



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño y cálculo estructural de un edificio destinado a centro comercial

Grado en: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Autor: María Paz Sánchez Quesada

Tutor: D. José Sandino Egea

Málaga, octubre de 2025

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales tiene como objetivo el diseño y cálculo estructural de un centro comercial situado en el Polígono Industrial Los Rubiales, en Linares (Jaén). La estructura proyectada se resuelve íntegramente en acero, diferenciándose en dos volúmenes principales: una nave destinada a locales comerciales y otra de menor dimensión destinada a restauración.

En la memoria se describen las distintas fases del trabajo: desde el estudio preliminar de la distribución y sectorización del edificio hasta el predimensionamiento, cálculo y comprobación de la estructura metálica. Se incluyen las verificaciones frente a resistencia, inestabilidad y flecha máxima admisible, así como la definición de la cimentación y las uniones estructurales. Finalmente, se presenta la configuración final de la estructura junto con el modelado arquitectónico en 3D.

Para el desarrollo del proyecto se emplea la metodología BIM, integrando los diferentes programas de cálculo y modelado a través de la plataforma BIMserver Center. Entre las aplicaciones utilizadas destacan AutoCAD para la elaboración de croquis, Generador de Pórticos y CYPE 3D para el cálculo estructural, CYPE Connect para el análisis de uniones y CYPE Architecture para la representación arquitectónica.

El resultado es una propuesta estructural funcional, estable y segura, ajustada a los criterios normativos vigentes y con capacidad para albergar la actividad prevista, que responde a la demanda de nuevos espacios comerciales en la ciudad de Linares.

Palabras clave

Estructura metálica, CYPE, CYPE 3D, CYPE Connect, CYPE Architecture, BIM, Acero, Unión, Pandeo, Cubierta, Pilar, Viga, Pórtico, Cimentación, Modelado.

Abstract

This Final Degree Project in Industrial Technologies Engineering aims to design and calculate the structure of a shopping center located in the Los Rubiales Industrial Park, in Linares (Jaén). The projected structure is entirely made of steel and is divided into two main volumes: one intended for retail spaces and another, smaller one, intended for restaurants.

The report describes the different phases of the work: from the preliminary study of the building's layout and sectorization to the pre-dimensioning, calculation, and verification of the steel structure. Checks are included for resistance, instability (buckling and lateral-torsional buckling), and maximum deflection, as well as the definition of the foundation and structural joints. Finally, the final configuration of the structure is presented together with its 3D architectural modeling.

For the development of the project, the BIM methodology is applied, integrating the different calculation and modeling programs through the BIMserver Center platform. The software used includes AutoCAD for preliminary sketches, CYPE Frame Generator and CYPE 3D for structural analysis, CYPE Connect for the study of joints, and CYPE Architecture for architectural representation.

The result is a functional, stable, and safe structural proposal, in compliance with current regulations and capable of hosting the intended activity, meeting the demand for new commercial spaces in the city of Linares.

Keywords

Metal structure, CYPE, CYPE 3D, CYPE Connect, CYPE Architecture, BIM, Steel, Joint, Buckling, Roof, Pillar, Beam, Frame, Foundation, Modeling.

Agradecimientos

Hasta llegar a este momento, he recorrido un duro camino en el que parecía que nunca llegaba a la meta. Sin embargo, habría sido mucho más difícil sin el apoyo constante de las personas más importantes de mi vida, y a las que se lo quiero agradecer.

A mi madre, por creer siempre en mí. Siempre estás ahí para sostenerme y levantarme cuando ni yo misma sé que lo necesito. Desde que era pequeña, te veo como la mujer fuerte y valiente en la que me quiero convertir. Eres mi mayor ejemplo a seguir.

A mi padre, porque un abrazo tuyo me hace olvidar todos los problemas. En los peores momentos, siempre cuento el tiempo que falta para verte. Gracias por tu enorme paciencia y por todos tus sacrificios para darme siempre lo mejor. Eres la mejor persona que conozco.

A mi hermana, que está a mi lado en todo momento. Gracias por tu paciencia y por aguantarme en los momentos difíciles. No me imagino ningún momento importante de mi vida sin ti a mi lado. Siempre estaré aquí para ti, mi mayor orgullo es ser tu hermana. Este logro también es tuyo.

A toda mi familia, por preocuparse siempre por mí y mostrarme su orgullo.

A las personas que le han dado alegría a este camino durante estos años. A mis amigos de la universidad, gracias por las risas, por entenderme y por hacerlo todo más ameno. A Mari Jose, sin ti todo habría sido mucho más difícil. Con un simple toque en la pared me hacías sentir en el lugar más seguro. Gracias por estar siempre “next to me”.

A mi misma, por no rendirme nunca. Todo ha merecido la pena.

Gracias a todos vosotros. Hemos cruzado la meta.

Índice

1	Objeto	18
2	Alcance	18
3	Antecedentes	18
4	Normativa aplicada	19
5	Abreviaturas y definiciones	19
6	Metodología de trabajo y programas utilizados	19
7	Localización	20
8	Diseño del modelo	21
9	Predimensionado	24
10	Acciones sobre la estructura	27
10.1	Acciones permanentes	27
10.1.1	Peso propio	27
10.1.2	Cargas muertas	27
10.2	Acciones variables	28
10.2.1	Sobrecarga de uso	28
10.2.2	Viento	29
10.2.3	Nieve	32
11	Análisis de estabilidad	34
11.1	Pandeo por flexión	34
11.1.1	Pilares	35
11.1.2	Vigas de cubierta	36
11.1.3	Vigas de carga	37
11.1.4	Viguetas	38
11.2	Pandeo lateral	38
11.2.1	Vigas de cubierta	39
11.2.2	Vigas de carga	40
11.2.3	Viguetas	41
12	Configuración final de la estructura	42

13 Cimentación	44
14 Uniones	46
14.1 Unión Viga de cubierta, Pilar y Vigas de atado	48
14.2 Unión Viga de carga, Viguetas y Pilar	50
14.3 Unión Viga de carga y Viguetas	52
15 Modelado 3D	53
16 Bibliografía	61

Índice de figuras

1	Emplazamiento del centro comercial (Fuente propia)	21
2	Diseño edificio (Fuente propia)	22
3	Pórtico de la nave principal (Fuente propia)	23
4	Estructura completa (Fuente propia)	24
5	Perfil IPE (Fuente propia)	26
6	Perfil HEB (Fuente propia)	26
7	Perfil R (Fuente propia)	27
8	Valor básico de la velocidad del viento (Figura D.1, DBSE-AE) . .	30
9	Parámetros de sobrecarga de viento en el generador de pórticos (Fuente propia)	31
10	Modelo para la zona de restaurantes (Fuente propia)	32
11	Cargas superficiales debidas al viento (Fuente propia)	32
12	Cargas superficiales debidas al viento (Fuente propia)	34
13	Pandeo de pilares (Fuente propia)	36
14	Pandeo por flexión de las vigas de cubierta (Fuente propia)	37
15	Pandeo por flexión de las vigas de carga (Fuente propia)	38
16	Diagrama de momentos de las vigas de cubierta (Fuente propia) . .	39
17	Pandeo lateral de las vigas de cubierta (Fuente propia)	40
18	Diagrama de momentos de las vigas de carga (Fuente propia)	41
19	Pandeo lateral de las vigas de carga (Fuente propia)	41
20	Diagrama de momentos de las viguetas (Fuente propia)	42
21	Pandeo lateral de las viguetas (Fuente propia)	42
22	Configuración final de la estructura (Fuente propia)	44
23	Cimentación (Fuente propia)	45
24	Placa de anclaje entre zapata y pilar (Fuente propia)	46
25	Modelo inicial de Cype Connect (Fuente propia)	47
26	Unión Viga de cubierta-Pilar (Fuente propia)	48
27	Unión Viga de cubierta-Pilar. Tensión de Von Mises (Fuente propia)	49
28	Unión Viga de carga-Viguetas-Pilar (Fuente propia)	50
29	Unión Viga de carga-Viguetas-Pilar. Tensión de Von Mises (Fuente propia)	51
30	Unión Viga de carga-Viguetas (Fuente propia)	52
31	Unión Viga de carga-Viguetas. Tensión de Von Mises (Fuente propia)	53
32	Edificio en 3D (Fuente propia)	54
33	Fachada norte (Fuente propia)	54
34	Fachada sur (Fuente propia)	55
35	Fachada este (Fuente propia)	55
36	Fachada oeste (Fuente propia)	55

37	Planta baja (Fuente propia)	56
38	Planta de arriba (Fuente propia)	57
39	Tienda tipo (Fuente propia)	58
40	Baños de la planta baja (Fuente propia)	58
41	Baños de la planta de arriba (Fuente propia)	59
42	Parque infantil (Fuente propia)	59
43	Zona de descanso (Fuente propia)	60
44	Restaurantes (Fuente propia)	60
45	Terraza (Fuente propia)	61

Índice de tablas

1	Características mecánicas mínimas de los aceros (Tabla 4.1, DBSE-A)	25
2	Valores característicos de las sobrecargas de uso (Tabla 3.1, DBSE-AE)	28
3	Valores del coeficiente de exposición (Tabla 3.4, DBSE-AE)	29
4	Valores del coeficiente eólico (Tabla 3.5, DBSE-AE)	29
5	Sobrecarga de nieve en provincias (Tabla 3.8, DBSE-AE)	33
6	Longitud de pandeo de barras canónicas (Tabla 6.1, DBSE-A)	35



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

MEMORIA

Diseño y cálculo estructural de un edificio destinado a centro comercial

Grado en: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Autor: María Paz Sánchez Quesada

Tutor: D. José Sandino Egea

Málaga, octubre de 2025

1. Objeto

El presente proyecto se redacta con carácter académico como Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, en el que se aplica de forma práctica la formación adquirida para el diseño y cálculo de una estructura metálica.

El objetivo fundamental es definir una solución estructural segura, estable y funcional, que cumpla con la normativa vigente. La estructura se ha destinado a albergar un centro comercial.

2. Alcance

El alcance comprende todas las fases necesarias para el desarrollo estructural de la nave, desde los estudios previos hasta la definición completa del edificio.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un análisis preliminar orientado a determinar la distribución y sectorización más adecuadas para un centro comercial de las características planteadas. A partir de este estudio, se ha realizado un prediseño de la estructura, que posteriormente ha sido objeto de cálculo, comprobación y optimización, tanto de la estructura como de la cimentación y las uniones estructurales, todo ello con el apoyo de programas informáticos especializados.

Finalmente, el proyecto se completa con el diseño exterior e interior de la nave, con el fin de aportar una visión global que combine la funcionalidad estructural con la integración arquitectónica del edificio.

3. Antecedentes

Como punto de partida, se plantea la construcción de un edificio industrial de uso comercial, resuelto mediante una estructura metálica y compuesto por dos naves diferenciadas pero comunicadas entre sí: la primera destinada a la actividad principal de tiendas y locales comerciales, y la segunda orientada a la zona de restauración.

Con esta premisa inicial, se procede a la búsqueda de una localización adecuada para el proyecto.

4. Normativa aplicada

- Código Técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006
 - CTE DB-SE-AE: Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.
- Norma UNE-EN 1993
- Norma UNE-EN 10025

5. Abreviaturas y definiciones

- CTE: Código Técnico de la Edificación.
- RD: Real Decreto.
- UNE: Una Norma Española.
- EN: Norma Europea.
- DB-SE-AE: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.
- DB-SE-A: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acero.
- DB-SE-C: Documento Básico. Seguridad Estructural. Cimientos.
- BIM: Building Information Modeling.

6. Metodología de trabajo y programas utilizados

El desarrollo del proyecto sigue una metodología estructurada en distintas fases.

En primer lugar, se ha utilizado AutoCAD para la elaboración de croquis y bocetos iniciales, lo que permite definir la geometría general del centro comercial y representar las diferentes alternativas de diseño.

A continuación, se ha introducido la estructura en el Generador de Pórticos de CYPE, donde se definen las dimensiones básicas y las cargas principales de viento y nieve establecidas por la normativa. El modelo generado se exporta a CYPE 3D, programa en el que se ha realizado el cálculo estructural completo: asignación de

perfiles, análisis de fenómenos de inestabilidad y verificación de todas las comprobaciones normativas. En este mismo programa se ha dimensionado también la cimentación.

Para el análisis de las uniones se ha empleado el programa CYPE Conenct, con el que se han modelado y calculado las conexiones más representativas mediante el método de elementos finitos.

La coordinación del trabajo en entorno colaborativo se gestiona a través de BIMserver Center, que permite la interoperabilidad entre todos los programas utilizados.

Finalmente, se ha desarrollado un modelo arquitectónico de la nave con CYPE Architecture, obteniendo una representación visual completa del edificio.

7. Localización

El centro comercial proyectado se sitúa en el Polígono Industrial Los Rubiales, en el término municipal de Linares, 23700, Jaén. Se trata de un emplazamiento localizado en las inmediaciones del casco urbano de Linares, lo que permite una buena accesibilidad para el transporte de mercancías y usuarios.

Para la elección del solar se ha consultado el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Linares, con el objetivo de identificar parcelas clasificadas como suelo industrial con posibilidad de edificación.

La parcela seleccionada tiene una superficie total de $2,645 m^2$, suficiente para albergar tanto la edificación como los accesos y espacios auxiliares necesarios. Las coordenadas UTM (Huso 30, ETRS 89) correspondientes son: X: 442687,87 y Y: 4215571,62. La referencia catastral de la finca es 2757314VH4125N.



Figura 1: *Emplazamiento del centro comercial (Fuente propia)*

8. Diseño del modelo

Durante el proceso de definición de la estructura se han realizado numerosas pruebas y planteamientos alternativos, con el objetivo de obtener una solución que responda tanto a las necesidades funcionales como a los condicionantes estructurales del edificio. Tras este proceso, se ha optado por un diseño definitivo que divide el centro comercial en dos partes diferenciadas y conectadas entre sí, cada una con un uso específico.

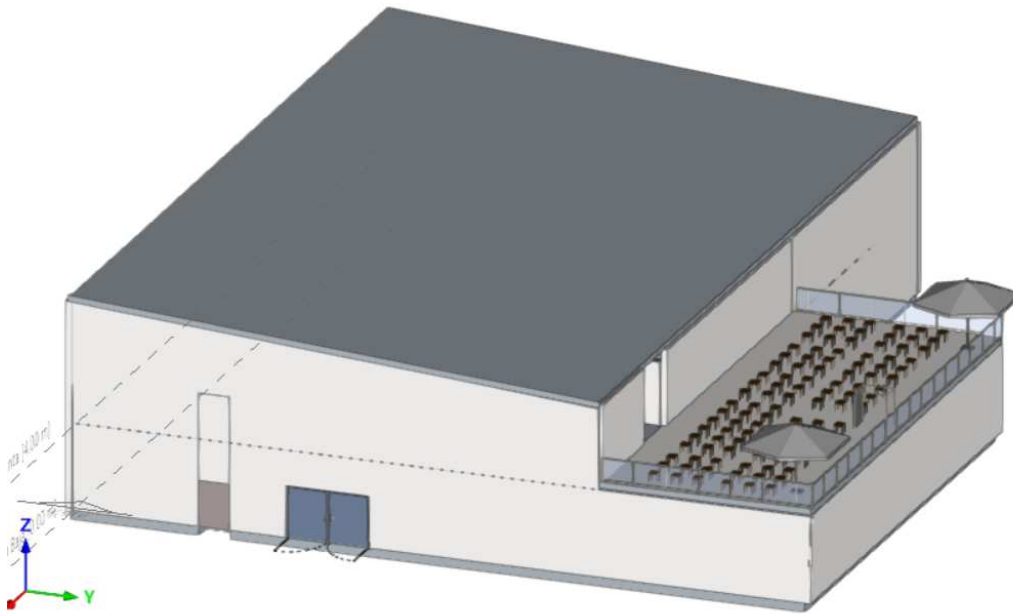


Figura 2: *Diseño edificio (Fuente propia)*

La primera y principal zona corresponde a la nave destinada a la actividad comercial. Este espacio, concebido para albergar tiendas y locales comerciales, presenta unas dimensiones de 40 metros de longitud y 25 metros de luz. Se ha proyectado con 5 vanos de 8 metros cada uno.

La nave se organiza en dos plantas, cada una de 4 metros de altura, proporción que responde a los criterios funcionales debido al uso del edificio.

La cubierta se ha proyectado como una cubierta inclinada de una sola vertiente, con una diferencia de cota de 2 metros entre los extremos. Por lo tanto, la altura máxima de la nave es de 10 metros en su punto más elevado.

La cubierta se resuelve con paneles sándwich, un material que combina ligereza estructural, rapidez de montaje y un buen comportamiento térmico. Dichos paneles se apoyan sobre correas metálicas separadas cada 2,5 metros.

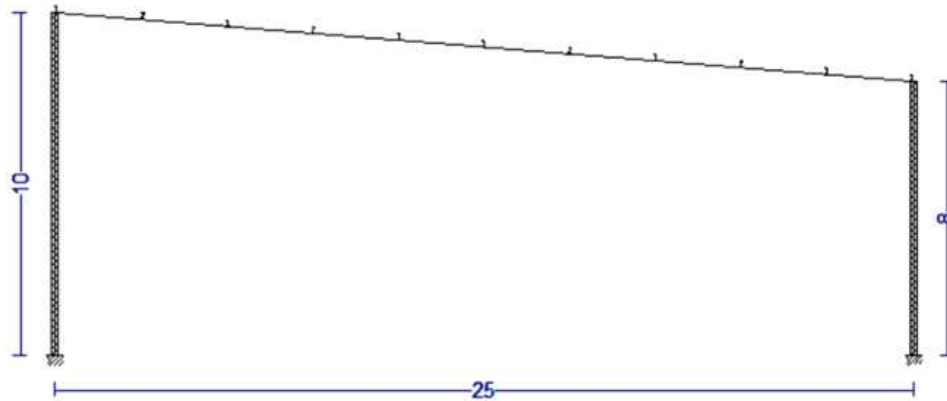


Figura 3: *Pórtico de la nave principal (Fuente propia)*

Los pilares se han dispuesto con una separación de 8,3 metros en cada pórtico, permitiendo así una modulación eficiente de la estructura y dejando el espacio suficiente para la instalación de puertas en los pórticos inicial y final.

La planta superior se configura mediante un forjado abierto, por lo que, aunque se dispone de una estructura que permite el tránsito y el uso de la planta, se mantiene una conexión visual directa con la planta inferior. Para la ejecución de este forjado se han empleado viguetas dispuestas cada 1,3 metros, garantizando la adecuada resistencia y rigidez del conjunto. Se ha optado por un forjado de chapa no colaborante.

La segunda zona está destinada a hostelería, formada por bares y restaurantes. Se trata de una nave de menores dimensiones, con 24 metros de longitud y 10 metros de luz, y una altura de 4 metros. También está formada por vanos de 8 metros, por lo que está formada por 3 vanos. La cubierta se habilita como terraza transitable vinculada a los locales. Se ha optado por una solución de viguetas cada 1,7 metros.

En conjunto, el diseño definitivo se caracteriza por ser funcional y modular, respondiendo a las necesidades propias de un centro comercial, al mismo tiempo que mantiene una estructura clara y sencilla.

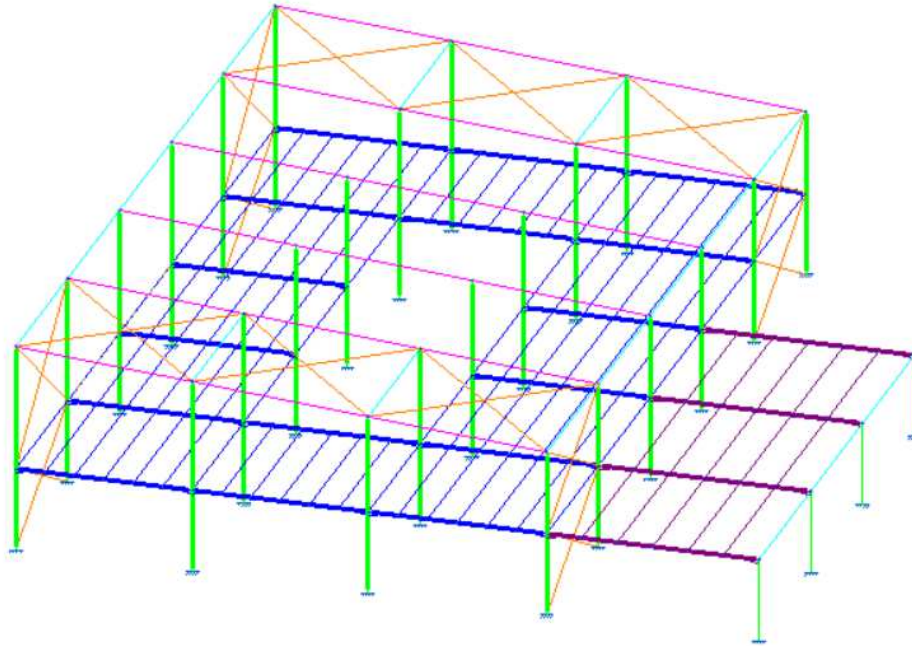


Figura 4: Estructura completa (Fuente propia)

9. Predimensionado

En el presente proyecto se ha optado por la utilización de un acero estructural laminado en caliente S275, conforme a la norma UNE EN 10025. Este tipo de acero presenta un límite elástico característico de 275 MPa, lo que significa que puede deformarse hasta ese nivel sin sufrir deformaciones permanentes, recuperando su forma inicial al cesar la carga. Además ofrece una resistencia a tracción de hasta 410 MPa, es decir, la máxima tensión que el material puede soportar antes de producirse la rotura. Estos valores se recogen de manera oficial en la tabla correspondiente de la norma UNE EN 10025, que se muestra a continuación.

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros (Tabla 4.1, DBSE-A)

La elección del acero S275 se justifica por ofrecer una buena relación entre resistencia y coste, además de su ductilidad y facilidad de soldadura. Es un material de amplia disponibilidad en el mercado.

Para el diseño de la estructura se ha considerado la necesidad de emplear diferentes tipos de perfiles en función del papel que desempeña cada barra, de manera que se garantice la eficiencia estructural y se optimice el uso de material.

Para las vigas de cubierta y las correas se han seleccionado perfiles IPE, que presentan una sección en doble T con alas estrechas y el alma más alta. Las alas son paralelas y perpendiculares al alma.

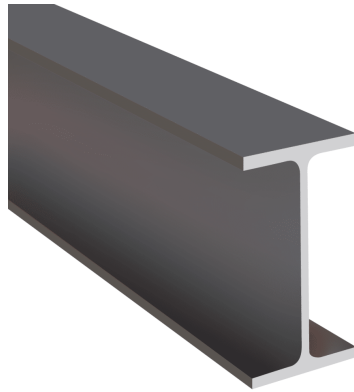


Figura 5: Perfil IPE (Fuente propia)

De la misma familia, se encuentran los perfiles HE, con alas más anchas respecto a su altura. Esto les da mayor rigidez frente a los perfiles en I. Los pilares y las viguetas se han diseñado con perfiles HEA, mientras que con las vigas de carga de los forjados se ha utilizado el perfil HEB, más pesado y resistente que el HEA, debido a que tiene los espesores un poco más elevados.

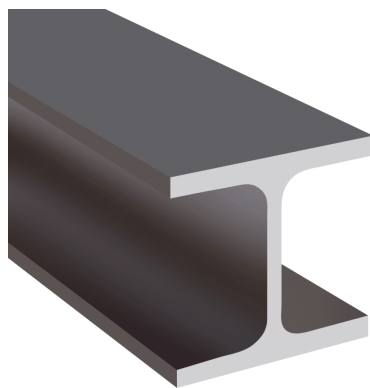


Figura 6: Perfil HEB (Fuente propia)

Finalmente, los tirantes de las cruces de San Andrés se han resuelto mediante perfiles R, es decir, redondos macizos que destacan por su simplicidad geométrica y su buen comportamiento a tracción.



Figura 7: Perfil R (Fuente propia)

10. Acciones sobre la estructura

El dimensionamiento de la estructura requiere la identificación y el análisis de las diferentes acciones a las que estará sometida durante su vida útil. Estas acciones se clasifican en permanentes, variables y, en su caso, accidentales, según lo establecido en el CTE DB-SE-AE.

10.1. Acciones permanentes

10.1.1. Peso propio

El peso propio de la estructura corresponde al valor del peso de los distintos perfiles de los distintos componentes estructurales principales: vigas, viguetas, pilares, pilares, correas, etc. Este cálculo lo determina de manera automática el software empleado, a partir de la geometría definida y de las propiedades de los materiales asignados.

10.1.2. Cargas muertas

Las cargas muertas hacen referencia a los pesos de carácter permanente que actúan sobre la estructura, distintos del peso propio de los elementos metálicos. En este grupo se incluyen, entre otros, el peso de los forjados de chapa no colaborante, los acabados de suelos y revestimientos, los cerramientos verticales y la cubierta de panel sándwich.

Se han considerado $0,25 \text{ kN/m}^2$ debido a la cubierta. Por el peso de los demás elementos anteriormente mencionados se han considerado 3 kN/m^2 .

10.2. Acciones variables

10.2.1. Sobrecarga de uso

Las sobrecargas de uso son aquellas acciones que se aplican sobre la estructura como consecuencia de la utilización prevista para el edificio.

El Código Técnico de la Edificación (CTE DBSE-AE) proporciona valores característicos en función de las categorías de uso de la zona de aplicación. A partir de esta tabla, se han identificado dos situaciones relevantes en el edificio proyectado:

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 2: Valores característicos de las sobrecargas de uso (Tabla 3.1, DBSE-AE)

En el caso de la cubierta, se adopta la categoría G1, ya que es una cubierta ligera apoyada sobre correas. Este valor característico es de $0,4 \text{ kN/m}^2$.

También se ha tenido en cuenta la sobrecarga de uso debida a zonas comerciales. El CTE asigna en este caso un valor característico de 5 kN/m^2 , valor que se ha introducido manualmente como carga en los forjados en el programa CYPE 3D.

10.2.2. Viento

El viento es una acción variable que actúa sobre los edificios en forma de presión o succión sobre las superficies expuestas.

De acuerdo con el CTE DBSE-AE, la acción del viento se representa mediante una presión estática equivalente q_e , que se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

- q_b es la presión dinámica del viento, asociada a la velocidad básica del viento en la zona geográfica. El CTE permite adoptar un valor genérico para todo el territorio español.
- c_e es el coeficiente de exposición, que tiene en cuenta los efectos de las turbulencias en función de la altura y el grado de aspereza del entorno. Se obtiene con los valores de la Tabla 3. Se considera un grado de aspereza IV, al ser una zona industrial.
- c_p es el coeficiente eólico o de presión, que depende de la geometría y orientación del edificio. Los valores se ven en la Tabla 4.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 3: Valores del coeficiente de exposición (Tabla 3.4, DBSE-AE)

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coefficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coefficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 4: Valores del coeficiente eólico (Tabla 3.5, DBSE-AE)

El valor de la presión dinámica del viento se obtiene con la siguiente expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Donde:

- δ es la densidad del aire. Se adopta el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$.
- v_b^2 es el valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos. El valor se obtiene con el mapa de la Figura 8.

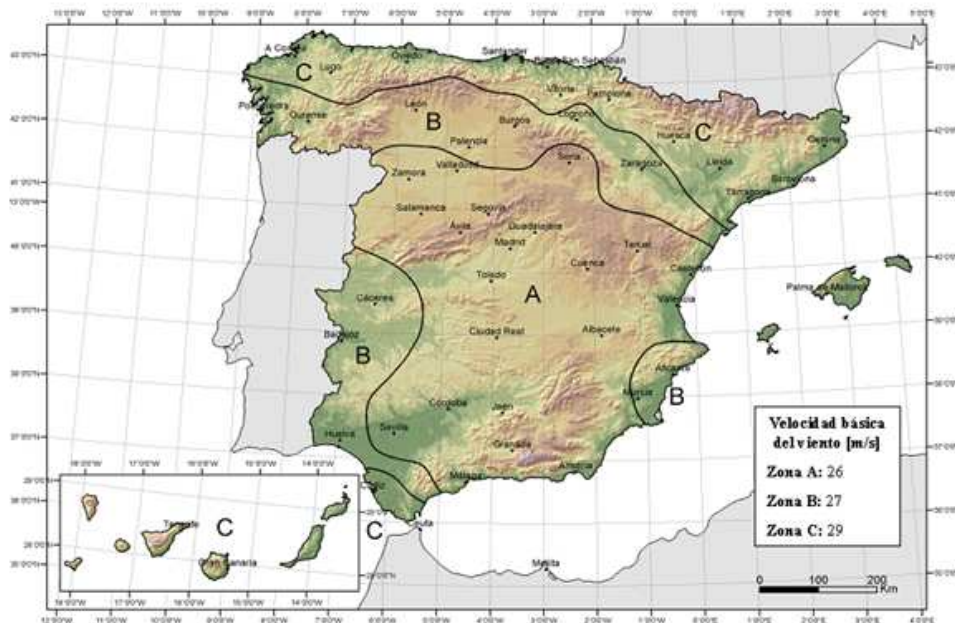


Figura 8: Valor básico de la velocidad del viento (Figura D.1, DBSE-AE)

En la parte de la estructura destinada a los locales comerciales, la acción del viento se ha considerado de forma automática mediante el generador de pórticos de CYPE.

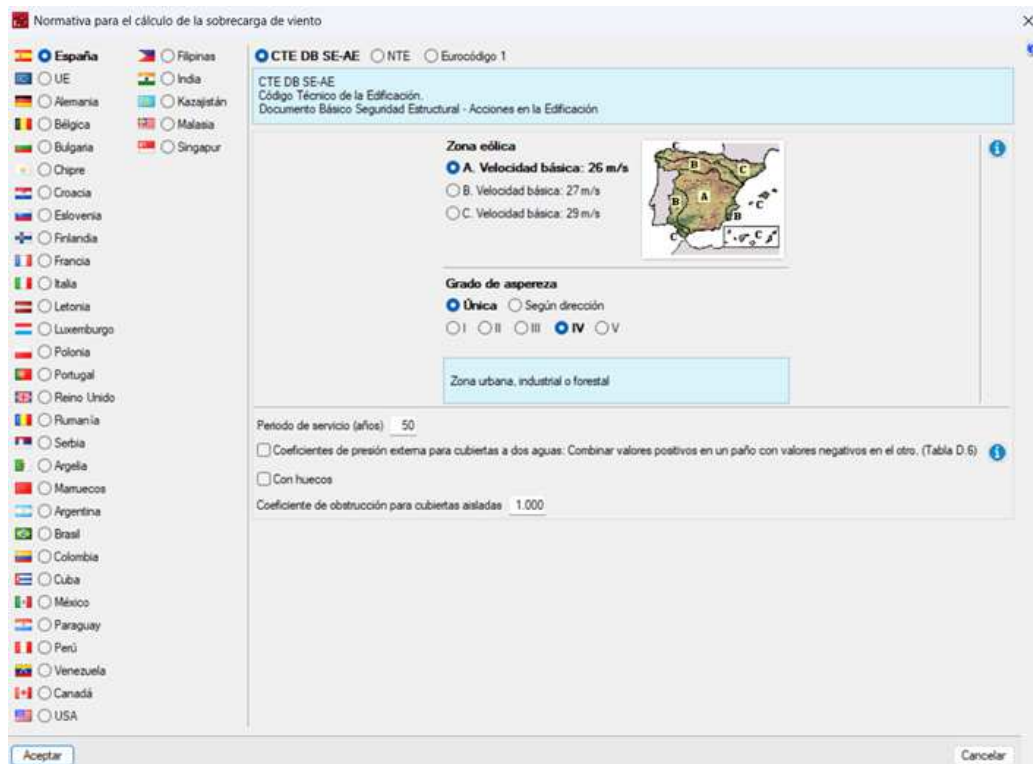


Figura 9: Parámetros de sobrecarga de viento en el generador de pórticos (Fuente propia)

En el caso de la nave destinada a la zona de restaurantes la situación es distinta, ya que la configuración estructural no se puede combinar con la otra parte de la estructura en el generador de pórticos. Para poder determinar las cargas de viento en esta parte del edificio, se ha elaborado un modelo independiente en el generador de pórticos, únicamente con dicha parte de la estructura, como se puede ver en la Figura 10.

A partir del modelo se obtienen unos valores de presiones y succiones que posteriormente se han introducido manualmente en CYPE 3D mediante paños, adaptándolos a la geometría de la nave. De esta forma, se asegura que el cálculo estructural contempla adecuadamente la acción del viento también en esta zona, aunque no se haya podido generar automáticamente.

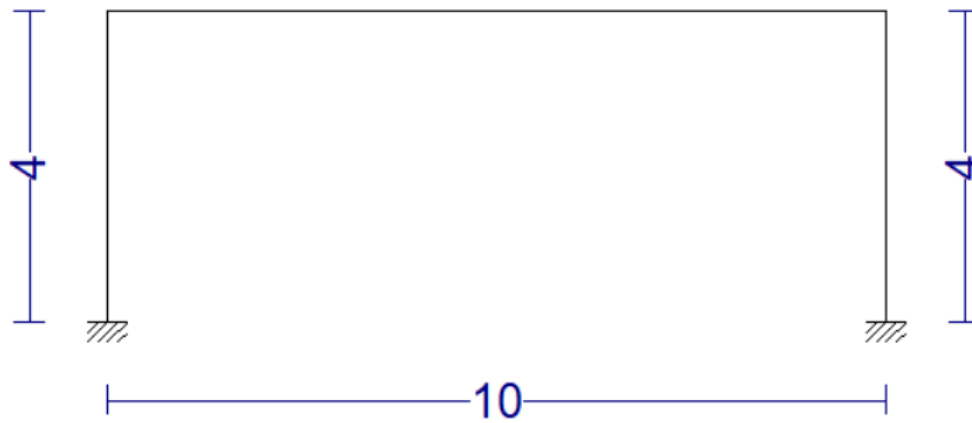


Figura 10: *Modelo para la zona de restaurantes (Fuente propia)*

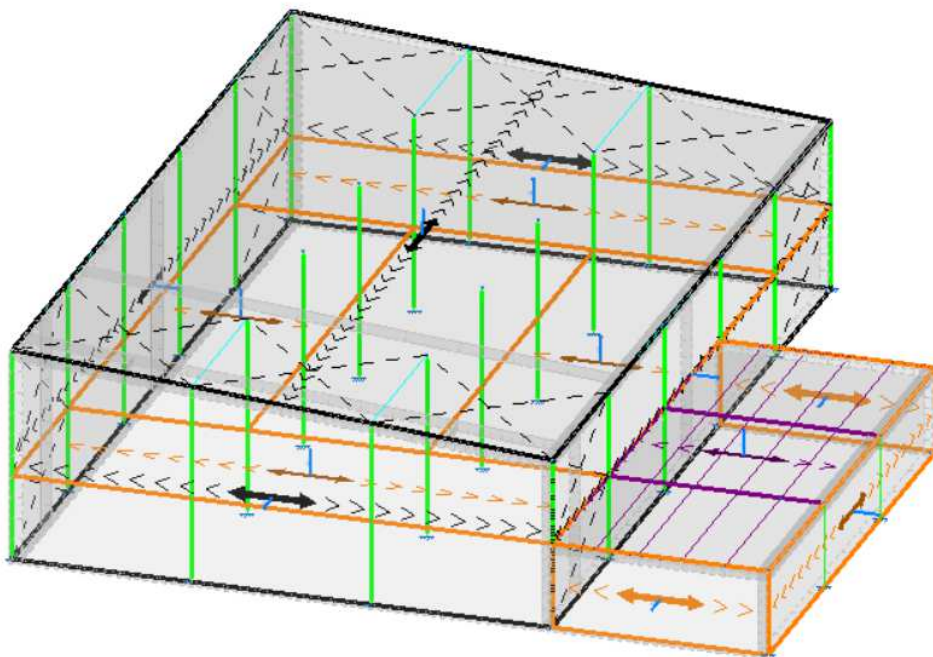


Figura 11: *Cargas superficiales debidas al viento (Fuente propia)*

10.2.3. Nieve

La carga de nieve constituye una acción variable que depende de diversos factores: el clima del lugar y la altitud del emplazamiento, la geometría de la cubierta y el

efecto del viento en la acumulación o retirada de nieve.

La carga de nieve sobre la cubierta se determina con la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Donde:

- μ es el coeficiente de forma de la cubierta.
- s_k es el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal. Los valores son los de la Tabla 4.

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	1.130	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	180	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	0	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,6	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 5: Sobrecarga de nieve en provincias (Tabla 3.8, DBSE-AE)

Estos datos se introducen en el generador de pórticos, que calcula de manera automática las cargas de nieve.

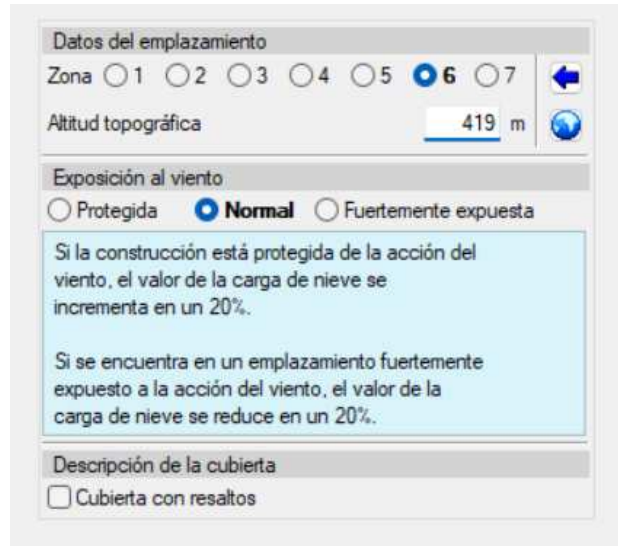


Figura 12: Cargas superficiales debidas al viento (Fuente propia)

11. Análisis de estabilidad

En el dimensionamiento de estructuras metálicas, además de comprobar la resistencia de los elementos frente a los esfuerzos solicitantes, hay que realizar un análisis de estabilidad. En elementos esbeltos pueden producirse fenómenos de inestabilidad que conduzcan al fallo incluso con tensiones inferiores a la resistencia última del acero.

Entre estos fenómenos destacan el pandeo por flexión de los pilares y el pandeo lateral en las vigas.

11.1. Pandeo por flexión

El pandeo por flexión es un fenómeno de inestabilidad que se produce en elementos estructurales esbeltos sometidos a compresión axial. Bajo la acción de cargas críticas, el elemento puede perder su posición de equilibrio rectilíneo y deformarse lateralmente.

Cuando la carga de compresión alcanza un valor determinado, conocido como carga crítica de pandeo, el elemento entra en una situación de inestabilidad en la que las deformaciones pueden crecer sin necesidad de incrementar la carga aplicada. Este proceso genera tensiones adicionales que pueden superar la resistencia última

del material y conducir al colapso del elemento estructural.

Con el programa CYPE 3D, se ha analizado la estabilidad de los elementos sometidos a pandeo por flexión. En cada caso se han asignado los valores de longitud de pandeo y coeficientes de pandeo apropiados. La longitud de pandeo es la longitud equivalente que se considera libre de arriostramientos a efectos de inestabilidad. Depende de las condiciones de apoyo en sus extremos y de la existencia de puntos intermedios que limiten los desplazamientos. Se calcula como:

$$L_k = \beta \cdot L$$

Donde:

- L_k es la longitud de pandeo.
- L es la longitud real del elemento.
- β es el coeficiente de pandeo, que depende de los apoyos en los extremos. El CTE DBSE-A define valores para barras canónicas en función de los extremos de la barra, que se ven en la Tabla 6.

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Tabla 6: Longitud de pandeo de barras canónicas (Tabla 6.1, DBSE-A)

11.1.1. Pilares

En el análisis de estabilidad de los pilares se ha considerado su división en dos tramos diferenciados, ya que las condiciones de apoyo en cada tramo son distintas. El primero corresponde al elemento que va desde la cimentación hasta el forjado intermedio, mientras que el segundo se extiende desde dicho forjado hasta la cubierta.

El tramo inferior equivale a un esquema empotrado-articulado, con un coeficiente de pandeo de 0,7. Sin embargo, en el tramo superior se consideran articulados ambos extremos, por lo que se adopta un coeficiente de 1.

La estructura dispone de arriostramientos en forma de cruces de San Andrés, por lo que la estructura se comporta como intraslacional en el plano longitudinal de la

nave. De esta manera, se pueden aplicar los coeficientes anteriormente mencionados en este plano.

Sin embargo, en el plano del pórtico, la estructura presenta un comportamiento traslacional. La longitud de pandeo debe calcularse considerando la longitud real del pilar y un coeficiente de empotrado-articulado. Como la longitud del pilar en el punto más elevado de la nave es de 10 metros, la longitud de pandeo efectiva en dicho plano resulta ser de 7 metros.

En la Figura 13 se pueden ver los datos introducidos en CYPE para el tramo inferior.

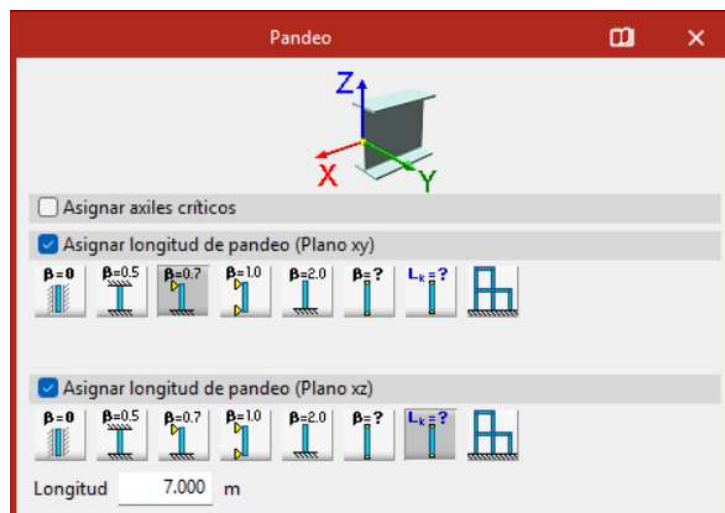


Figura 13: Pandeo de pilares (Fuente propia)

Finalmente, en el caso de los pilares situados en el extremo derecho de la nave, la ausencia de puntos intermedios de restricción implica que se adopte un coeficiente de empotrado-articulado en ambos planos.

11.1.2. Vigas de cubierta

Respecto al eje débil (plano xy), las vigas se encuentran arriostradas por la propia cubierta, lo que impide la aparición de fenómenos de pandeo en dicho plano. No obstante, en lugar de asignar un coeficiente β nulo, se ha adoptado el valor de 0,10, determinado por el programa de cálculo.

Por otro lado, en el eje fuerte (plano xz), las vigas sí pueden pandear ya que no hay nada que impida el movimiento, únicamente la rigidez de los dos nudos. El

programa ha asignado un coeficiente de 0,72.

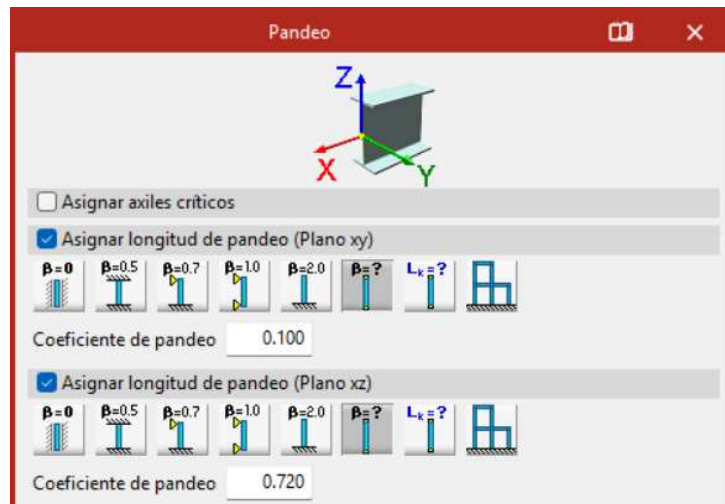


Figura 14: *Pandeo por flexión de las vigas de cubierta (Fuente propia)*

11.1.3. Vigas de carga

Para el eje débil (plano xy), la presencia del forjado impide el desplazamiento, por lo que no existe riesgo de pandeo. Siguiendo el mismo criterio aplicado en las vigas de cubierta, se ha introducido un coeficiente de 0,10.

En cuanto al eje fuerte (plano xz), el programa tiende a considerar una longitud de pandeo de 1,3 metros debido a la presencia de las viguetas que apoyan sobre la viga. Sin embargo, esto no refleja la realidad estructural, por lo que se ha adoptado una longitud de pandeo de 8,3 metros, que corresponde a la longitud completa del vano.

En la parte de la derecha, es decir, a la parte destinada a restaurantes, la longitud de pandeo es de 10 metros.

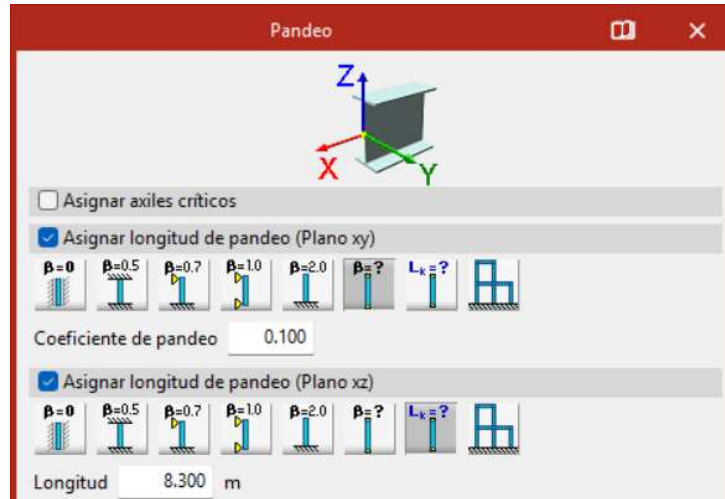


Figura 15: Pandeo por flexión de las vigas de carga (Fuente propia)

11.1.4. Viguetas

El comportamiento frente al pandeo por flexión en el caso de las viguetas de forjado se analiza de la misma manera que el de las vigas de carga. Para el eje débil se considera un coeficiente de 0,10, y para el eje fuerte se adopta una longitud de pandeo de 8 metros, que es lo que mide cada vigueta.

11.2. Pandeo lateral

El pandeo lateral es un fenómeno de inestabilidad que se presenta en vigas sometidas a flexión, especialmente cuando la geometría de su sección y las condiciones de aplicación de las cargas lo favorecen. Si consideramos una viga sometida a un momento flector uniforme, en cada sección transversal se distingue una zona comprimida y otra traccionada. Las alas traccionadas no presentan riesgo de pandeo lateral, mientras que las alas comprimidas sí son susceptibles de inestabilidad y deben verificarse adecuadamente. Para ello se analizan las curvas de momentos flectores.

En el centro comercial proyectado, este fenómeno se ha considerado principalmente en las vigas de cubierta, en las vigas de carga y viguetas del forjado. Para reducir el riesgo de pandeo lateral, se cuenta con la colaboración de la cubierta y del forjado, que actúan como arriostramientos efectivos en el plano superior de las vigas.

11.2.1. Vigas de cubierta

Analizando la curva de momentos flectores, Figura 16, se observa que en la zona central el momento es positivo, por lo que el ala inferior trabaja a tracción y el ala superior a compresión. Sin embargo, esta última se encuentra arriostrada por la propia cubierta, de modo que no existe riesgo de pandeo lateral.

En cambio, en las zonas donde el momento es negativo, la situación se invierte: el ala inferior queda comprimida, y por tanto, puede verse afectada por inestabilidad. Para este caso, la longitud de pandeo en el ala de abajo se ha tomado como la mayor distancia continua en la que el momento es negativo, aproximadamente 2 metros. Alternativamente, también puede considerarse la separación entre correas (2,5 metros), criterio que finalmente se ha adoptado en el cálculo.



Figura 16: *Diagrama de momentos de las vigas de cubierta (Fuente propia)*

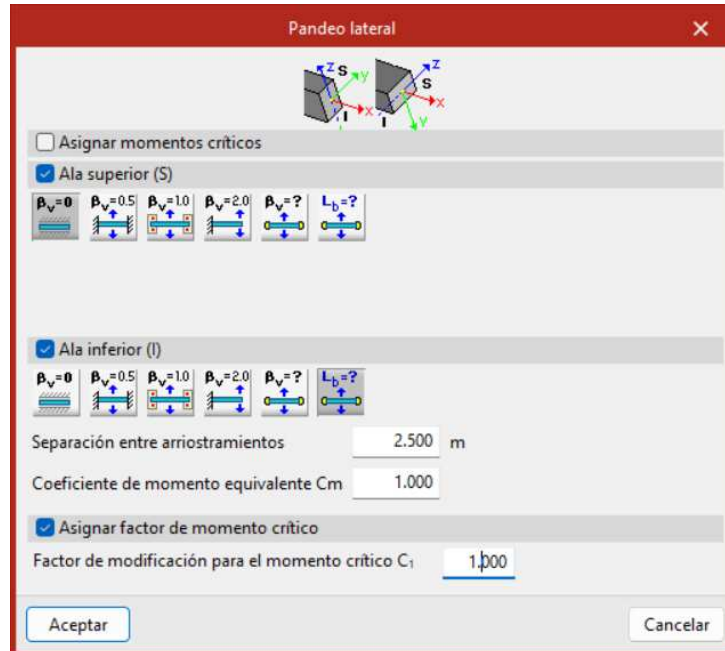


Figura 17: Pandeo lateral de las vigas de cubierta (Fuente propia)

11.2.2. Vigas de carga

El comportamiento de las vigas de carga de los forjados es análogo al descrito para las vigas de cubierta. En este caso, la longitud de pandeo en el ala inferior comprimida se ha definido como la longitud del tramo de la viga en el que el momento permanece negativo durante mayor distancia, que son 2 metros.

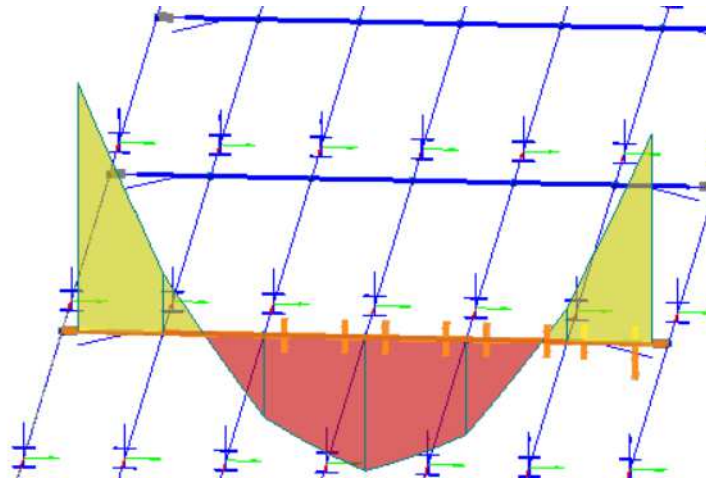


Figura 18: Diagrama de momentos de las vigas de carga (Fuente propia)

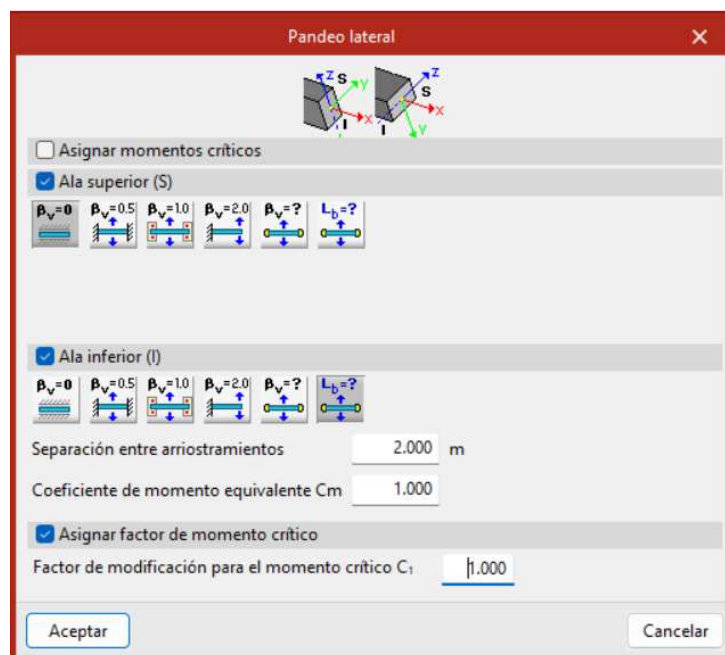


Figura 19: Pandeo lateral de las vigas de carga (Fuente propia)

11.2.3. Viguetas

En las viguetas de forjado, el diagrama de momentos presenta valores positivos a lo largo de toda la luz. De este modo, el ala inferior trabaja a tracción, mientras que el ala superior queda comprimida. Como el forjado actúa como arriostramiento, no hay posibilidad de pandeo lateral. Por lo tanto, se ha considerado que la longitud

de pandeo lateral es nula en las viguetas.

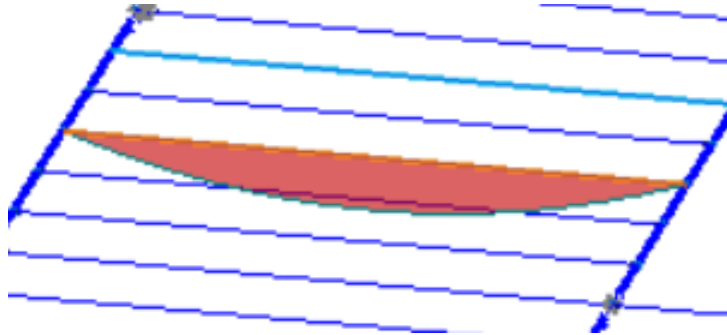


Figura 20: Diagrama de momentos de las viguetas (Fuente propia)

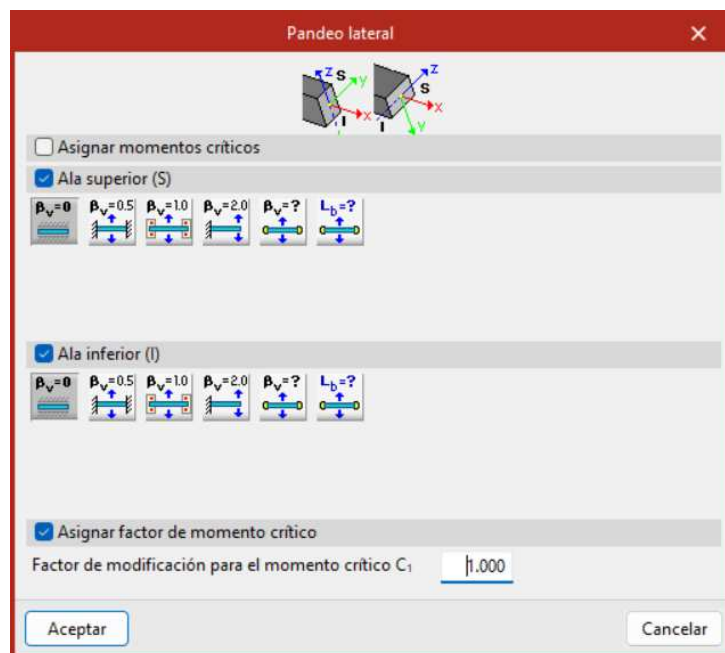


Figura 21: Pandeo lateral de las viguetas (Fuente propia)

12. Configuración final de la estructura

Una vez realizadas las verificaciones de resistencia y de estabilidad frente a fenómenos de pandeo por flexión y pandeo lateral, se ha procedido a comprobar la flecha máxima admisible en los elementos horizontales, es decir, la deformación

vertical de una barra bajo cargas de servicio.

De acuerdo con lo establecido en el CTE DB-SE, la flecha máxima admisible es de $L/300$ en el caso de las cubiertas, y de $L/400$ para los forjados, aplicándose este último valor tanto a las vigas principales como a las viguetas.

Tras confirmar que todos los elementos cumplen con estas limitaciones, se ha definido la configuración final de la estructura, en la que se recogen las soluciones adoptadas que se describen a continuación.

Antes de ello, se han ensayado numerosas configuraciones previas, realizando modificaciones en distintos aspectos del diseño con el fin de encontrar la solución más adecuada. Entre las variables analizadas se encuentran la distancia entre viguetas, la separación entre pórticos, la disposición y tamaño de las cartelas, así como la distancia entre las correas de la cubierta. Finalmente, se ha optado por la siguiente configuración final:

- Pilares: se ha obtenido un perfil HEA 450 para todos los pilares excepto para los dispuestos en el sentido longitudinal de la zona de restaurantes, que tienen un perfil HEB 450.
- Vigas de cubierta: el perfil seleccionado es un IPE 240. Las correas de la cubierta se encuentran separadas 2,5 metros, y tienen un perfil IPE 180.
- Vigas de forjado: las vigas de forjado se resuelven con perfiles HEB 400 con cartelas inferiores del 10 % en ambos lados. Sin embargo, las viguetas tienen distinto tamaño para el forjado de la zona de tiendas y el de la zona de restaurantes. Las primeras se resuelven mediante un perfil HEA 300, mientras que las segundas son HEA 320.
- Vigas de atado: el perfil elegido es el IPE 160. Al principio se obtuvo un perfil bastante más pequeño, pero se ha elegido este para que se puedan realizar correctamente las uniones.
- Cruces de San Andrés: se emplean tirantes de perfil redondo macizo R 12.

De esta forma, la configuración final de la estructura responde a un sistema estructural estable, funcional y conforme a la normativa vigente, en el que cada elemento se ha definido tras un análisis detallado de su comportamiento frente a las acciones actuantes.

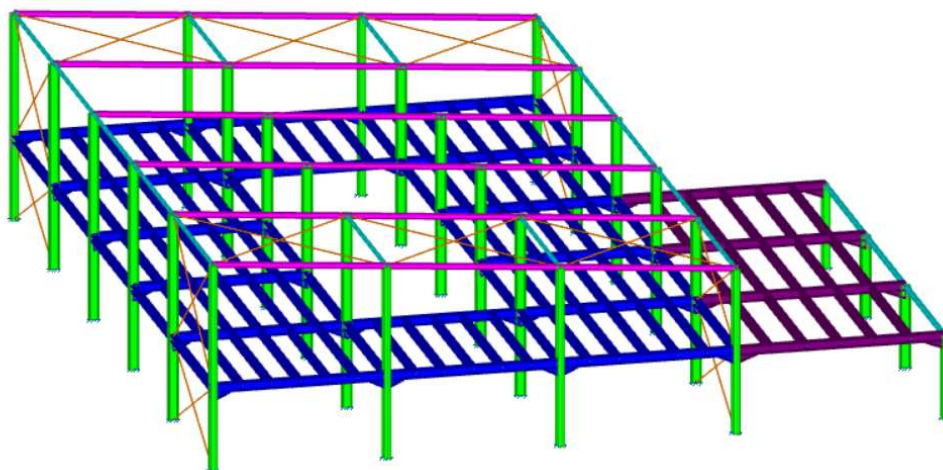


Figura 22: Configuración final de la estructura (Fuente propia)

13. Cimentación

La cimentación constituye la parte de la estructura encargada de transmitir al terreno las cargas procedentes del edificio, garantizando que las tensiones generadas no superen la capacidad portante del suelo y evitando asentamientos diferenciales que puedan comprometer la estabilidad de la construcción.

En este proyecto se ha optado por una cimentación directa mediante zapatas aisladas, unidas entre sí mediante vigas de atado de 40x40 cm. Las vigas de atado ayudan a absorber esfuerzos horizontales y a mejorar la rigidez global frente a acciones como el viento o el sismo.

El dimensionamiento de la cimentación se realiza en CYPE 3D, que calcula automáticamente las dimensiones necesarias en función de las cargas transmitidas por cada pilar. Inicialmente, el software propone 10 dimensiones de zapatas diferentes, pero con el fin de simplificar la ejecución y estandarizar el proceso constructivo, se han agrupado en 5 dimensiones finales, que son:

- 180x180x80 cm
- 190x190x80 cm
- 210x210x80 cm

- 230x230x80 cm
- 280x280x130 cm

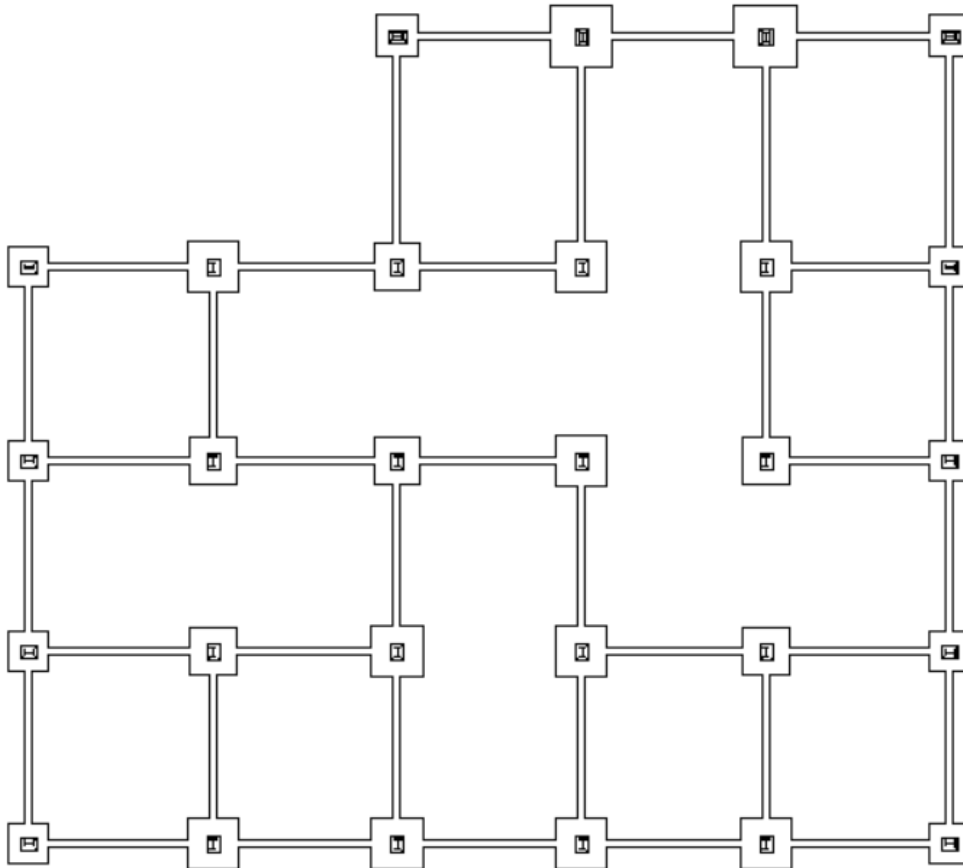


Figura 23: Cimentación (Fuente propia)

Finalmente, la unión entre zapatas y pilares se resuelve mediante placas de anclaje, elementos metálicos fijados al hormigón mediante pernos que permiten transmitir de forma segura los esfuerzos.

La placa de anclaje utilizada para la unión de los pilares a las zapatas cuenta con unas dimensiones de 550x700 mm, con un espesor de 25 mm. La fijación se realiza mediante 8 pernos de 20 mm de diámetro y 35 cm de longitud con prolongación recta, distribuidos de forma que aseguren una correcta transferencia de cargas. En la Figura 24 se muestra un ejemplo de esta unión.

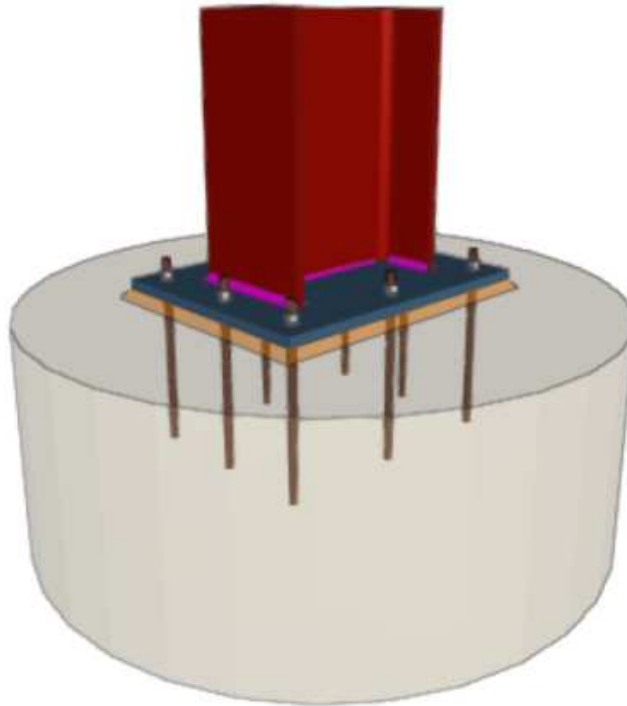


Figura 24: *Placa de anclaje entre zapata y pilar (Fuente propia)*

14. Uniones

En las estructuras metálicas, las uniones son elementos fundamentales, ya que garantizan la transmisión de esfuerzos entre los distintos perfiles que conforman la estructura. La resistencia y estabilidad global del conjunto dependen en gran medida de su correcto diseño. En esta estructura, se opta por resolver todas las uniones mediante soldadura. Este procedimiento proporciona continuidad estructural, rigidez y una ejecución más sencilla en comparación con otros sistemas de unión como los atornillados.

Para el análisis y dimensionamiento de estas uniones se utiliza el programa CYPE Connect, una herramienta especializada que permite modelar y calcular las uniones metálicas mediante el método de los elementos finitos. Este software posibilita la definición detallada de los cordones de soldadura y de los diferentes elementos que intervienen en la unión, ofreciendo una representación precisa de su comportamiento estructural.

Con el fin de simplificar el estudio, se han seleccionado tres uniones tipo representativas de las más repetidas en la estructura.

Para su análisis, la estructura calculada en CYPE 3D se exporta a CYPE Connect a través de la plataforma BIMserver Center, lo que garantiza la interoperabilidad entre ambos programas y la consistencia de los datos empleados en el cálculo.

Una vez exportada la estructura a CYPE Connect, el programa genera un modelo tridimensional en el que aparecen representadas todas las uniones sin definir.

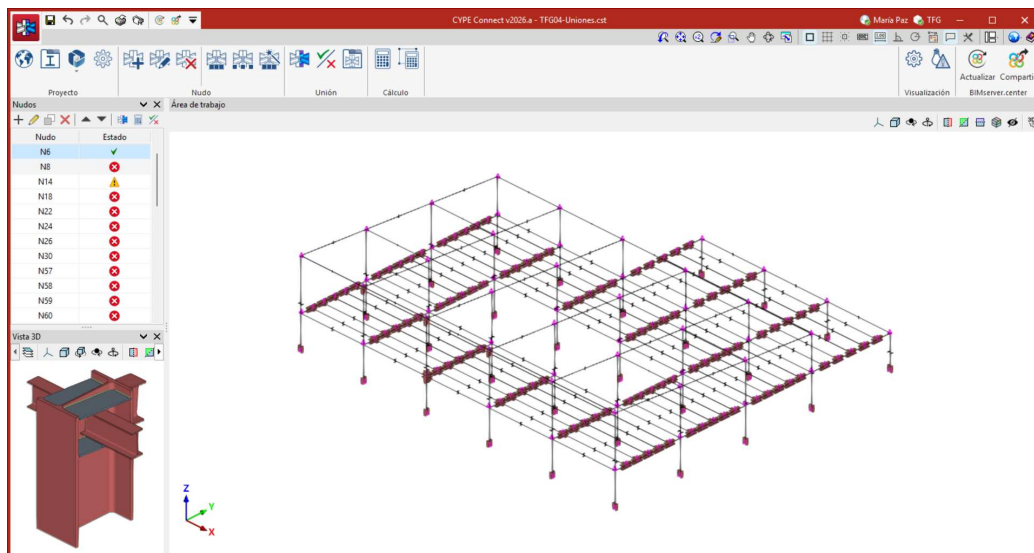


Figura 25: Modelo inicial de Cype Connect (Fuente propia)

A partir de este modelo inicial, se utilizan las herramientas específicas del programa para agrupar las uniones repetidas y proceder a su definición. De este modo, se selecciona cada unión seleccionada y se le asignan las características geométricas y de soldadura correspondientes. Una vez configuradas, el programa realiza el cálculo de cada unión, comprobando su capacidad resistente frente a los esfuerzos transmitidos y verificando el cumplimiento de la normativa vigente.

14.1. Unión Viga de cubierta, Pilar y Vigas de atado

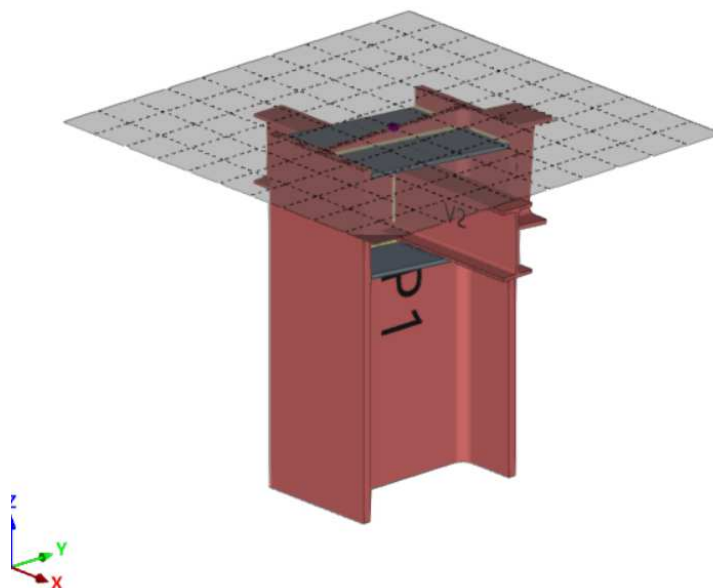


Figura 26: *Unión Viga de cubierta-Pilar (Fuente propia)*

Para la definición de esta unión, en primer lugar se establece un plano de referencia con el fin de ajustar la longitud del pilar (perfil HEA 450) hasta dicho plano, ya que en el modelo original las vigas de cubierta quedaban situadas por encima de la cabeza del pilar. De esta forma, se consigue que el pilar alcance la cota necesaria para permitir la conexión con el resto de elementos.

A continuación, se procede a ajustar la viga de cubierta (perfil IPE 240) al ala del pilar, definiendo una unión rígida, con espesor de garganta de 4 mm tanto en el ala como en el alma de la viga.

Posteriormente, se incorporan las vigas de atado (perfil IPE 160), cuyas almas se unen al alma del pilar mediante soldaduras de 3 mm de espesor.

Finalmente, para aumentar la rigidez de la unión, se disponen rigidizadores en la dirección de la viga de cubierta, reforzando la estabilidad del conjunto.

En la siguiente figura se muestra la distribución de tensiones de Von Mises para la

hipótesis más desfavorable en esta unión.

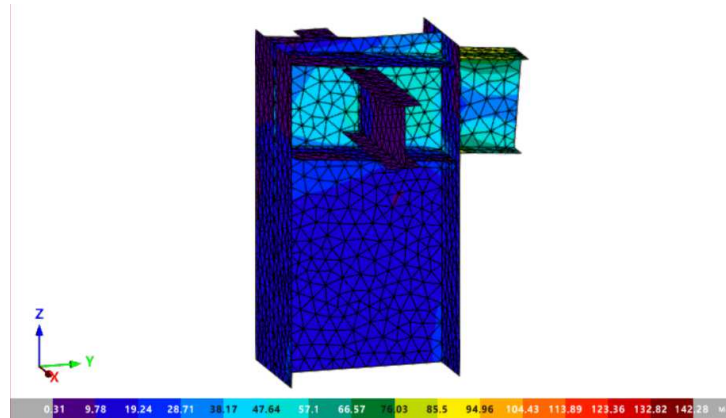


Figura 27: Unión Viga de cubierta-Pilar. Tensión de Von Mises (Fuente propia)

14.2. Unión Viga de carga, Viguetas y Pilar

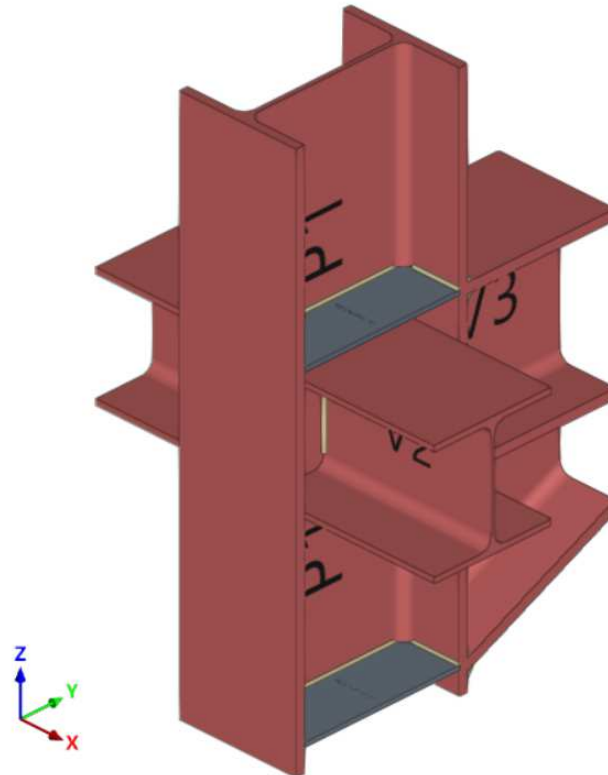


Figura 28: *Unión Viga de carga-Viguetas-Pilar (Fuente propia)*

En esta unión confluyen la viga de carga (perfil HEB 400) y las viguetas (perfil HEA 300) de la entreplanta, conectadas al pilar (perfil HEA 450). El primer paso consiste en ajustar la viga de carga al ala del pilar y las viguetas al alma del mismo, garantizando así una correcta geometría para definir la unión.

Las viguetas se unen al pilar mediante la soldadura exclusiva de sus almas, al tratarse de uniones articuladas. Para ello se disponen soldaduras de 5 mm de espesor. Por el contrario, la viga de carga requiere una unión rígida. Se disponen soldaduras de 10 mm en las alas y de 8,5 mm en el alma, garantizando la resistencia de la conexión en todas las superficies de contacto.

Además se incorporan rigidizadores en el pilar en la dirección de la viga de carga, uno situado en el ala superior del pilar y otro en la zona correspondiente a la cartela de refuerzo.

A continuación se muestra la distribución de tensiones de Von Mises para la hipótesis más desfavorable en esta unión.

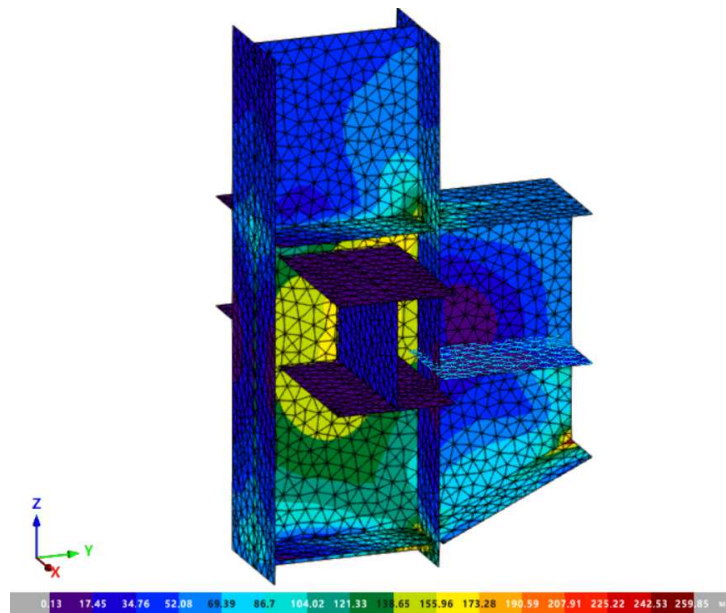


Figura 29: Unión Viga de carga-Viguetas-Pilar. Tensión de Von Mises (Fuente propia)

14.3. Unión Viga de carga y Viguetas

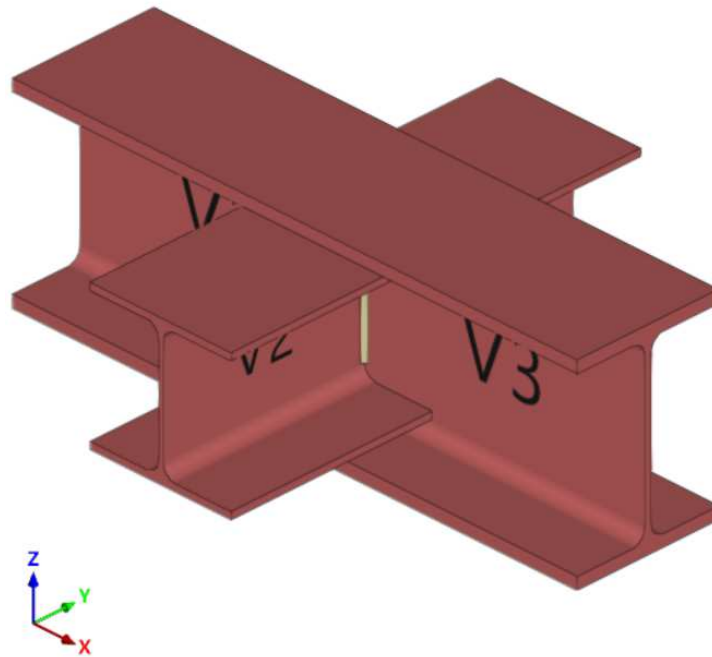


Figura 30: *Unión Viga de carga-Viguetas (Fuente propia)*

En este caso, la unión se resuelve soldando únicamente las almas de las viguetas (perfil HEA 300) al alma de la viga (perfil HEB 400), sin rigidizar las alas, lo que permite el giro relativo necesario entre los elementos.

La unión se ejecuta mediante soldaduras de espesores de garganta de 6 mm, suficiente para garantizar la correcta transmisión de los esfuerzos de las viguetas hacia la viga principal.

En la Figura 31 se muestra la distribución de tensiones de Von Mises para la hipótesis más desfavorable en esta unión.

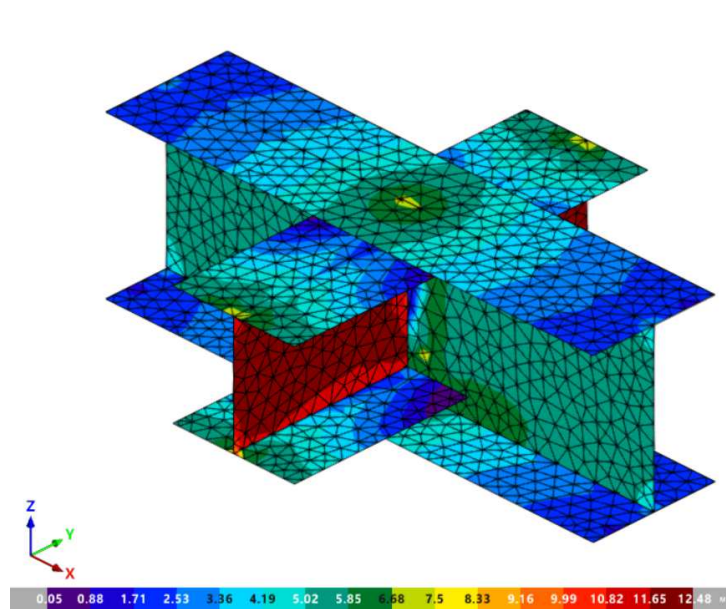


Figura 31: Unión Viga de carga-Viguetas. Tensión de Von Mises (Fuente propia)

15. Modelado 3D

El modelado del edificio en tres dimensiones constituye la última fase del proyecto, orientada a obtener una representación arquitectónica completa del edificio. Este proceso se ha llevado a cabo con el programa CYPE Architecture, tras la exportación de la estructura desde CYPE 3D a través de la plataforma BIMserver Center.

Dentro del programa, se ha utilizado en primer lugar la pestaña Boceto, con la que se definen las superficies y volúmenes principales del edificio. Posteriormente, mediante la pestaña Arquitectura, se introducen los forjados, muros, puertas, huecos y el ascensor. Finalmente en la pestaña Mobiliario, se ha realizado la decoración interior con el fin de dotar al modelo de un carácter más realista y facilitar su presentación visual.

En cuanto a la distribución de espacios, el edificio se organiza del siguiente modo:

- Planta baja: dispone de ocho tiendas de aproximadamente $40 m^2$ cada una, dos baños, una zona de parque infantil, un área de descanso equipada con sofás y tres accesos principales. Además, cuenta con un ascensor que conecta ambas plantas. Esta planta se comunica directamente con la zona de restauración, en la que se sitúan cuatro restaurantes.

- Planta superior: alberga doce tiendas, dos baños y una barandilla perimetral alrededor del hueco central que permite la conexión visual con la planta inferior. Asimismo, desde esta planta se accede a la terraza de la zona de restaurantes.

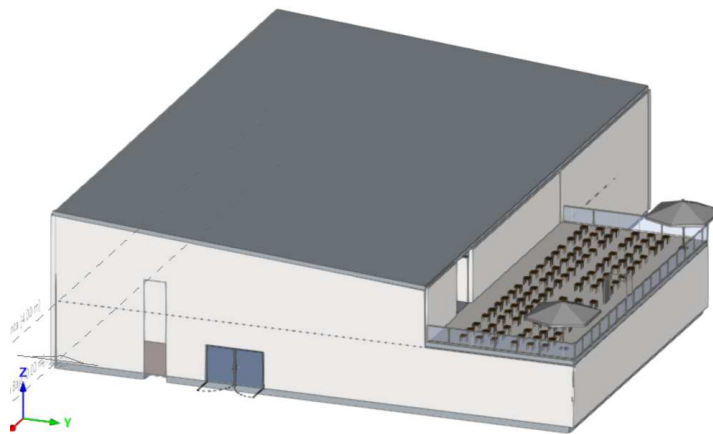


Figura 32: Edificio en 3D (Fuente propia)



Figura 33: Fachada norte (Fuente propia)

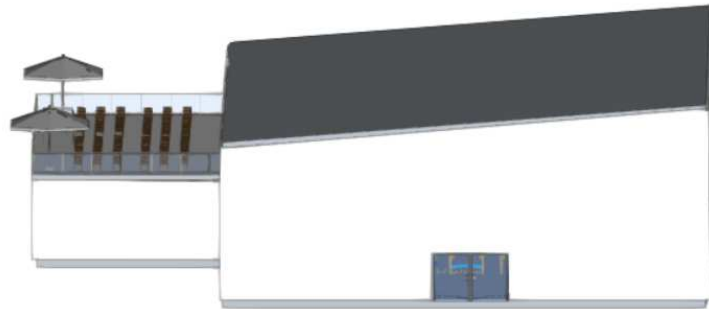


Figura 34: *Fachada sur (Fuente propia)*

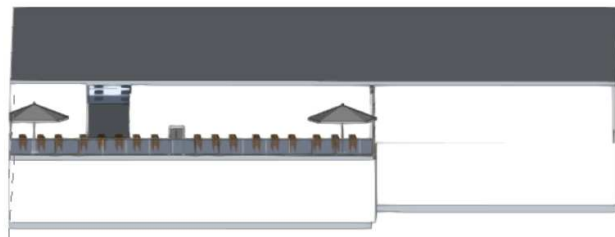


Figura 35: *Fachada este (Fuente propia)*



Figura 36: *Fachada oeste (Fuente propia)*



Figura 37: Planta baja (Fuente propia)

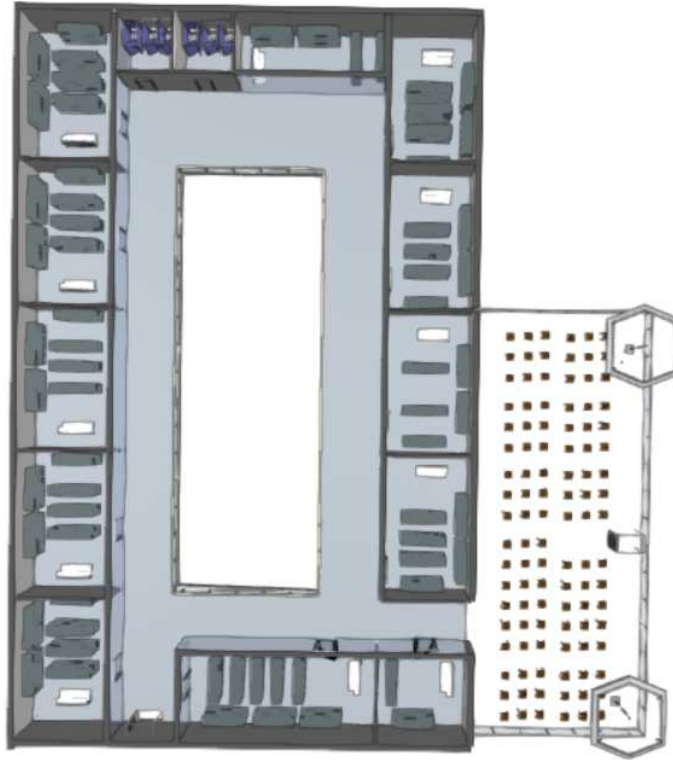


Figura 38: *Planta de arriba (Fuente propia)*

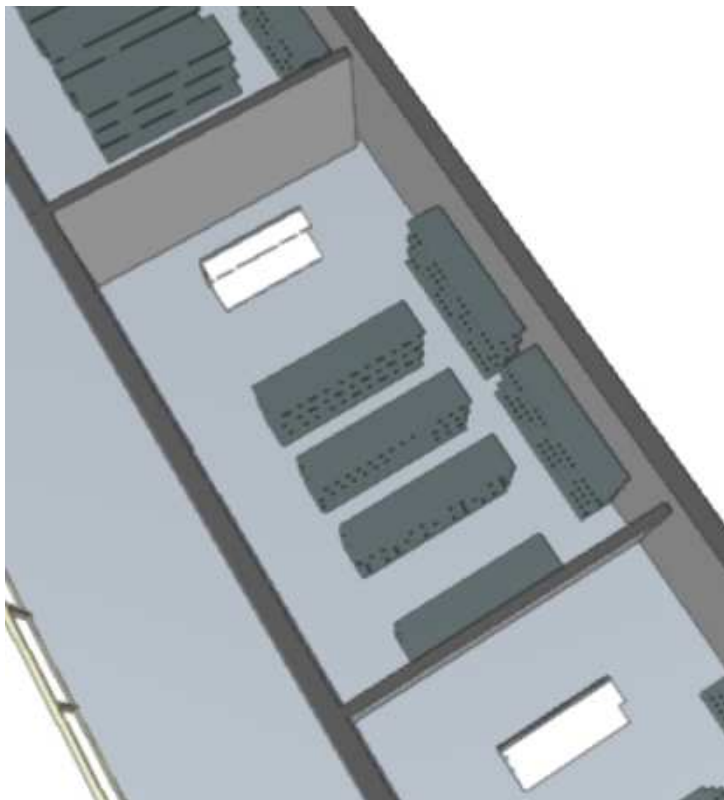


Figura 39: *Tienda tipo (Fuente propia)*

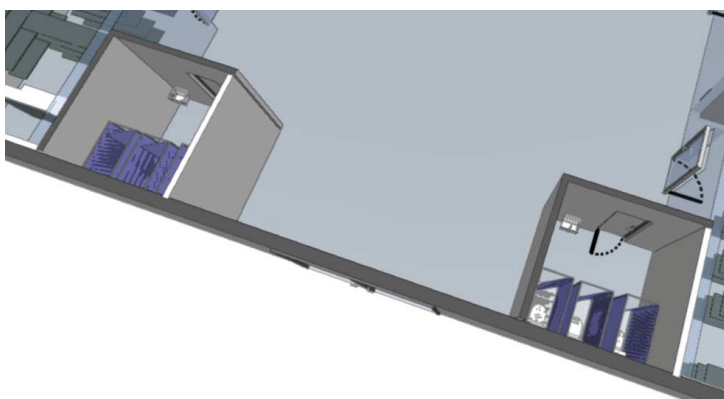


Figura 40: *Baños de la planta baja (Fuente propia)*



Figura 41: Baños de la planta de arriba (Fuente propia)

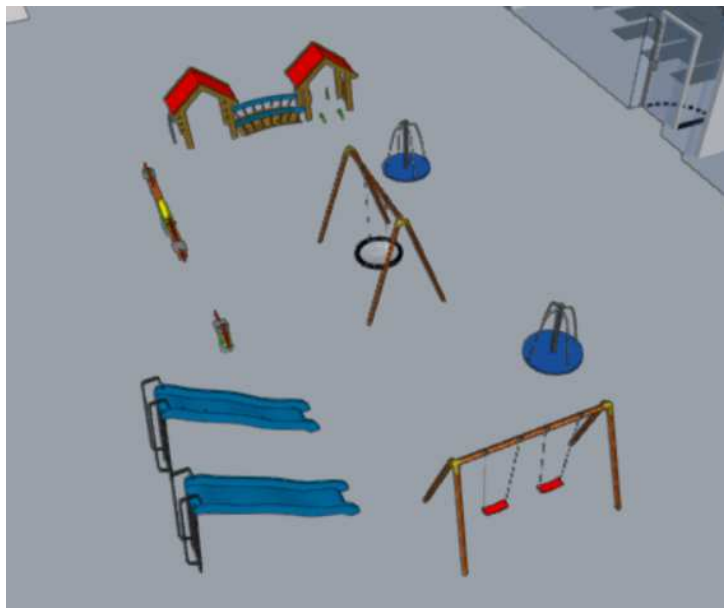


Figura 42: Parque infantil (Fuente propia)



Figura 43: Zona de descanso (Fuente propia)

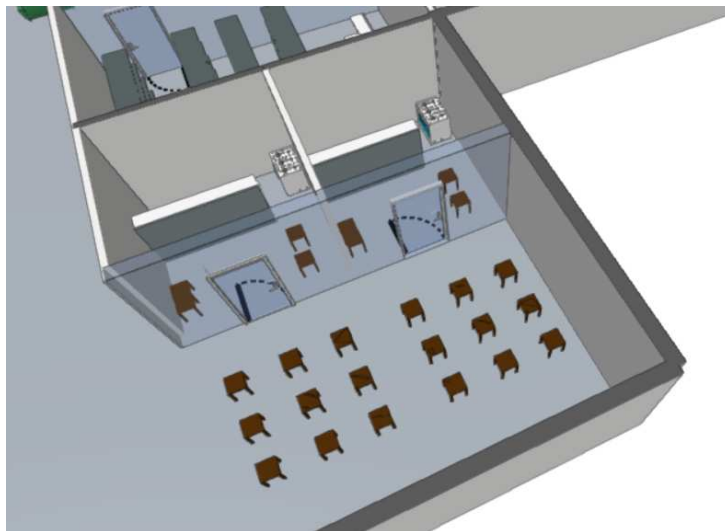


Figura 44: Restaurantes (Fuente propia)

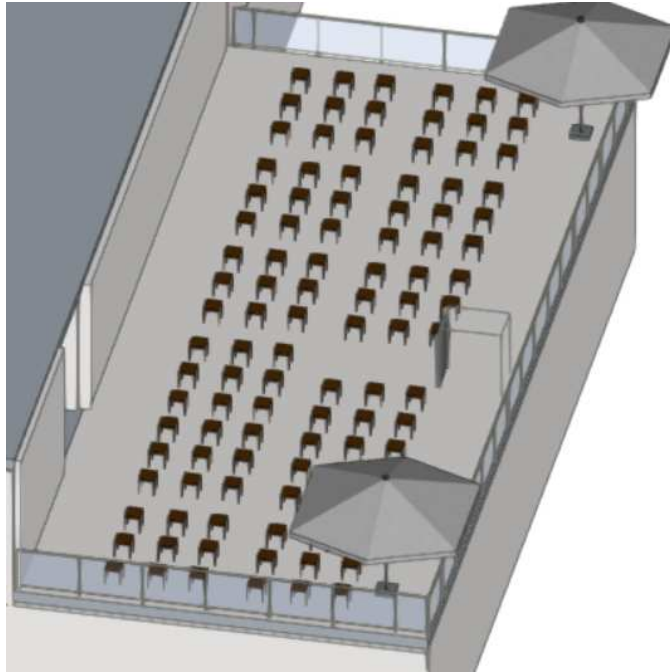


Figura 45: Terraza (Fuente propia)

16. Bibliografía

- Argüelles Álvarez, R. (2009). *Estructuras de acero. Fundamento y cálculo según CTE, EAE y EC3* (3.ª ed.). Ediciones técnicas y científicas Bellisco
- Gracia Villa, L., & Ibarz Montaner, E. (2011). *Estructuras de acero*. [s.n.]
- CTE. (2006). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural: Acciones en la edificación (DB-SE-AE)
- Apuntes de Estructuras Metálicas del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.
- Apuntes de Estructuras de Hormigón del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.
- Apuntes de Mecánica de Suelos y Cimentaciones del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.
- Recursos de aprendizaje de CYPE: <https://learning.cype.com>



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

PLANOS

Diseño y cálculo estructural de un edificio destinado a centro comercial

Grado en: Ingeniería en Tecnologías Industriales

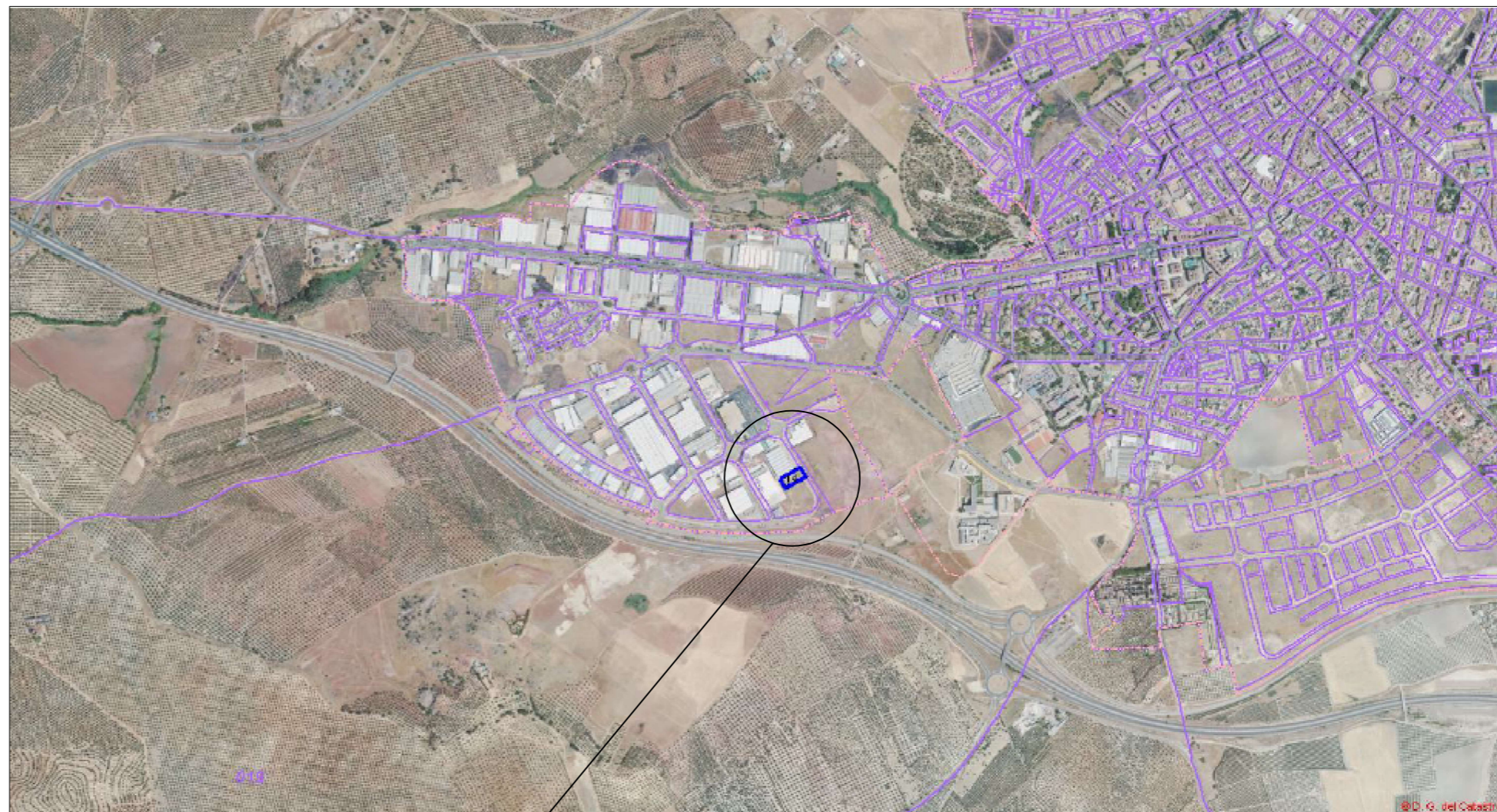
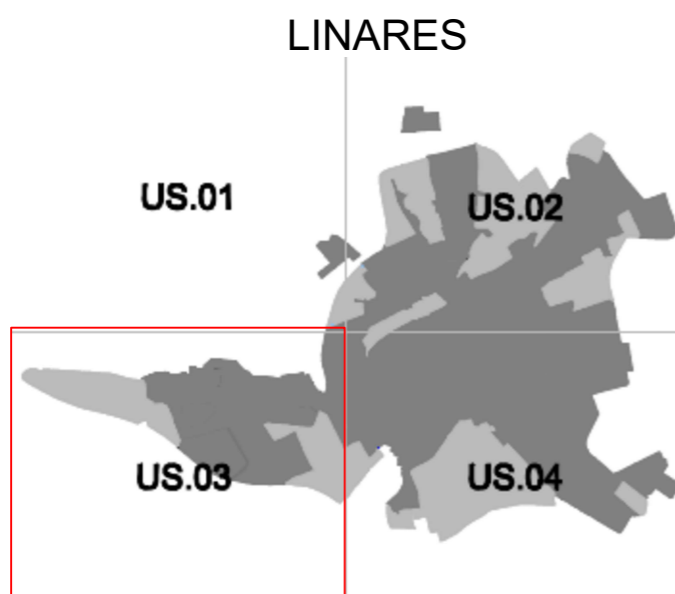
Autor: María Paz Sánchez Quesada

Tutor: D. José Sandino Egea

Málaga, octubre de 2025


Índice de planos

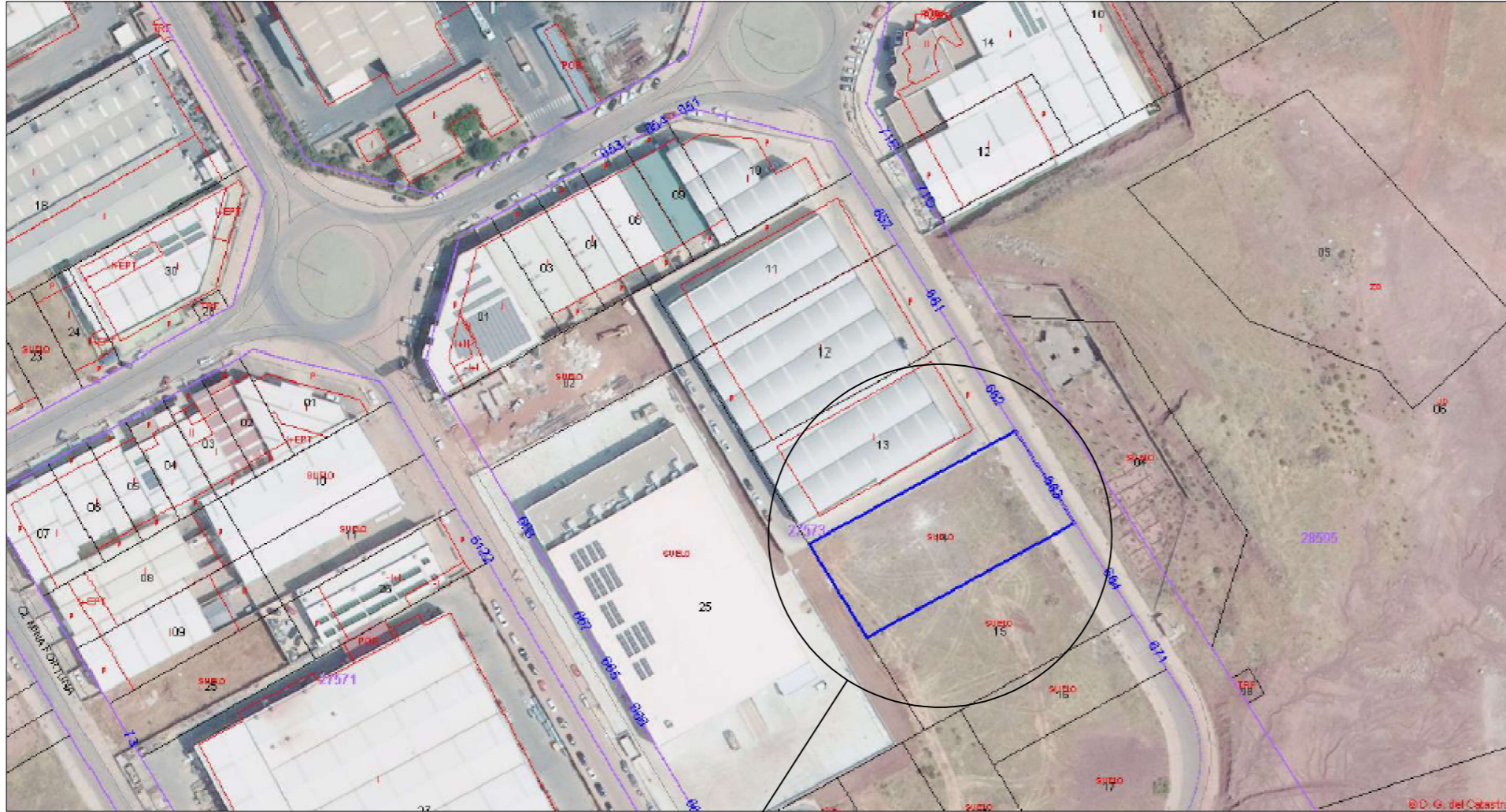
- Plano 1:** Plano de situación
- Plano 2:** Plano de emplazamiento
- Plano 3:** Modelado 3D
- Plano 4:** Modelado 3D. Planta baja
- Plano 5:** Modelado 3D. Planta superior
- Plano 6:** Estructura
- Plano 7:** Estructura. Pórticos
- Plano 8:** Estructura. Forjados
- Plano 9:** Estructura. Cubierta
- Plano 10:** Estructura. Perfil
- Plano 11:** Cimentación
- Plano 12:** Cimentación. Detalles 1
- Plano 13:** Cimentación. Detalles 2
- Plano 14:** Cimentación. Detalles 3
- Plano 15:** Cimentación. Detalles 4
- Plano 16:** Cimentación. Detalles 5
- Plano 17:** Cimentación. Detalles 6
- Plano 18:** Cimentación. Placas de anclaje
- Plano 19:** Unión Viga de cubierta, Pilar y Vigas de atado
- Plano 20:** Unión Viga de carga, Viguetas y Pilar
- Plano 21:** Unión Viga de carga y Viguetas



SITUACIÓN


Coordenadas U.T.M. Huso 30 ETRS 89:
442687.87, 4215571.62

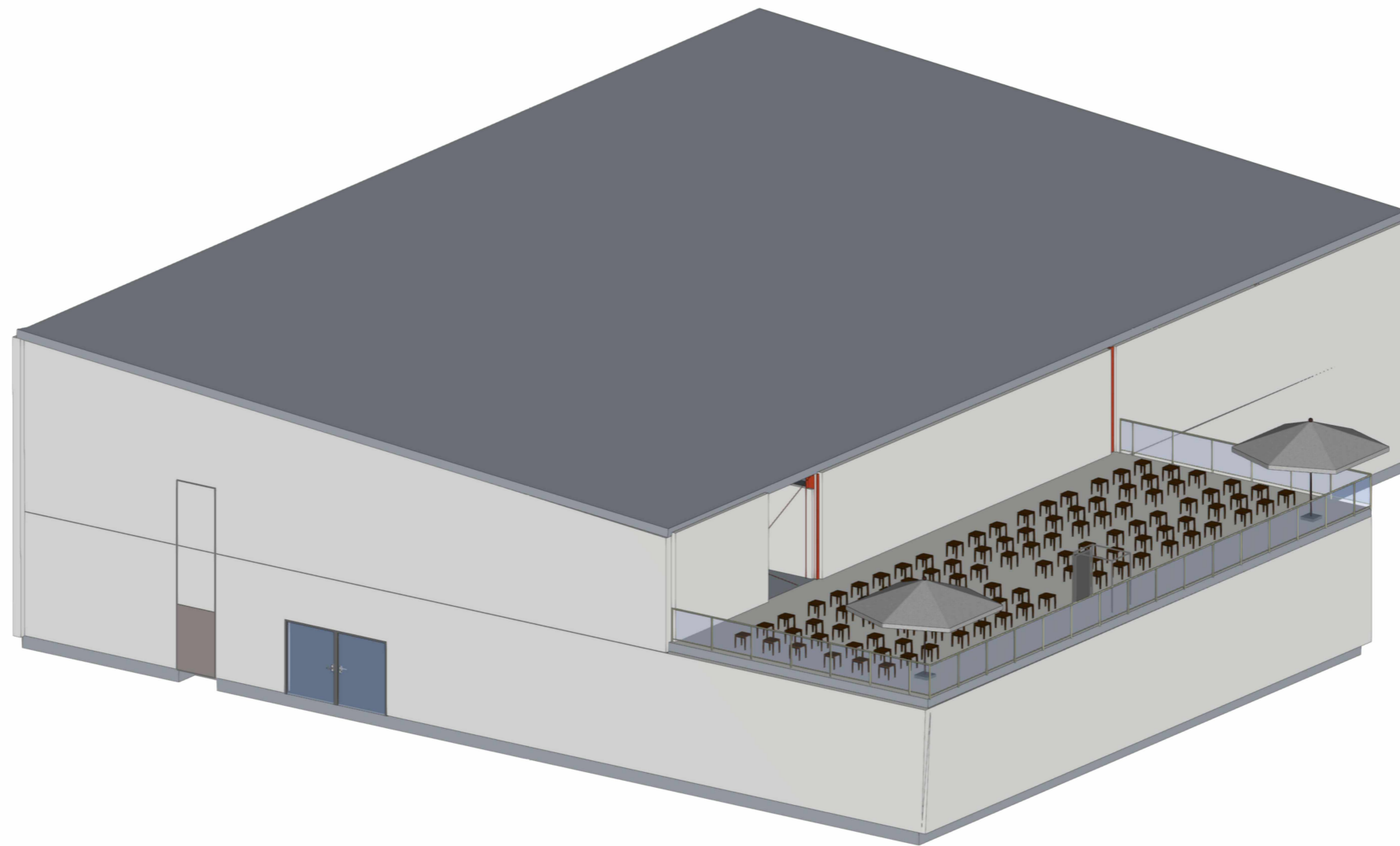
	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: <h2 style="text-align: center;">SITUACIÓN</h2>	
SITUACIÓN:		PLANO: 1
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO: ESCALA: 1/20000
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025




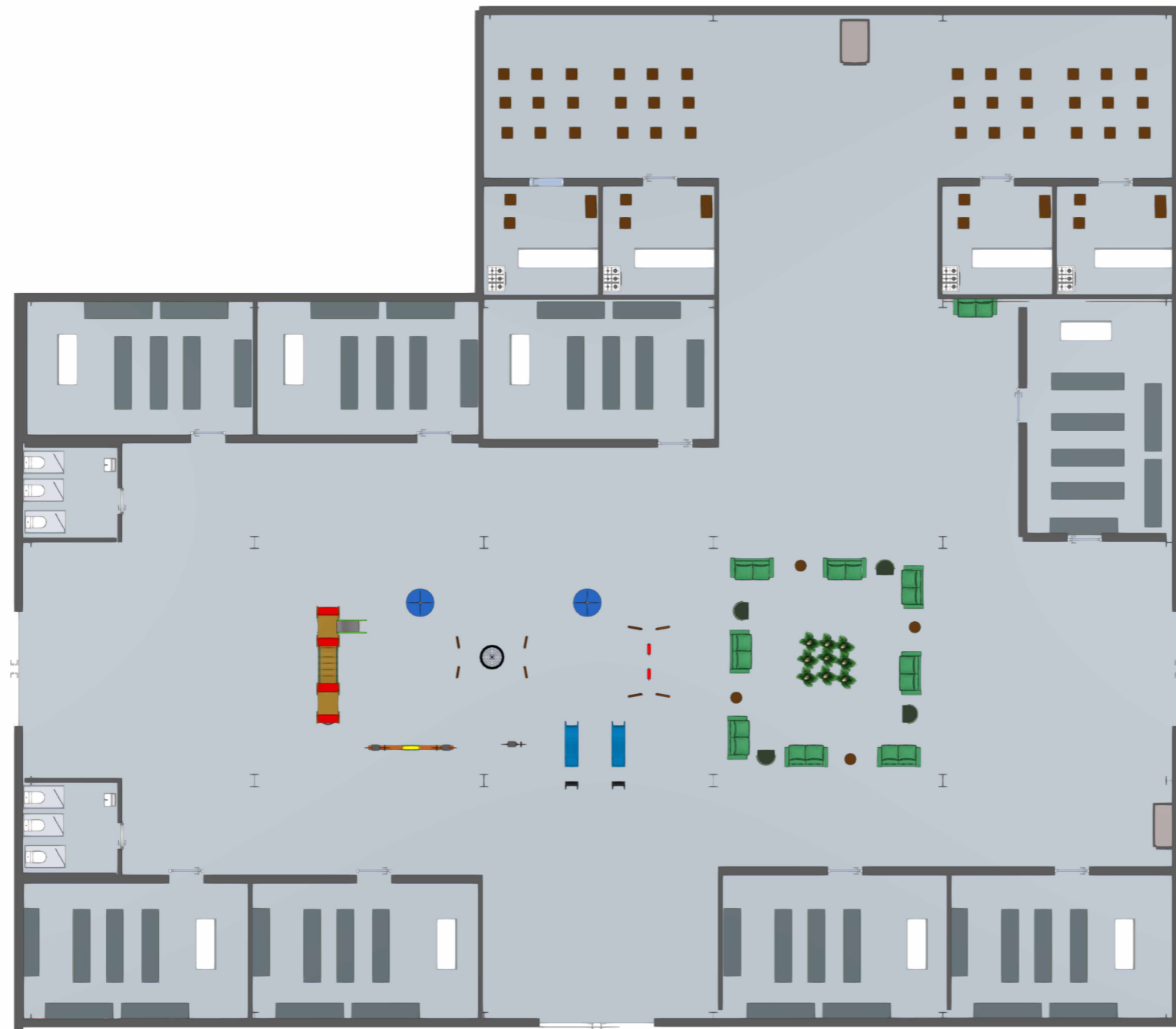
EMPLAZAMIENTO

Coordenadas U.T.M. Huso 30 ETRS 89:
442687.87, 4215571.62

	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	EMPLAZAMIENTO	
SITUACIÓN:	PLANO DE:	2
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	FIRMADO:	ESCALA: 1/2000
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025



	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: <h2 style="text-align: center;">MODELADO 3D</h2>	
SITUACIÓN:		PLANO: <h1 style="text-align: center;">3</h1>
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		ESCALA: <h1 style="text-align: center;">1/200</h1>
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

MODELADO 3D. PLANTA BAJA

SITUACIÓN:

PLANO:

4

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

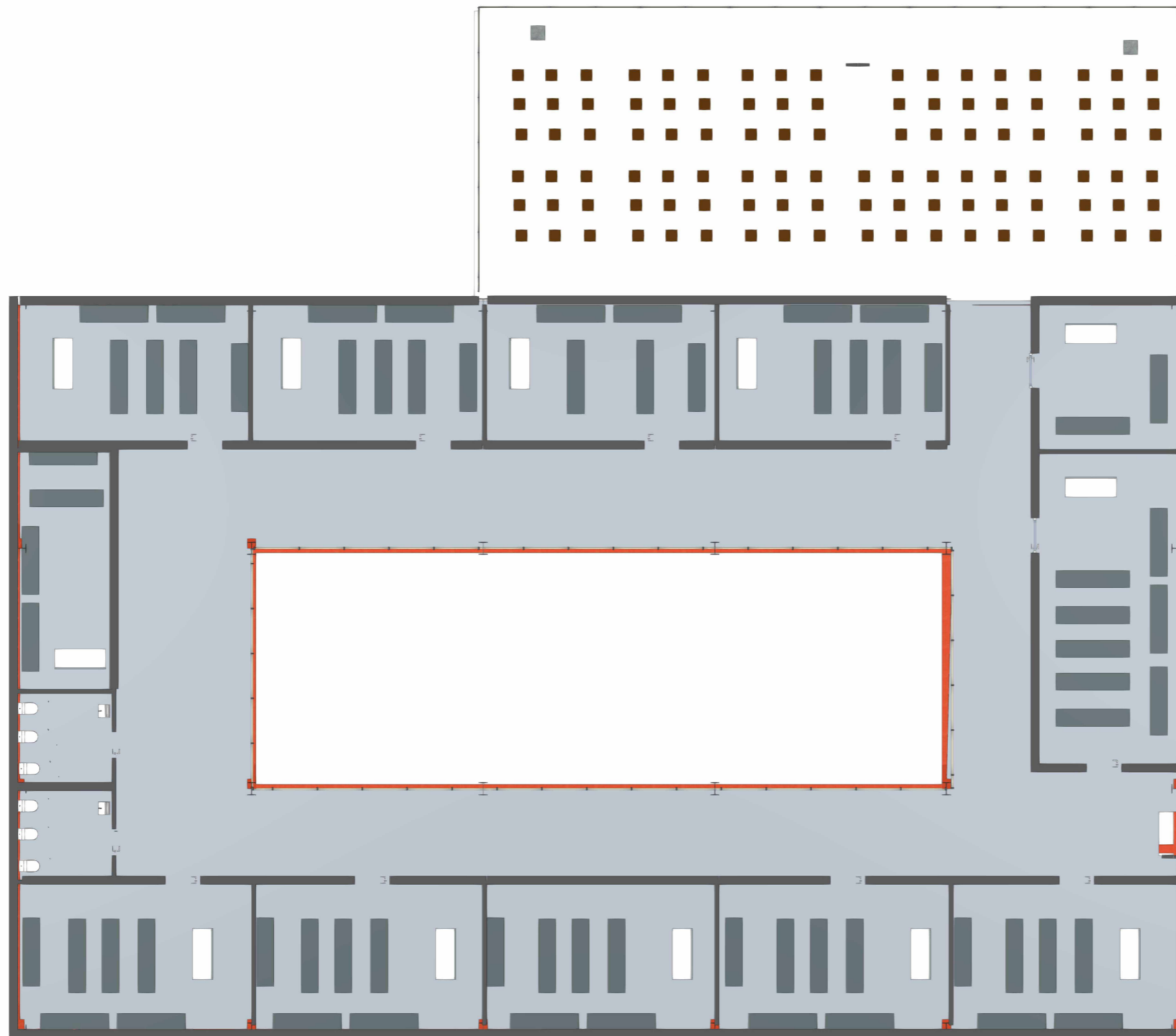
1/200

REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

FECHA:

OCTUBRE 2025



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

MODELADO 3D. PLANTA SUPERIOR

SITUACIÓN:

PLANO:

5

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

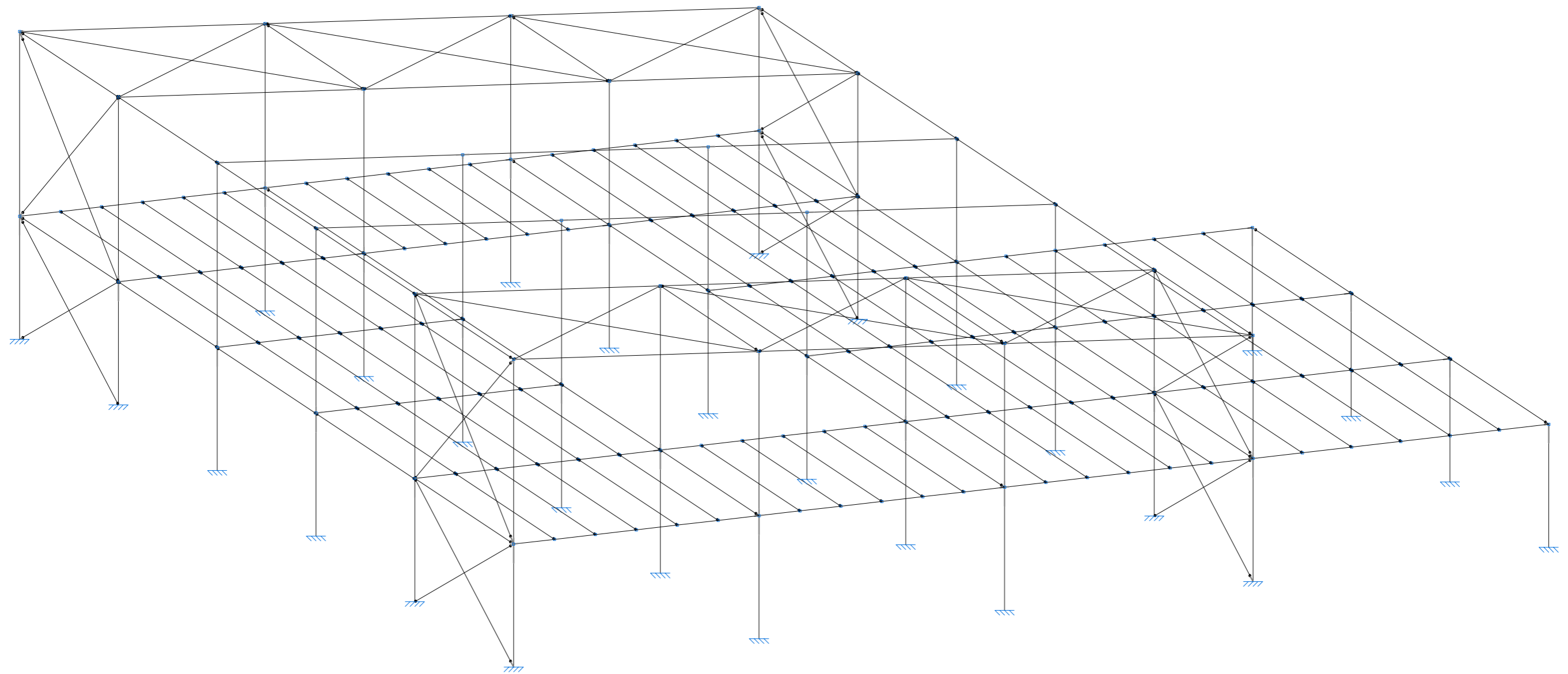
1/200

REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

FECHA:

OCTUBRE 2025



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

ESTRUCTURA

SITUACIÓN:

PLANO:

6

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

1/150

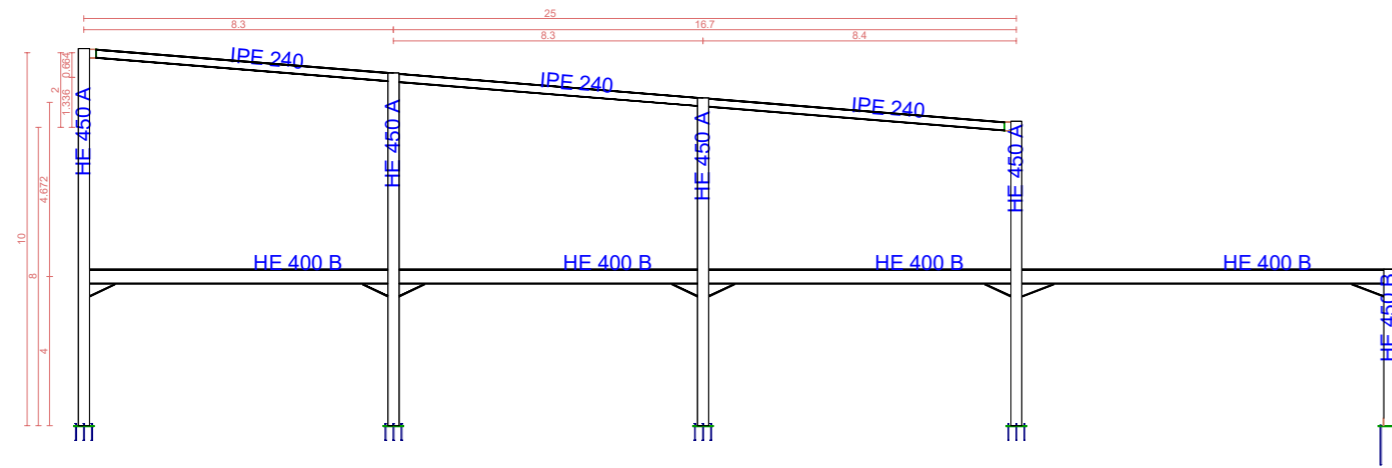
REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

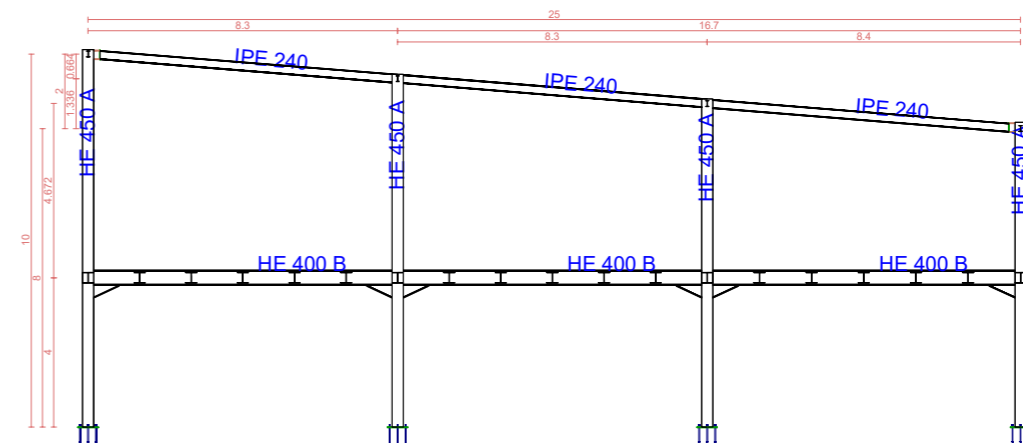
FECHA:

OCTUBRE 2025

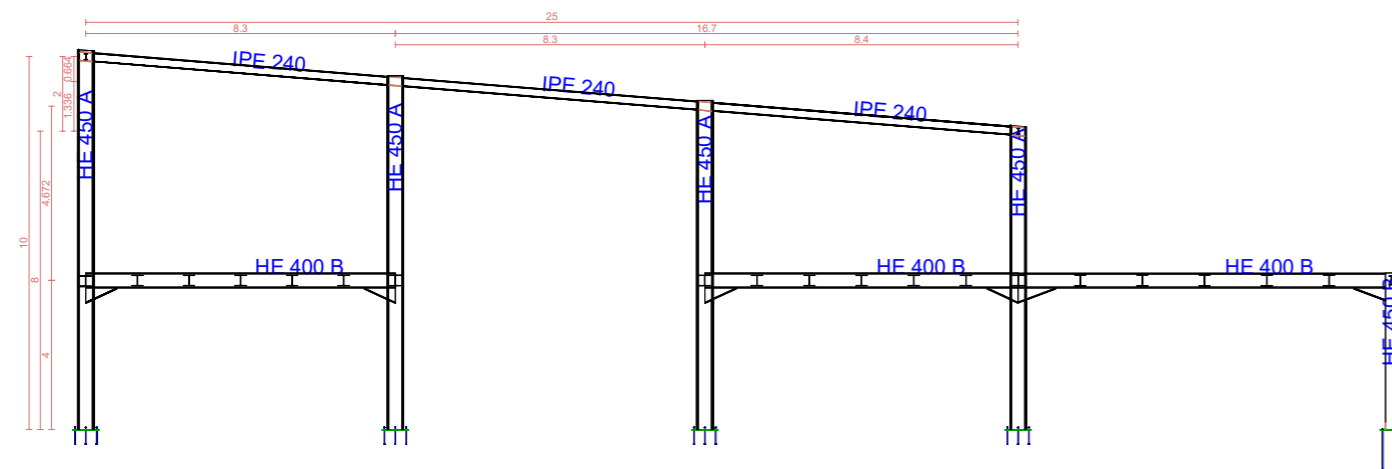
2D: Pórtico inicial



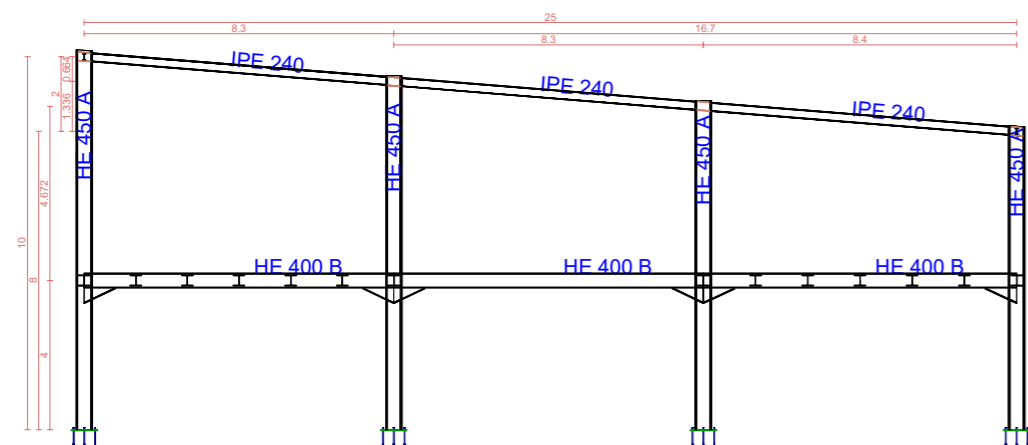
2D: Pórtico final



2D: Pórtico intermedio



2D: Pórtico intermedio 2



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

ESTRUCTURA. PÓRTICOS

SITUACIÓN:

PLANO:

7

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

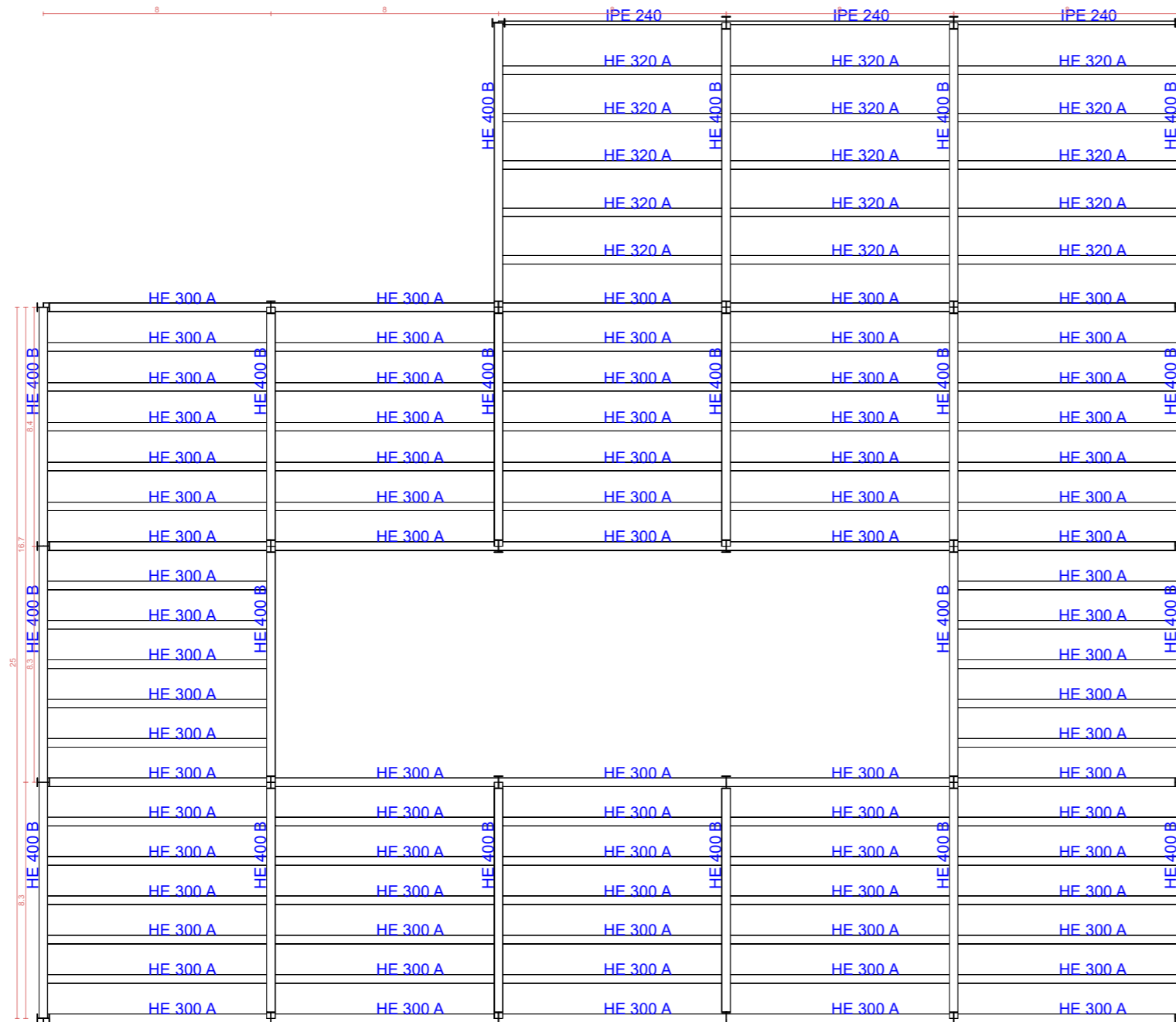
1/200

REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

FECHA:

OCTUBRE 2025



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

ESTRUCTURA. FORJADOS

SITUACIÓN:

PLANO:

8

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

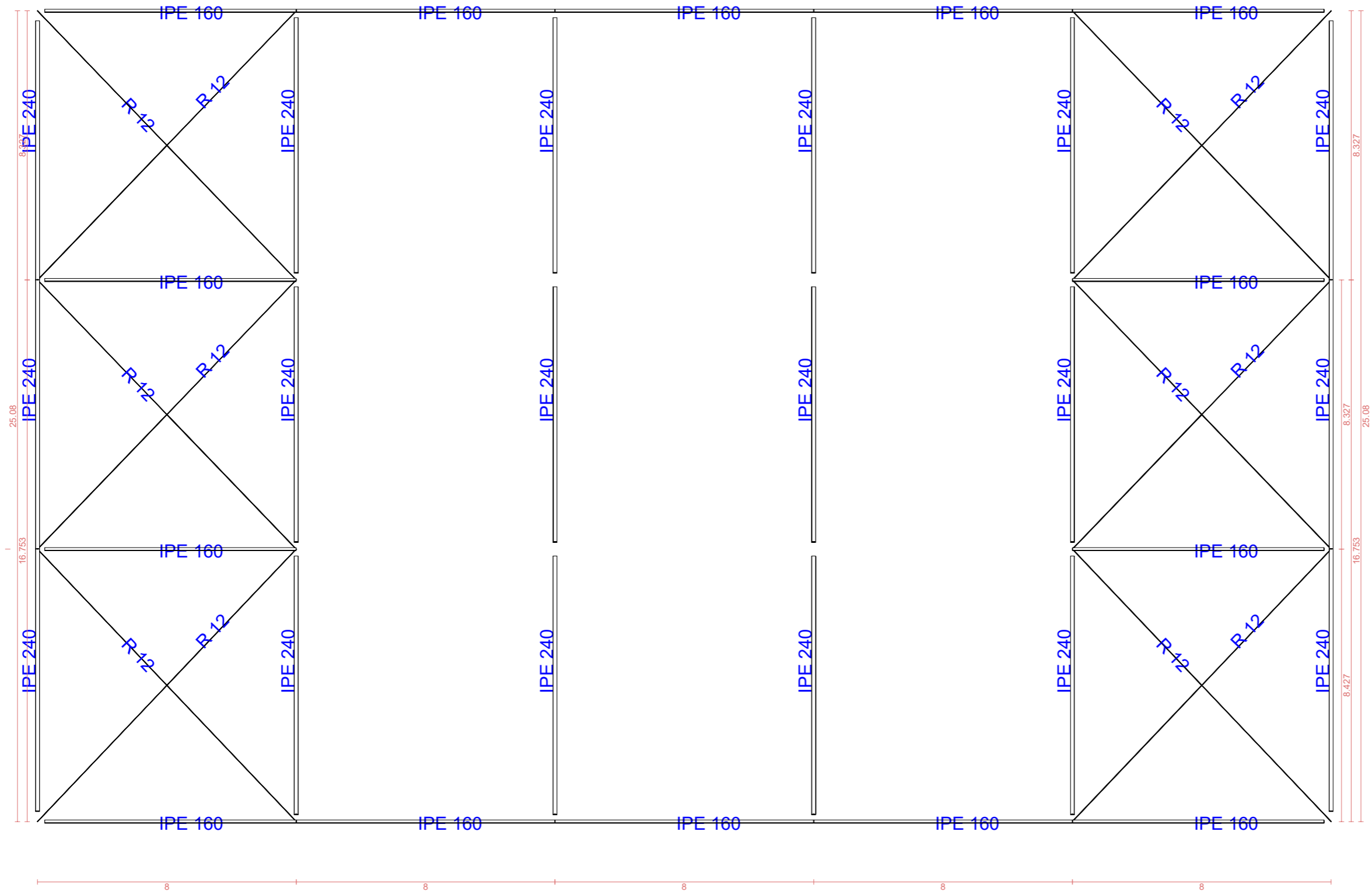
1/200

REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

FECHA:

OCTUBRE 2025

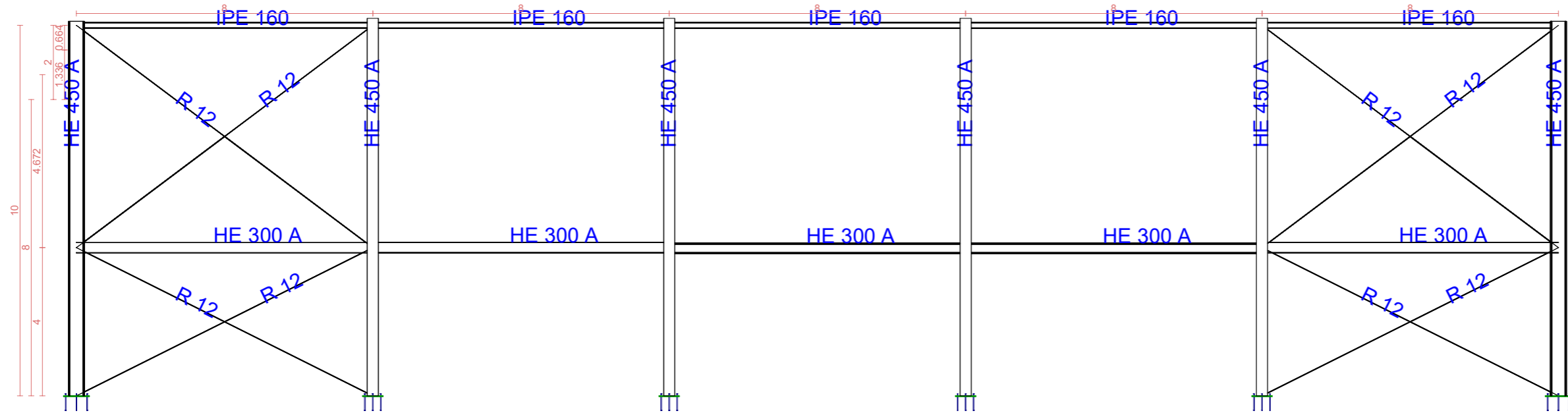


PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

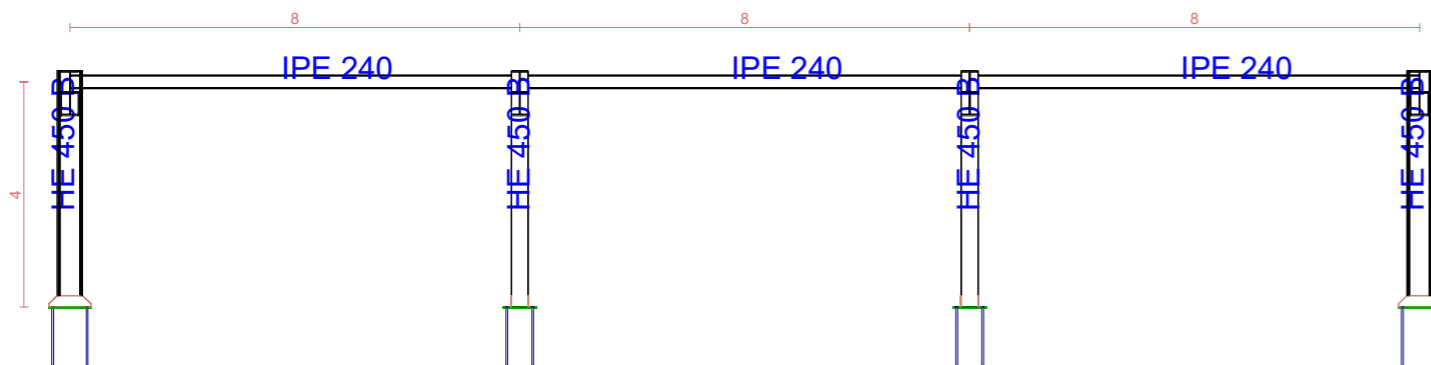
PLANO DE:
ESTRUCTURA. CUBIERTA



SITUACIÓN:		PLANO:
		9
PETICIONARIO:	FIRMADO:	ESCALA:
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		1/150
REALIZADO POR:		FECHA:
MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		OCTUBRE 2025

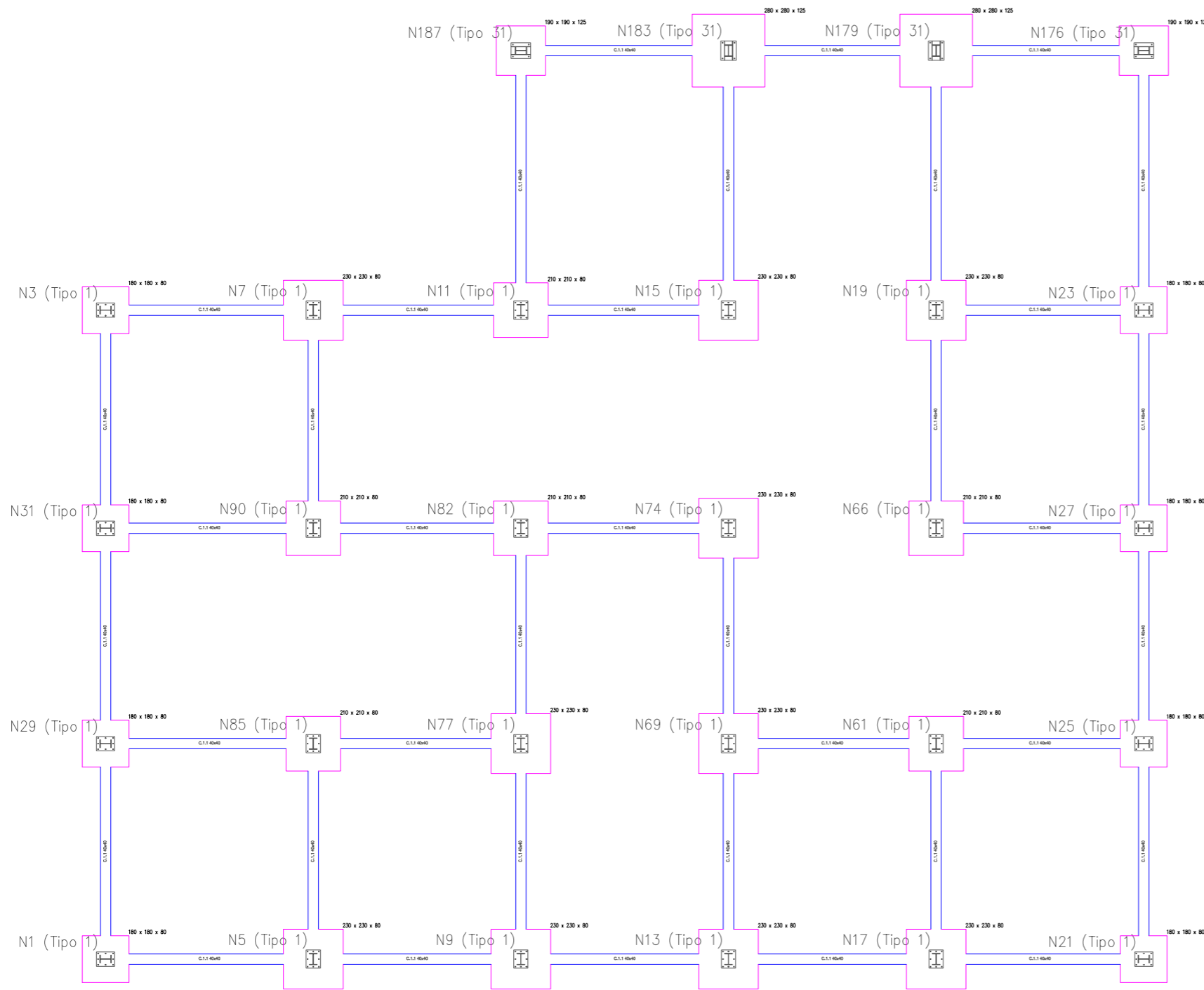
2D: Perfil



2D: Perfil 2

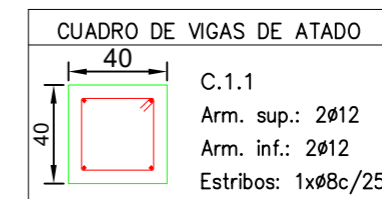


	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: ESTRUCTURA. PERFIL	
SITUACIÓN:		PLANO: 10
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO: 
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		ESCALA: 1/150
		FECHA: OCTUBRE 2025



Resumen Acero Elemento, Viga y Placa de anclaje	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
B 500 S, Ys=1.15	∅8	1322.0	574
	∅12	2218.0	2166
	∅16	1103.7	1916
	∅20	534.4	1450
	∅25	240.7	1020
			7126

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N1, N3, N5, N7, N9, N11, N13, N15, N17, N19, N21, N23, N25, N27, N29, N31, N61, N66, N69, N74, N77, N82, N85 y N90	8 Pernos ∅ 20	Placa base (550x700x25)
N176, N179, N183 y N187	4 Pernos ∅ 32	Placa base (600x750x25)



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

CIMENTACIÓN

SITUACIÓN:

PLANO:

11

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

1/200

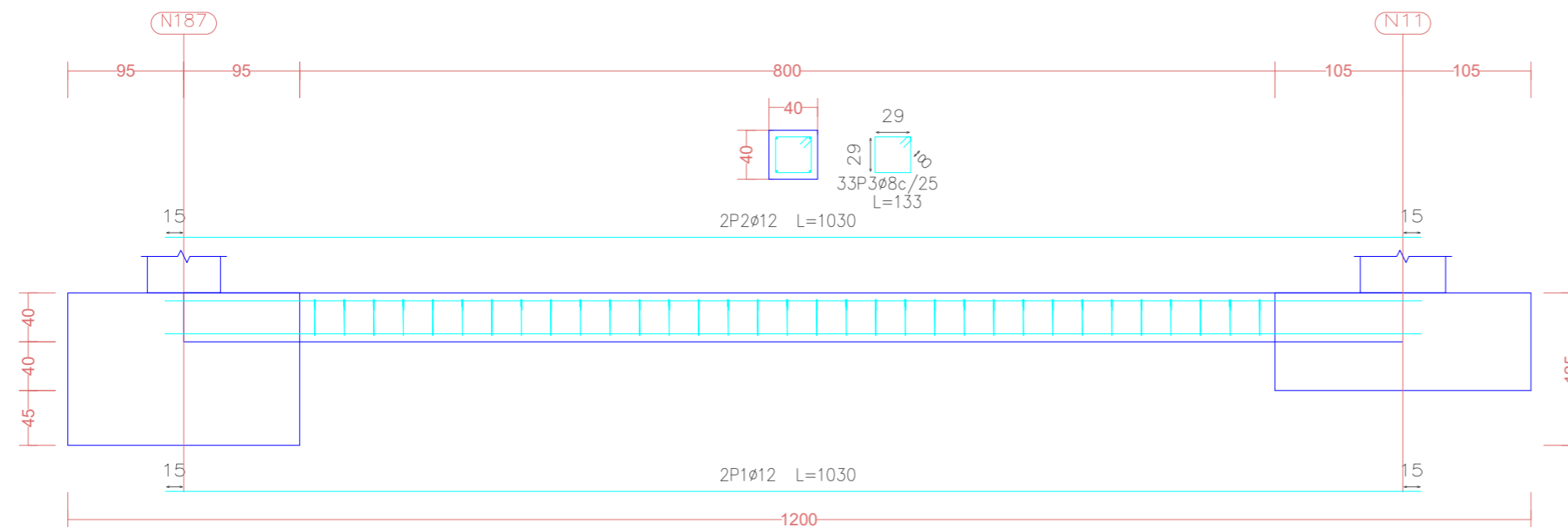
REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

FECHA:

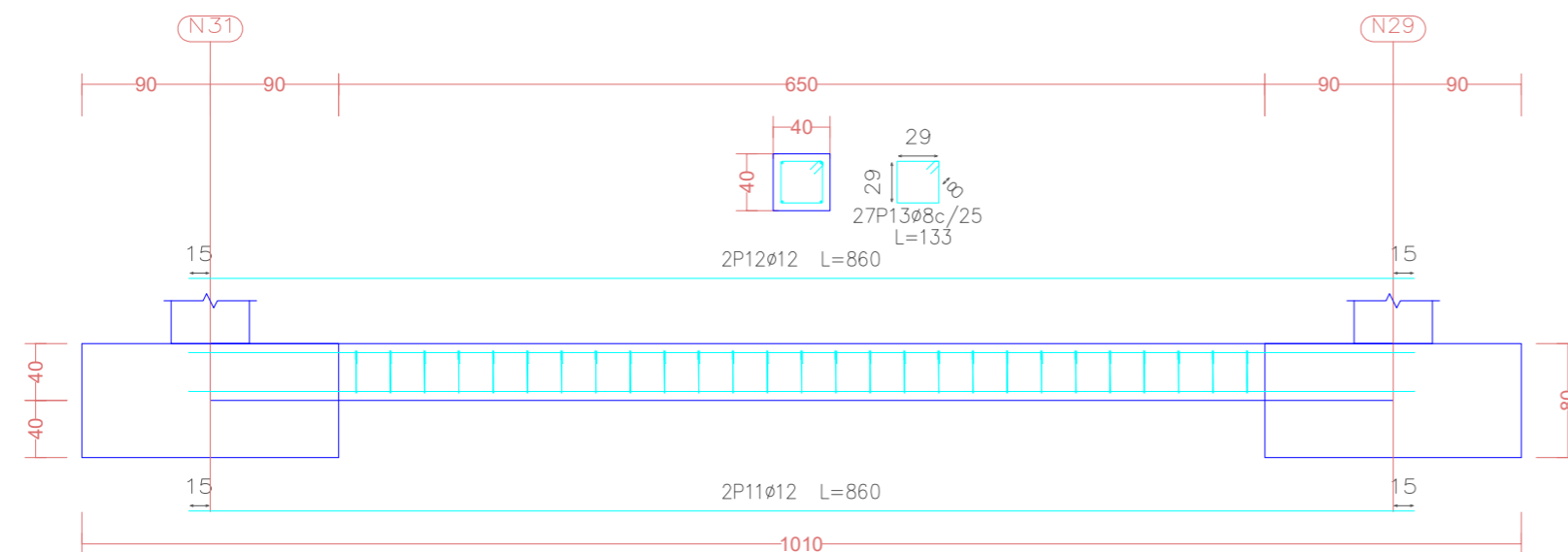
OCTUBRE 2025

C [N187-N11], C [N176-N23], C [N183-N15] y C [N179-N19]




Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
C [N187-N11]=C [N176-N23]	1	Ø12	2	1030	2060	18.3
C [N183-N15]=C [N179-N19]	2	Ø12	2	1030	2060	18.3
	3	Ø8	33	133	4389	17.3
Total+10% (x4):						59.3
						237.2
						Ø8: 76.0
						Ø12: 161.2
						Total: 237.2

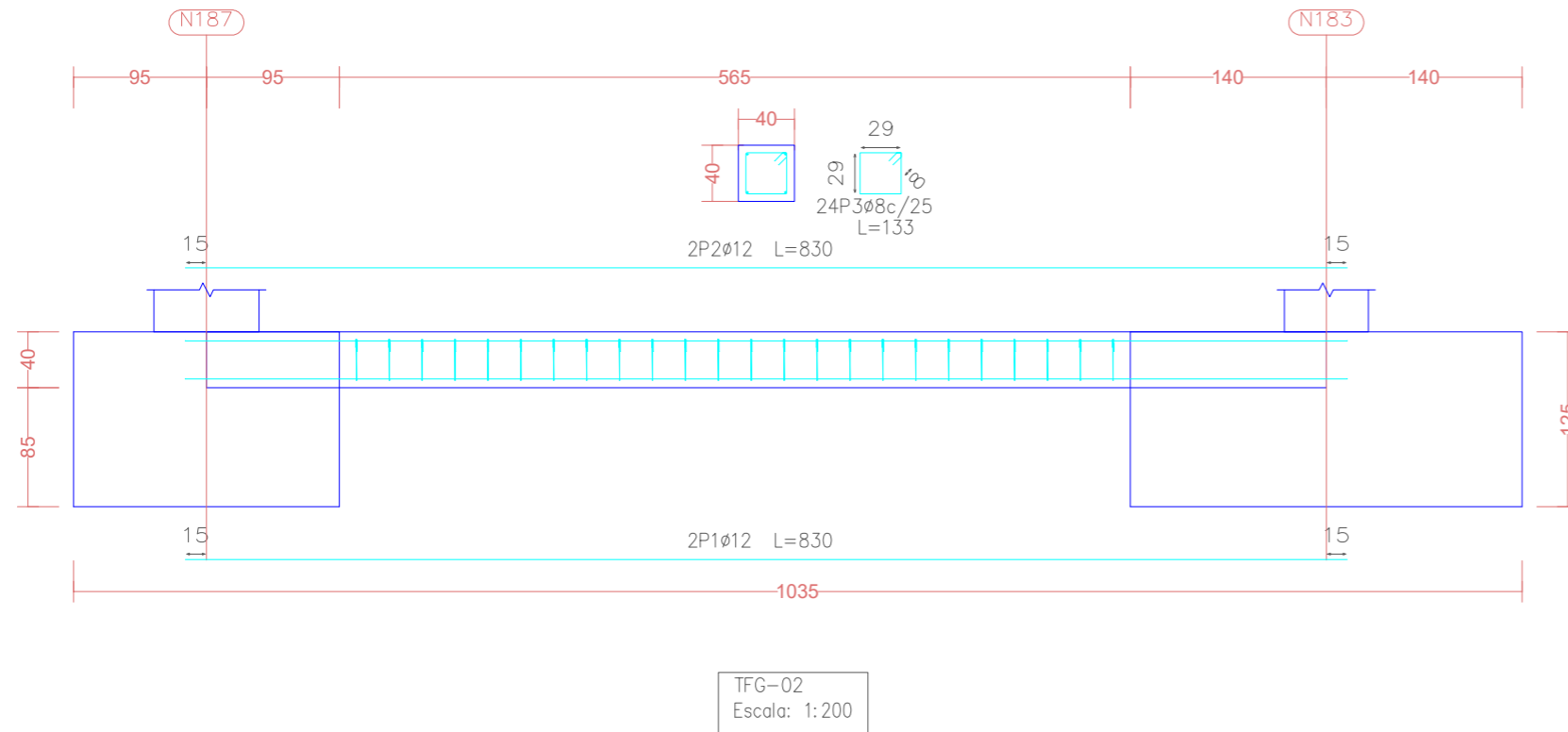
C [N31-N29], C [N29-N1], C [N27-N25], C [N25-N21], C [N74-N69], C [N61-N17], C [N69-N13], C [N77-N9], C [N85-N5] y C [N82-N77]



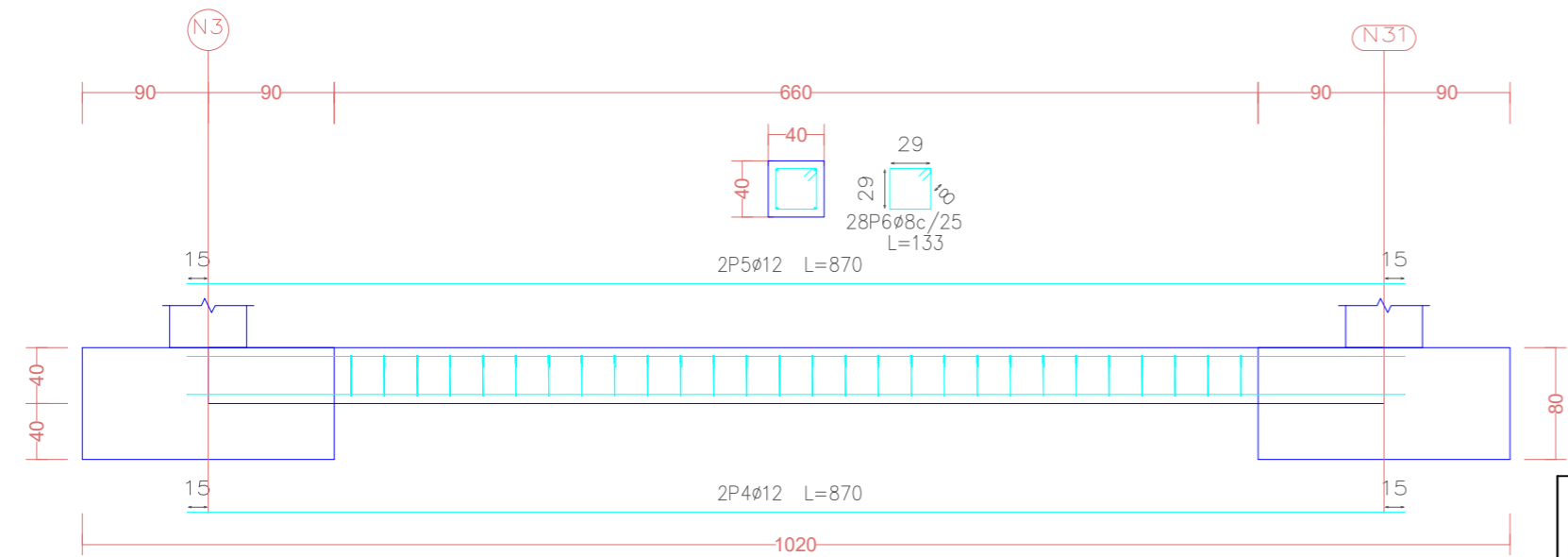
C [N31-N29]=C [N29-N1]	11	Ø12	2	860	1720	15.3	
C [N27-N25]=C [N25-N21]	12	Ø12	2	860	1720	15.3	
C [N74-N69]=C [N61-N17]	13	Ø8	27	133	3591	14.2	
C [N69-N13]=C [N77-N9]						Total+10% (x10):	49.3
C [N85-N5]=C [N82-N77]							493.0
						Ø8: 156.0	
						Ø12: 1222.6	
						Ø20: 900.0	
						Total: 2278.6	

	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: CIMENTACIÓN. DETALLES 1	
SITUACIÓN:		PLANO: 12
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		ESCALA: 1/200
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025

C.1.1 [N187-N183], C.1.1 [N5-N1], C.1.1 [N179-N176], C.1.1 [N7-N3], C.1.1 [N85-N29], C.1.1 [N82-N74], C.1.1 [N9-N5], C.1.1 [N66-N27], C.1.1 [N61-N25], C.1.1 [N11-N7], C.1.1 [N21-N17], C.1.1 [N17-N13], C.1.1 [N15-N11], C.1.1 [N13-N9], C.1.1 [N23-N19], C.1.1 [N90-N31], C.1.1 [N183-N179], C [N90-N82], C [N69-N61] y C [N85-N77]



C [N3-N31], C [N23-N27], C [N7-N90] y C [N19-N66]



Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
C.1.1 [N187-N183]=C.1.1 [N5-N1]	1	Ø12	2	830	1660	14.7
C.1.1 [N179-N176]=C.1.1 [N7-N3]	2	Ø12	2	830	1660	14.7
C.1.1 [N85-N29]=C.1.1 [N82-N74]	3	Ø8	24	133	3192	12.6
C.1.1 [N9-N5]=C.1.1 [N66-N27]						
C.1.1 [N61-N25]=C.1.1 [N11-N7]						
C.1.1 [N21-N17]=C.1.1 [N17-N13]						
C.1.1 [N15-N11]=C.1.1 [N13-N9]						
C.1.1 [N23-N19]=C.1.1 [N90-N31]						
C.1.1 [N183-N179]=C [N90-N82]						
C [N69-N61]=C [N85-N77]						
					Total+10% (x20):	46.2 924.0
C [N3-N31]=C [N23-N27]	4	Ø12	2	870	1740	15.4
C [N7-N90]=C [N19-N66]	5	Ø12	2	870	1740	15.4
	6	Ø8	28	133	3724	14.7
					Total+10% (x4):	50.1 200.4
					Ø8:	342.8
					Ø12:	781.6
					Total:	1124.4



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

CIMENTACIÓN. DETALLES 2

SITUACIÓN:

F

PLANO:

13

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

1/200

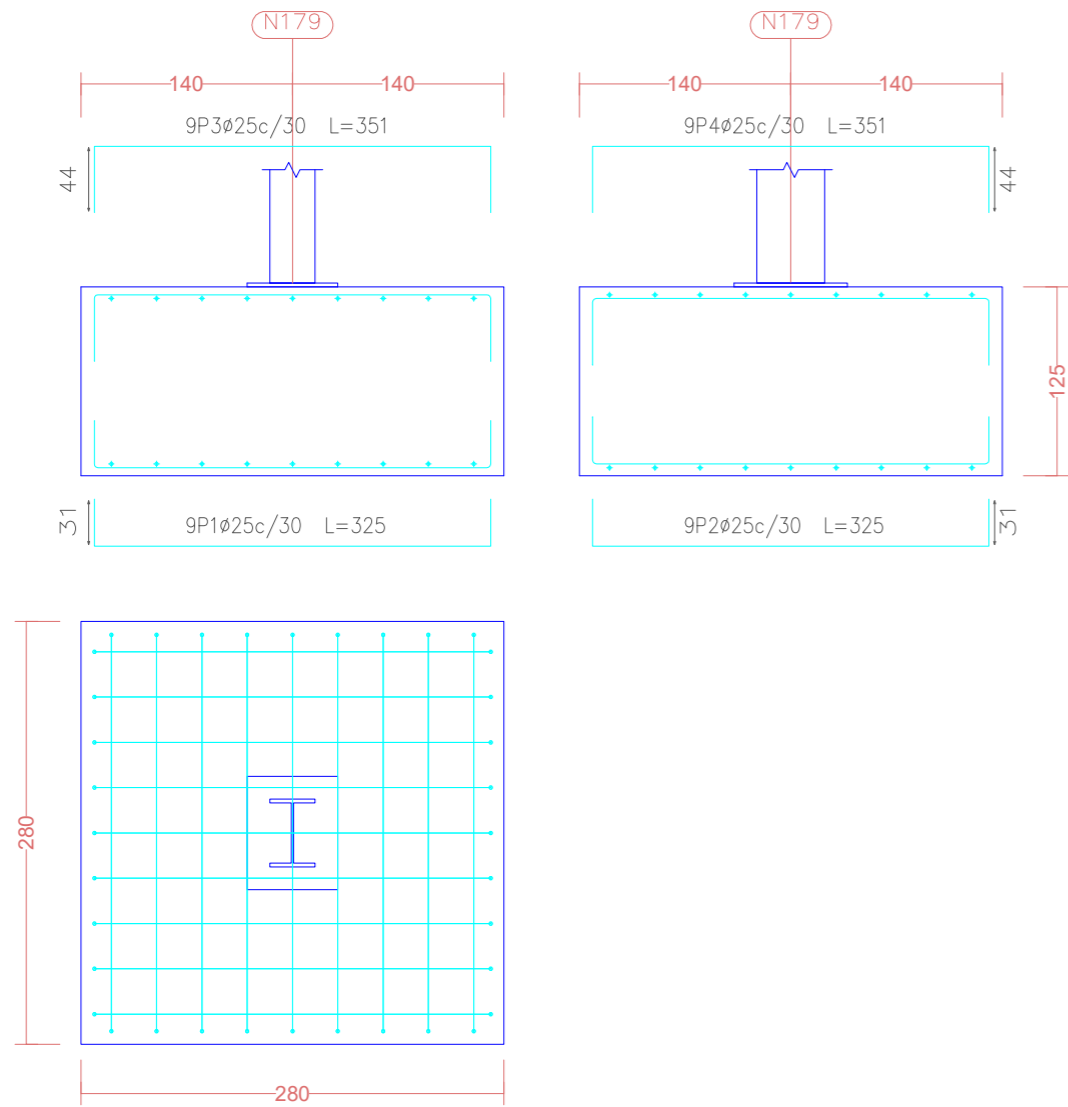
REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

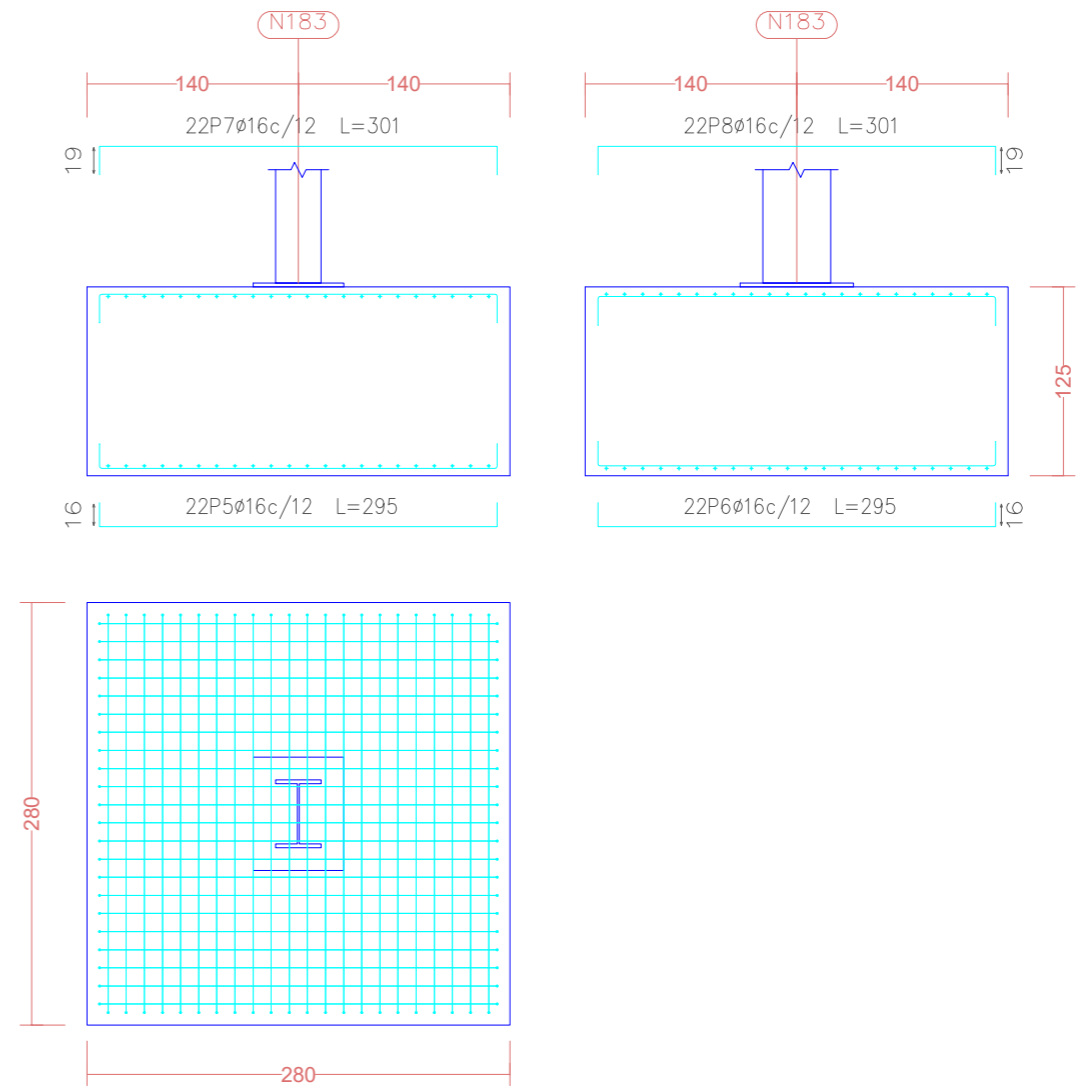
FECHA:

OCTUBRE 2025

N179



N183



Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
N179	1	ø25	9	325	2925	112.7
	2	ø25	9	325	2925	112.7
	3	ø25	9	351	3159	121.7
	4	ø25	9	351	3159	121.7
Total+10%						515.7
N183	5	ø16	22	295	6490	102.4
	6	ø16	22	295	6490	102.4
	7	ø16	22	301	6622	104.5
	8	ø16	22	301	6622	104.5
Total+10%						455.2
ø16:						455.2
ø25:						515.7
Total:						970.9



PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL

PLANO DE:

CIMENTACIÓN. DETALLES 3

SITUACIÓN:

PLANO:

14

PETICIONARIO:

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

FIRMADO:

ESCALA:

1/200

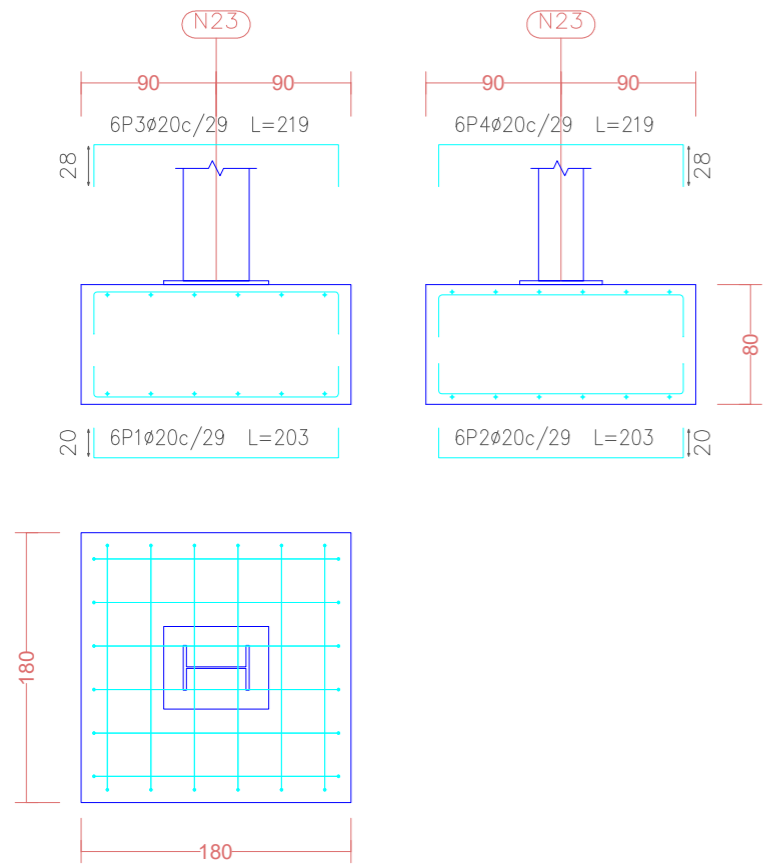
REALIZADO POR:

MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA

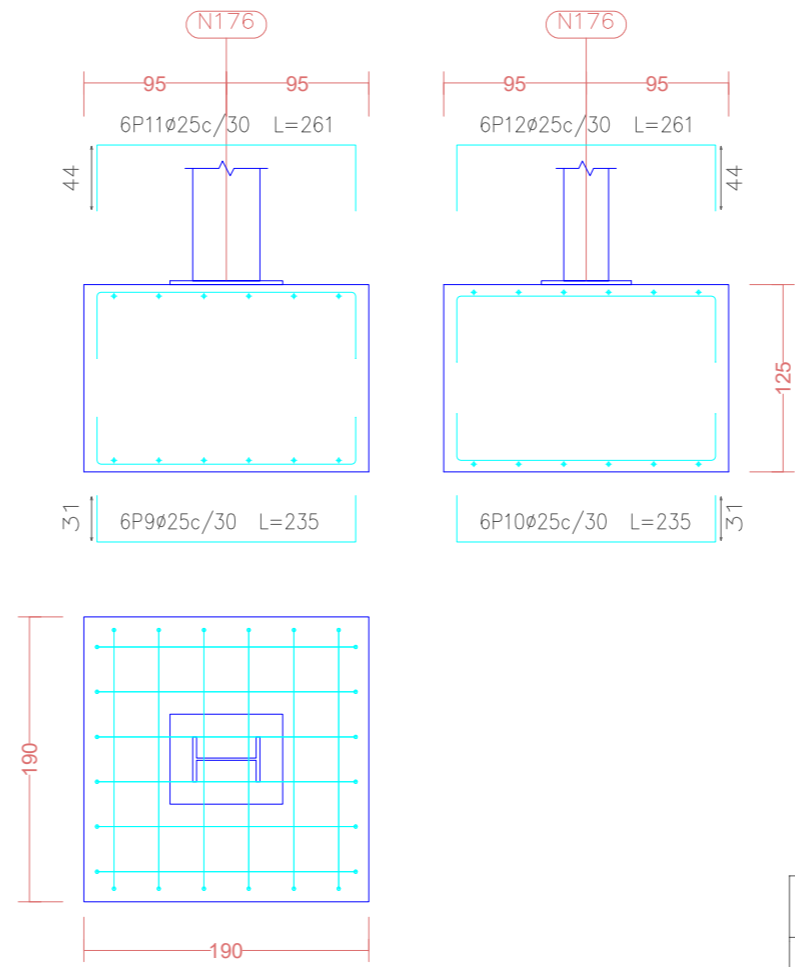
FECHA:

OCTUBRE 2025

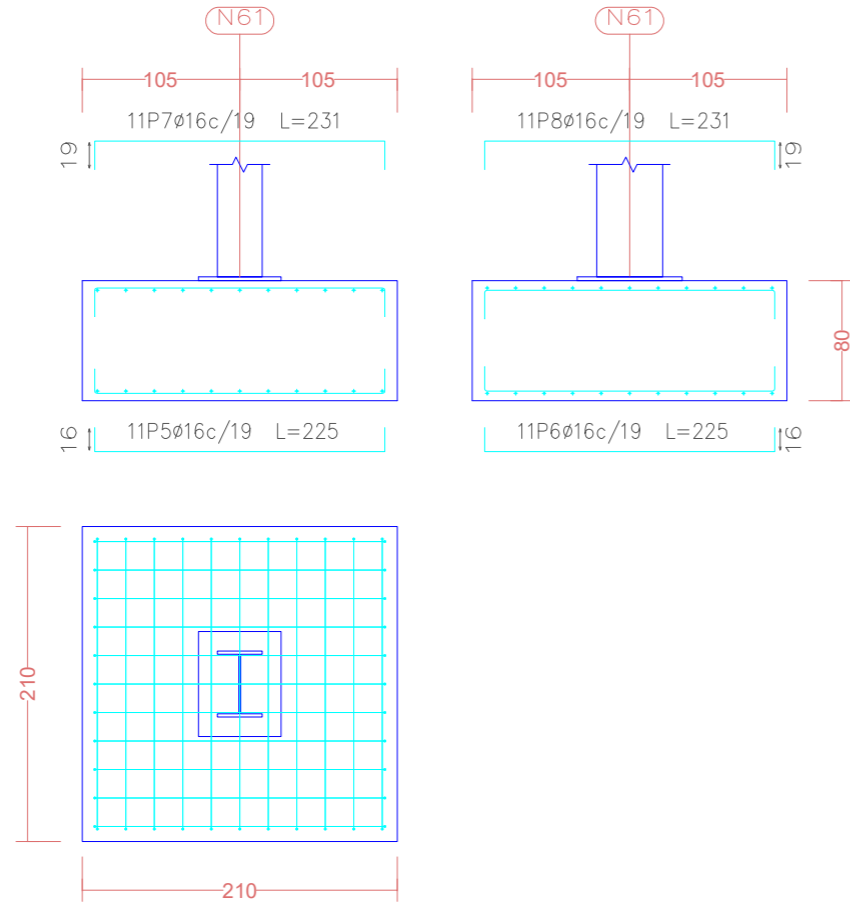
N23, N27, N29 y N31




N176 y N187



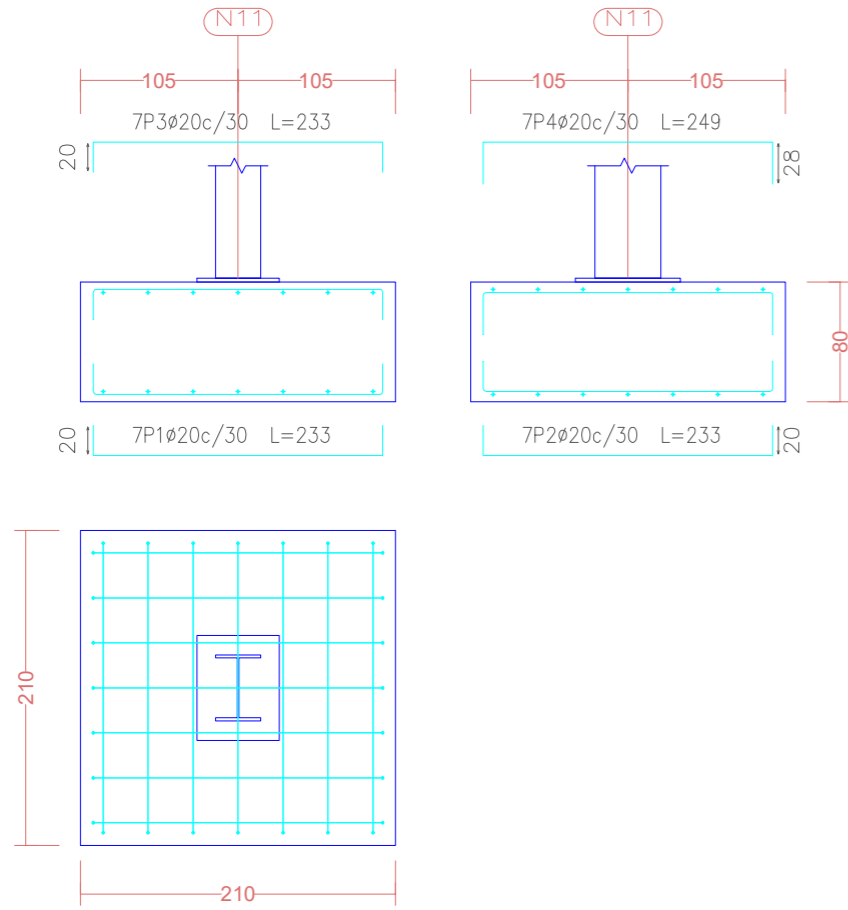
N61



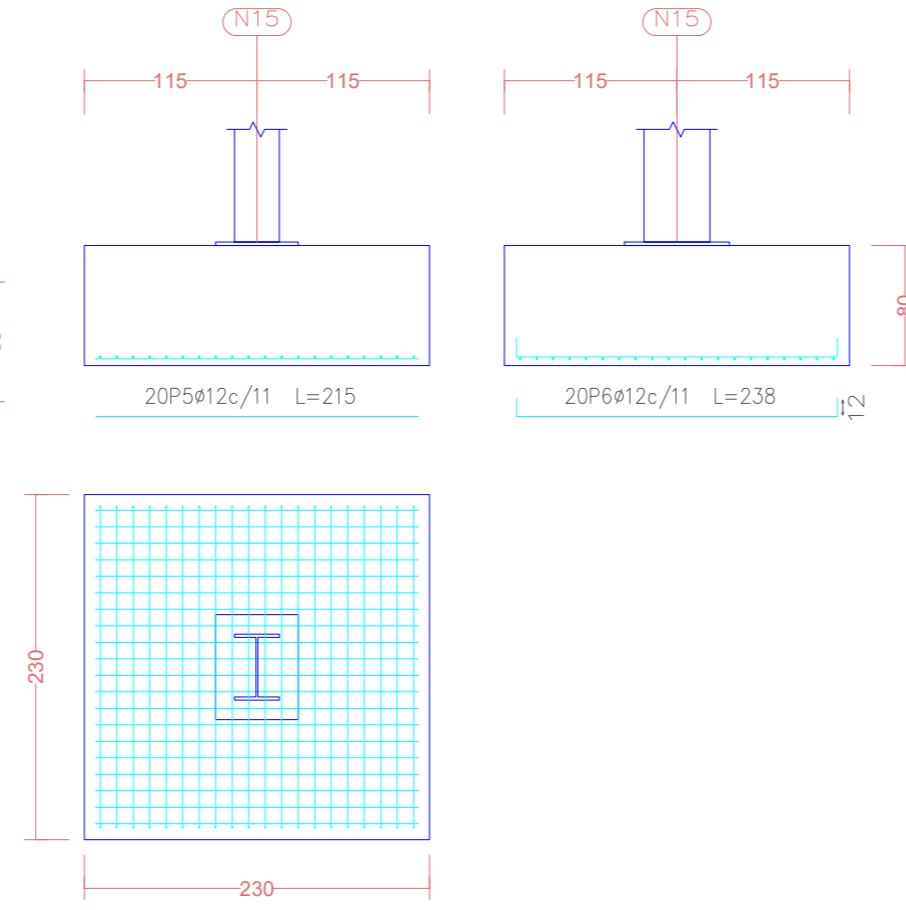
Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
N23=N27=N29=N31	1	ø20	6	203	1218	30.0
	2	ø20	6	203	1218	30.0
	3	ø20	6	219	1314	32.4
	4	ø20	6	219	1314	32.4
					Total+10% (x4):	137.3
						549.2
N61	5	ø16	11	225	2475	39.1
	6	ø16	11	225	2475	39.1
	7	ø16	11	231	2541	40.1
	8	ø16	11	231	2541	40.1
					Total+10%:	174.2
N176=N187	9	ø25	6	235	1410	54.3
	10	ø25	6	235	1410	54.3
	11	ø25	6	261	1566	60.3
	12	ø25	6	261	1566	60.3
					Total+10% (x2):	252.1
						504.2
					ø16:	174.2
					ø20:	549.2
					ø25:	504.2
					Total:	1227.6

	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: CIMENTACIÓN. DETALLES 4	
SITUACIÓN:	n	PLANO: 15
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	FIRMADO:	ESCALA: 1/200
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025

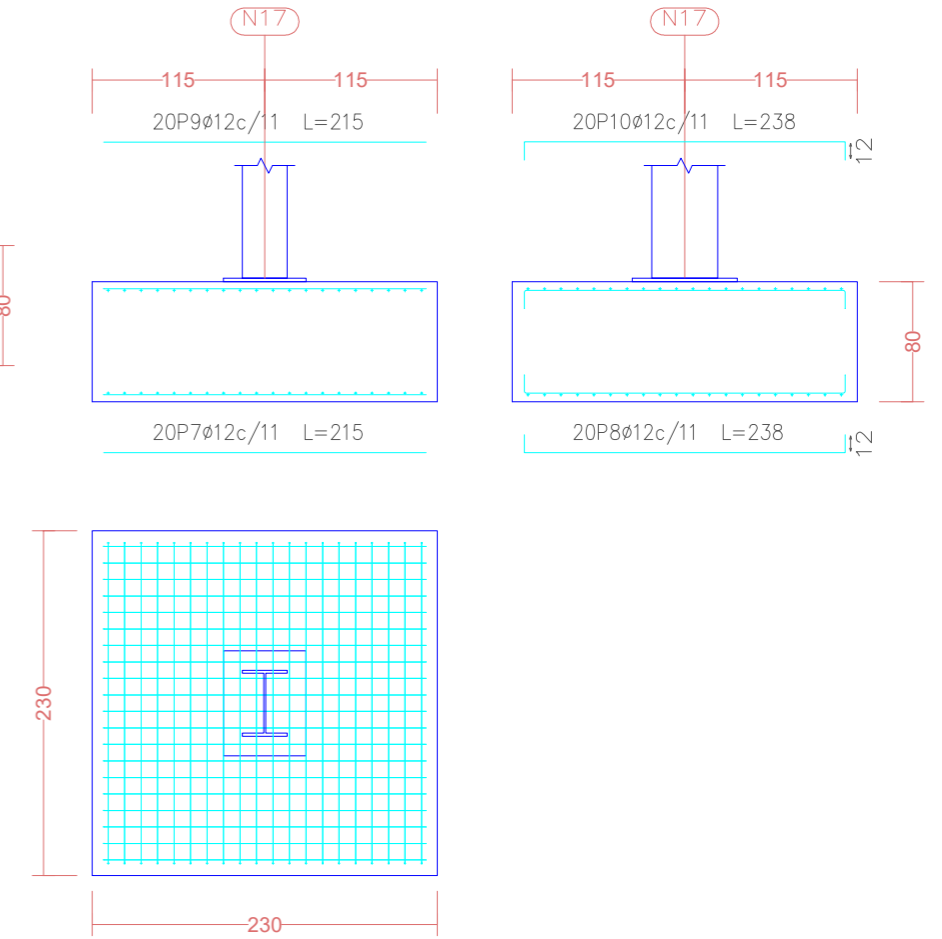
N11, N66, N82, N85 y N90




N15 y N19



N17, N69, N74 y N77

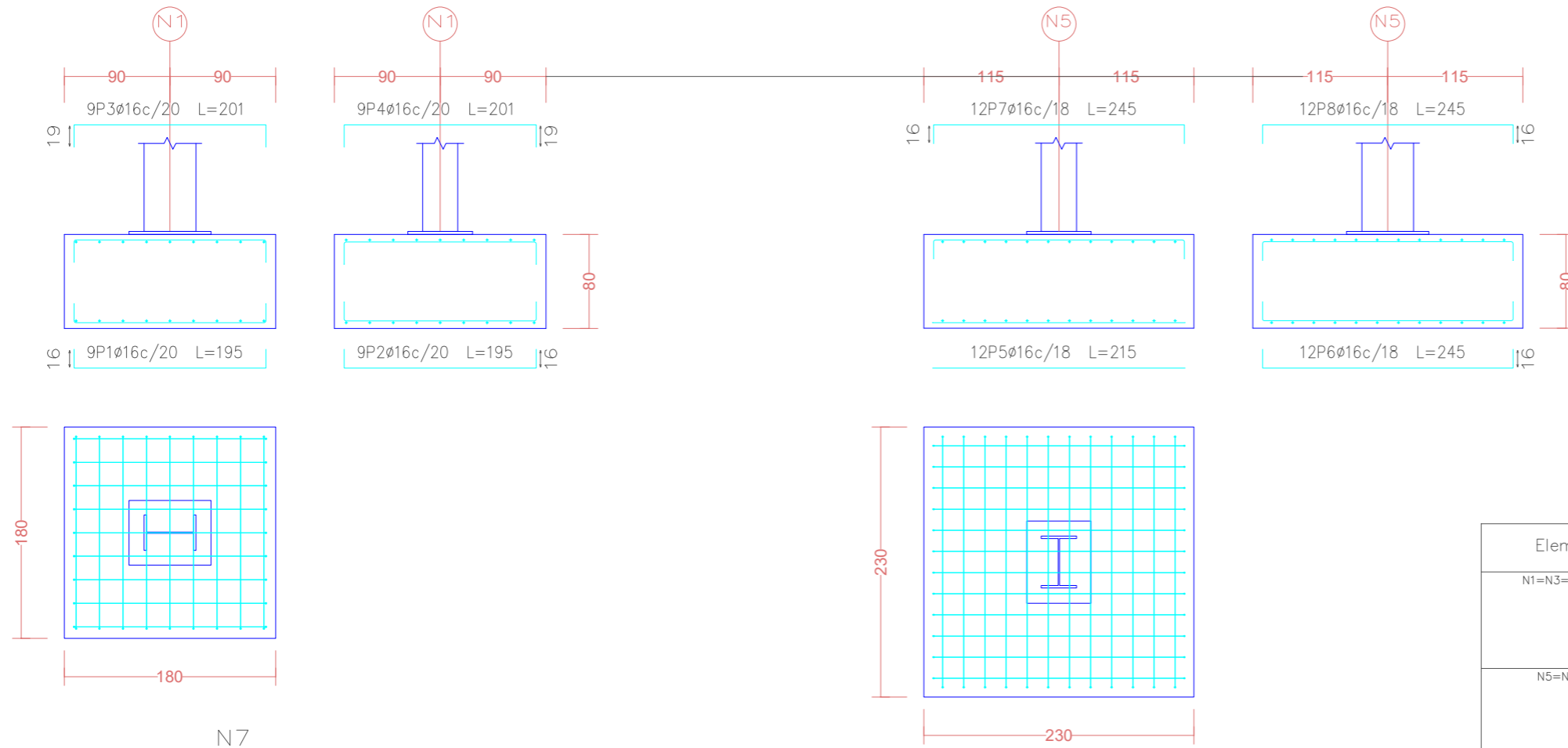


Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
N11=N66=N82=N85=N90	1	Ø20	7	233	1631	40.2
	2	Ø20	7	233	1631	40.2
	3	Ø20	7	233	1631	40.2
	4	Ø20	7	249	1743	43.0
Total+10% (x5):					180.0	900.0
N15=N19	5	Ø12	20	215	4300	38.2
	6	Ø12	20	238	4760	42.3
Total+10% (x2):					88.6	177.2
N17=N69=N74=N77	7	Ø12	20	215	4300	38.2
	8	Ø12	20	238	4760	42.3
	9	Ø12	20	215	4300	38.2
	10	Ø12	20	238	4760	42.3
Total+10% (x4):					177.1	708.4


	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: CIMENTACIÓN. DETALLES 5	
SITUACIÓN:		PLANO: 16
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO:
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		ESCALA: 1/200
		FECHA: OCTUBRE 2025

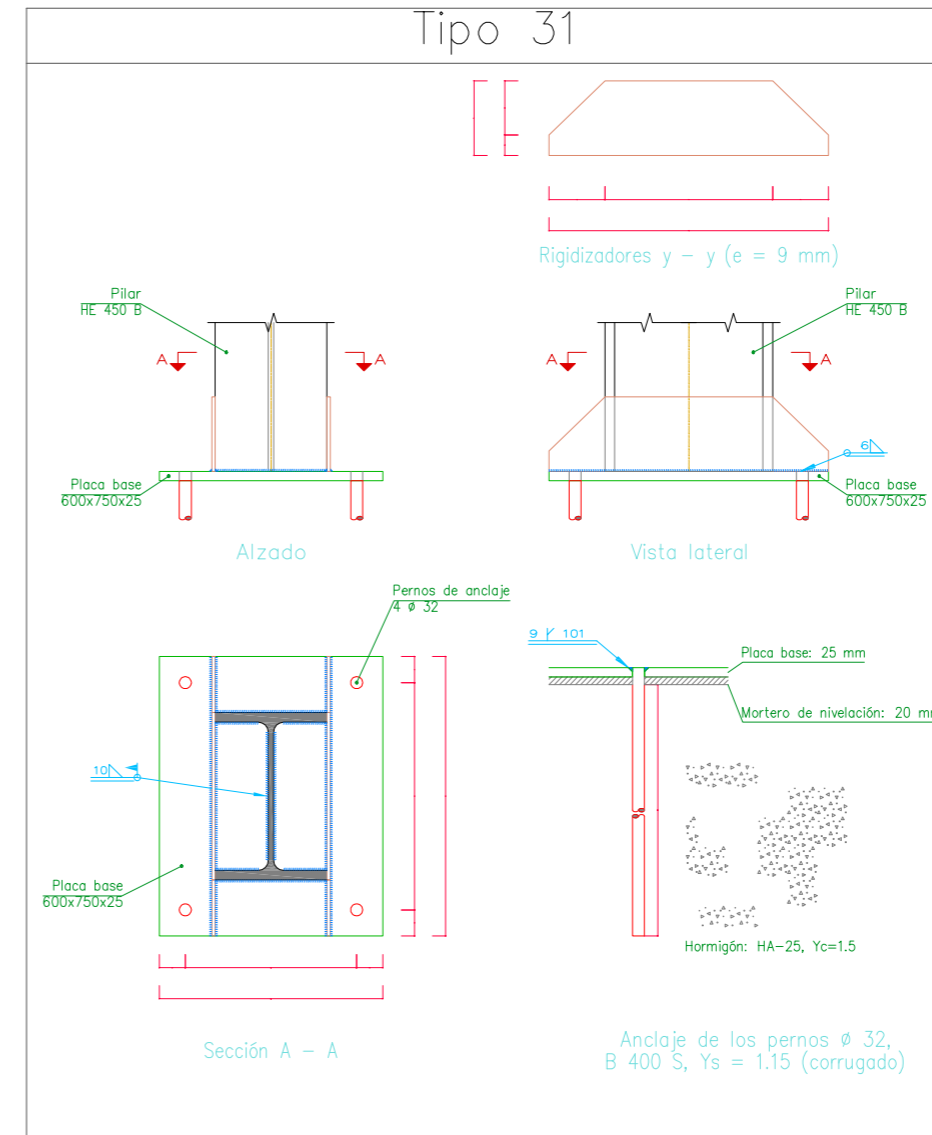
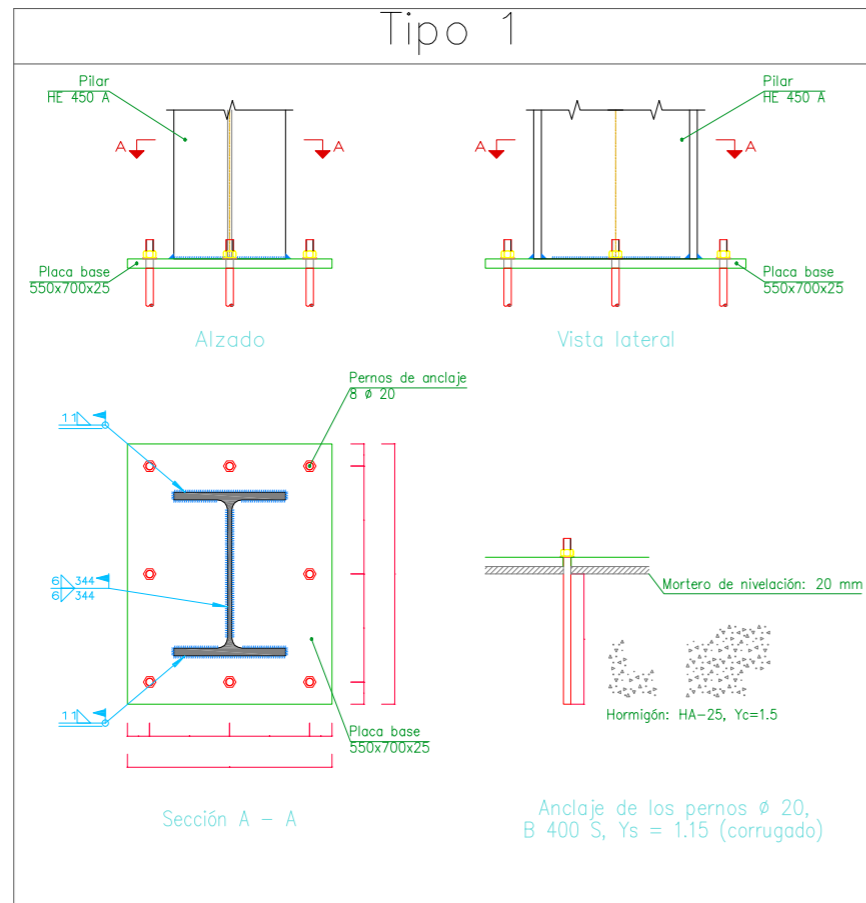
N1, N3, N21 y N25


N5, N9 y N13

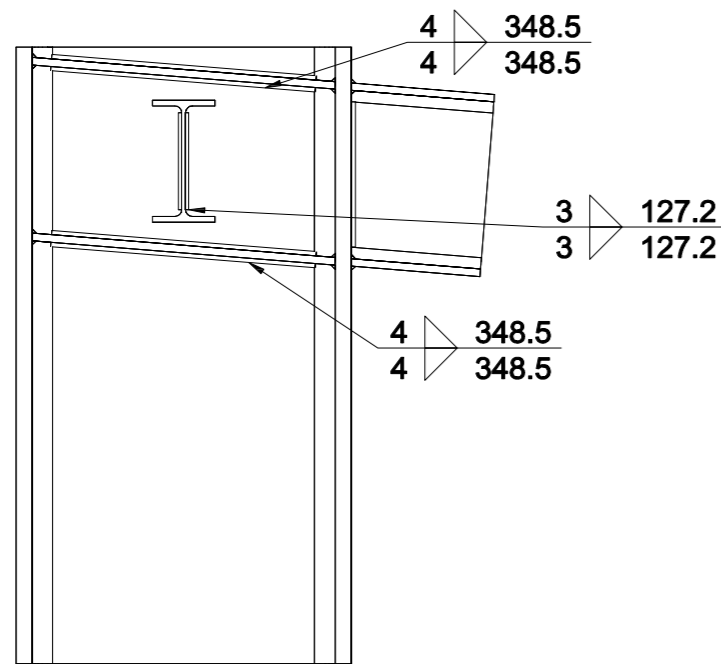


Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, Ys=1.15 (kg)
N1=N3=N21=N25	1	ø16	9	195	1755	27.7
	2	ø16	9	195	1755	27.7
	3	ø16	9	201	1809	28.6
	4	ø16	9	201	1809	28.6
					Total+10% (x4):	123.9
						495.6
N5=N9=N13	5	ø16	12	215	2580	40.7
	6	ø16	12	245	2940	46.4
	7	ø16	12	245	2940	46.4
	8	ø16	12	245	2940	46.4
					Total+10% (x3):	197.9
						593.7
N7	9	ø16	12	215	2580	40.7
	10	ø16	12	245	2940	46.4
	11	ø16	12	245	2940	46.4
	12	ø16	12	245	2940	46.4
					Total+10%:	197.9
					ø16:	1287.2
					Total:	1287.2

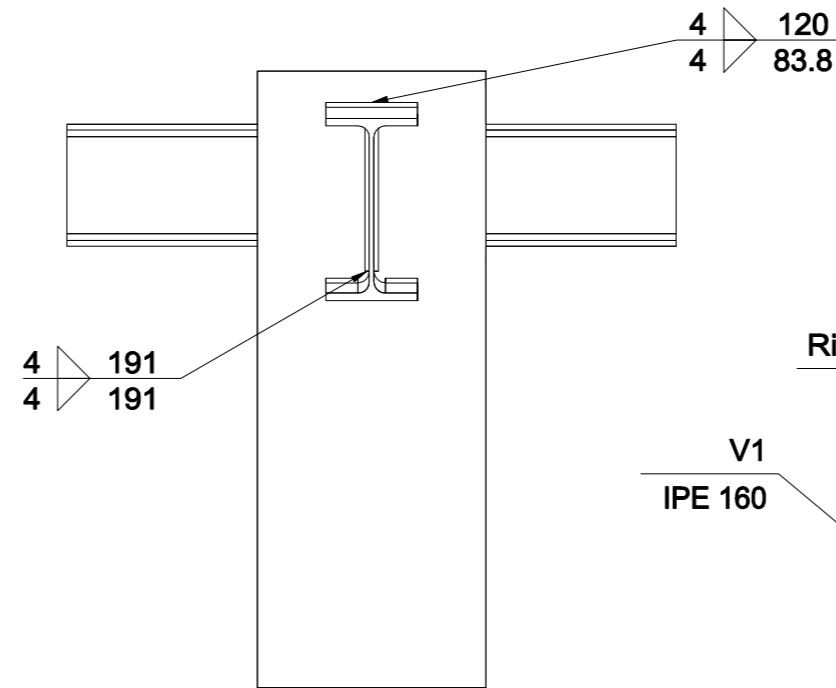
	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: CIMENTACIÓN. DETALLES 6	
SITUACIÓN:		PLANO: 17
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO:
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		ESCALA: 1/200
		FECHA: OCTUBRE 2025



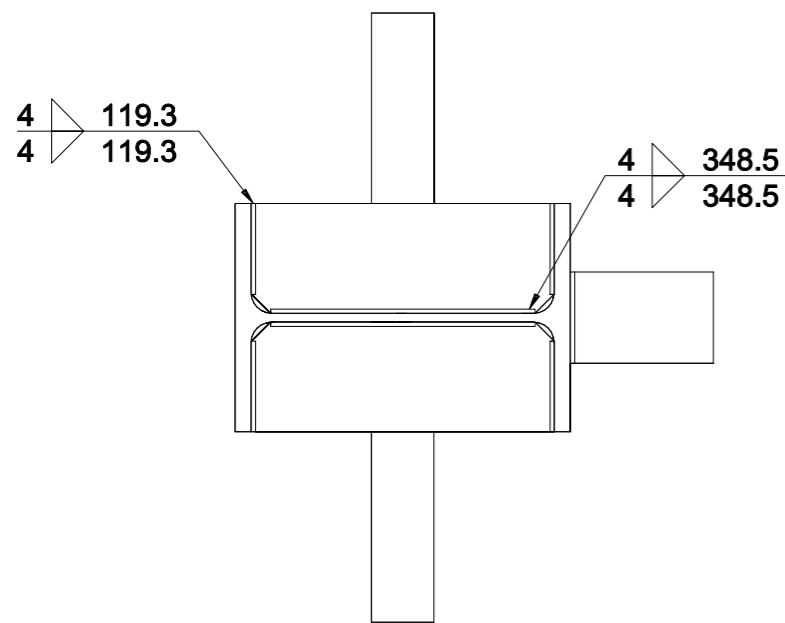
	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: CIMENTACIÓN. PLACAS DE ANCLAJE	
SITUACIÓN:		PLANO: 18
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	FIRMADO:	ESCALA: 1/20
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		FECHA: OCTUBRE 2025



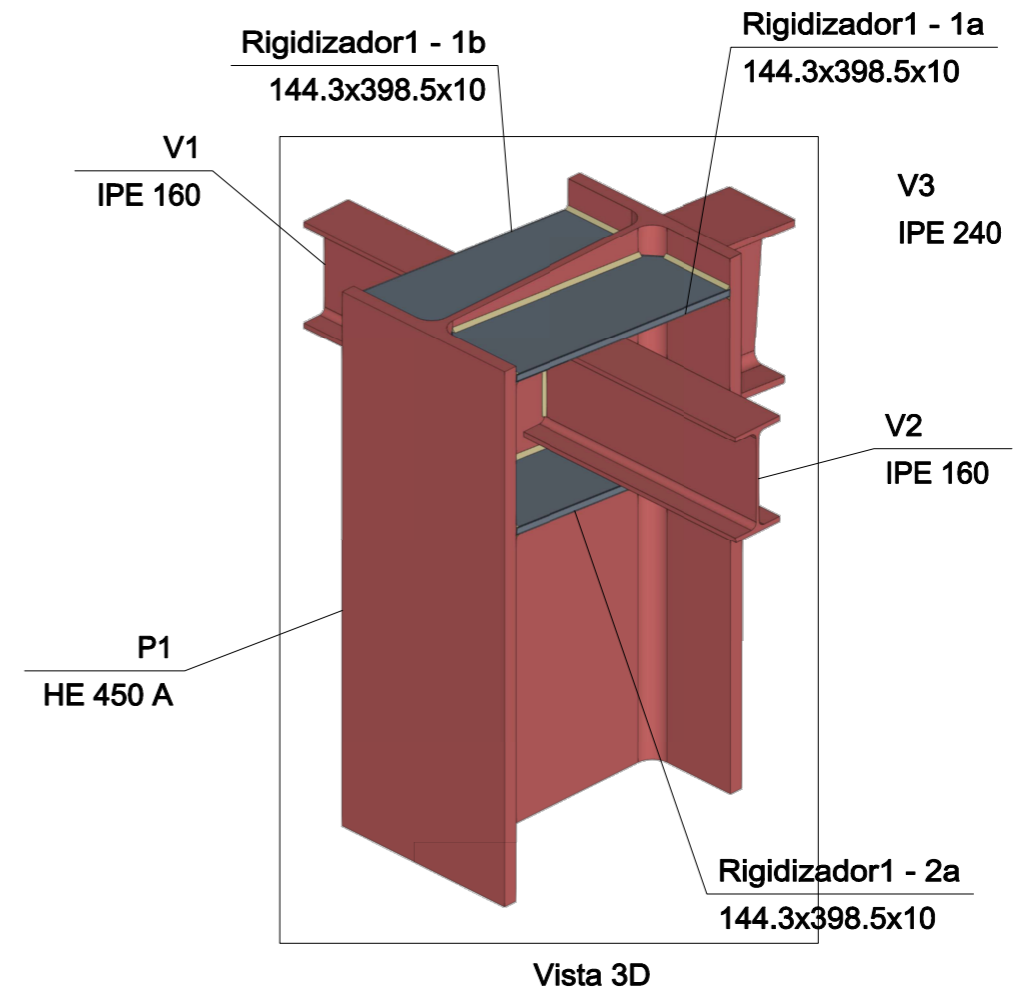
Alzado




Perfil

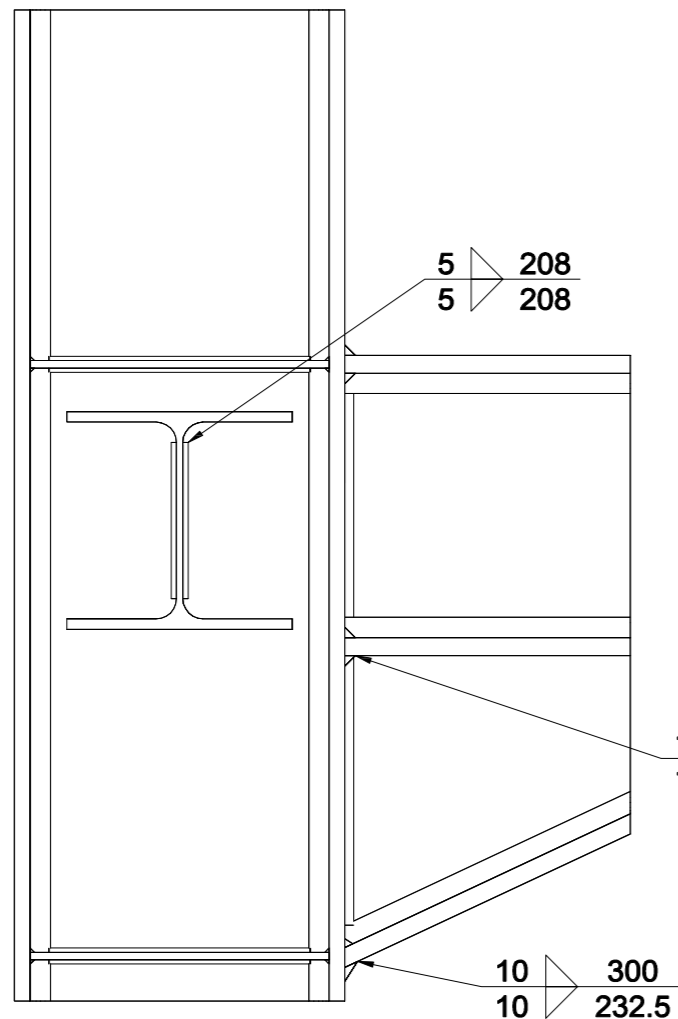


Planta

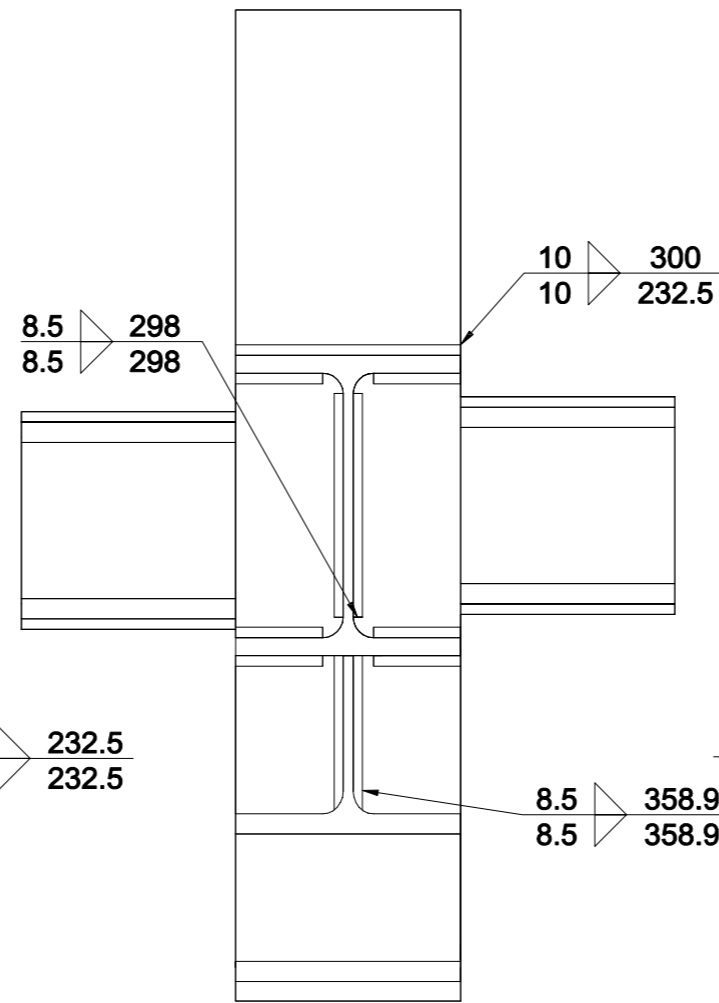


Vista 3D

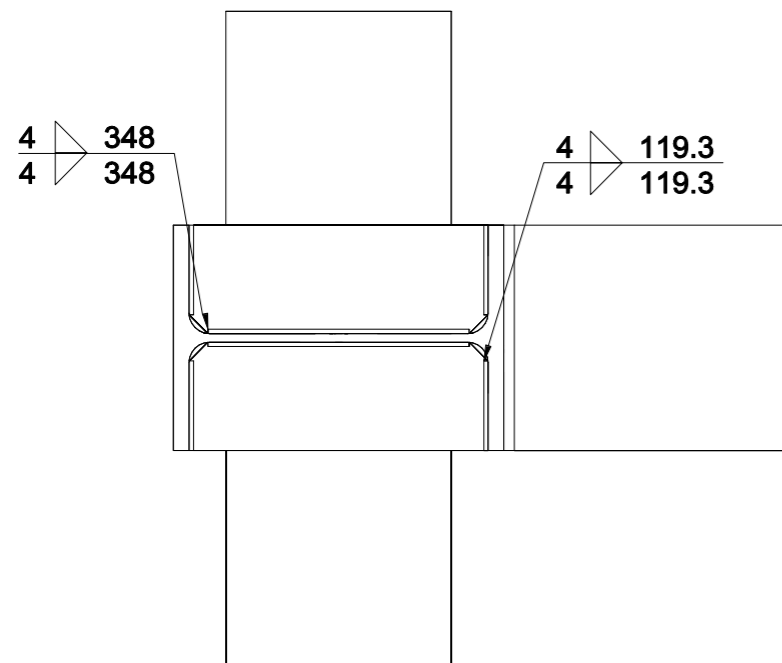
	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: Unión Viga de cubierta, Pilar y Vigas de atado	
SITUACIÓN:		PLANO: 19
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO:
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		ESCALA: 1/10
		FECHA: OCTUBRE 2025



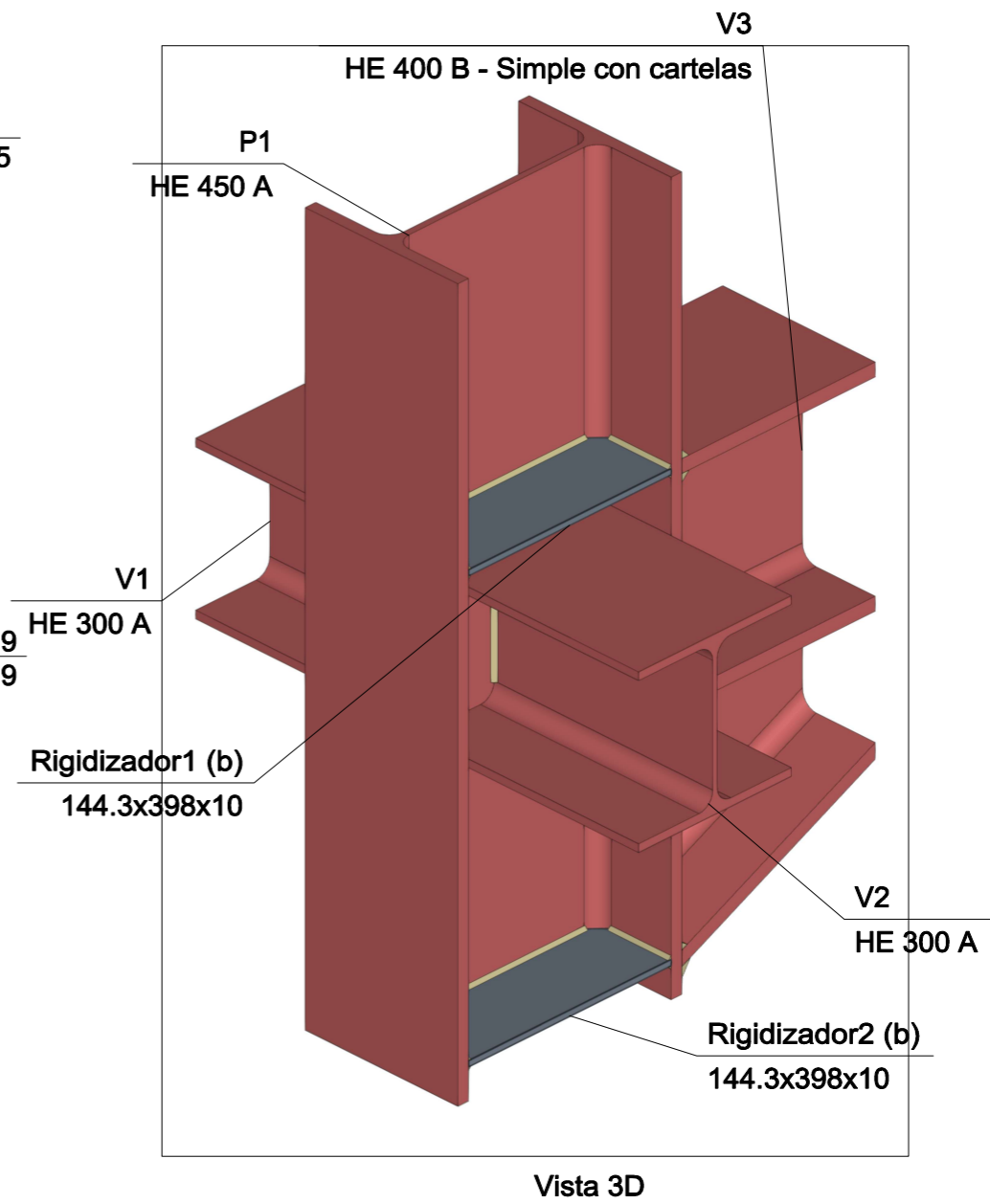
Alzado




Perfil

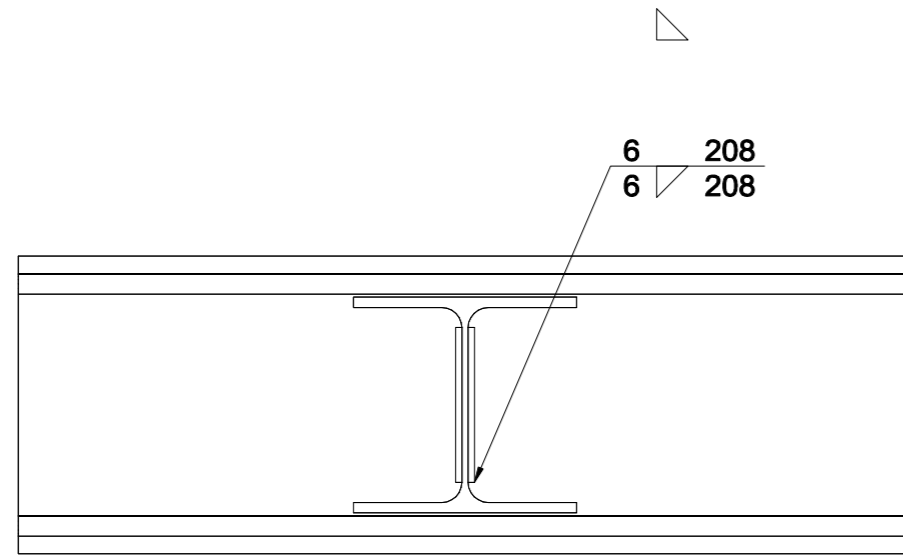


Planta

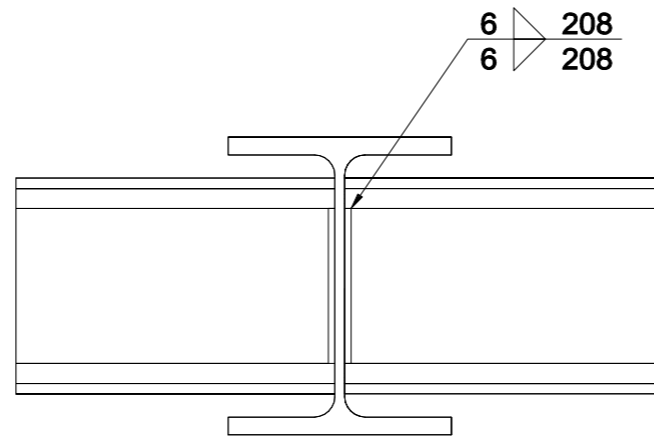


Vista 3D

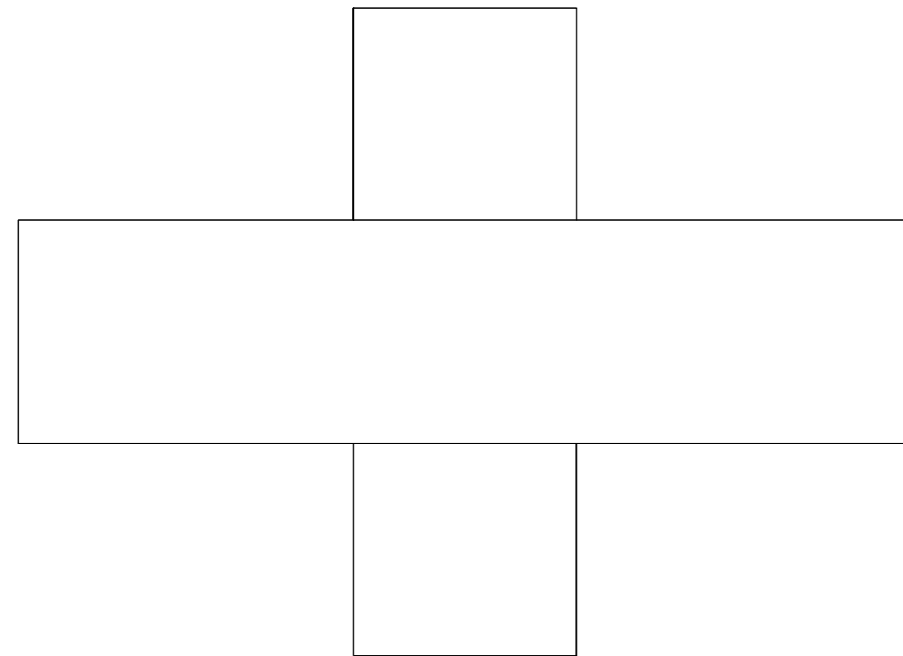
	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: Unión Viga de carga, Viguetas y Pilar	
SITUACIÓN:		PLANO: 20
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		FIRMADO:
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA		ESCALA: 1/10
		FECHA: OCTUBRE 2025



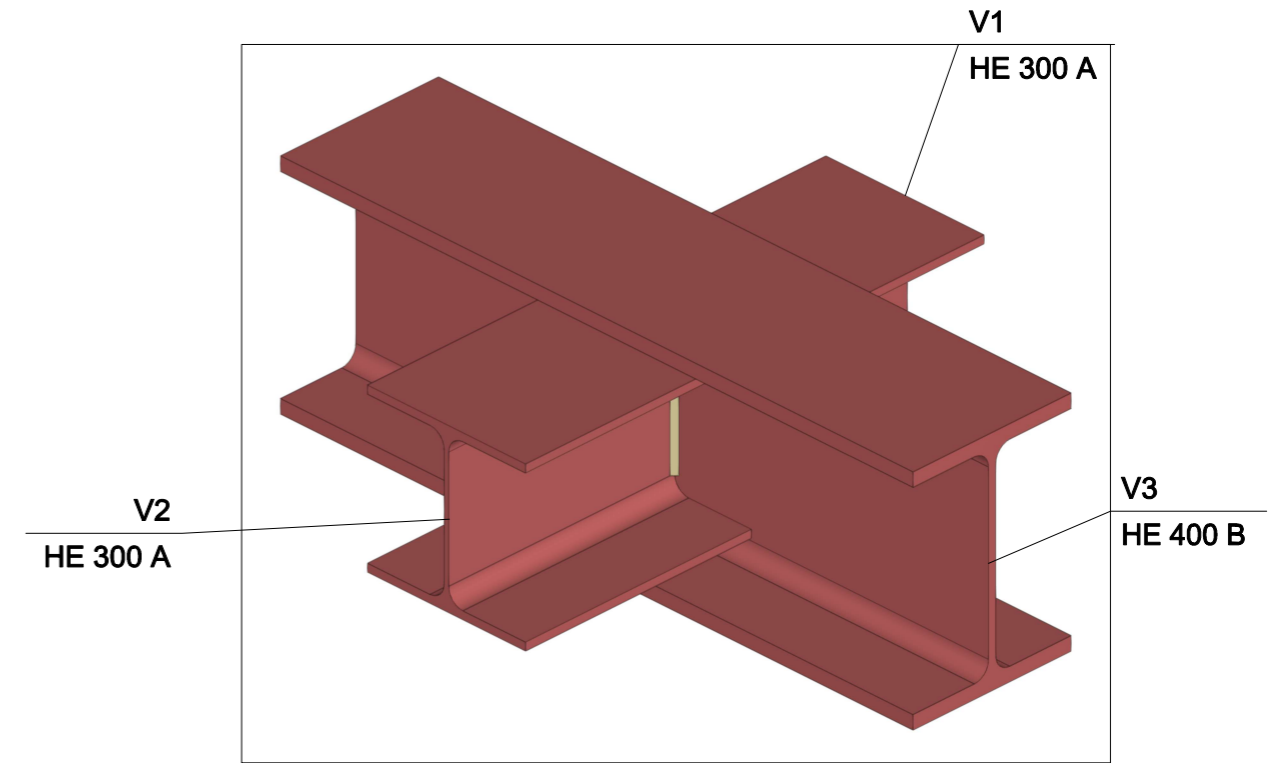
Alzado




Perfil



Planta



Vista 3D

	PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DESTINADO A CENTRO COMERCIAL	
	PLANO DE: Unión Viga de carga y Viguetas	
SITUACIÓN:	PLANO:	21
PETICIONARIO: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	FIRMADO:	ESCALA: 1/10
REALIZADO POR: MARÍA PAZ SÁNCHEZ QUESADA	FECHA:	OCTUBRE 2025