura 539 Vista en detalle del armado del encepado E1 completo.....	383
Figura 540 Localización y orientación de la sección para armar la viga riostra VC 1.1 .....	383
Figura 541 Sección obtenida para proceder a armar viga riostra VC 1.1.....	384

Figura 542 Estribos colocados en viga riostra. 1 cerco de diámetro 10 mm dispuesto cada 30 cm.....	384
Figura 543 Armaduras longitudinales colocadas en viga riostra.....	385
Figura 544 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1 .....	385
Figura 545 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1 .....	386
Figura 546 Vista en detalle de armado de viga riostra VC 1.1 y encepado E1 .....	386
Figura 547 Detalle resolución del encuentro viga riostra - encepado .....	387
Figura 548 Geometría y armado encepado tipo E2 .....	388
Figura 549 Vista en detalle del armado completo del encepado E2.....	388
Figura 550 Geometría y armado encepado tipo E3 .....	389
Figura 551 Vista en detalle del armado completo del encepado E3.....	389
Figura 552 Geometría y armado encepado tipo E4 .....	390
Figura 553 Vista en detalle del armado completo del encepado E4.....	390
Figura 554 Geometría y armado encepado tipo E5 .....	391
Figura 555 Vista en detalle del armado completo del encepado E5.....	391
Figura 556 Geometría y armado encepado tipo E6 .....	392
Figura 557 Vista en detalle del armado completo del encepado E6.....	392
Figura 558 Geometría y armados viga riostra VC 1.2.....	393
Figura 559 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.2.....	393
Figura 560 Geometría y armados viga riostra VC 1.3.....	394
Figura 561 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.3.....	394
Figura 562 Geometría y armados viga riostra VC 1.4.....	395
Figura 563 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.4.....	395
Figura 564 Geometría y armados viga riostra VC 1.5.....	396
Figura 565 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.5.....	396
Figura 566 Geometría y armados viga riostra VC 1.6.....	397
Figura 567 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.6.....	397
Figura 568 Geometría y armados viga riostra VC 1.7.....	398
Figura 569 Vista en detalle del armado modelizado de viga riostra VC 1.7 .....	398
Figura 570 Vista isométrica de cimentación. Armado visible .....	399
Figura 571 Armado de la cimentación completo. Detalle 1.....	400
Figura 572 Armado de la cimentación completo. Detalle 2.....	401

Figura 573 Armado de la cimentación completo. Detalle 3 .....	401
Figura 574 Armado de la cimentación completo. Detalle 4 .....	402
Figura 575 Localización comando Suelo arquitectónico .....	403
Figura 576 Tipo de suelo generado para solera: espesor 40 cm .....	403
Figura 577 Contorno de solera .....	404
Figura 578 Vista 3D de la nave. Adición de la solera .....	405
Figura 579 Localización hueco para el tramo de escaleras. Vista 3D .....	406
Figura 580 Localización comando Escalera por boceto .....	407
Figura 581 Boceto de recorrido de escalera genérica .....	407
Figura 582 Escalera genérica modelizada en Revit .....	408
Figura 583 Escalera genérica modelizada en Revit. Detalle barandilla superior .....	409
Figura 584 Escalera genérica modelizada en Revit. Detalle doble descansillo arquitectónico .....	410
Figura 585 Escalera genérica modelizada en Revit. Vista lateral 1 .....	411
Figura 586 Escalera genérica modelizada en Revit. Vista lateral 2 .....	412
Figura 587 Cerramiento perimetral .....	413
Figura 588 Tipo de muro generado. Espesor 20 cm .....	413
Figura 589 Material del muro de cerramiento: Hormigón, paneles prefabricados .....	414
Figura 590 Editor de texturas. Material: Hormigón, paneles prefabricados .....	414
Figura 591 Cerramiento perimetral modelizado en Revit. Modelo completo. Vista 3D .....	415
Figura 592 Cerramiento perimetral modelizado en Revit. Detalle .....	416
Figura 593 Modelización de cerramientos y muros internos. Modelo completo. Vista 3D .....	417
Figura 594 Modelización de cerramientos y muros internos. Detalle muro separación zonas. Vista 3D .....	418
Figura 595 Modelización de cerramientos y muros internos. Detalle muro interno forjados. Vista 3D .....	418
Figura 596 Localización comandos Puerta y Ventana .....	419
Figura 597 Puerta colocada en muro perimetral .....	419
Figura 598 Listado de puertas y ventanas utilizadas en el modelo .....	420
Figura 599 Modelización de puertas y ventanas. Modelo completo. Vista 3D .....	421
Figura 600 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 1 .....	422
Figura 601 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 2 .....	423
Figura 602 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 3 .....	424
Figura 603 Modelización de puertas y ventanas. Detalle 4 .....	424

Figura 604 Sketch up modelo ampliación Pastas Romero (ARTEPREF) .....	425
Figura 605 Alineaciones de vigas Artwind con elevación de 25 cm .....	425
Figura 606 Localización comando Cubierta por perímetro .....	426
Figura 607 Perímetro panel de cubierta sobre forjados (en rosa) .....	426
Figura 608 Vista lateral panel de cubierta sobre forjados .....	427
Figura 609 Localización comando Modificar subelementos .....	427
Figura 610 Subelementos (cuadrados verdes) de la cubierta .....	428
Figura 611 Panel de cubierta colocado mediante modificación de subelementos .....	428
Figura 612 Panel de cubierta colocado mediante modificación de subelementos. Detalle .....	429
Figura 613 Hueco para colocación del panel acristalado de cubierta. Detalle 1 .....	430
Figura 614 Hueco para colocación del panel acristalado de cubierta. Detalle 2 .....	430
Figura 615 Colocación lucernario de principio a fin de viga Artwind.....	431
Figura 616 Localización comandos Editar Perfil y Enlazar parte superior/base.....	431
Figura 617 Panel de vidrio de lucernario modelizado en Revit. Detalle 1 .....	432
Figura 618 Panel de vidrio de lucernario modelizado en Revit. Detalle 2 .....	432
Figura 619 Localización comandos Rejilla muro cortina y Montante .....	433
Figura 620 Rejilla generada en el lucernario.....	433
Figura 621 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 1 .....	434
Figura 622 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 2 .....	434
Figura 623 Montantes colocados sobre las líneas de rejilla en el lucernario. Detalle 3 .....	435
Figura 624 Cubierta modelizada al completo en Revit .....	435
Figura 625 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 1 .....	436
Figura 626 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 2 .....	436
Figura 627 Cubierta modelizada al completo en Revit. Detalle 3 .....	437
Figura 628 Cubierta modelizada al completo en Revit. Modelo completo. Vista 3D .....	437

---

## ANEXO IX. PDF DINÁMICO 3D

El presente anexo aporta, para aquellos lectores del documento que estén consultándolo en formato informático, un modelo en 3D dinámico extraído desde Revit para permitir un mayor acercamiento del lector al trabajo realizado por el alumno.

Nótese que para una correcta visualización y manipulación del mismo, la opción de permitir la visualización de archivos 3D deberá estar activada en el visor de documentos PDF que se esté utilizando.

