



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 DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE
LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Grado en:

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor:

Víctor María Jolin García

Tutor:

D. José Sandino Egea

MÁLAGA, Septiembre de 2023

La conciencia es a la vez testigo, fiscal y juez.

Resumen

Las estructuras de acero están formadas, en general, por piezas simples o compuestas que se unen entre sí para resistir conjuntamente. Para ello, se debe garantizar que las uniones son capaces de transmitir adecuadamente las fuerzas de enlace de unas barras a otras. El fallo de una de estas uniones es suficiente para ocasionar la ruina parcial o total de la estructura. Consecuentemente, un proyecto de estructura metálica debe incluir todos los enlaces de la misma adecuadamente calculados.

Este es el objetivo, presentar un proyecto de nave industrial en el que se estudien las uniones con especial detenimiento.

En este trabajo, se analizan y comparan diferentes diseños de naves industriales, atendiendo a ciertos requerimientos y buscando aquella que mejor los satisfaga. Encontrada la estructura óptima, se modelan sus uniones mediante un software de elementos finitos. De esto, obtendremos las comprobaciones que aseguran el cumplimiento de la normativa vigente y gráficas que permiten ahondar en el entendimiento de las mismas.

Los programas de cálculo utilizados han sido fundamentalmente: CYPE 3D, para las estructuras, y CYPE Connect, para las uniones; enlazados ambos mediante una plataforma de tecnología BIM.

Palabras Clave

Estructura metálica, Nave Industrial, Perfiles, Pandeo, Modelo, Uniones, CYPE 3D, CYPE Connect, BIM.

Abstract

Steel structures are formed, generally, by simple or compound pieces called profiles which are connected to resist. Therefore, the capacity of the joints to transmit binding forces from one bar to another must be guaranteed. A failure in one of these unions is enough to cause partial or total ruin. Consequently, a metal structure project has to include its joints properly calculated.

This is the aim goal, to present a project for an industrial warehouse in which the unions are thoroughly studied.

In this work, different designs of industrial buildings are analyzed and compared, attending to certain requirements and looking for the one that satisfies them best. Once found, its unions will be modeled using finite element software. From this, compliance with current regulations will be ensured, along with graphs that allow a deeper understanding.

The calculation programs used have been mainly: CYPE 3D, for the structures, and CYPE Connect, for the joints; both linked by a platform of BIM technology

Key Words

Steel Structure, Industrial Warehouse, Profiles, Buckling, Model, Unions, CYPE 3D, CYPE Connect, BIM.

Agradecimientos

Mi agradecimiento, en primer lugar, al profesor D. José Sandino Egea por brindarme la oportunidad de trabajar bajo su tutela. Ha sido irreprochable su atención y dedicación durante todos estos meses. Considero un auténtico placer haberme nutrido de su conocimiento y experiencia en el ámbito de las estructuras metálicas. Espero haber estado a la altura de sus expectativas como alumno.

Quiero hacer una pequeña dedicación de mi trabajo a mi amigo el Doctor D. Ángel Rodríguez Cabezas, agradeciéndole el atento cuidado de mi familia y su constante apoyo.

Quiero trasladar mi humilde reconocimiento al soporte técnico de CYPE Ingenieros. Aunque el lector encontrará alguna, han sido numerosas las ocasiones en las que me he servido de ellos para continuar trabajando.

Por último, a mi familia, por animarme a seguir el camino del sacrificio, la dedicación y la constancia.

Índice

I Memoria	23
1. Objeto	23
2. Antecedentes	23
3. Normativa aplicada	23
4. Definiciones y referencias	24
5. Metodología de trabajo y programas utilizados	24
6. Diseño del modelo	26
6.1. Geometría y Dimensiones	26
6.2. Acciones sobre la estructura	27
6.2.1. Acciones permanentes	28
6.2.1.1. Peso propio	28
6.2.2. Acciones variables	28
6.2.2.1. Sobrecarga de uso	28
6.2.2.2. Viento	29
6.2.2.3. Nieve	31
6.2.2.4. Acciones térmicas	32
6.3. Otras consideraciones	32
7. Cálculo de las estructuras	33
7.1. Nave 1	33
7.1.1. Cubierta	33
7.1.1.1. Correas	33
7.1.1.2. Cruces de San Andrés	34
7.1.2. Vigas auxiliares	35
7.1.3. Pórticos	35
7.1.3.1. Hastiales	35

7.1.3.2.	Intermedios	38
7.1.4.	Pandeo	39
7.1.4.1.	Asignación de coeficientes de Pandeo por flexión	40
7.1.4.2.	Asignación de coeficientes de Pandeo lateral	41
7.1.5.	Comprobación	41
7.2.	Nave 2	45
7.2.1.	Cubierta	45
7.2.1.1.	Correas	45
7.2.1.2.	Cruces de San Andrés	46
7.2.2.	Vigas auxiliares	46
7.2.3.	Celosía	47
7.2.4.	Pórticos	47
7.2.5.	Pandeo	48
7.2.6.	Comprobación	48
7.3.	Nave 3	49
7.3.1.	Cubierta	50
7.3.1.1.	Correas	50
7.3.1.2.	Cruces de San Andrés	50
7.3.2.	Vigas auxiliares	50
7.3.3.	Celosía	50
7.3.4.	Pórticos	50
7.3.5.	Pandeo	51
7.3.6.	Comprobación	51
7.4.	Nave 4	52
7.5.	Cubierta	52
7.5.0.1.	Correas	52
7.5.0.2.	Cruces de San Andrés	52
7.5.1.	Vigas auxiliares	52
7.5.2.	Pórticos	52
7.5.3.	Pandeo	53
7.5.4.	Comprobación	53

7.6. Comparativa	56
7.7. Cálculo de la entreplanta	58
7.7.1. Cargas en la entreplanta	59
8. Uniones	59
8.1. Introducción del modelo en CYPE Connect	60
8.2. Breve introducción al programa	62
8.3. Cálculo de las Uniones	64
8.3.1. Unión 1. Vigas Auxiliares con Pilares o Dinteles	65
8.3.2. Unión 2. Dinteles en Cumbreira	72
8.3.2.1. Variante 1	72
8.3.2.2. Variante 2	75
8.3.2.3. Variante 3	78
8.3.3. Unión 3. Pilar Frontal, Dintel y Viga Auxiliar	80
8.3.4. Unión 4. Pilar Lateral, Dintel con Cartela y Viga Auxiliar	82
8.3.5. Uniones Entreplanta	86
8.3.5.1. Unión 5. Pilares laterales con perfiles de entreplanta	86
8.3.5.2. Unión 6. Pilarillos con perfiles de entreplanta	90
8.3.6. Cimentación	94
9. Consideraciones finales	96
10. Bibliografía	97
II Anexo de Planos	101

Índice de figuras

1.	“Datos Generales de la Obra. Generador de Pórticos. Fuente: Propia” . . .	27
2.	“Datos coeficiente de exposición. Generador de Pórticos. Fuente: Propia” .	30
3.	“Datos Nieve. Generador de Pórticos. Fuente: Propia.”	32
4.	“Pórtico Rígido 8 vanos. Detalle de Correas. Generador de Pórticos. Fuente: Propia.”	34
5.	“Detalle unión Pilar-Viga Auxiliar- Cruz de San Andrés. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	35
6.	“Pórticos Hastiales. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	36
7.	“Detalle orientación de pilares en pórtico hastial. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	37
8.	“Detalle vinculación exterior pilares frontales. CYPE 3D. Fuente: Propia.” .	37
9.	“Gráfica Momento Flector en Dintel. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	38
10.	“Pórticos Intermedios. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	39
11.	“Nave 1. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	42
12.	“Momento resistente a pandeo lateral. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	42
13.	“Longitud de pandeo lateral. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	43
14.	“Tornapunta. Imagen Nave Industrial. Fuente: www.medifestructuras.com ”	44
15.	“Nave 1. Segundo cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	44
16.	“Pórtico Celosía Americana 8 vanos. Detalle de Correas. Generador de Pórticos. Fuente: Propia.”	45
17.	“Pórtico Celosía Americana 8 vanos. Detalle de Vigas auxiliares. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	46
18.	“Detalle perfiles de la celosía. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	47
19.	“Nave 2. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	48
20.	“Nave 2. Pórtico Intermedio. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	49
21.	“Nave 3. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	51
22.	“Nave 4. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	53
23.	“Momento flector en pilar. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	54
24.	“Detalle Vigas auxiliares y Cruces de San Andrés. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	55
25.	“Nave 4. Segundo cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	55

26.	“Nave con Entreplanta. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	58
27.	“Vinculación de la obra en CYPE Connect. Fuente: Propia.”	60
28.	“Ventana Principal CYPE Connect. Fuente: Propia.”	61
29.	“Menú Principal. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	62
30.	“Ajuste Eje a Eje de los perfiles. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	63
31.	“Detalle de agrupación automática. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	64
32.	“Agrupación de Uniones. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	65
33.	“Edición de la Unión Viga Auxiliar con Pilar. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	66
34.	“Ajuste de perfil V1 a pilar P1 con soldadura de alma. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	67
35.	“Recorte de perfil V1- CYPE Connect. Fuente: Propia.”	68
36.	“Menú de Cálculo. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	68
37.	“Unión 1. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	69
38.	“Unión 1. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	70
39.	“Unión 1. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	70
40.	“Unión 1. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	71
41.	“Unión 1. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	72
42.	“Unión 2. Variante 1. Operación Placa. Ajuste de Dinteles a Placa. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	73
43.	“Unión 2. Variante 1. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	73
44.	“Unión 2. Variante 1. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	74
45.	“Unión 2. Variante 1. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	74
46.	“Unión 2. Variante 1. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	75
47.	“Unión 2. Variante 2. Choque viga auxiliar con placa. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	76
48.	“Unión 2. Variante 2.Desplazamiento viga auxiliar. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	77

49.	“Unión 2. Variante 2. Las dos uniones. CYPE Connect. Fuente: Propia.” . . .	77
50.	“Unión 2. Variante 3. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	78
51.	“Unión 2. Variante 3. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	79
52.	“Unión 2. Variante 3. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	79
53.	“Unión 2. Variante 3. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.” . . .	80
54.	“Continuidad del Dintel. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	81
55.	“Corte en el dintel. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	82
56.	“Unión 4. Rigidizadores. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	83
57.	“Unión 4. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	84
58.	“Unión 4. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	84
59.	“Unión 4. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.” . .	85
60.	“Unión 4. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	85
61.	“Unión 4. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	86
62.	“Unión 5. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	87
63.	“Unión 5. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	88
64.	“Unión 5. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.” . .	89
65.	“Unión 5. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	89
66.	“Unión 5. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	90
67.	“Unión 6. Intento de apoyo de viga en pilar. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	91
68.	“Unión 6. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	92
69.	“Unión 6. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	92
70.	“Unión 6. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.” . .	93
71.	“Unión 6. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	93
72.	“Unión 6. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”	94
73.	“Detalle de cimentación.. CYPE 3D. Fuente: Propia.”	95

Índice de tablas

1.	“Valores característicos de las sobrecargas de uso. Fuente: Tabla 3.1 DB SE-AE”	29
2.	“Valores del coeficiente de exposición c_e . Fuente: Tabla 3.4 DB SE-AE”	30
3.	“Coeficiente eólico en edificios de pisos c_p . Fuente: Tabla 3.5 DB SE-AE”	30
4.	“Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente: Tabla 3.8 DB SE-AE”	31
5.	“Coeficientes de Pandeo. Fuente: Tabla 6.1 CTE DB-SE A.”	40
6.	“Nave 1. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”	56
7.	“Nave 2. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”	56
8.	“Nave 3. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”	57
9.	“Nave 4. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”	57
10.	“Tabla Comparativa. Fuente: Propia.”	57



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 DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE
LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Grado en:

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor:

Víctor María Jolin García

Tutor:

D. José Sandino Egea

MÁLAGA, Septiembre de 2023

Parte I

Memoria

1. Objeto

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una estructura metálica, con unas dimensiones concretas, que utilice la mínima cantidad de material cumpliendo con las exigencias de la normativa. En otras palabras, se buscará que la estructura esté aprovechada al máximo. Para esto, se estudiarán diversas tipologías estructurales buscando la optimización de todas ellas.

Obtenida esta, se modelarán las uniones de los perfiles mediante elementos finitos.

2. Antecedentes

Este proyecto nace a la finalización de la asignatura Estructuras Metálicas del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, impartida por el profesor Sandino. En ella, hicimos un trabajo de curso que consistía en obtener la Nave Industrial mejor aprovechada fijados unos requisitos de diseño. La solución a aquel trabajo fueron naves con perfiles de alma aligerada e inercia variable.

Ante la petición de ser mi director en este trabajo, el profesor Sandino me propuso usar la misma idea que en la asignatura citada, añadiéndole el cálculo de las uniones mediante un programa de elementos finitos. Resaltó la conveniencia de esto último por no haber sido tratado con anterioridad en los Trabajos de Fin de Grado presentados en la Universidad de Málaga.

3. Normativa aplicada

- Código Técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006.

- Documento Básico de Seguridad Estructural en Acciones en la Edificación (DB-SE-AE).
- Documento Básico de Seguridad Estructural de Acero (DB SE-A).
- Documento Básico de Seguridad Estructural de Cimientos (DB SE-C)

- Instrucción de Acero Estructural (EAE).

- Eurocódigo (EN-1993).

4. Definiciones y referencias

- CTE: Código Técnico de la Edificación.

- DB: Documento básico.

- RD: Real Decreto.

- SE-A: Seguridad estructural de Acero.

- SE-C: Seguridad estructural de Cimientos.

- UNE: Una norma española.

5. Metodología de trabajo y programas utilizados

En el transcurso de este trabajo, se ha hecho uso de los siguientes programas:

- Generador de pórticos de CYPE

- CYPE 3D

- CYPE Connect

- Bimserver Center

- AUTOCAD 2023

- Overleaf LaTeX

La manera de proceder ha sido la misma para el cálculo de todas las naves. Se ha comenzado creando un pórtico mediante el Generador de Pórticos. Se elige el tipo de pórtico que se va a usar y se definen sus dimensiones principales. En Datos Generales, se determina el número de vanos y las distancias entre ellos, así como las cargas a las que estará sometida la cubierta. Finalmente, el programa permite dimensionar y calcular el tipo de correas y la distancia entre ellas.

Concluida la generación del pórtico, se exportan los datos seleccionados a CYPE 3D. Es en este programa donde se aborda el cálculo de la estructura: definición de perfiles, análisis de fenómenos de inestabilidad, comprobaciones, etc.

Para cada nave, CYPE 3D genera un documento que llama “Resumen de mediciones”. De este documento podemos obtener el peso final de la estructura. Este dato será el que decida cuál es la estructura mejor aprovechada.

Decidida esta, se procederá al modelado de sus uniones mediante elementos finitos. Se crea un proyecto educativo en la plataforma BimServer Centre y se vincula la obra de CYPE 3D a dicho proyecto. Hecho esto, el programa CYPE Connect permite importar los datos ahí guardados para comenzar con el modelado. Se destaca la importancia de que la obra de CYPE 3D esté calculada para el correcto dimensionado de las uniones.

CYPE Connect, para cada unión, permite definir los elementos de los que consta: barras, soldaduras, rigidizadores, tornillos, etc. Una vez calculada la unión, presenta la opción de visualizar los resultados y crear láminas exportables a ficheros de diferentes formatos: PDF, DWG, etc.

6. Diseño del modelo

Con el objetivo de poder comparar los resultados que ofrezca el cálculo de las diferentes naves, estas deben ajustarse a un mismo modelo. Esto es: una misma geometría y dimensiones, unas mismas acciones actuantes sobre la estructura, además de otras consideraciones. Todo esto será definido en el programa Generador de Pórticos.

- La geometría y dimensiones de las naves se ajusta a lo indicado en el apartado "*Geometría y Dimensiones*" (6.1).
- Todas las naves estarán sometidas a unas mismas acciones expuestas en el apartado "*Acciones sobre la estructura*" (6.2):
- Las barras que conforman la estructura formarán grupos según su función (pilares, dinteles...) y serán de un mismo tipo de perfil. No se permitirá usar un perfil de menor sección en aquella barra menos solicitada.
- Ajustandose a las dimensiones a cubrir, se permiten todas las combinaciones posibles en cuanto a número de vanos y separación entre ellos.
- Los perfiles estarán normalizados. Según se trata en el apartado de Antecedentes 2, no será permitido el uso de perfiles de alma aligerada o de inercia variable, aunque sean propicios para la disminución del peso de la estructura, por haber formado parte de la solución propuesta en el trabajo de curso de la asignatura Estructuras Metálicas, buscando así el cálculo de nuevas estructuras y, con ello, la amplitud en el conocimiento de las mismas.

6.1. Geometría y Dimensiones

Las naves tendrán unas dimensiones de 40 m de largo y 26 m de luz. Los pórticos serán a dos aguas, con 8 m de altura de pilares y 10 m hasta cumbrera. No se tienen en cuenta aperturas en la estructura.

6.2. Acciones sobre la estructura

En este apartado, se desarrollan las acciones que actuarán sobre las estructuras. Estas serán definidas de acuerdo con el Documento Básico de Seguridad Estructural (DB SE) y el Documento Básico de Seguridad Estructural de Acciones en la Edificación (DB SE-AE).

Serán introducidas en el programa Generador de Pórticos mediante la edición de los Datos Generales de la Obra y posteriormente exportados a CYPE 3D. A continuación, se muestra una imagen del resultado de esta edición encontrándose la justificación en los siguientes apartados.

Datos generales

Número de vanos: 8

Separación entre pórticos: 5.00 m

Con cerramiento en cubierta

Peso del cerramiento: 0.15 kN/m²

Sobrecarga del cerramiento: 0.40 kN/m²

Con cerramiento en laterales

Peso del cerramiento: 0.00 kN/m²

Con sobrecarga de viento: CTE DB SE-AE (España)

Con sobrecarga de nieve: CTE DB-SE AE (España)

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero conformado: CTE DB SE-A

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m

Desplazamientos

Acciones características

Categorías de uso

Acero laminado: CTE DB SE-A

Acero conformado: CTE DB SE-A

G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

Aceptar Cancelar

Figura 1: “Datos Generales de la Obra. Generador de Pórticos. Fuente: Propia”

6.2.1. Acciones permanentes

Son aquellas que actúan en todo momento sobre la edificación. En este caso, sólo se atenderá al peso propio de la estructura. No se tienen en cuenta acciones de pretensado, por no existir elementos pretensados; ni acciones del terreno, por considerar que se edifica sobre un terreno topográfica y geológicamente favorable.

6.2.1.1. Peso propio

Al peso que es propio de los elementos que conforman la estructura, hay que añadirle el peso del cerramiento en cubierta. Esto se introduce mediante el Generador de Pórticos y se utiliza para el dimensionado de las correas. En este caso, será de $0,15 \text{ kN}/m^2$

6.2.2. Acciones variables

Son aquellas que, pudiendo estar aplicadas en un determinado momento o no, deben ser consideradas en las hipótesis de cálculo. Son, fundamentalmente, las debidas a las sobrecargas de uso, el viento o la nieve.

6.2.2.1. Sobrecarga de uso

Según el CTE, es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio debido a su uso. El valor de esta sobrecarga viene determinado según los valores de la Tabla 3.1 de BD SE-AE. Para este caso, trataremos la categoría G1, cubiertas ligeras sobre correas, de valor $0,4 \text{ kN}/m^2$

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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⁾⁽⁵⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁶⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 1: “Valores característicos de las sobrecargas de uso. Fuente: Tabla 3.1 DB SE-AE”

6.2.2.2. Viento

La acción del viento, fuerza perpendicular a la superficie de cada punto o presión estática, q_e

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (1)$$

siendo:

- q_b : la presión dinámica del viento ($0,5 \text{ kN}/\text{m}^2$ en territorio español).
- c_e : el coeficiente de exposición, variable con la altura según el grado de aspereza. Según la tabla de la Figura 2
- c_p : El coeficiente eólico, dependiente de la forma y orientación de las superficies. Según la tabla de la Figura 3

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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 2: “Valores del coeficiente de exposición c_e . Fuente: Tabla 3.4 DB SE-AE”

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	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 3: “Coeficiente eólico en edificios de pisos c_p . Fuente: Tabla 3.5 DB SE-AE”

Estos datos se introducen en el Generador de Pórticos.


Normativa para el cálculo de la sobrecarga de viento

España
 UE
 Alemania
 Bélgica
 Bulgaria
 Francia
 Italia
 Portugal
 Argelia
 Marruecos
 Argentina
 Brasil
 Colombia
 Cuba
 México
 Paraguay
 Perú
 Venezuela
 Canadá
 USA
 India

CTE DB SE-AE
 NTE
 Eurocódigo 1

CTE DB SE-AE
 Código Técnico de la Edificación.
 Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación

Zona eólica
 A. Velocidad básica: 26 m/s
 B. Velocidad básica: 27 m/s
 C. Velocidad básica: 29 m/s



Grado de aspereza
 Única
 Según dirección
 I
 II
 III
 IV
 V

Zona urbana, industrial o forestal

Periodo de servicio (años)

Con huecos

Coeficiente de obstrucción para cubiertas aisladas

Figura 2: “Datos coeficiente de exposición. Generador de Pórticos. Fuente: Propia”

6.2.2.3. Nieve

La carga de nieve sobre un edificio depende del clima, del tipo de precipitación, del relieve del entorno o de la forma del edificio o de la cubierta. Para determinar esta intensidad, se utiliza el valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (2)$$

siendo:

- μ : coeficiente de forma de la cubierta.
- s_k : el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla de la figura 4

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

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

Tabla 4: “Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente: Tabla 3.8 DB SE-AE”

Nuevamente, se seleccionan los datos correspondientes en el Generador de Pórticos.

Datos del emplazamiento

Zona 1 2 3 4 5 6 7

Altitud topográfica m

Exposición al viento

Protegida Normal Fuertemente expuesta

Si la construcción está protegida de la acción del viento, el valor de la carga de nieve se incrementa en un 20%.

Si se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto a la acción del viento, el valor de la carga de nieve se reduce en un 20%.

Descripción de la cubierta

Cubierta con resallos

Figura 3: “Datos Nieve. Generador de Pórticos. Fuente: Propia.”

6.2.2.4. Acciones térmicas

Puede no considerarse las acciones térmicas en edificios habituales cuyos elementos no superen una continuidad de 40 m, como es el caso.

6.3. Otras consideraciones

Los cerramientos laterales estarán constituidos por muros. El muro será perimetral, de altura igual a la de los pilares (8 m) y lo arriostrará a pandeo según el eje débil y a pandeo lateral. Esto último será introducido mediante las opciones de pandeo de CYPE 3D.

Los pórticos serán biempotrados y en la exportación a CYPE 3D no se agruparán los planos. No se generarán longitudes de pandeo.

7. Cálculo de las estructuras

En los apartados anteriores, hemos sentado las bases del modelo de cálculo: geometría, dimensiones, cargas; así como las reglas que aseguran que la posterior comparación entre las estructuras finales sea fidedigna.

En este nuevo apartado, nos adentramos en el cálculo de las propias estructuras. La primera nave será explicada muy detalladamente, con el objetivo de poder hacer referencia a estas explicaciones en la justificación de las siguientes.

7.1. Nave 1

Para esta primera Nave, buscamos una estructura sencilla, formada por 9 pórticos rígidos con una separación entre ellos de 5 m. Esto es seleccionado en el Menú de Datos Generales de la Obra. Ver Figura 1.

7.1.1. Cubierta

7.1.1.1. Correas

Las correas son perfiles metálicos que se disponen longitudinalmente uniando los dinteles de los pórticos. Su principal objetivo, aparte de unir los pórticos, es soportar los esfuerzos que actúan sobre los paneles o chapas de la cubierta.

El dimensionado de las correas en cubierta es el último procedimiento a realizar en el Generador de Pórticos. El límite de flecha para cada correa será $L/300$. El número de vanos que cubre la correa será de 3, asegurando que con estos tres apoyos la flecha máxima será la menor posible, y el tipo de fijación es rígida.

Entramos en el punto importante en la generación del pórtico. Recordamos que el objetivo es obtener la nave mejor aprovechada y más ligera. Es por esto que, a la hora de dimensionar las correas, busquemos aquella que cumpla con las comprobaciones de carga estando lo más aprovechada posible.

Para dimensionar, el programa ofrece tres opciones: variar el tipo de perfil, variar la separación entre correas y variar el tipo de acero. Para nuestro caso, el tipo de Acero va a ser S275 y va a permanecer invariante. En cuanto a las otras dos variables, se realiza un proceso iterativo de elección de perfil y separación. Por ejemplo, se elige un tipo de perfil IPE y se dimensiona la distancia entre correas necesaria. Obtenida esta, en el apartado de listados, en la última página, aparece el peso por metro lineal. Se prueban diferentes perfiles y se comprueba el peso de cada uno.

Finalizado este proceso iterativo, se demuestra que los perfiles de la serie Z ofrecen las mejores prestaciones. Concretamente se elige el perfil ZF-160x2.5 a una distancia entre correas de 2.5 m con una tensión del 77.17 % y una flecha de 88.11 %. El peso lineal es de 69.10 Kg/m.

Hecho esto, exportamos la obra a CYPE 3D.

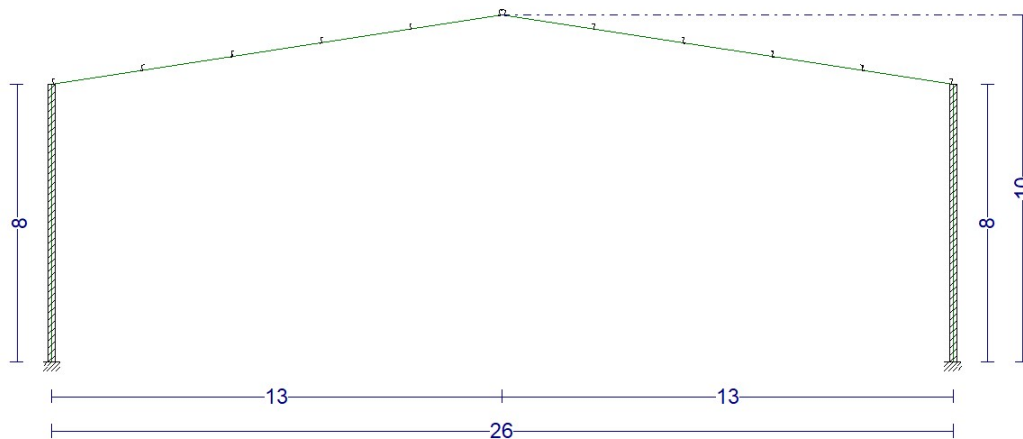


Figura 4: “Pórtico Rígido 8 vanos. Detalle de Correas. Generador de Pórticos. Fuente: Propia.”

7.1.1.2. Cruces de San Andrés

Estos elementos trabajan a esfuerzo axial y son empleados como arriostramientos en el plano de la cubierta. Sólo se dispondrán entre el primer y segundo pórtico y entre el

penúltimo y último. Serán perfiles tirantes redondos R10.

7.1.2. Vigas auxiliares

El único objetivo de estas vigas es atar las cabezas de los pilares de los pórticos. Para conseguirlo, la unión a los pilares debe ser articulada (se tratará esto en profundidad en el desarrollo de las uniones) y no pueden pandear.

Suelen ser perfiles IPE 160 ya que un perfil menor situado a 10 m de altura es difícilmente observable. Sin embargo, como buscamos la máxima economía y el cálculo nos lo permite, usaremos perfiles IPE 80.

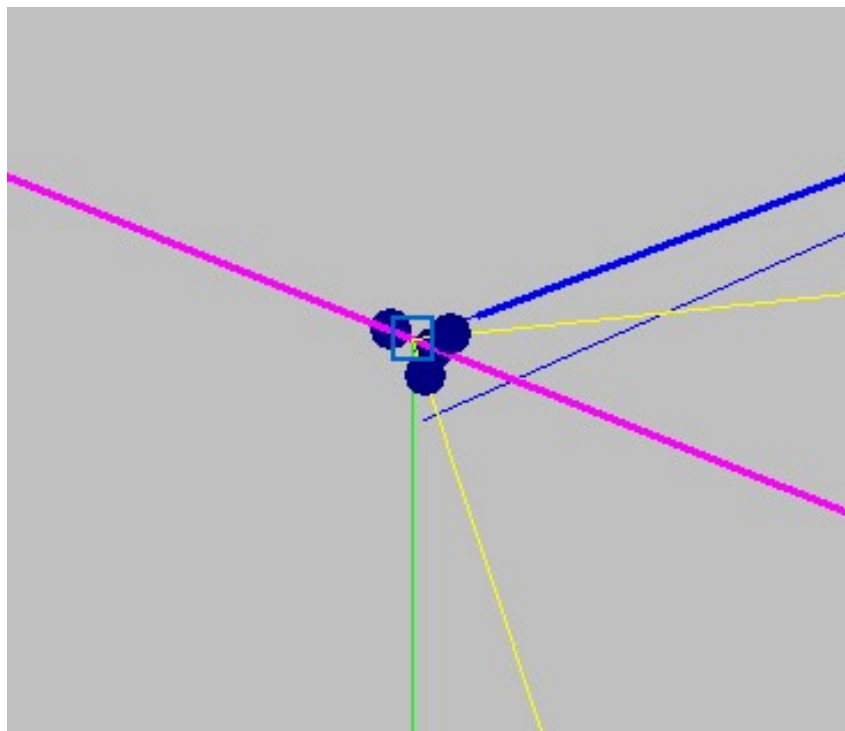


Figura 5: “Detalle unión Pilar-Viga Auxiliar- Cruz de San Andrés. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.1.3. Pórticos

7.1.3.1. Hastiales

Estos pórticos son los que podríamos catalogar como el primero y el último. En ellos, se incorporan tres pilares más (2, 3 y 4 en la Figura 6) dividiendo la luz total en cuartos,

a 6,5 m. Cabe destacar que estos tres pilares han sido dispuestos con el eje principal de inercia girado 90 grados con respecto a los pilares de los extremos, aumentando así la resistencia al empuje perpendicular del viento sobre el plano del pórtico (ver Figura 7).

La vinculación de los pilares con el suelo fue elegida en la generación del pórtico (fijación rígida), pero para estos pilares de nueva definición no está seleccionada. Es por esto que, al igual que los demás, los empotramos en el suelo (Figura 8).

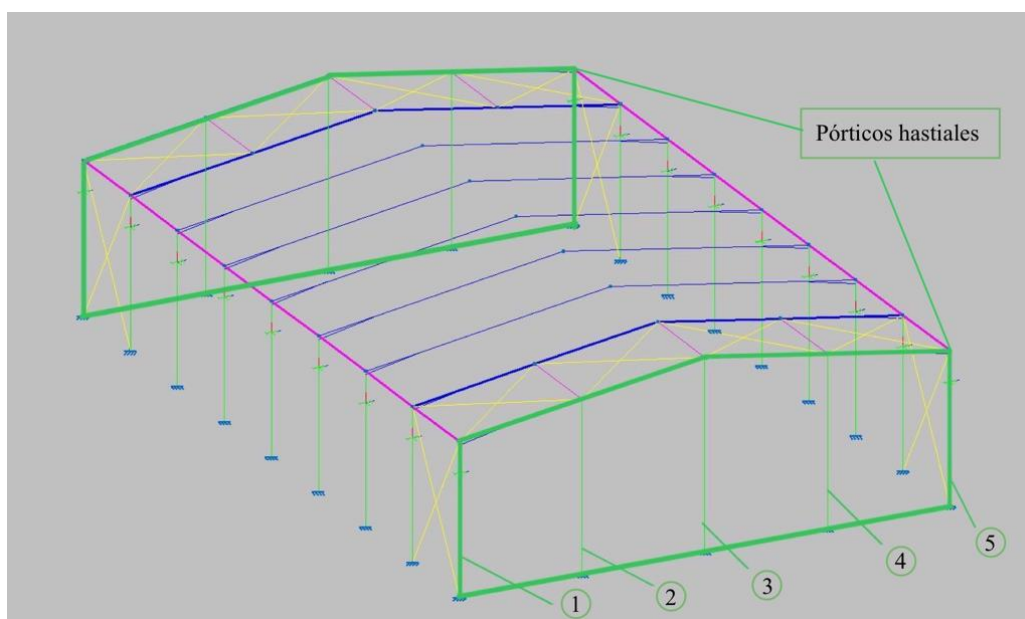


Figura 6: "Pórticos Hastiales. CYPE 3D. Fuente: Propia."

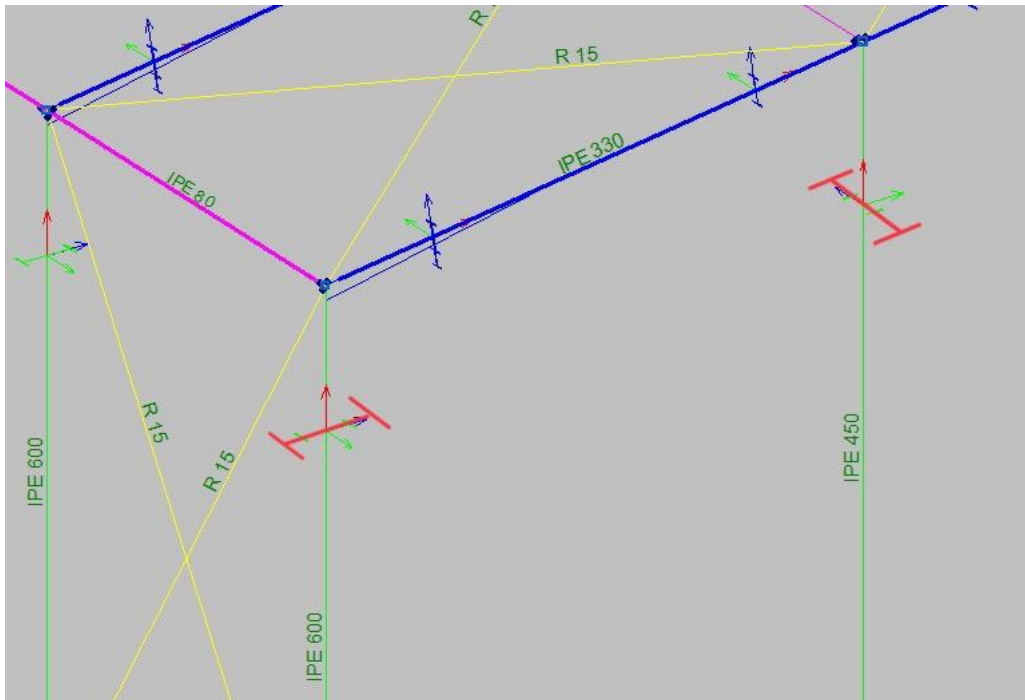


Figura 7: “Detalle orientación de pilares en pórtico hastial. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

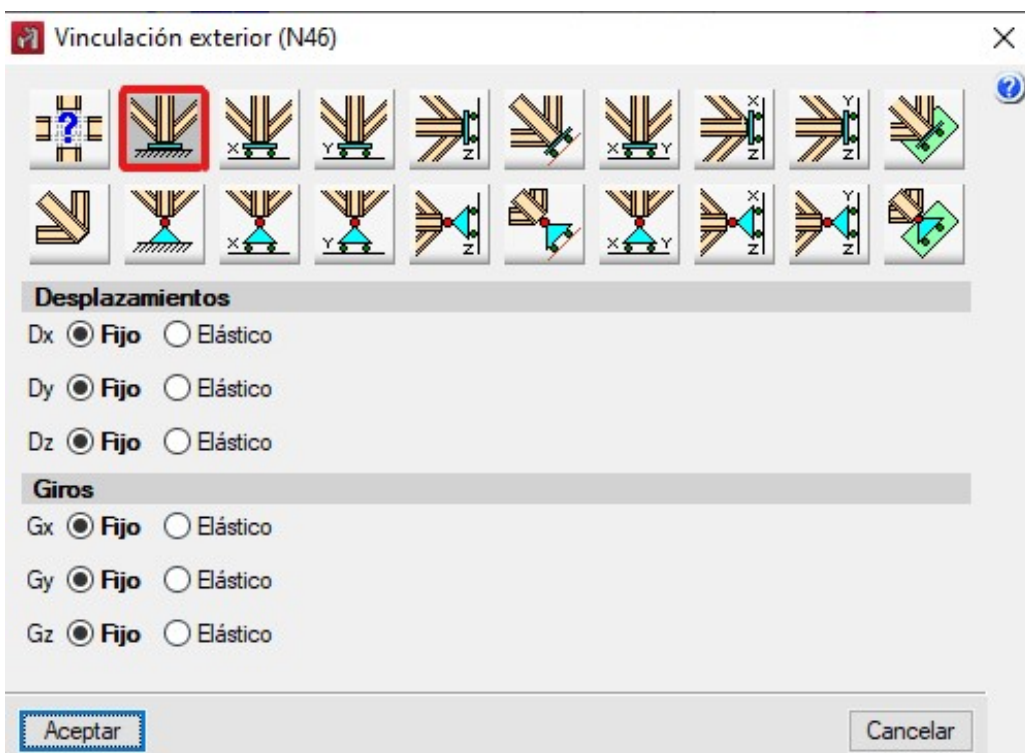


Figura 8: “Detalle vinculación exterior pilares frontales. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Como se puede ver en esta misma imagen (7), para los pilares de los extremos (1 y 5),

los perfiles serán IPE 600 al igual que los pilares de los pórticos intermedios. En cuanto a los centrales (2, 3 y 4), es suficiente con que sean IPE 450.

Se utilizan perfiles tipo I debido a que, como comentamos anteriormente, los pilares se encuentran dispuestos entre muro perimetral. Este arriostra el pilar a pandeo y por tanto sólo se requiere inercia en uno de sus ejes.

En cuanto a los dinteles o vigas principales, se modelarán como una única barra que une la cabeza del pilar y la cumbrera. Serán perfiles con cartelas IPE 330. Las cartelas se introducen para aumentar la sección de perfil en la zona cercana a los pilares, donde los momentos flectores son mayores.

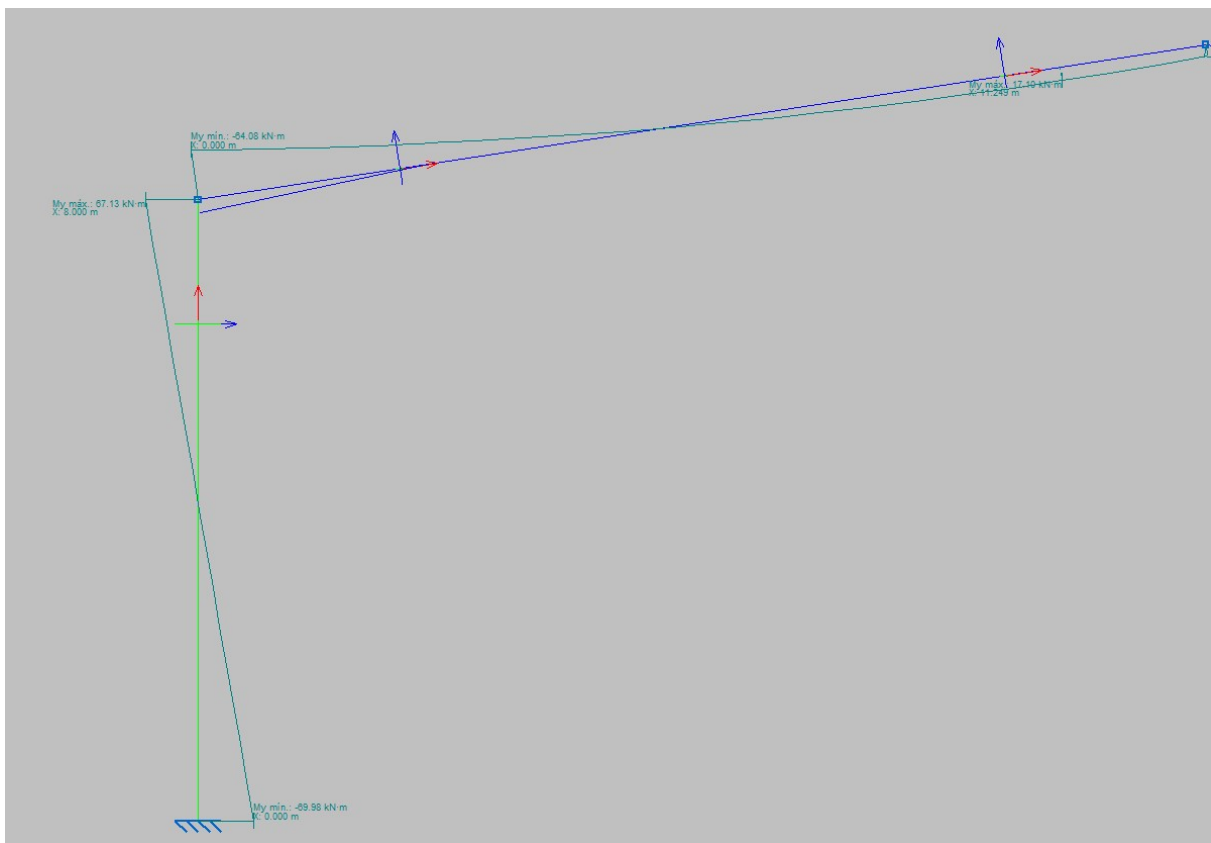


Figura 9: “Gráfica Momento Flector en Dintel. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.1.3.2. Intermedios

Los pórticos intermedios son los comprendidos entre los hastiales, representados en color rosa en la Figura 10. Los perfiles de estos pórticos, siguiendo la tercera premisa del apartado 6, serán los mismos que para los pórticos hastiales, es decir, IPE 600 para los

pilares e IPE 330 con cartelas para los dinteles.

Las uniones entre estos perfiles, junto con las vigas auxiliares y las cruces de San Andrés serán tratadas en profundidad en el apartado de Uniones.

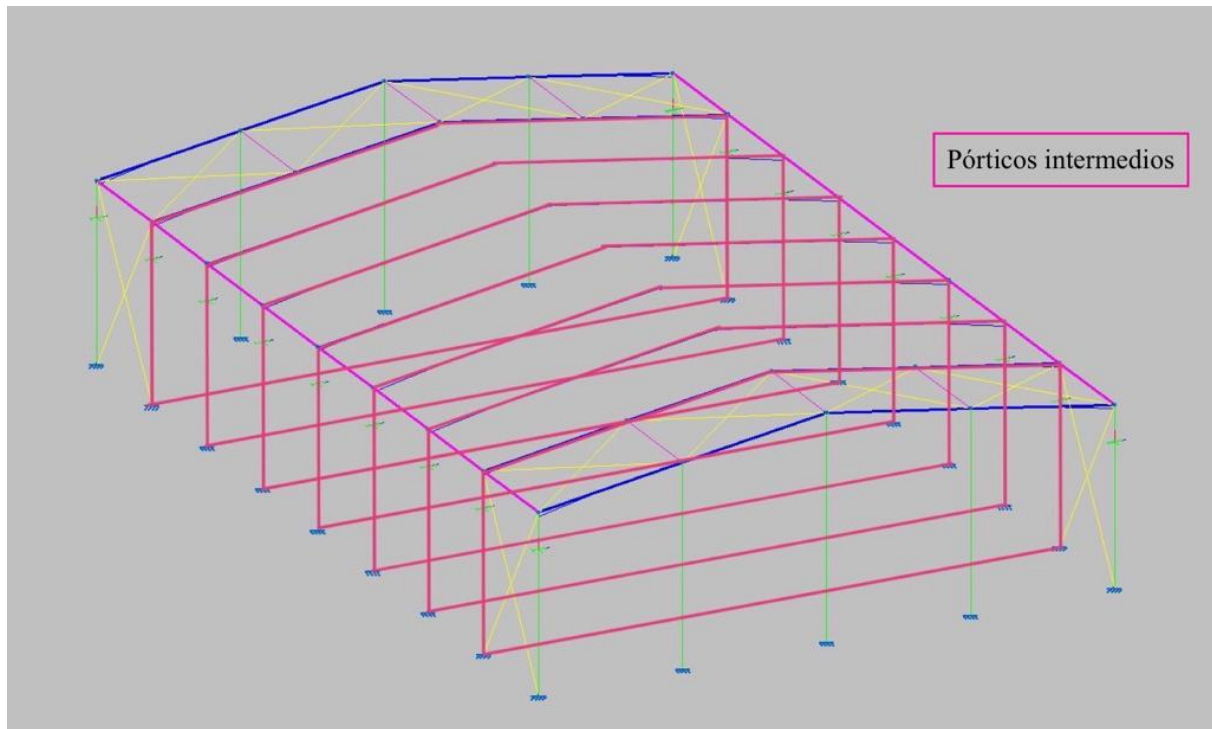


Figura 10: “Pórticos Intermedios. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.1.4. Pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad que sufren los elementos o sus partes sometidos a esfuerzos de compresión, sea debido a una compresión pura (pandeo por flexión) o a la compresión de un ala del perfil debido a esfuerzos de flexión (pandeo lateral). Como consecuencia, aparecen desplazamientos transversales al plano de carga y se produce el fallo o colapso de la estructura.

La manera que tiene el cálculo de estructuras de abordar este fenómeno, y así queda recogido en el Código Técnico de la Edificación, es la asignación de unos coeficientes de pandeo, β . Con estos, se determina la longitud de la barra que va a pander de acuerdo con la expresión: $L_k = \beta \cdot L$.

Tabla 6.1 Longitud de pandeo de barras canónicas

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 5: “Coeficientes de Pandeo. Fuente: Tabla 6.1 CTE DB-SE A.”

Para la elección de estos coeficientes, se atiende a la Tabla 6.1 del apartado 6.3.2.1 del CTE DB-SE A teniendo en cuenta:

- Las condiciones de contorno de los diferentes elementos estructurales entre sí y con la cimentación.
- Posibles arriostramientos que restringen los movimientos y disminuyen las longitudes de pandeo.
- Si los pórticos son traslacionales o intraslacionales según hablemos del eje fuerte o eje débil de los perfiles.

7.1.4.1. Asignación de coeficientes de Pandeo por flexión

Pilares

Para establecer los coeficientes de pandeo de los pilares hay que recordar una cuestión que se tuvo en cuenta en la Generación del Pórtico (apartado 6.3). Allí, se dispusieron muros como cerramiento lateral y aunque no se seleccionó la opción de que este arriostrara el pilar a pandeo en el desplegable, se selecciona ahora atribuyendo un coeficiente $\beta = 0$ según el eje débil "xy". Según el eje fuerte "xz" se deja el coeficiente de pandeo que fija el programa cuando se selecciona que el pórtico sea traslacional en ese eje.

Pilares frontales

Estos pilares (2, 3 y 4 de la Figura 6) son barras empotradas en el suelo y articuladas en la cabeza, por lo que tendrán un coeficiente $\beta = 0,7$ tanto en el eje "xy" como en el "xz".

Dinteles

Para los dinteles, los coeficientes serán: $\beta = 0,24$ según el eje "xy" y $\beta = 1,13$ según el eje "xz".

Vigas Auxiliares

Como se ha comentado en el apartado 7.2.2, una de las premisas para que las vigas auxiliares cumplan su función de atado es que no pandeen según el eje débil "xy", por tanto tendrán un $\beta = 0$.

En cuanto al eje fuerte "xz", son barras biarticuladas, $\beta = 1$.

7.1.4.2. Asignación de coeficientes de Pandeo lateral

En cuanto al pandeo lateral, el procedimiento es el mismo. Buscamos el coeficiente β que multiplicado por la longitud de la barra nos de la longitud equivalente de pandeo. Los elementos que pueden sufrir una inestabilidad por pandeo lateral son los perfiles y los dinteles. Las vigas auxiliares no sufren compresiones, solo atan, y las cruces de San Andrés trabajan a tracción.

En principio, todas las barras de la nave han sido definidos en un solo tramo, es decir, no existen divisiones. Es por esto, que, en principio, la longitud equivalente de pandeo lateral es la propia longitud de la barra. Así pues fijamos el coeficiente $\beta = 1$ para pilares y dinteles.

7.1.5. Comprobación

En estas condiciones, en las que han sido definidas las nuevas barras y sus uniones, descritos los perfiles e introducidos los coeficientes de pandeo, estamos en disposición de calcular la estructura. El resultado se muestra en la Figura 11.

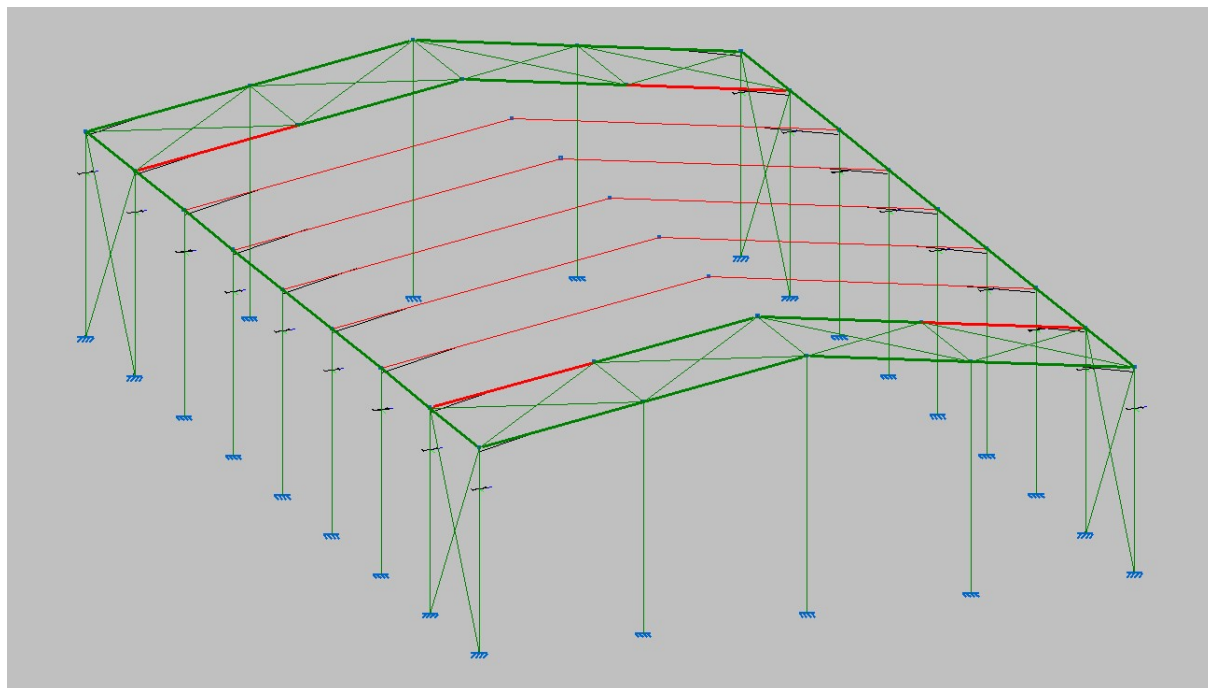


Figura 11: “Nave 1. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Todos los elementos cumplen a excepción de los dinteles. En este momento, se entra en el menú de comprobaciones y se encuentra que estos perfiles cumplen por resistencia, pero no cumplen a resistencia a pandeo lateral (Figura 12).

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.612} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{4.269} \quad \times$$

Figura 12: “Momento resistente a pandeo lateral. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Para solucionar este error en el cálculo, tenemos que estudiar qué partes del dintel están sometidas a compresión como fruto de un momento flector. Para ello, podemos fijarnos en la gráfica de momentos flectores (9) del pórtico. Cerca de la cabeza de los pilares, es el ala inferior la que está sometida a compresión. Este esfuerzo se va reduciendo a medida que nos vamos alejando, hasta que llegamos a una cierta distancia en la que cambia de signo la gráfica y es el ala superior el que se encuentra comprimida hasta la cumbre.

En cuanto al ala superior, sabemos que en ella apoyan las correas y el cerramiento por lo que podemos considerar que este ala está arriostrada.

La solución para el ala inferior (y para la nave en general) es conseguir reducir esta longitud de pandeo lateral a la separación entre correas. Esto se puede modelar fijando dicha longitud en 2,5 m (Figura 13) y en la realidad se disponen unos elementos denominados Tornapuntas. Son unos perfiles redondos, que nacen en la correa y se sueldan en el ala inferior del perfil del dintel. Se puede ver en detalle en la Figura 14. Realmente, como se ha dicho en el apartado anterior, sólo sería necesario disponer tornapuntas en las dos o tres primeras correas empezando por la cabeza del pilar.

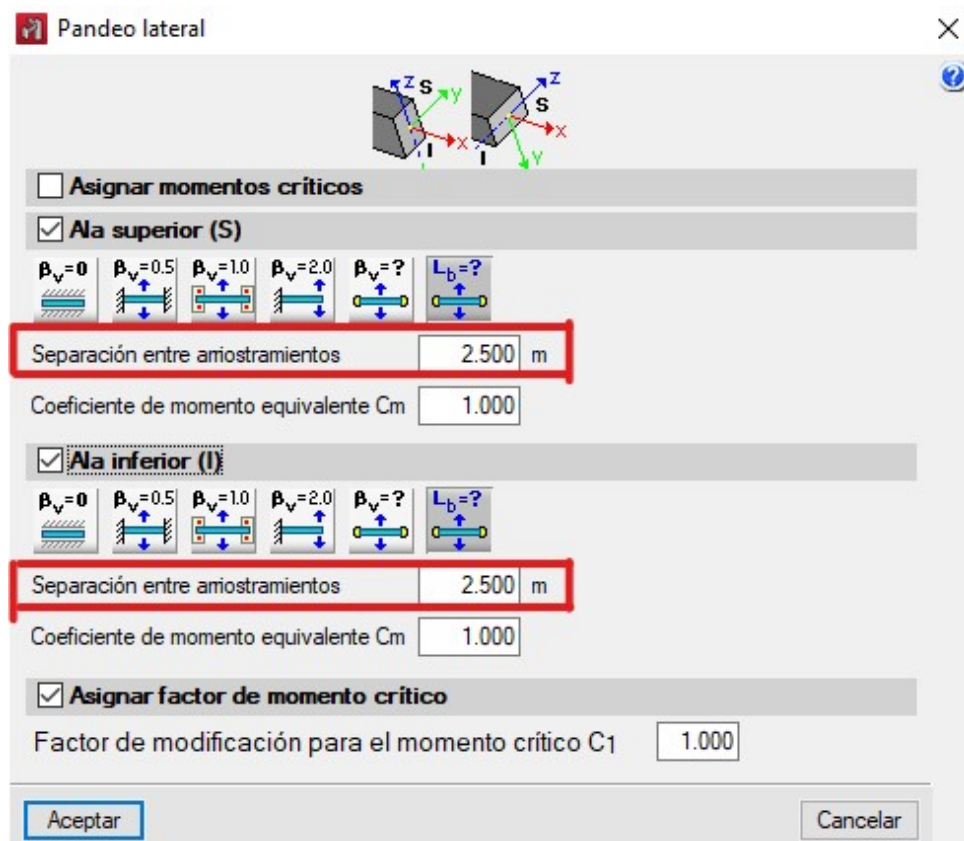


Figura 13: “Longitud de pandeo lateral. CYPE 3D. Fuente: Propia.”



Figura 14: “Tornapunta. Imagen Nave Industrial. Fuente: www.medifestructuras.com”

Haciendo este cambio, la nave está correctamente calculada y todos los perfiles cumplen.

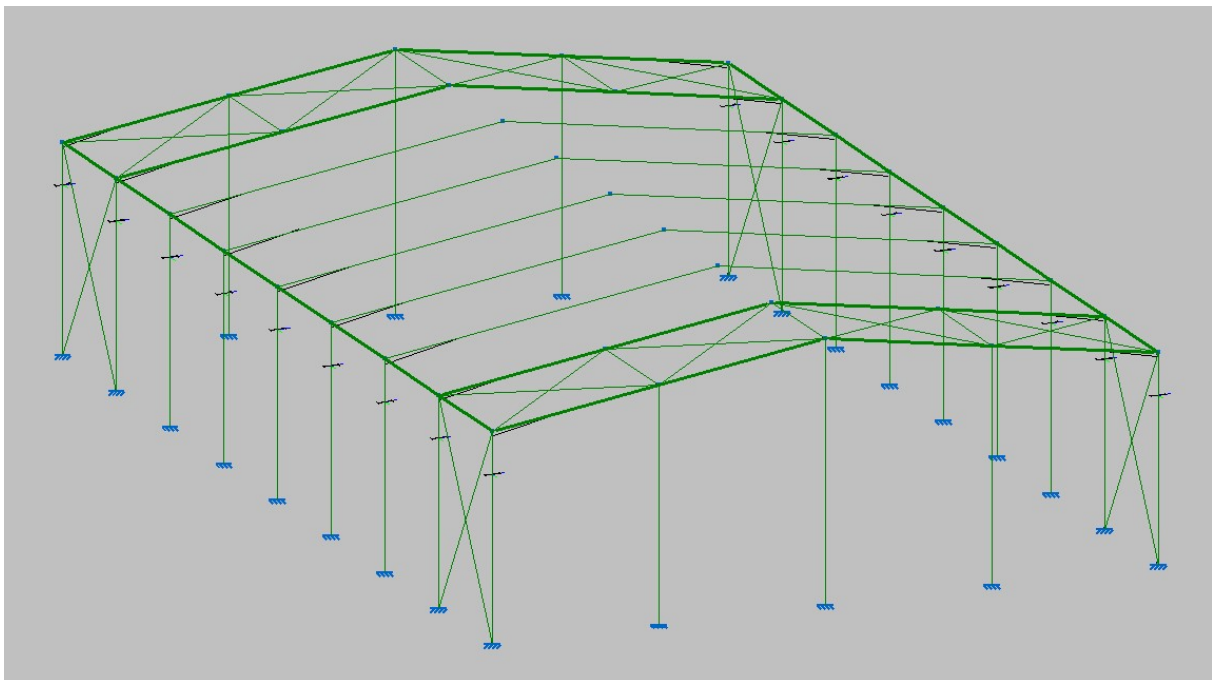


Figura 15: “Nave 1. Segundo cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.2. Nave 2

Calculada la primera nave, la idea para esta segunda es ver si, con la geometría y dimensiones que estamos tratando, el peso de la estructura se ve disminuido con el uso de otro tipo de pórtico. En la primera Nave escogimos un pórtico rígido en el programa Generador de Pórticos, pero existen más opciones: celosía inglesa o americana, diferentes tipos de Polonceau o vigas en celosía.

En este caso, se selecciona una celosía americana siendo esta una decisión arbitraria (se podría haber probado con cualquier otro tipo de pórtico). En principio, se van a mantener los 9 pórticos y, por tanto, la distancia entre ellos, 5 m.

7.2.1. Cubierta

7.2.1.1. Correas

Para dimensionar las correas de esta nueva nave, se realiza el mismo proceso iterativo que para la primera (7.1.1.1), resultando las de tipo ZF-160x2.5 separadas a una distancia de 3 m. Los aprovechamientos a tensión y flecha son 88,57% y 98,62% respectivamente y un peso por metro lineal de 57.58 kg/m

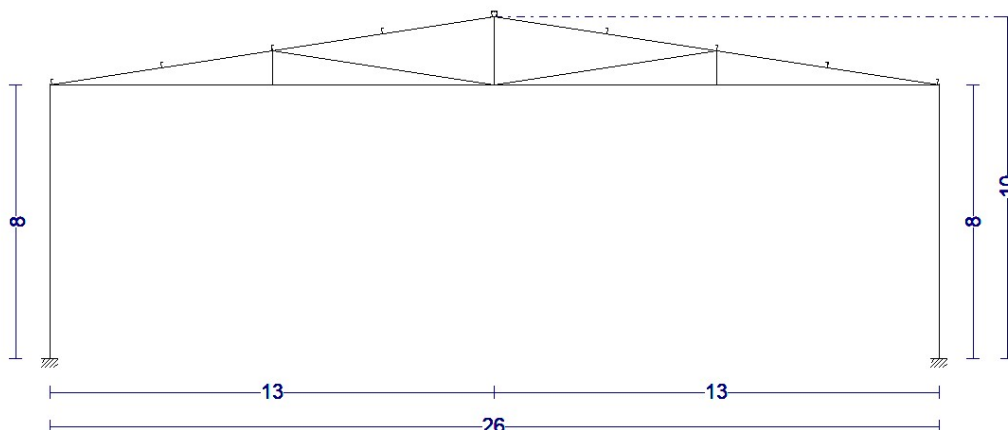


Figura 16: "Pórtico Celosía Americana 8 vanos. Detalle de Correas. Generador de Pórticos.

Fuente: Propia."

7.2.1.2. Cruces de San Andrés

Las Cruces de San Andrés se incluyen en este apartado de Cubierta por seguir el mismo orden anterior, pero para este tipo de pórtico las cruces no discurrirán por la cubierta. Por el contrario, arriostrarán los perfiles inferiores de la celosía. Serán perfiles redondos R10.

7.2.2. Vigas auxiliares

A diferencia de la primera nave, en la que las vigas auxiliares unían las cabezas de los pilares y los arriostramientos entre las cruces de San Andrés, en esta nave se les da continuidad a estas últimas recorriendo así toda la longitud de la estructura y aportando mayor apoyo entre un pórtico y el siguiente frente a empujes frontales (Figura 17).

Nuevamente serán perfiles IPE 80, articuladas en los extremos y no pudiendo pandear en el eje "xy".

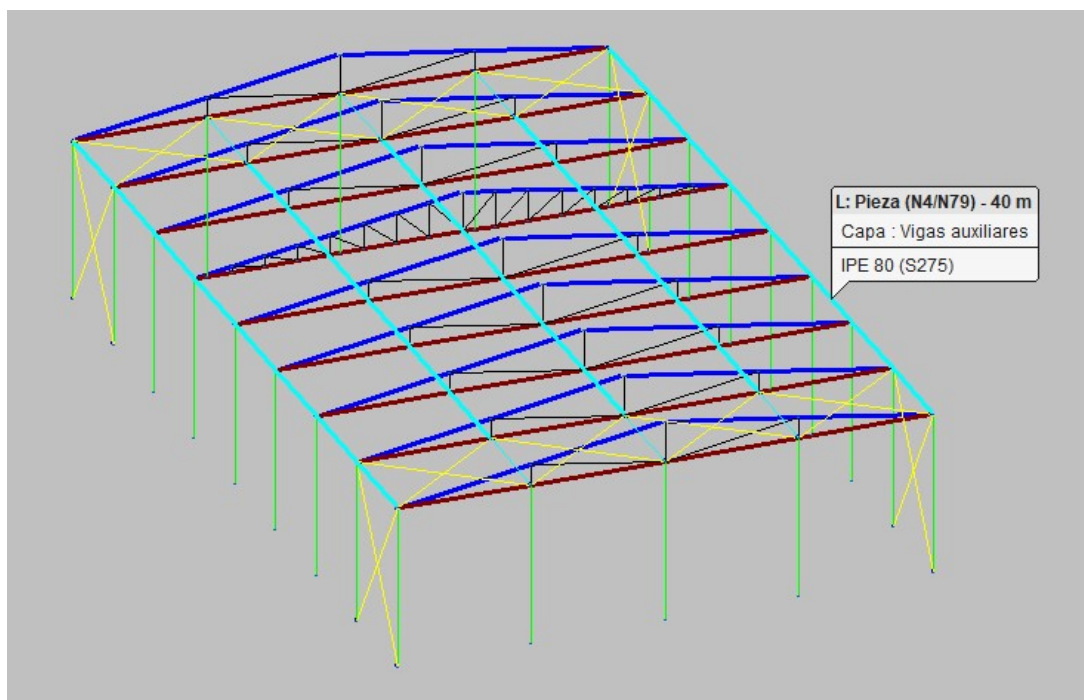


Figura 17: “Pórtico Celosía Americana 8 vanos. Detalle de Vigas auxiliares. CYPE 3D.

Fuente: Propia.”

7.2.3. Celosía

La Celosía Americana está formada por un cordón superior, a dos aguas, unidos a un cordón inferior, horizontal, mediante perfiles en diagonal que conforman ángulos rectos. Si comparásemos una celosía con un perfil normalizado IPE, los cordones haría la función de alas mientras que las diagonales serían el alma. La ventaja que ofrece la celosía frente a un perfil IPE es que se pueden aumentar la distancia entre los cordones superior e inferior aumentando el momento capaz de soportar. Es decir, mejora la rigidez a flexión usando perfiles más pequeños. Para esto, las barras diagonales van soportando esfuerzos de tracción y de compresión.

Los cordones superior e inferior serán perfiles UPN 320 y 220 respectivamente, orientados según se muestra en la Figura 18. En cuanto a las diagonales, serán perfiles angulares 70x70.

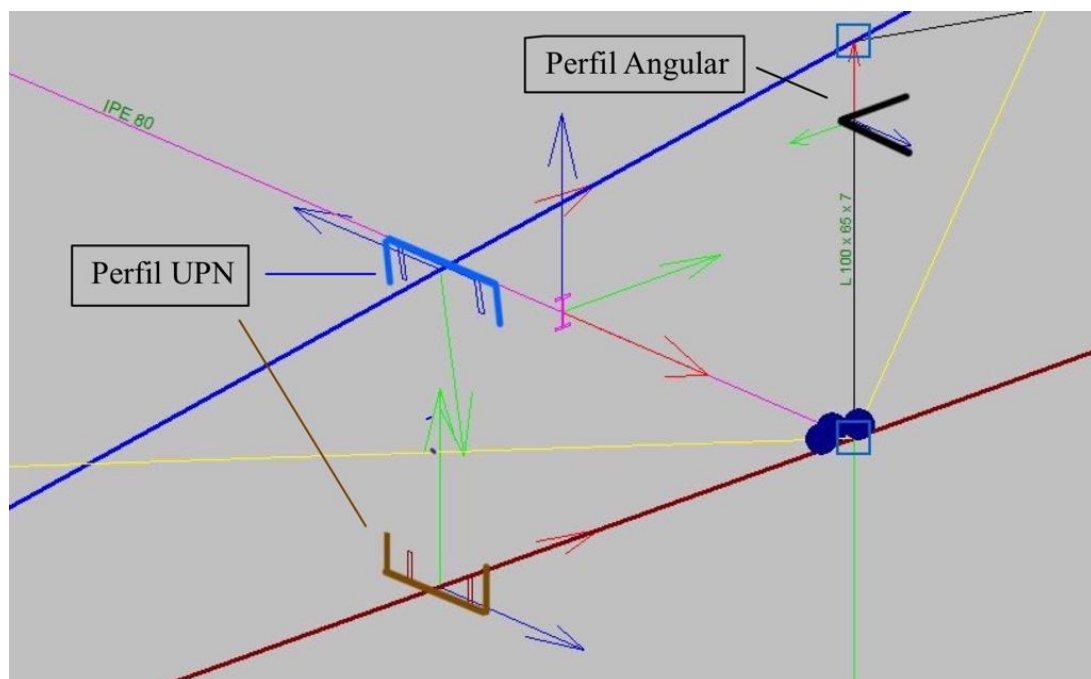


Figura 18: “Detalle perfiles de la celosía. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.2.4. Pórticos

En lo referente a los pórticos, la celosía ha sido descrita en el apartado anterior y para los pilares sirve la misma justificación hecha para la primera nave (7.1.3) en cuanto a

definición, descripción, orientación y vinculación exterior.

En este caso, los pilares 2, 3 y 4 de los pórticos hastiales serán perfiles IPE 550 mientras que los de esquina (1 y 5) y todos los intermedios serán perfiles IPE 450.

7.2.5. Pandeo

Nuevamente, las consideraciones a pandeo son equivalentes a las descritas para la primera nave. Únicamente cambian los coeficientes para los perfiles que conforman la celosía. Se considera que las barras diagonales arriostan el cordón superior e inferior disminuyendo así las longitudes de pandeo. Estando estas barras definidas por piezas, los coeficientes de pandeo serán de valor unidad, $\beta = 1$.

7.2.6. Comprobación

Ejecutando el cálculo y entrando en el apartado de comprobaciones, vemos que todos los perfiles cumplen a excepción de los cordones de la celosía y sus diagonales (Figura 19). No cumplen por cuestiones de esbeltez. Es decir, las longitudes de las piezas generadas por el programa son demasiado grandes. En otras palabras, las divisiones que hacen los montantes y diagonales de los cordones parecen no ser suficientes.

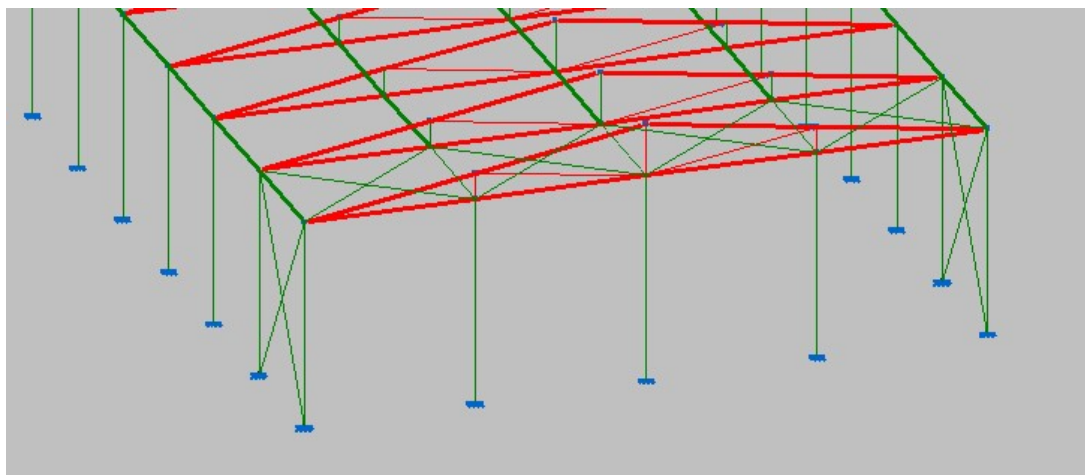


Figura 19: “Nave 2. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Por constatar si esta suposición es correcta, en uno de los pórticos intermedios, se aumentan el número de diagonales reduciendo así las longitudes y aumentando los arriostamientos.

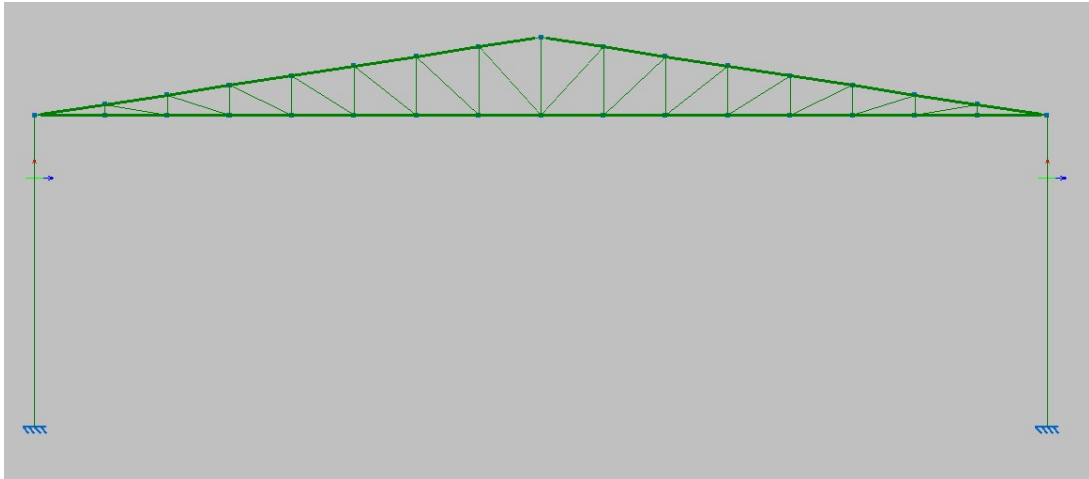


Figura 20: “Nave 2. Pórtico Intermedio. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Como se puede ver en la imagen 20, introduciendo diagonales cada 1.6 m y manteniendo los perfiles que se describieron en los apartados anteriores, los perfiles cumplen.

Antes de comenzar el laborioso proceso que supondría introducir todos estos montantes y diagonales en los vanos restantes de la estructura, podemos detenernos a comparar el peso de la estructura con el obtenido en la primera nave. Haciendo esto, obtenemos un peso de 36.200 Kg, mayor que los 35.800 Kg que pesaba la primera. Si bien no es una diferencia significativa, hay que recordar que este peso es el obtenido sin introducir todos los montantes y diagonales de los siete pórticos restantes. Por tanto, las medidas que hemos tomado para abordar esta segunda nave no son efectivas y se concluye el cálculo.

7.3. Nave 3

Queda por tanto demostrado que la variación del tipo de pórtico no introduce mejoras significativas para esta geometría concreta. Esta tercera nave consiste en copiar el modelo anterior y jugar ahora con el número de pórticos. Veremos si disminuyendo el número de pórticos y aumentando la distancia entre ellos la estructura cumple. Concretamente probaremos con 5 pórticos separados a una distancia de 8 m. Esto vuelve a ser introducido en el Generador de Pórticos.

7.3.1. Cubierta

7.3.1.1. Correas

Siguiendo el proceso iterativo ya descrito, en esta nave las correas serán ZF-225x4.0, separadas a una distancia de 2,5 m, con un aprovechamiento del 61.77% a tensión y 90.57% a flecha. Se ve que son perfiles más grandes que los anteriores pues sus apoyos en los dinteles están situados a mayor distancia. Esto se ve traducido en el peso, 147,68 Kg/m.

7.3.1.2. Cruces de San Andrés

La justificación de las Cruces de San Andrés es la misma que la de la estructura anterior. Serán perfiles tirantes, redondos R14.

7.3.2. Vigas auxiliares

Nuevamente, las vigas auxiliares uniran los pórticos y recorreran toda la longitud de la nave. Se implementan todas las consideraciones que ya han sido tratadas. En este caso, por tener que unir pórticos a mayor distancia, serán perfiles más grandes, IPE 120, a diferencia de los IPE 80 anteriores.

7.3.3. Celosía

En cuanto a la celosía, y con la experiencia de la nave anterior, se introducen directamente más montantes y diagonales que los que genera CYPE, a 1,65 m. Los perfiles serán de la misma clase: UPN 260 y 240 para el cordón superior e inferior respectivamente y L 75x75x10 para los montantes y diagonales.

7.3.4. Pórticos

Perfiles IPE 550 para los pilares laterales e IPE 450 para los pilares intermedios de los pórticos hastiales.

7.3.5. Pandeo

Tenemos en cuenta una variación en cuanto al pandeo. Por ser las vigas auxiliares perfiles IPE 120, con más entidad que los IPE 80 de las naves anteriores, se considera que estos arriostran los cordones inferiores de las celosías. Por tanto, se reduce la longitud de pandeo a 6,5 m, siendo esta la separación entre dichas vigas. En cuanto el cordón superior, estará arriostrado cada 2,5 m por las correas.

No se introducen cambios en los pilares sirviendo las disposiciones anteriores.

7.3.6. Comprobación

Se procede al cálculo de la estructura y esta cumple a excepción de los últimos cortes de los cordones, cerca de las cabezas de los pilares, donde los esfuerzos flectores son mayores (Figura 21). Era previsible pues ya partíamos de la experiencia del cálculo de la nave anterior. Entrando al resumen de medición, la estructura pesa 30.000 Kg. Es decir, este cambio supone una reducción de 5.000 Kg de peso en la estructura.

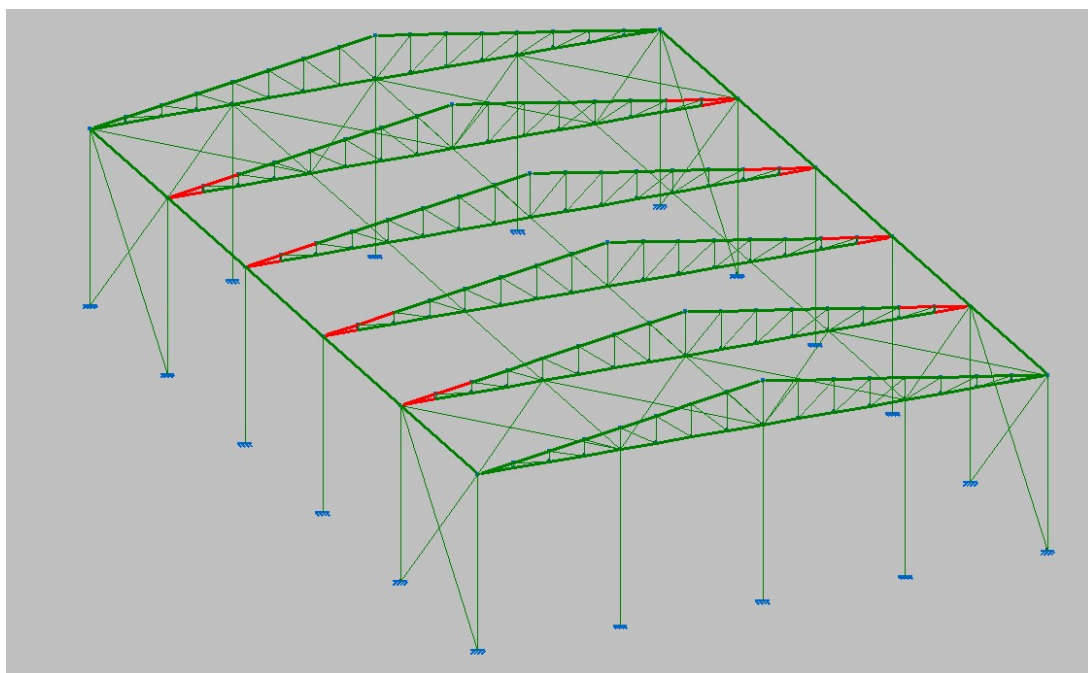


Figura 21: “Nave 3. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.4. Nave 4

Antes de introducir la última estructura, conviene hacer un pequeño resumen del proceso seguido hasta ahora. Comenzamos con una Nave formada por 8 Pórticos Rígidos separados a una distancia de 5 m para un peso total de 35.000 Kg. Seguidamente, probamos con la misma estructura pero con una Celosía Americana. En este caso, el peso no se vió disminuido sino levemente aumentado. Concluimos por tanto que cambiar el pórtico no introducía mejoras. Hecho esto y con la misma estructura anterior, introdujimos la idea de usar menos pórticos (5 separados a 8 m) y vimos que esto sí supone una disminución considerable del peso de la estructura, 5.000 Kg

Por tanto, para cerrar el círculo, probamos esto último con el pórtico rígido inicial.

7.5. Cubierta

7.5.0.1. Correas

Para esta última nave las correas vuelven a ser del mismo modelo anterior y con el mismo aprovechamiento.

7.5.0.2. Cruces de San Andrés

Las Cruces de San Andrés discurrirán como en la primera estructura. Uniendo primer y segundo pórtico y penúltimo y último. Serán perfiles redondos R14.

7.5.1. Vigas auxiliares

Las vigas auxiliares unirán las cabezas de los pilares. Serán biarticuladas y no pandearán. Por el incremento de distancia entre pórticos, serán perfiles IPE 120.

7.5.2. Pórticos

Mismas consideraciones. Los pilares serán IPE 550 y 450. Los dinteles serán IPE 400 con cartelas.

7.5.3. Pandeo

Mismos coeficientes de pandeo que en la Nave 1 (7.1.4).

7.5.4. Comprobación

Ejecutando el primer cálculo, vemos que todos los pilares de los pórticos intermedios fallan. Entrando en las comprobaciones, y como sucediera en la primera nave (en aquel caso con los dinteles), los pilares fallan por cuestiones de esbeltez. Es decir, la longitud de pandeo lateral (altura del pilar 8 m) es demasiado grande.

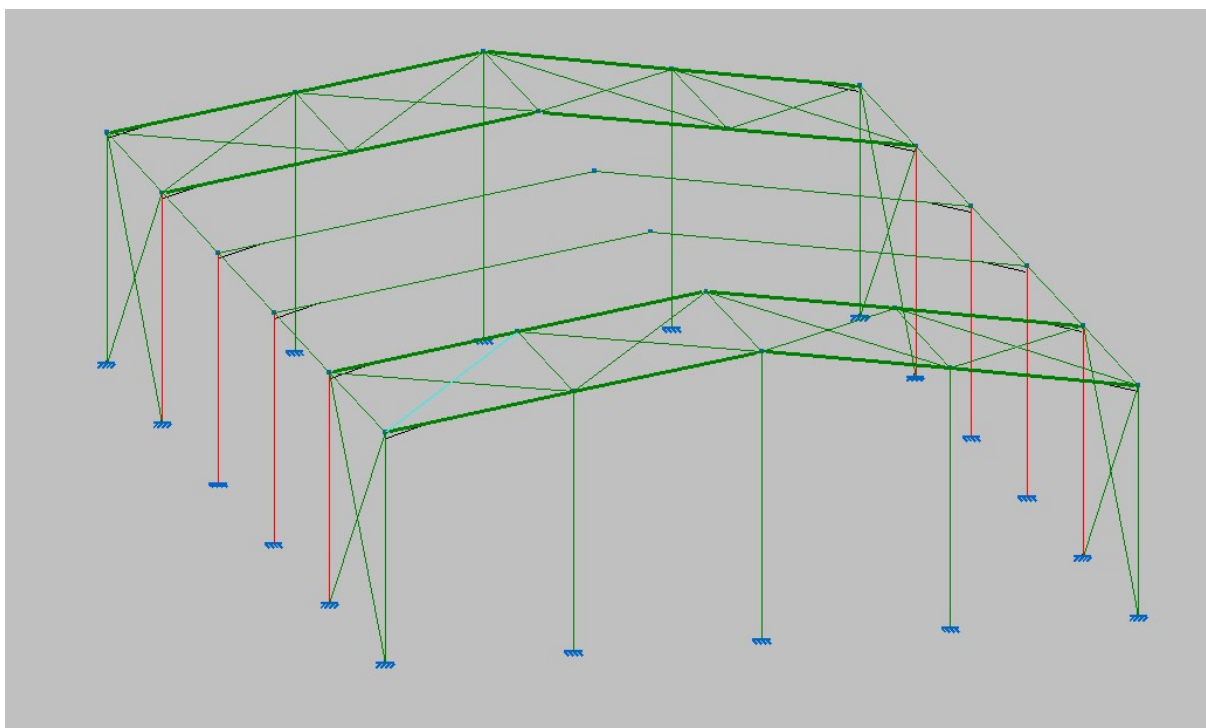


Figura 22: “Nave 4. Primer cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Para entender mejor el fallo, podemos ver los esfuerzos en el pilar (Figura 23). Concretamente, la gráfica de momentos flectores que es la causante del fallo por pandeo lateral. El máximo esfuerzo flector de produce en la cabeza del pilar y tiene un valor de $107 \text{ kN} \cdot \text{m}$. Hace falta reducir esta distancia para que la longitud de pandeo lateral no sea la propia altura del pilar sino algo menor.

Probamos a introducir unas vigas auxiliares, de las mismas características que las que unen las cabezas de los pilares, separadas 1.5 m de estas. Con esto, la longitud de pandeo

lateral se ve reducida a 6.5 m. Calculamos y vemos que esta medida es suficiente para subsanar los fallos.

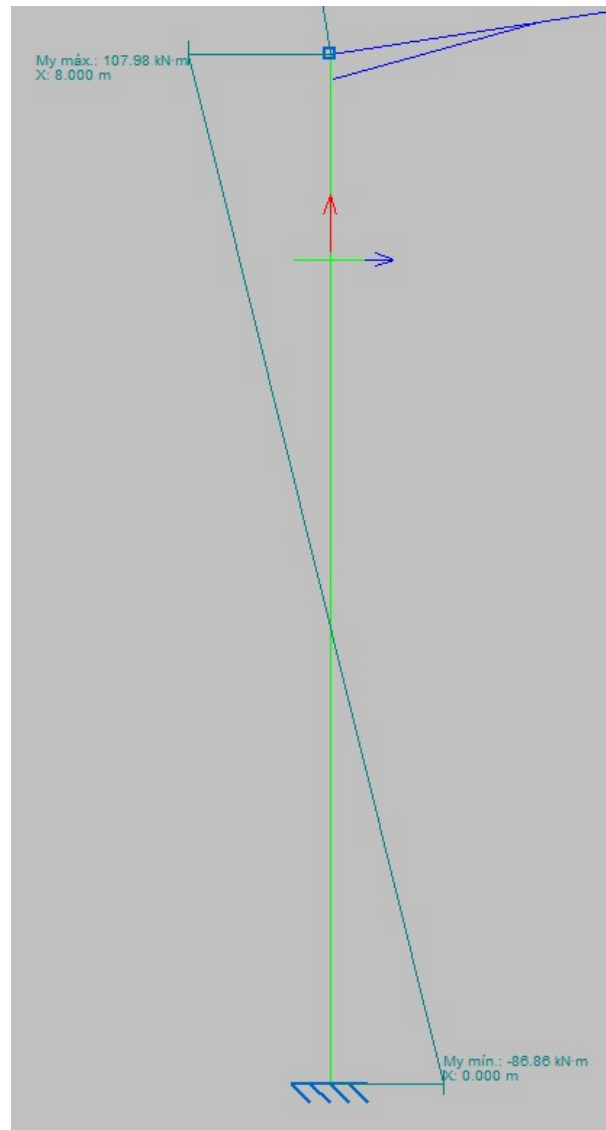


Figura 23: “Momento flector en pilar. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

Sin embargo, para asegurar que los puntos 1 y 2 de la Figura 24 se desplacen según el sentido de las flechas, es necesario disponer Cruces de San Andrés. Con esto queda concluido el cálculo de la Nave para un peso final de 27.700 Kg.

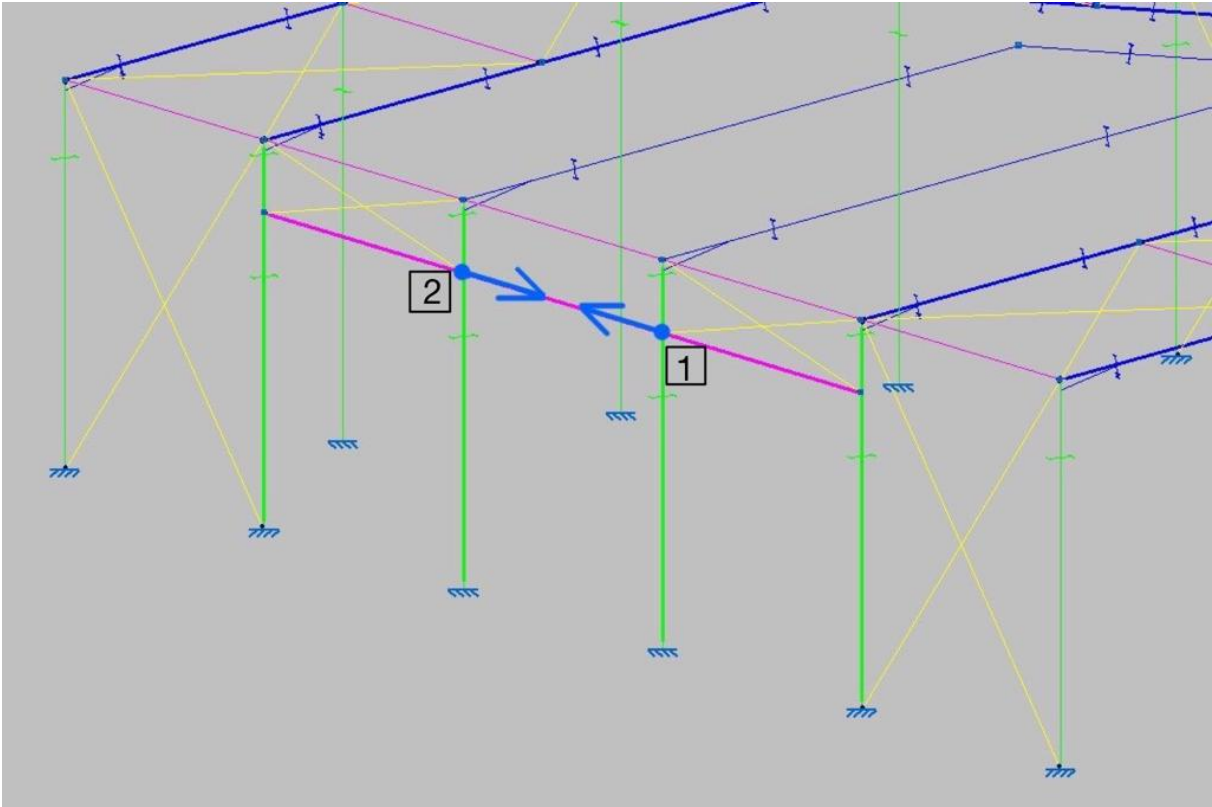


Figura 24: “Detalle Vigas auxiliares y Cruces de San Andrés. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

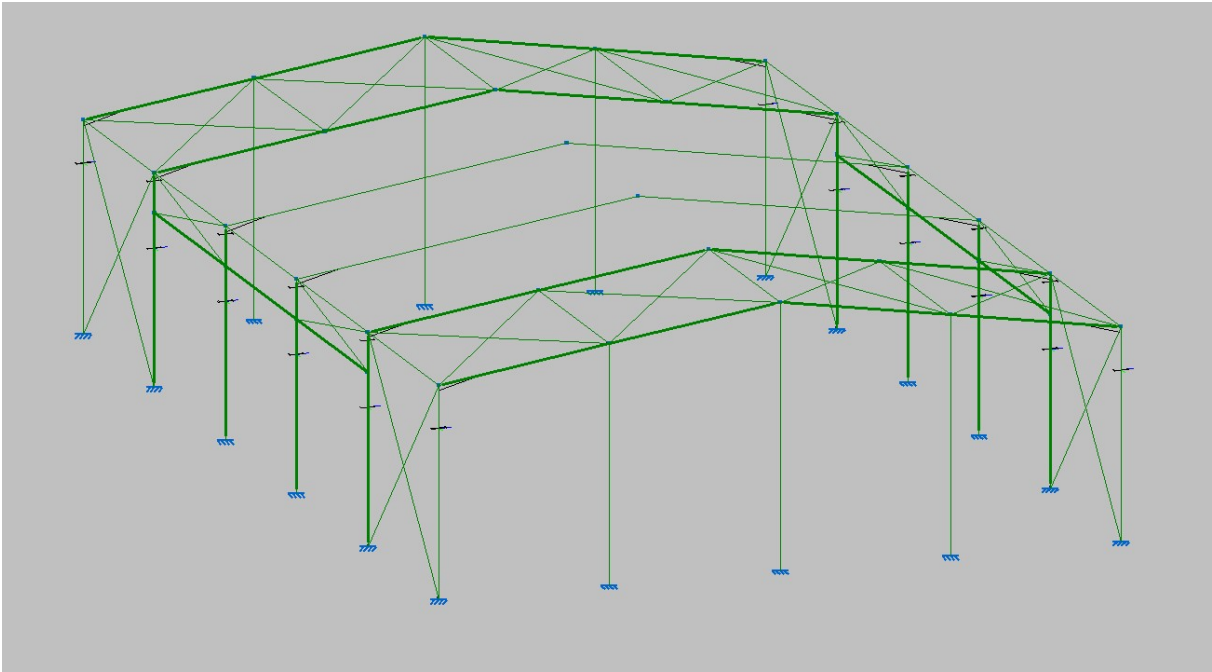


Figura 25: “Nave 4. Segundo cálculo. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.6. Comparativa

Aunque ya han sido tratados durante la justificación de cada nave, se presentan a continuación los resúmenes de medición ofrecidos por los listados de CYPE de las diferentes estructuras.

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE R	IPE 600	144.000	546.753	754.407	2.246	4.856	4.892	17634.24	35535.82	35823.88
			IPE 330, Simple con cartelas	236.753			1.972			12902.07		
			IPE 450	56.000			0.553			4343.25		
			IPE 80	110.000			0.084			656.26		
			R 15	207.654	0.037		288.06	288.06				
				207.654	0.037							

Tabla 6: “Nave 1. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE UPN L R	IPE 450	144.000	392.000	1250.048	1.423	2.220	4.621	11168.35	17425.74	36277.61
			IPE 550	48.000			0.645			5064.19		
			IPE 80	200.000			0.152			1193.20		
			UPN 280	210.447	1.122		8805.21					
			UPN 220	234.000	0.875		6870.01					
			UPN 320	26.306	0.199		1565.28					
			L 100 x 65 x 7	137.224	0.154		1206.47					
			L 70 x 70 x 6	42.836	0.035		273.38					
			L 70 x 70 x 7	0.554	0.001		4.09					
			R 10	206.682	0.189		1483.94					
				206.682	0.016		127.43	127.43				
					0.016							

Tabla 7: “Nave 2. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia.”

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 550	96.000	344.000		1.290	2.028		10128.38	15923.57	
			IPE 120	200.000			0.264			2072.40		
			IPE 450	48.000			0.474			3722.78		
		UPN	UPN 260	157.835	0.762	5984.41						
			UPN 240	156.000	0.660	5180.06						
		R	R 14	255.434	0.039	308.67						
		L	L 75 x 75 x 10		255.434	0.039	308.67					
					260.302	0.367	2881.15					
					260.302	0.367	2881.15					
						1173.571			3.857			
												30277.85

Tabla 8: "Nave 3. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia."

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición														
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso				
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)		
Acero laminado	S275	IPE	IPE 550	96.000	485.835		1.290	3.854		10128.38	27384.16			
			IPE 400, Simple con cartelas	157.835			1.779			11088.82				
			IPE 450	56.000			0.553			4343.25				
			IPE 120	176.000			0.232			1823.71				
		R	R 14		321.323	0.049	388.29							
					321.323	0.049	388.29							
						807.159			3.904					
														27772.46

Tabla 9: "Nave 4. Resumen de Medición. Listado CYPE 3D. Fuente: Propia."

Para facilitar la comparación se presenta la siguiente tabla.

NAVE	CORREAS EN CUBIERTA				ESTRUCTURA
	Modelo	Aprov Tensión	Aprov Flecha	Peso	Peso
		%	%	Kg/m	Kg
1	ZF-160x2,5	77,17	88,11	69,1	35823,88
2	ZF-160x2,5	88,57	98,62	57,58	36277,61
3	ZF-225x4,0	61,77	90,57	147,68	30277,85
4	ZF-225x4,0	61,77	90,57	147,68	27777,46

Tabla 10: "Tabla Comparativa. Fuente: Propia."

7.7. Cálculo de la entreplanta

Antes de adentrarnos en el cálculo de la uniones, y por introducir un tipo más de unión, se calculará una entreplanta a la nave seleccionada.

Se traza una viga desde el pilar 1 del pórtico hastial (Figura 26) hacia atrás (Viga 1), dividiendo todos los pilares por la mitad, a 4 m. Se repite esto mismo con el pilar 2 de la misma figura anterior (Viga 2). En las uniones que hace la primera viga con todos los pilares, se trazan vigas perpendiculares, en el sentido de la luz, hasta la segunda viga (vigas de forjado), con el objetivo de resistir la flexión. Y en las uniones con la segunda viga (Viga 2), se disponen unos pilares auxiliares que se empotran en el suelo.

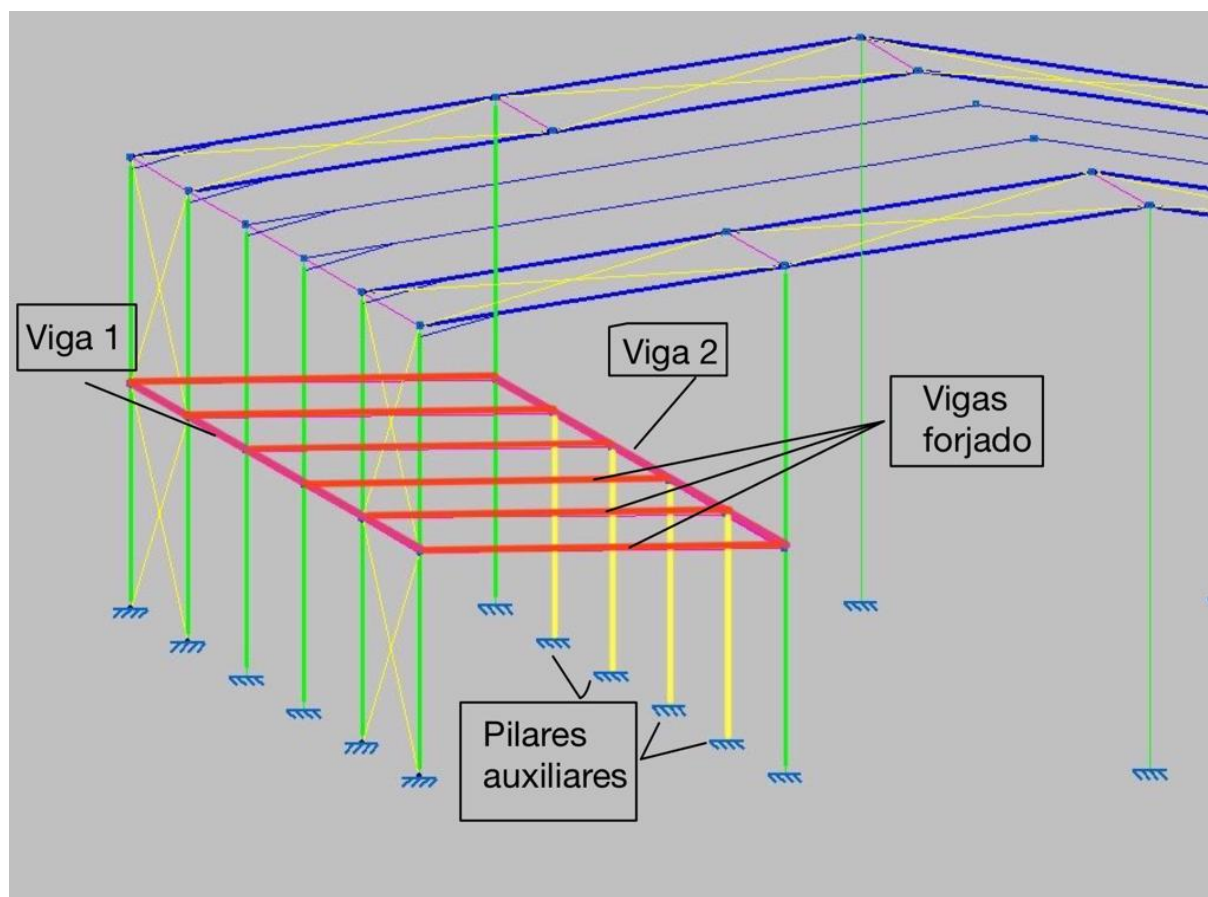


Figura 26: “Nave con Entreplanta. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

7.7.1. Cargas en la entreplanta

Definidas las barras que conforman la entreplanta, el siguiente paso es introducir las cargas que actuarán sobre dicho paño. Atendiendo al apartado de Sobrecargas de Uso (6.2.2.1), aplicaremos los $5 \text{ KN}/m^2$ correspondientes a una zona comercial siendo este uno de los posibles usos de la estructura.

Ejecutado el dimensionamiento de los perfiles, obtenemos IPE 550 para las vigas 1 y 2, IPE 400 para las vigas de forjado y, por último, IPE 240 para los pilarillos.

8. Uniones

Calculada la estructura final, nos adentramos ahora en la segunda parte de este trabajo, el modelado de las uniones mediante elementos finitos, con objetivo de familiarizarnos con el software de diseño de uniones (CYPE Connect) y profundizar en el entendimiento de estas partes críticas de las estructuras metálicas.

Como su propio nombre indica, las uniones únen las barras que forman la estructura asegurando así su continuidad y deben soportar todos los esfuerzos a los que están sometidas. Un fallo en una unión puede suponer la ruina parcial o total de la nave. De esto subyace su importancia.

Existen fundamentalmente dos tipos de uniones: atornilladas y soldadas. Si bien el programa permite el diseño de ambos tipos, para este trabajo diseñaremos las uniones mediante soldadura. Estas adquieren una serie de ventajas: poca deformabilidad, más económicas, más sencillas de ejecutar y estancas. Tienen el inconveniente de que necesitan personal cualificado para ejecutarlas.

Para las uniones, se usará material de aportación con las mismas características mecánicas, límite elástico y resistencia a tracción que el metal base.

En los siguientes apartados, se presentarán: las operaciones que permite realizar el programa para diseñar una unión, el cálculo de las mismas y diagramas cromáticos de tensiones, deformaciones y desplazamientos junto con su análisis.

8.1. Introducción del modelo en CYPE Connect

El primer paso para comenzar el cálculo de las uniones es introducir el modelo en el programa. Es decir, pasar la nave calculada en CYPE 3D a CYPE Connect. Esto se hace a través de la plataforma BimServer Center. En esta plataforma, un estudiante puede registrarse con sus credenciales de la universidad y crear un proyecto con fines educativos. Esto implica que tiene a su disposición todas las opciones que ofrece la plataforma de forma gratuita.

Hecho esto, hay que vincular la obra de CYPE 3D a ese proyecto educativo dado de alta. Al abrir el programa de uniones CYPE Connect, un desplegable te ofrece la opción de vincularte a un proyecto dado de alta en la plataforma BimServer Center. Naturalmente, se elige el proyecto que contiene la obra en CYPE 3D que nos interesa.

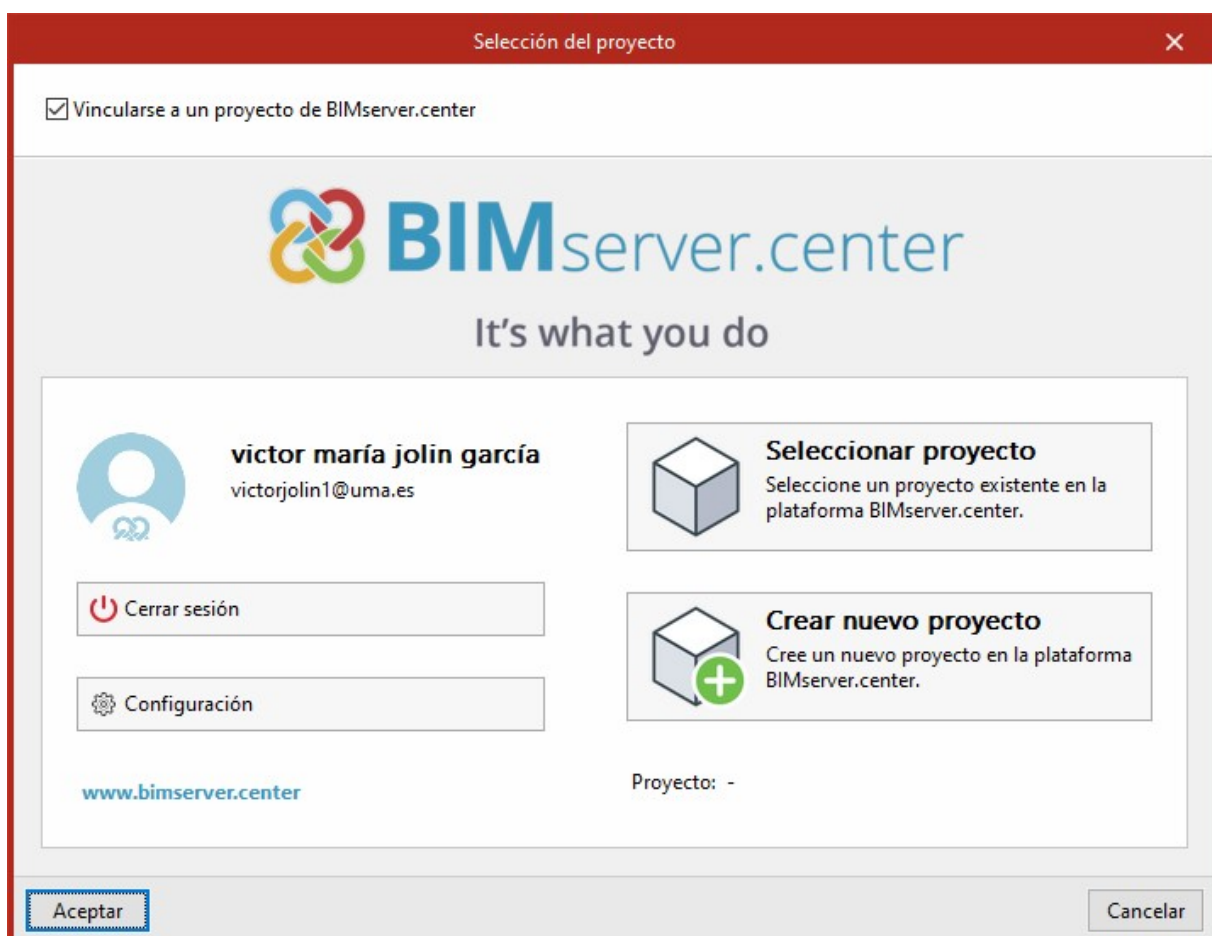


Figura 27: "Vinculación de la obra en CYPE Connect. Fuente: Propia."

Ya dentro del programa, en la parte superior derecha de la ventana, se puede hacer click en actualizar permitiendo así generar la nave contenida en la obra del proyecto. El resultado está visible en la Figura 28.

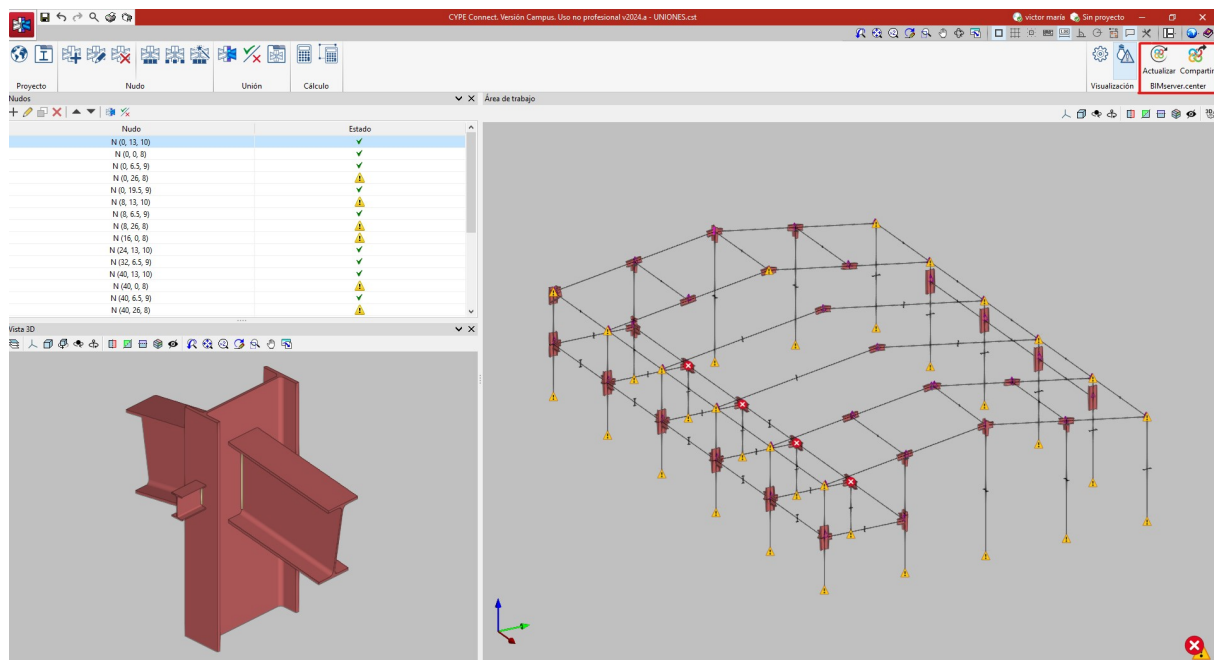


Figura 28: “Ventana Principal CYPE Connect. Fuente: Propia.”

A modo de resumen y de ahora en adelante, cualquier cambio que se realice en el programa CYPE 3D, tras ser calculado, será compartido a la plataforma de BimServer Center y, seguidamente, será actualizado de BimServer Center al programa de uniones CYPE Connect.

Quiero resaltar que este procedimiento ha sido utilizado en innumerables ocasiones en el transcurso de esta segunda parte del trabajo. Fundamentalmente debido a las mejoras implementadas en versiones más recientes del programa. A modo de ejemplo pondré el siguiente: hasta la versión 2024.a de CYPE Connect, el programa no incluía las cartelas de los perfiles, presentes en el modelo IFC generado por CYPE 3D. Con la unión ya perfectamente calculada hubo que desinstalar la versión anterior del programa, instalar la nueva, crear otro proyecto educativo en BimServer Center, crear una nueva obra para contener estas uniones y realizar de nuevo el cálculo.

8.2. Breve introducción al programa

En la Figura 28, se ofrece la ventana principal de CYPE Connect. Esta se divide en tres secciones:

- Sección superior izquierda, en la que se ofrece un menú o listado de todas las uniones que detecta el programa, junto con sus coordenadas en el espacio y el estado de la unión (calculada, con avisos o errores).
- Sección inferior izquierda, en la que se muestra la vista previa de una unión. Esta puede ser seleccionada en el menú superior o en la parte derecha en la que se muestra la nave completa.
- Sección derecha, en la que se muestra la nave completa con los estados correspondientes a cada unión.

Existen diferentes maneras de proceder a la edición de las uniones. Sin embargo, la más sencilla es usar el menú de herramientas principal situado en la parte superior (Figura 29). Este menú permite generar o editar una unión, agrupar o desagrupar uniones y acceder al diseño, cálculo y comprobación de las mismas.



Figura 29: “Menú Principal. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Especialmente interesantes son los resaltados en rojo. Estos son de izquierda a derecha:

- Editar nudo: permite editar los nudos ya existentes, cambiando el tipo de perfil, aumentando o disminuyendo su longitud, suprimiendo o añadiendo nuevas barras...
- Agrupar automáticamente: el programa agrupa las uniones que detecta que son iguales. De esta forma, cualquier cambio introducido en alguna de las uniones del grupo es aplicado automáticamente a las restantes.

- Editar unión: que despliega una nueva ventana en la que se diseña la unión (soldadura, tornillos, rigidizadores...), se calcula, obteniendo comprobaciones y gráficas, y se dibuja la lámina con las especificaciones.

En este momento se recuerda que el programa permite realizar cualquier tipo de cambios, pero estos deben estar en consonancia con el modelo BIM. Si no es así, aparece un aviso recordándolo. Ambos modelos deben ser iguales para realizar fielmente el cálculo de las uniones.

Por último, es necesario dejar constancia de que tras ser introducida la nave en el programa, este hace un ajuste eje a eje de los perfiles como se puede ver en la imagen 30. Muestra también avisos en rojo explicando los fallos presentes en la unión.

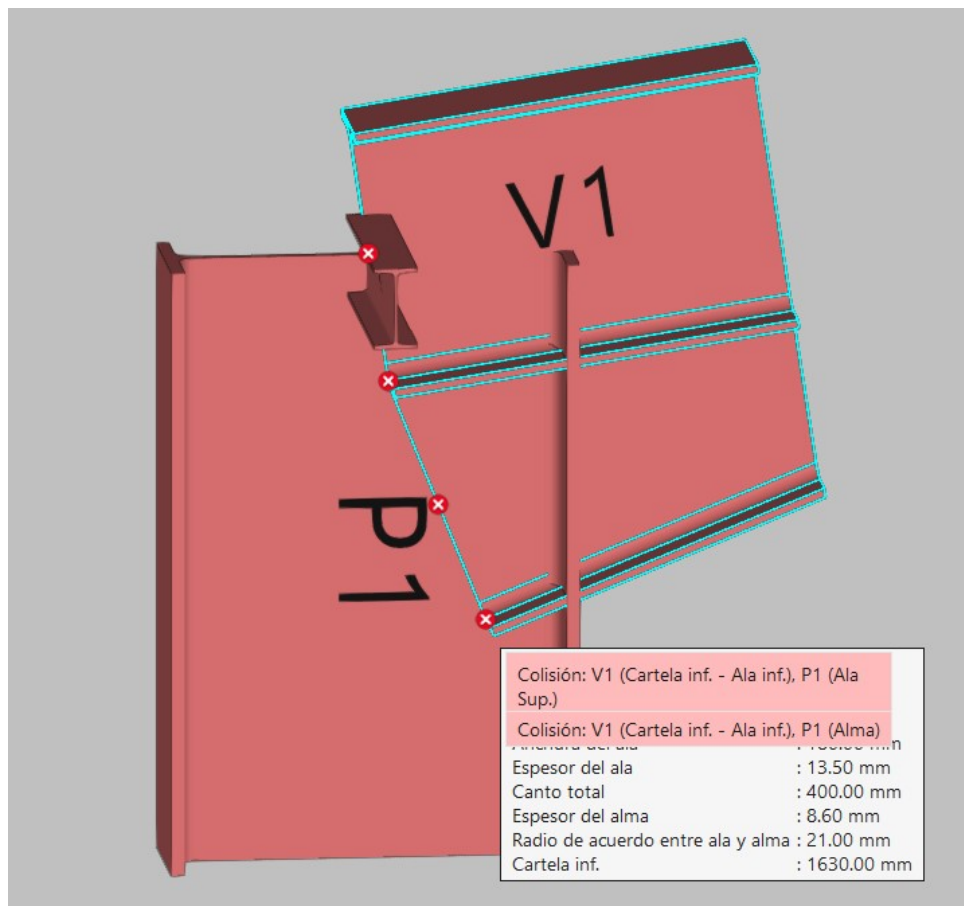


Figura 30: “Ajuste Eje a Eje de los perfiles. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

8.3. Cálculo de las Uniones

Comenzamos el cálculo de las uniones agrupando automáticamente las que son iguales. Con esto pasamos de tener 40 uniones, a priori diferentes, a tener 26. Pero, en realidad, solamente se van a presentar 7 uniones diferentes. La razón de esto se encuentra detallada con un ejemplo a continuación.

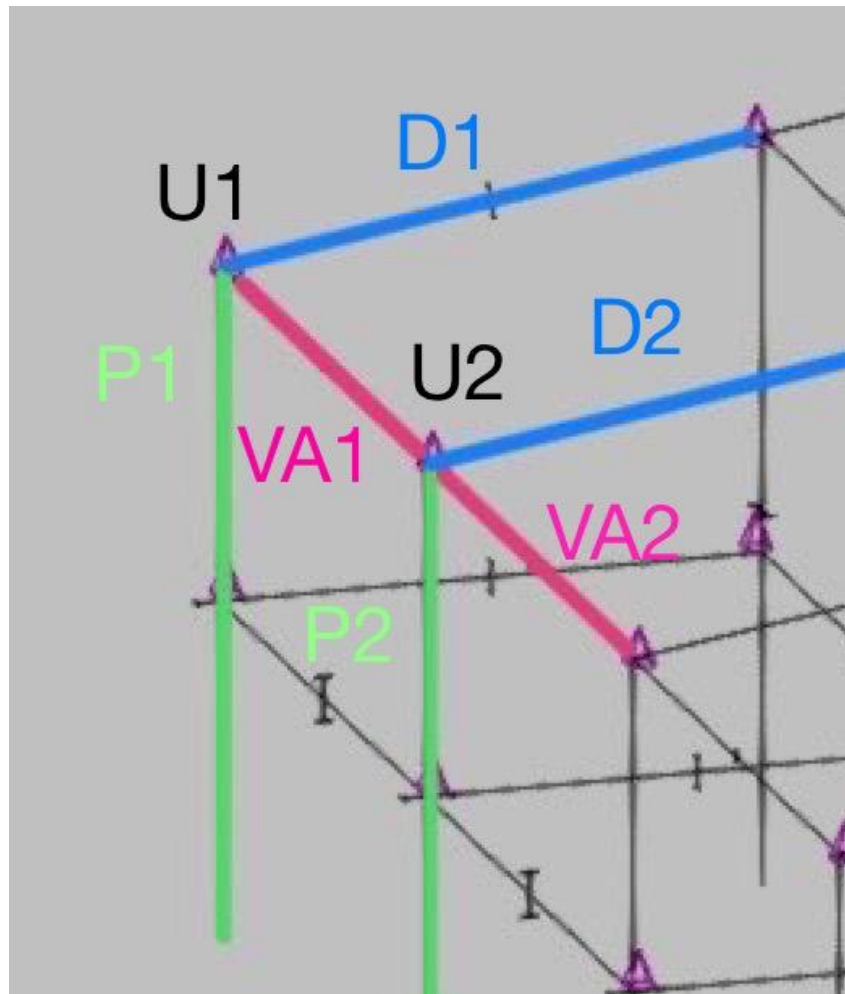


Figura 31: “Detalle de agrupación automática. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Fijémonos por un momento en la imagen 31. Vamos a comparar la unión 1 (U1) con la unión 2 (U2). Para CYPE Connect estas dos uniones son diferentes y por tanto no las agrupa. No las agrupa porque el programa agrupa exclusivamente las uniones que detecta con las mismas barras y la misma disposición geométrica. Así, a la unión 1, que le llega un pilar P1, un dintel D1 y una viga auxiliar VA1; la diferencia de la unión 2, que le llega un pilar P2, un dintel D2 y las dos vigas auxiliares VA1 y VA2.

De la misma forma pasa con esta misma unión anterior a un lado y a otro del pórtico. El programa no detecta que estas uniones son simétricas con respecto al eje Z. Pero la naturaleza de todas estas uniones es la misma: una unión rígida entre un pilar y un dintel.

Es siguiendo este mismo hilo de razonamiento, agrupando por naturaleza, como se entiende que, de las 40 uniones que generó el programa originariamente, aquí sólo se van a presentar 7, que se muestran en la figura 32.

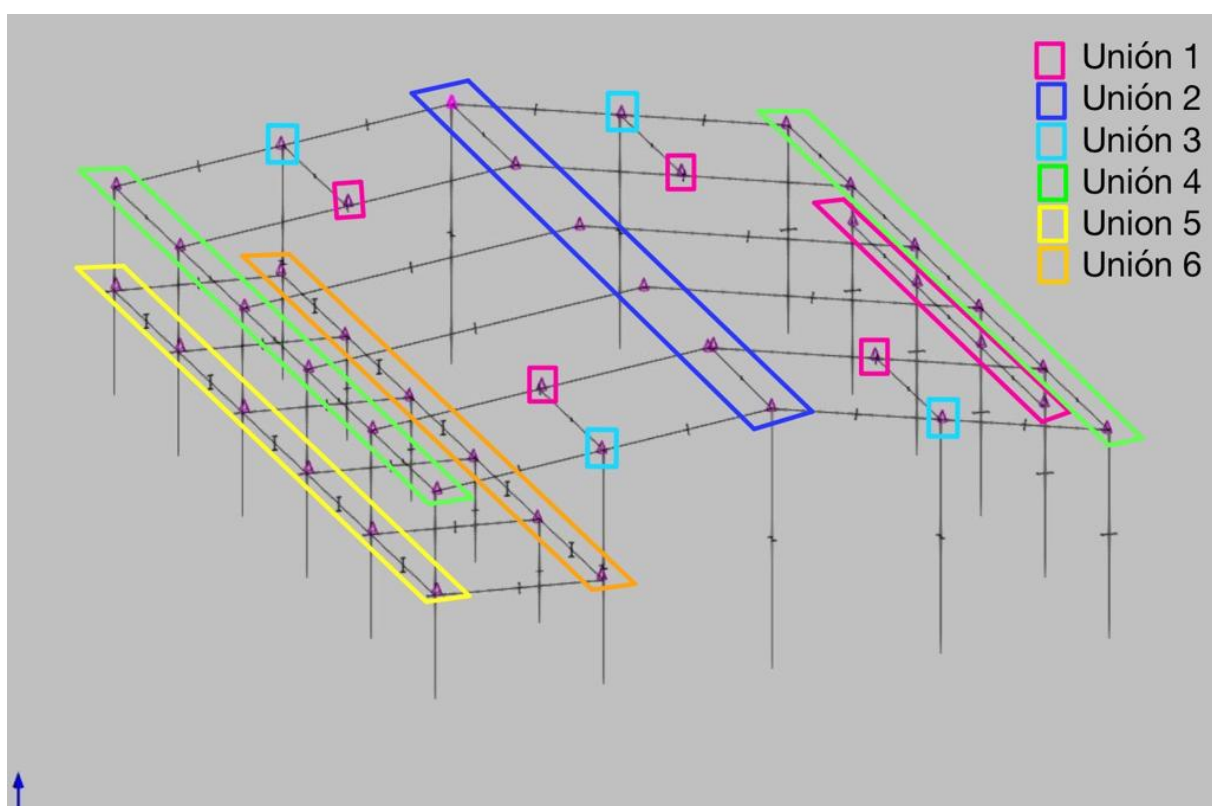


Figura 32: “Agrupación de Uniones. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

8.3.1. Unión 1. Vigas Auxiliares con Pilares o Dinteles

Para comprender mejor el funcionamiento del programa y profundizar en los aspectos que permite la herramienta Editar Unión, comenzaremos por la unión más simple de todas: la de las vigas auxiliares con los pilares o los dinteles. Las vigas auxiliares están presentes en el cálculo de la mayoría de las uniones posteriores, por tanto, haremos referencia a este apartado cuando aparezcan.

Seleccionando la opción editar unión para el nudo, entramos en la ventana de edición (Figura 33). En el menú Modelo, se define la unión. Entre las operaciones que se pueden realizar destacan: plano de referencia, para ajustar un perfil a un plano de referencia; placa, para introducir una placa; ajustar perfil, para ajustar un perfil; añadir tornillos o soldaduras; realizar recortes; etc.

Una vez seleccionada una operación, esta aparece en el menú de operaciones. En general, para una unión se deben suceder varias operaciones. A la derecha del menú operaciones, encontramos las opciones que permite dicha operación. La mayoría de estas operaciones serán explicadas con detenimiento en el transcurso del cálculo.

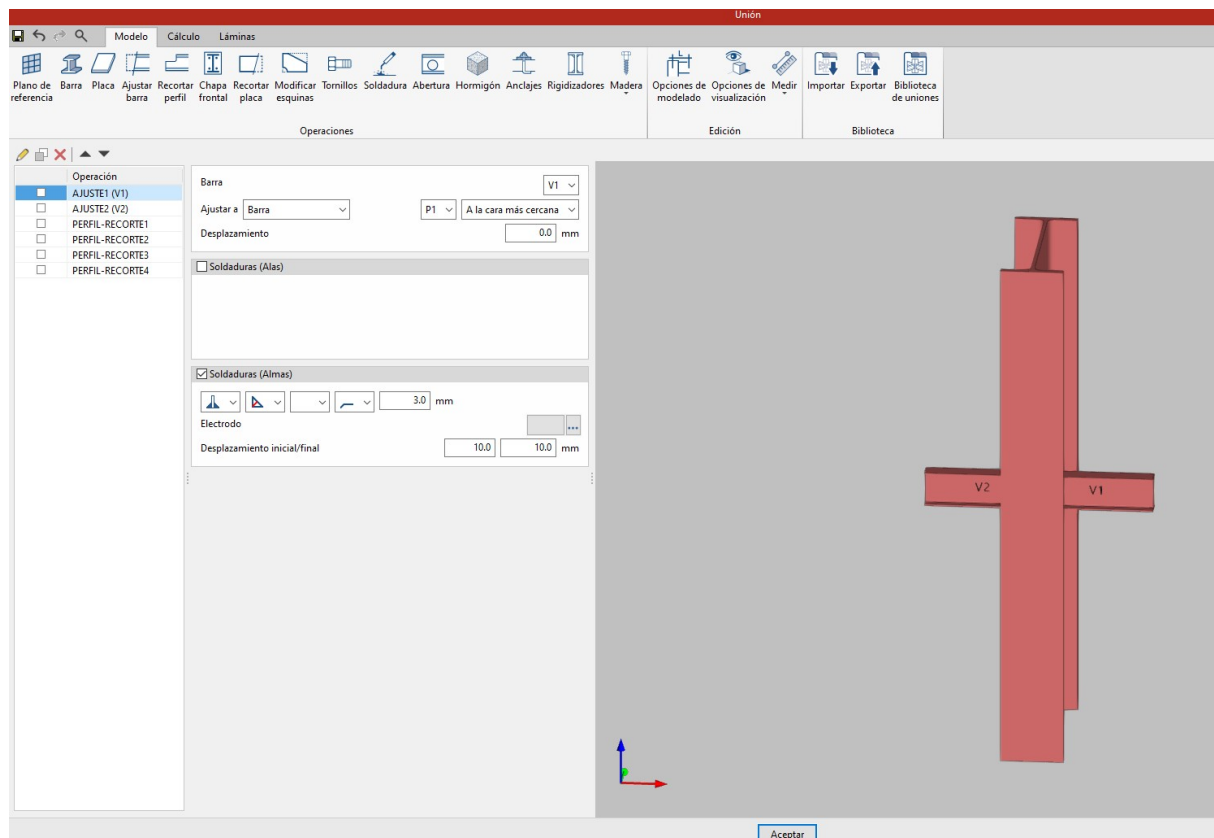


Figura 33: “Edición de la Unión Viga Auxiliar con Pilar. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Así pues, para la unión que nos concierne es necesario realizar dos ajustes de perfil (uno por perfil) y cuatro recortes de perfil (dos por perfil).

Los ajustes serán de los perfiles V1 y V2 a la cara más cercana del pilar P1 y, por ser una unión articulada, se soldará exclusivamente el alma de los perfiles con soldadura a tope en T con penetración parcial de 3 mm. Ver Figura 34. En amarillo se puede distinguir la soldadura.

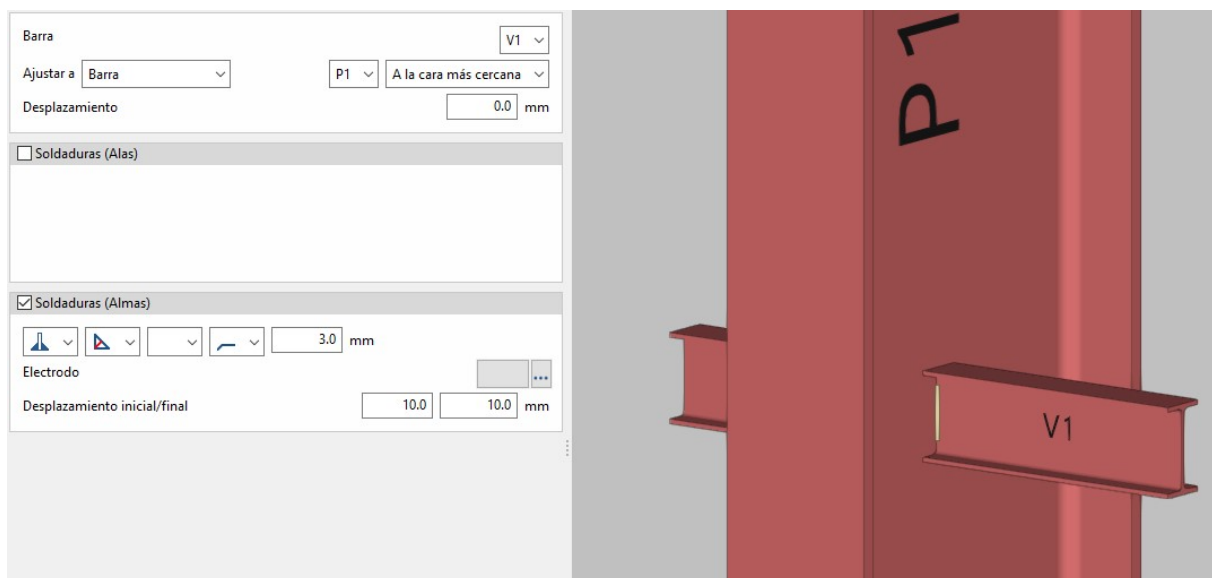


Figura 34: “Ajuste de perfil V1 a pilar P1 con soldadura de alma. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Seguidamente, y por resaltar la unión exclusiva del alma, se pueden hacer recortes de perfil, Figura 35. Se escoge el perfil V1, en la parte superior, con radio de acuerdo y dimensiones acordes. Esto se repite para la parte inferior y para el perfil V2.

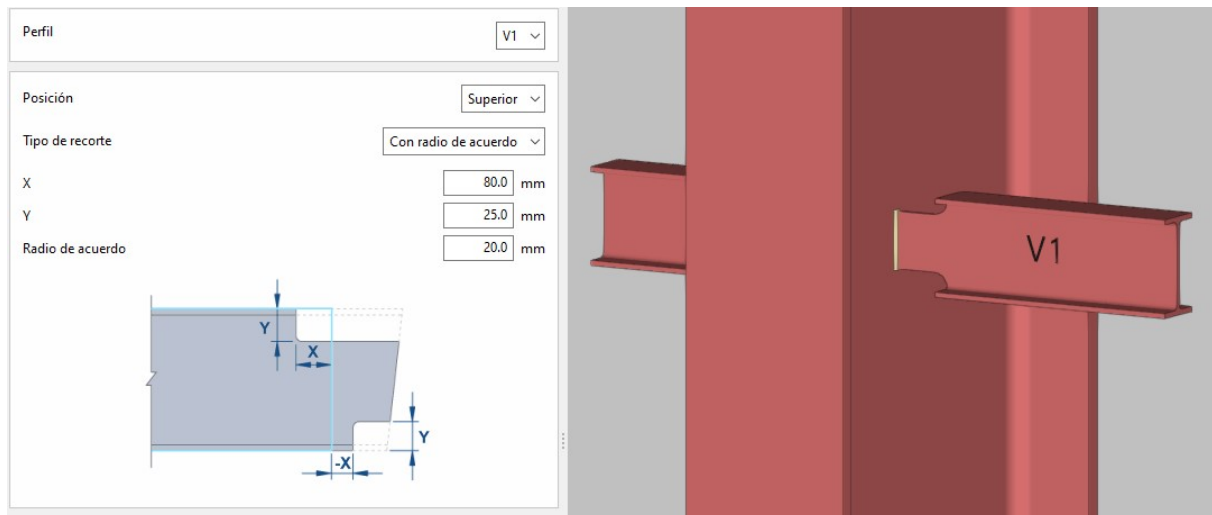


Figura 35: “Recorte de perfil V1- CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Diseñada la unión, podemos entrar en el menú de cálculo. En la Figura 36, se muestra la ventana emergente del Menú de Cálculo. Este permite calcular la unión seleccionando Tensión/Deformación y mostrar las comprobaciones de cada elemento y diferentes gráficas.

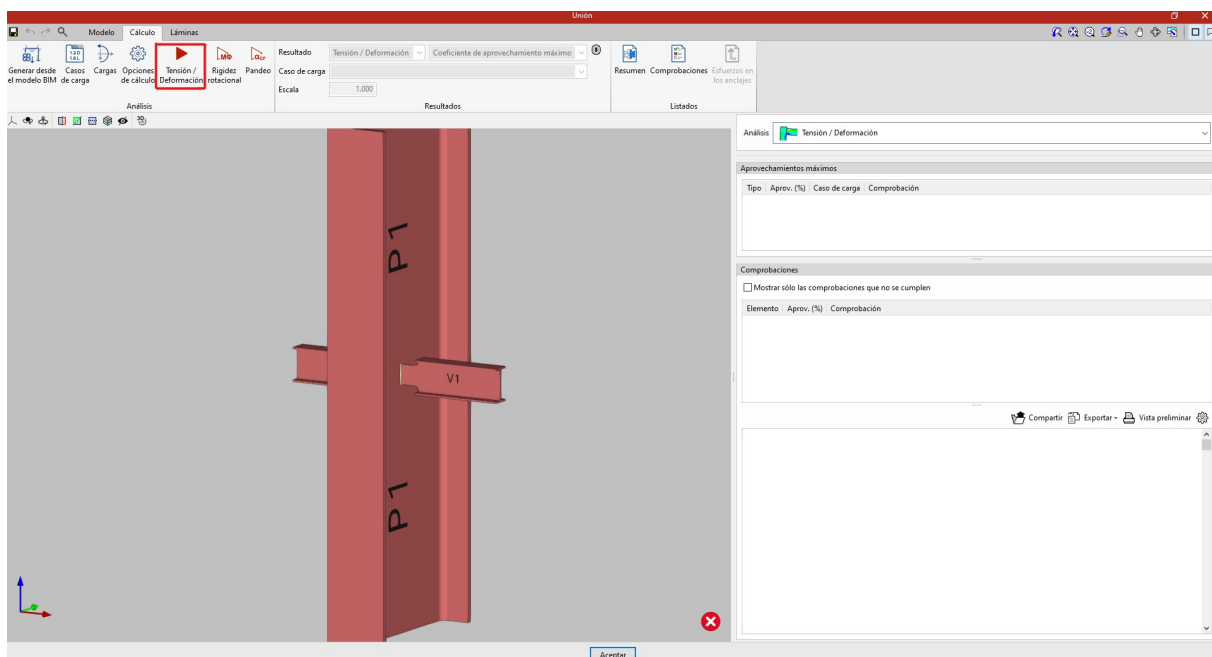


Figura 36: “Menú de Cálculo. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Tras ejecutar el cálculo, el programa ofrece el coeficiente de aprovechamiento de cada uno de los elementos de la unión (Figura 37) y diferente casos de cargas. En este caso, el aprovechamiento de la soldadura es del 4.29%.

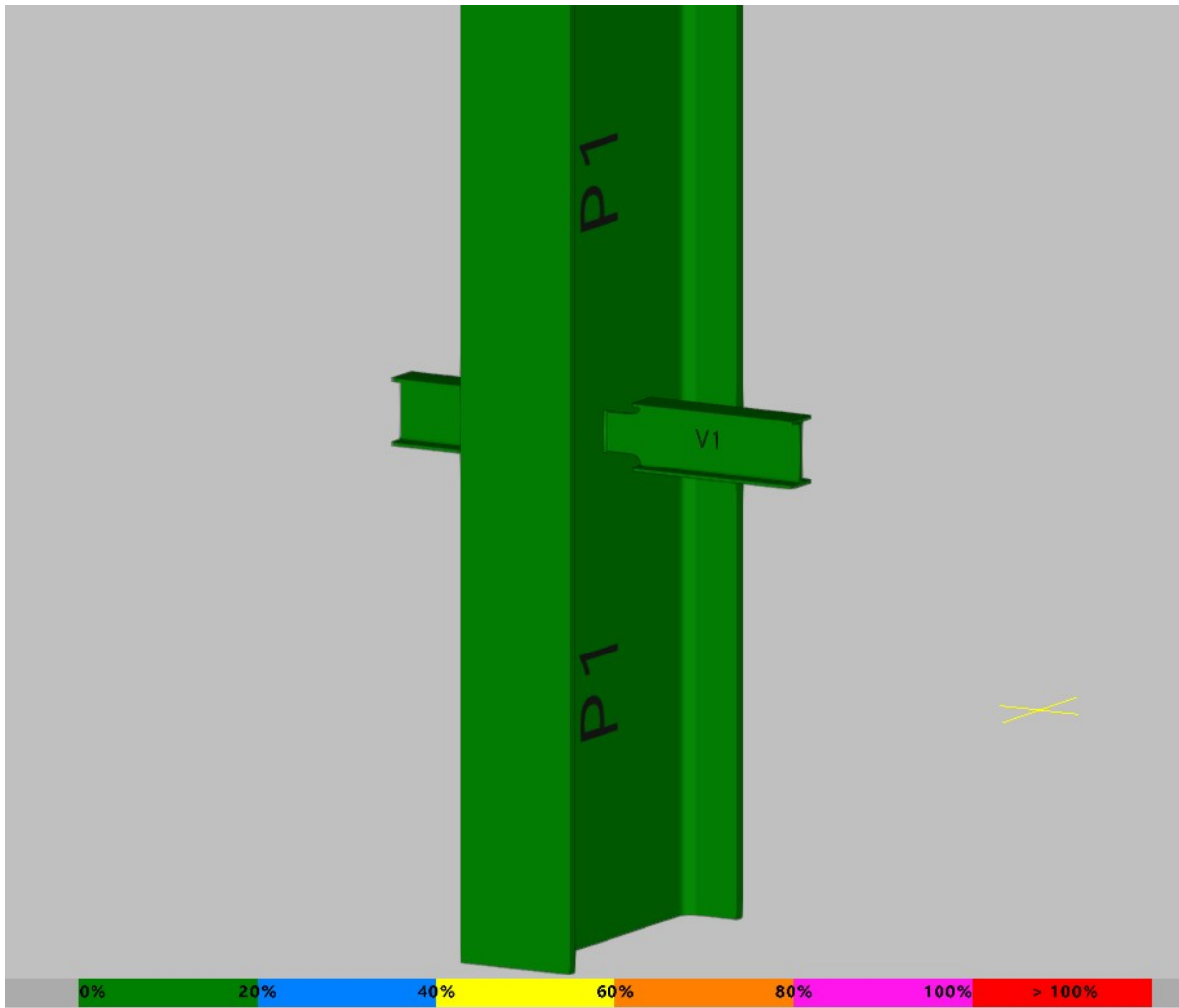


Figura 37: “Unión 1. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Podemos pedir también que nos de la tensión de Von Mises, la deformación equivalente de Von Mises o el desplazamiento. En estos casos, sobre la unión se muestra la malla de elementos finitos que ha usado el programa.

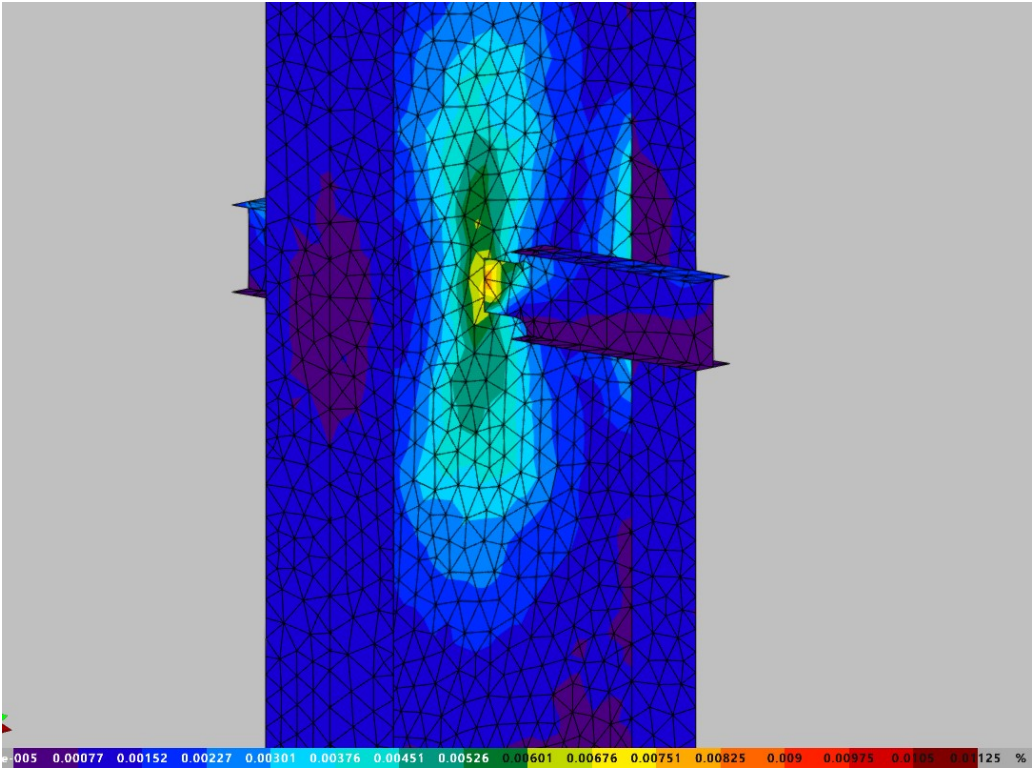


Figura 38: “Unión 1. Deformación de Von Mises. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

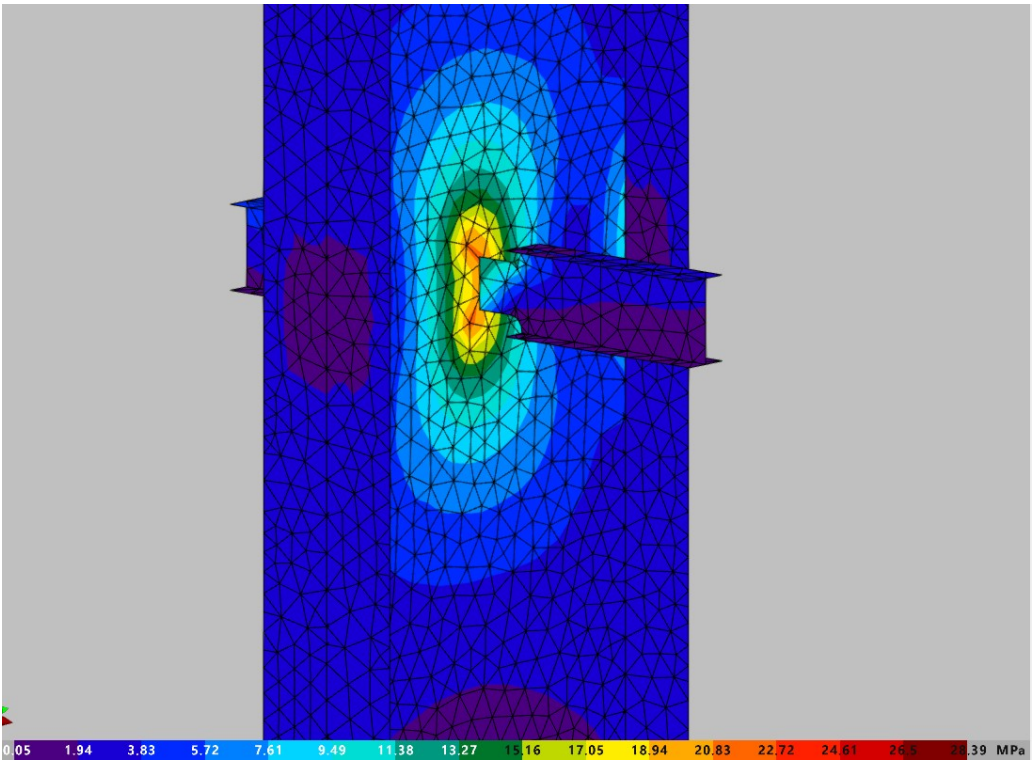


Figura 39: “Unión 1. Tensión de Von Mises. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

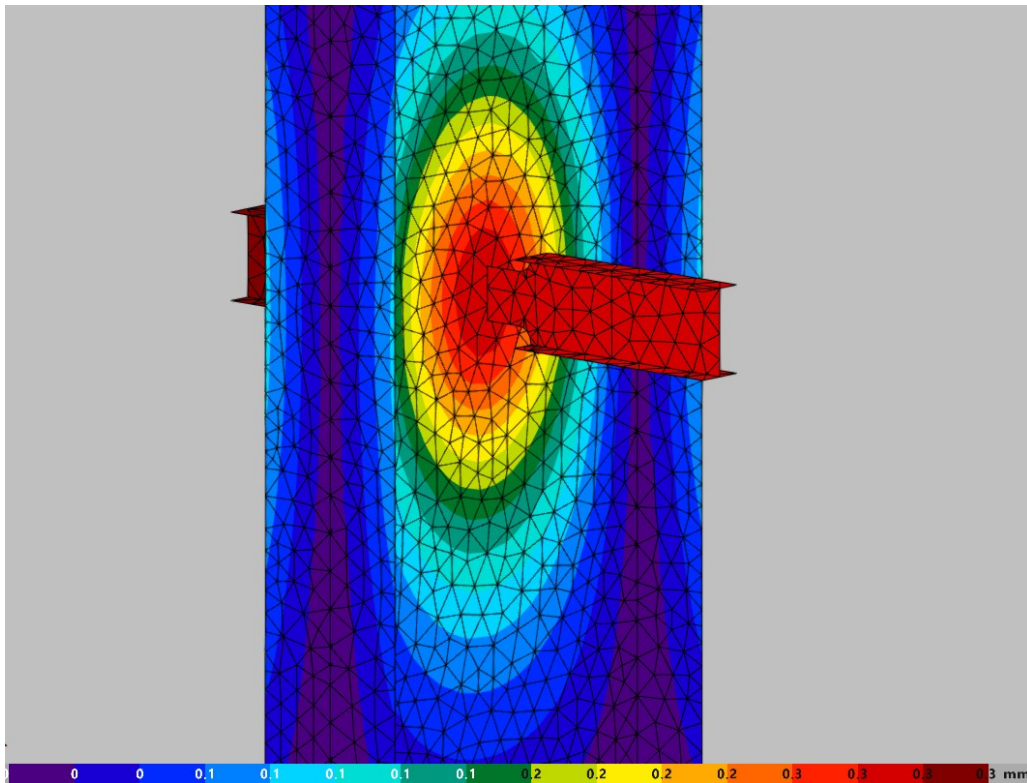


Figura 40: “Unión 1. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Estos diagramas colorimétricos son de gran utilidad para conocer cómo funciona la unión, qué partes están más o menos solicitadas e, incluso predecir el posible fallo de la misma.

En este caso, por ejemplo, vemos cómo se difunden las tensiones y las deformaciones desde niveles rojizos en la zona de la soldadura a niveles más claros a medida que nos alejamos de ella. En ningún caso se alcanzan valores cercanos al límite elástico.

En la gráfica de desplazamientos, vemos cómo esa difusión ocurre de forma radial estando la soldadura situada en el centro. Naturalmente, el desplazamiento de la viga auxiliar es muy superior al del pilar a la que está unida.

A continuación, se presenta el diagrama de tensiones de esta misma unión pero llegando esta vez al alma de un dintel.

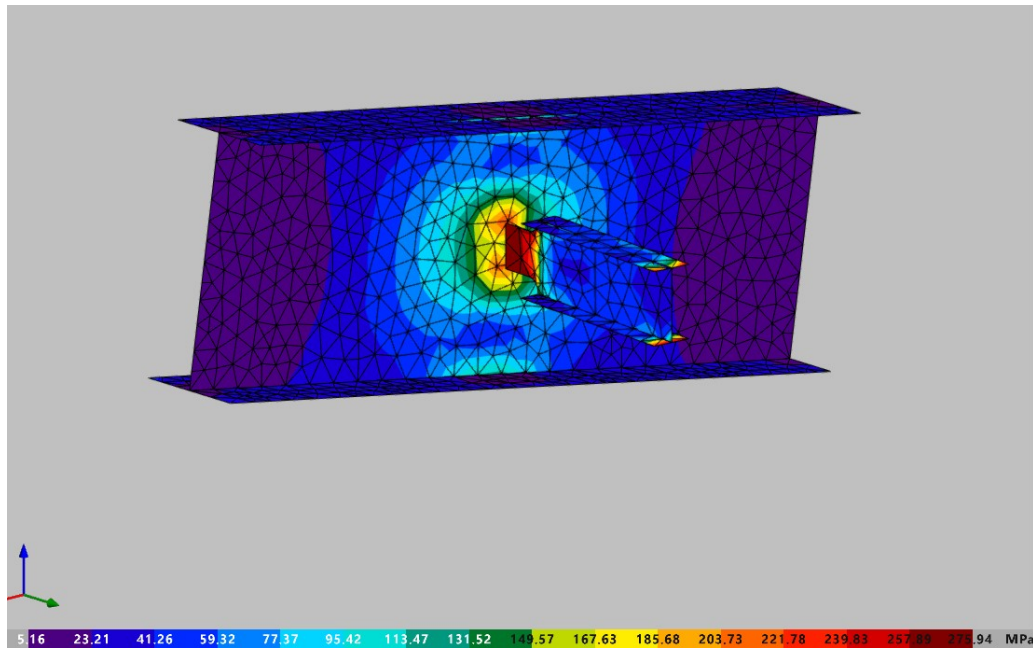


Figura 41: “Unión 1. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

8.3.2. Unión 2. Dinteles en Cumbreira

A continuación, trataremos la unión de los dinteles en la cumbreira. Si bien se trata de una única unión, existen 3 variantes diferentes según los perfiles intervinientes:

- Variante 1, con únicamente los dinteles.
- Variante 2, con los dinteles y las vigas auxiliares.
- Variante 3, con los dinteles, las vigas auxiliares y los pilares frontales.

8.3.2.1. Variante 1

Para este caso, la unión se realizará mediante la introducción de una placa. Esta tendrá dimensiones de 250 por 500 mm y estará girada 90 grados con respecto al eje x y al eje z asegurando así la orientación conforme a los perfiles. Hecho esto, podemos realizar dos ajustes de perfil (uno por dintel) a dicha placa con soldadura en alas y alma a tope en T de penetración parcial de 4 mm.

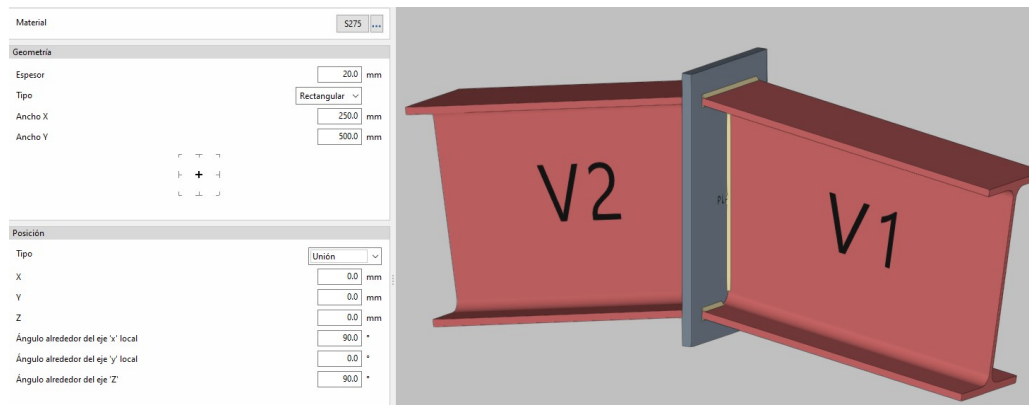


Figura 42: “Unión 2. Variante 1. Operación Placa. Ajuste de Dinteles a Placa. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Abordando el cálculo de la unión, obtenemos que la soldadura más solicitada está al 82,65 %.

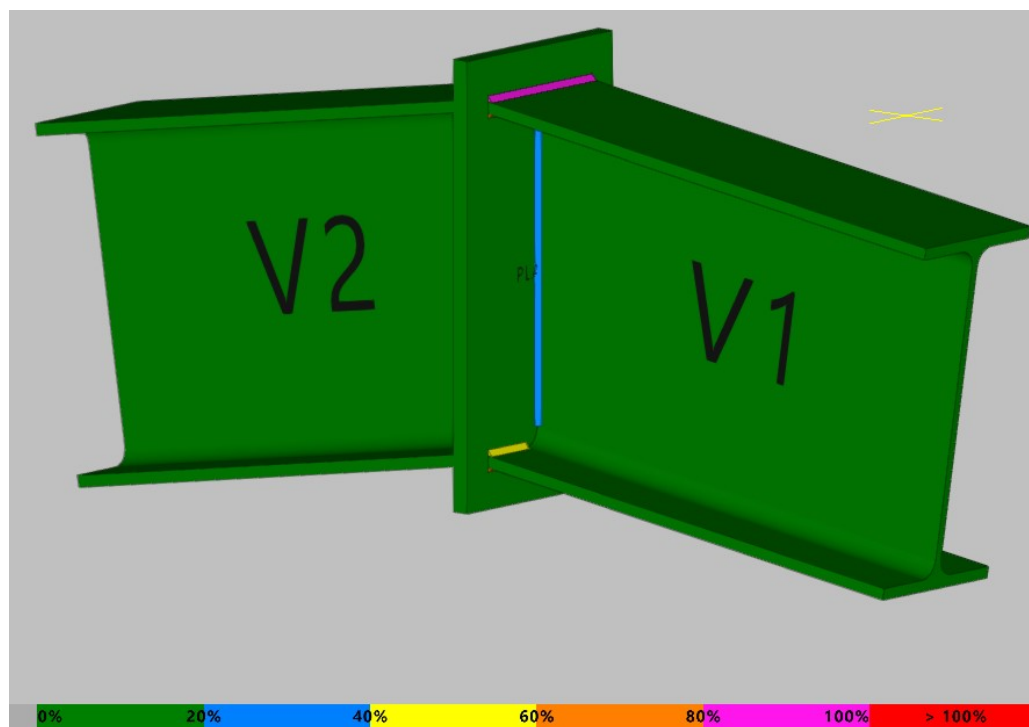


Figura 43: “Unión 2. Variante 1. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

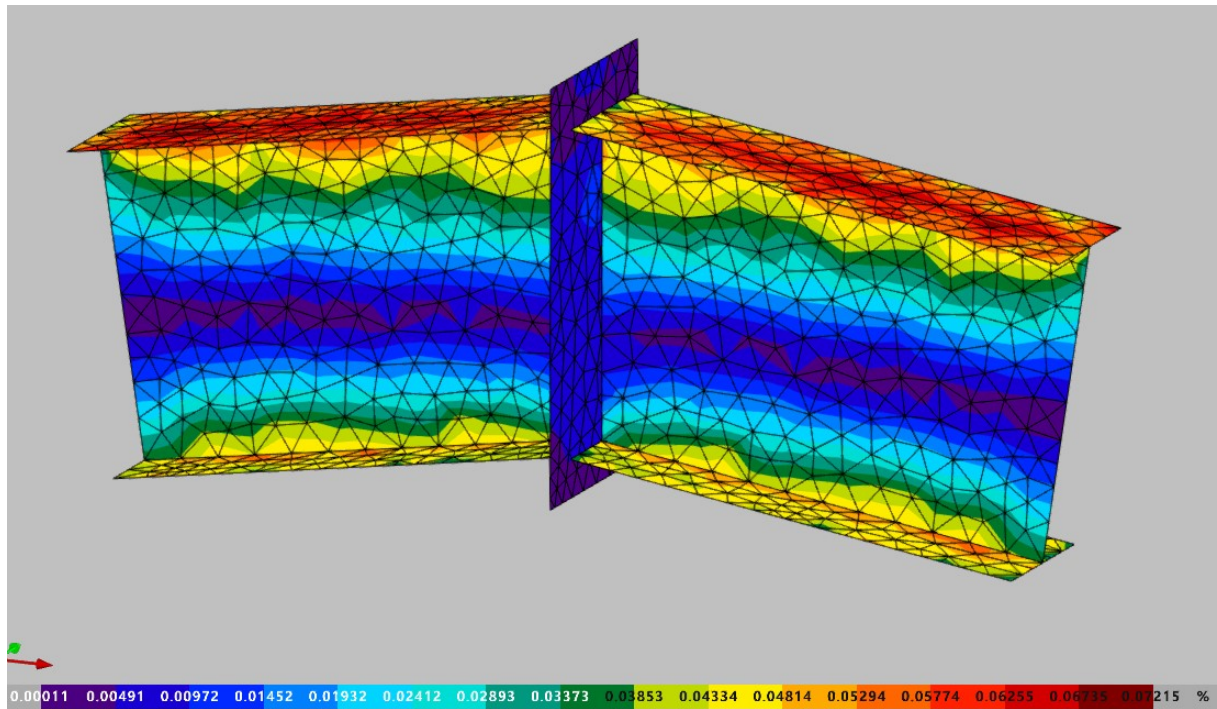


Figura 44: “Unión 2. Variante 1. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

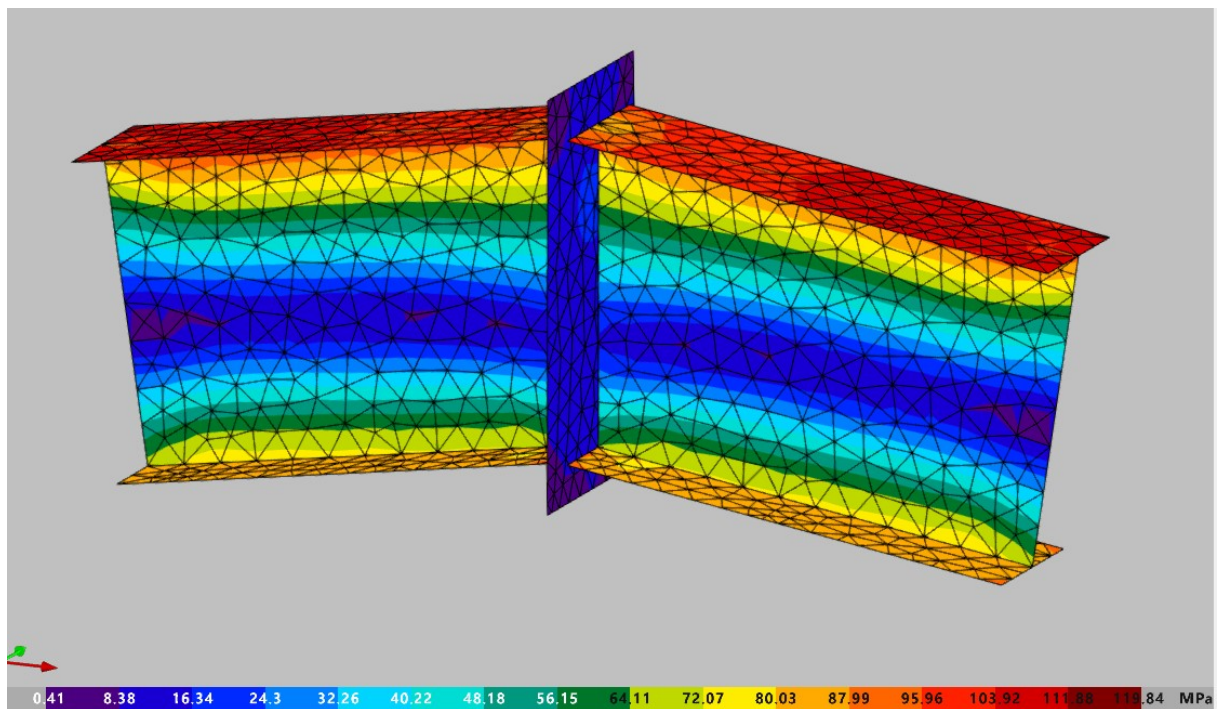


Figura 45: “Unión 2. Variante 1. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

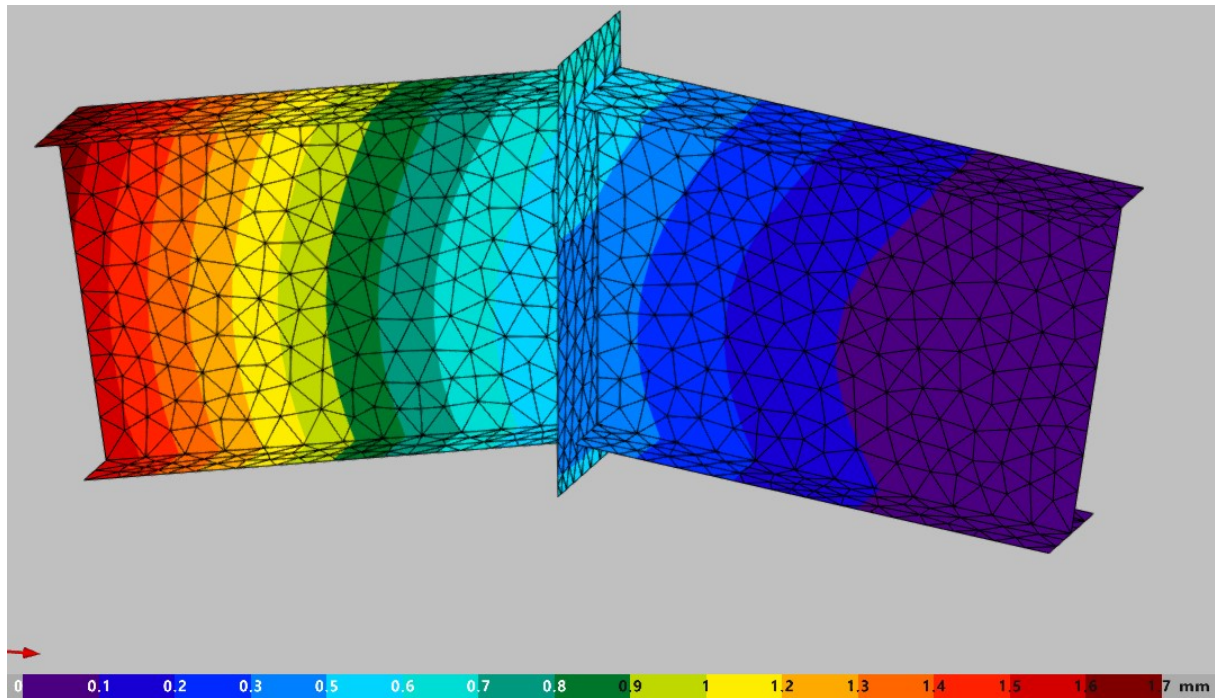


Figura 46: “Unión 2. Variante 1. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

En estas gráficas, vemos como las partes más solicitadas son las alas de los dinteles. Especialmente el ala superior, que en la zona de la cumbrera soporta las compresiones. La intensidad va disminuyendo a medida que nos acercamos a la fibra neutra de los perfiles.

En cuanto a los desplazamientos, la parte izquierda tiene un desplazamiento cercano a 1,5 mm. Esto se debe a que, según se mira la imagen, el lado izquierdo es el que contiene la entreplanta de la nave, quedando más solicitado que el lado derecho.

8.3.2.2. Variante 2

Si tratásemos de abordar esta variante igual que la anterior, tendríamos un problema con la viga auxiliar (Figura 47). La viga auxiliar choca con la placa y no existe manera de solucionar la unión así.

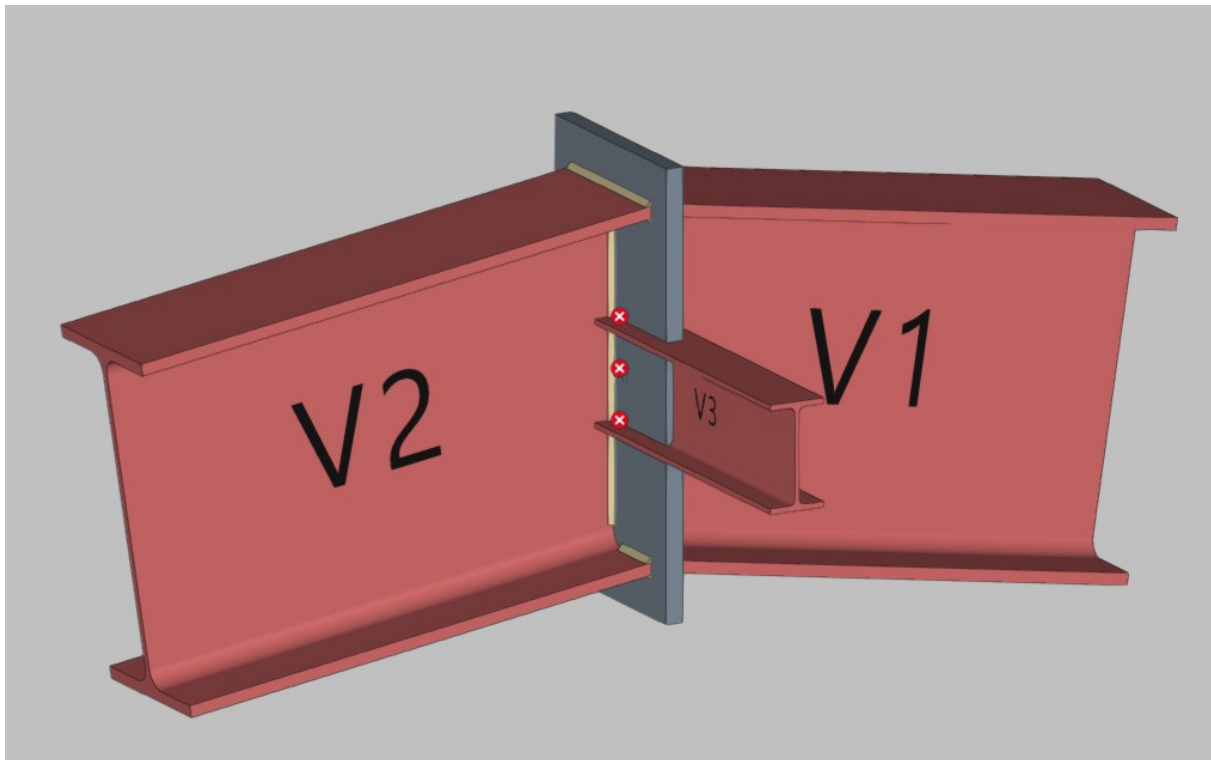


Figura 47: “Unión 2. Variante 2. Choque viga auxiliar con placa. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

La solución radica en conseguir desplazar el perfil V3 hacia un lado, para poder soldarlo al alma de uno de los dinteles. Sin embargo, desplazar un perfil no es una de las operaciones que permita implementar el programa. Tras contactar con el soporte de CYPE, en respuesta a mi correo explicando la situación, obtuve que el perfil V3 se puede desplazar en CYPE Connect (Editar Unión) pero se pierden los esfuerzos en la unión. Me sugirieron realizar este desplazamiento desde CYPE 3D.

Dando un desplazamiento de 120 mm al origen del perfil (Figura 48), calculando y tras el proceso de subida y bajada de la plataforma BIM, CYPE Connect genera dos uniones diferentes (Figura 49): la variante 1 de esta misma unión y la unión de la viga auxiliar que es exactamente igual a la Unión 1 (8.3.1).

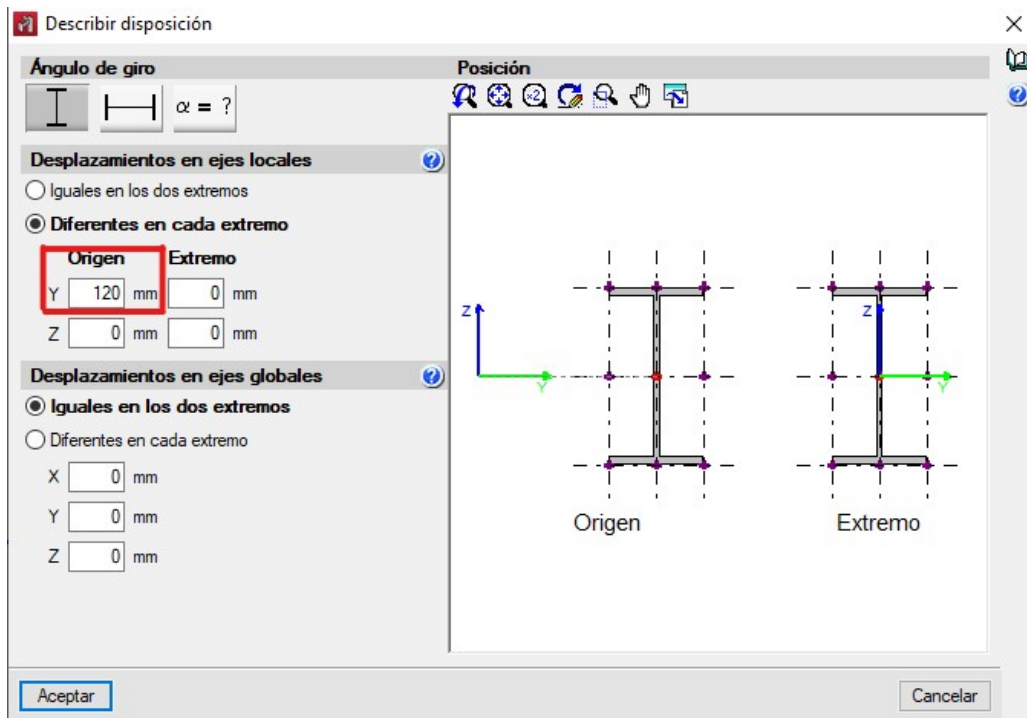


Figura 48: “Unión 2. Variante 2.Desplazamiento viga auxiliar. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

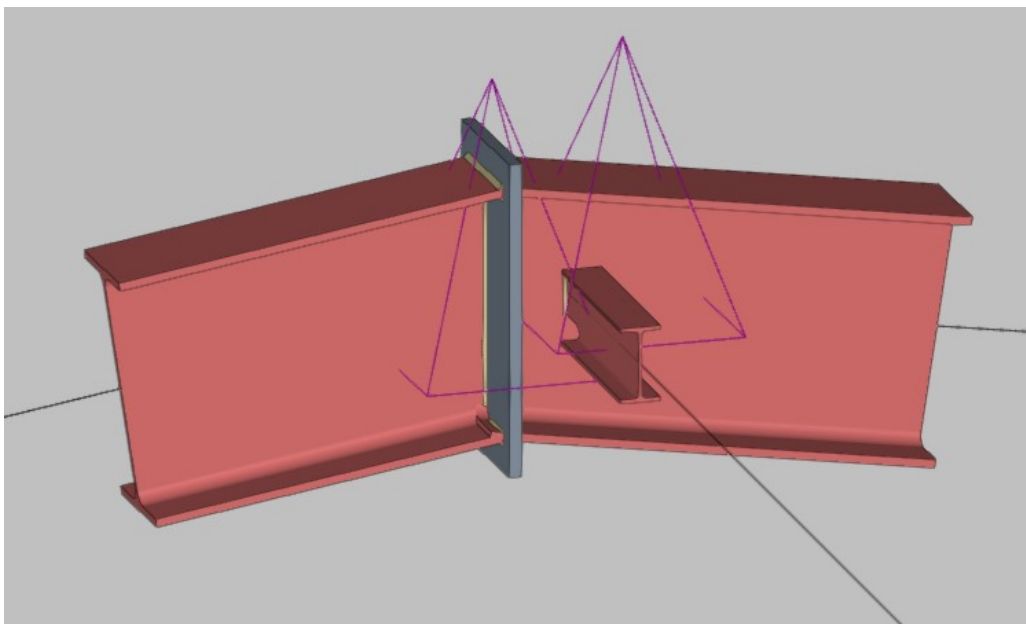


Figura 49: “Unión 2. Variante 2. Las dos uniones. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Por tratarse de dos uniones distintas, hay que calcularlas por separado y el resultado de esto ya ha sido expuesto anteriormente. Hubiese sido interesante poder mostrar imágenes de las tensiones y deformaciones de ambas uniones conjuntamente, como se muestra en

la figura 49, sobre una misma malla. Desafortunadamente, esto no es una opción posible a día de hoy. Es probable que sea introducido en versiones posteriores del programa.

8.3.2.3. Variante 3

Esta última variante, en vez de tener que añadir una placa para soldar, podemos aprovecharnos del alma del pilar frontal. Así, las operaciones necesarias son: definir un plano de referencia y realizar cuatro ajustes de perfil.

Un plano de referencia situado 400 mm por encima del ajuste a eje que hace el programa, para asegurar que la cabeza del pilar queda por encima de los dinteles a soldar. Seguidamente un ajuste de dicho pilar a ese plano de referencia. Y, por último, tres ajustes, uno por cada una de las barras presentes, con soldadura de las almas. Los dinteles se sueldan en las almas porque al llegar a su vez al alma del pilar, solo pueden apoyarse en él. Se obtiene un aprovechamiento de las soldaduras de un 42 %.

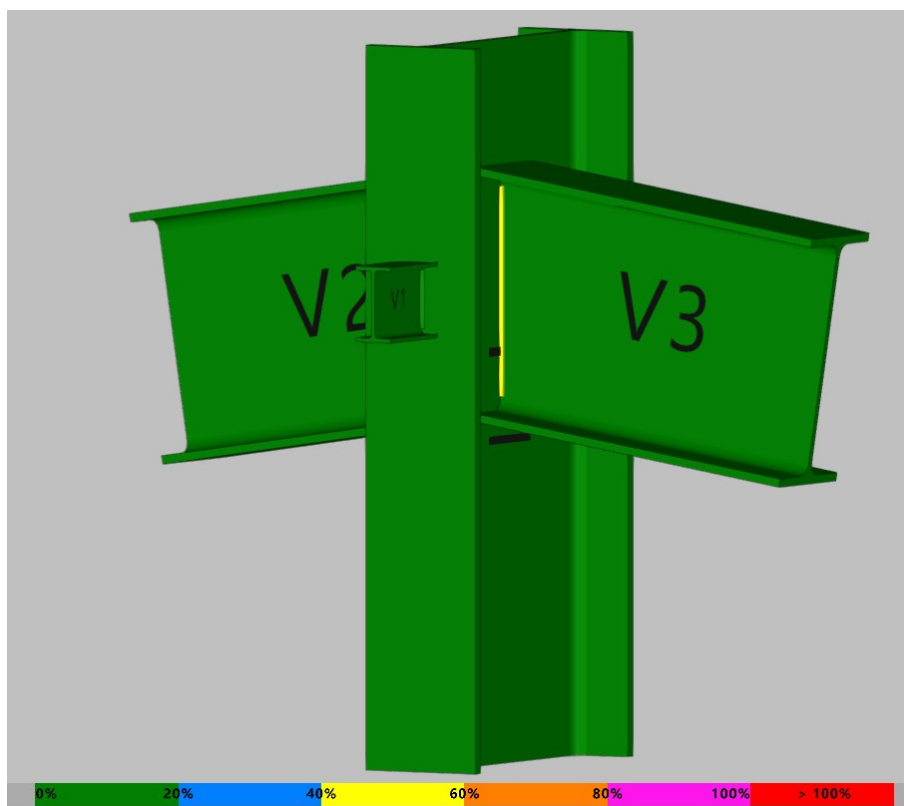


Figura 50: “Unión 2. Variante 3. Coeficiente de aprovechamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

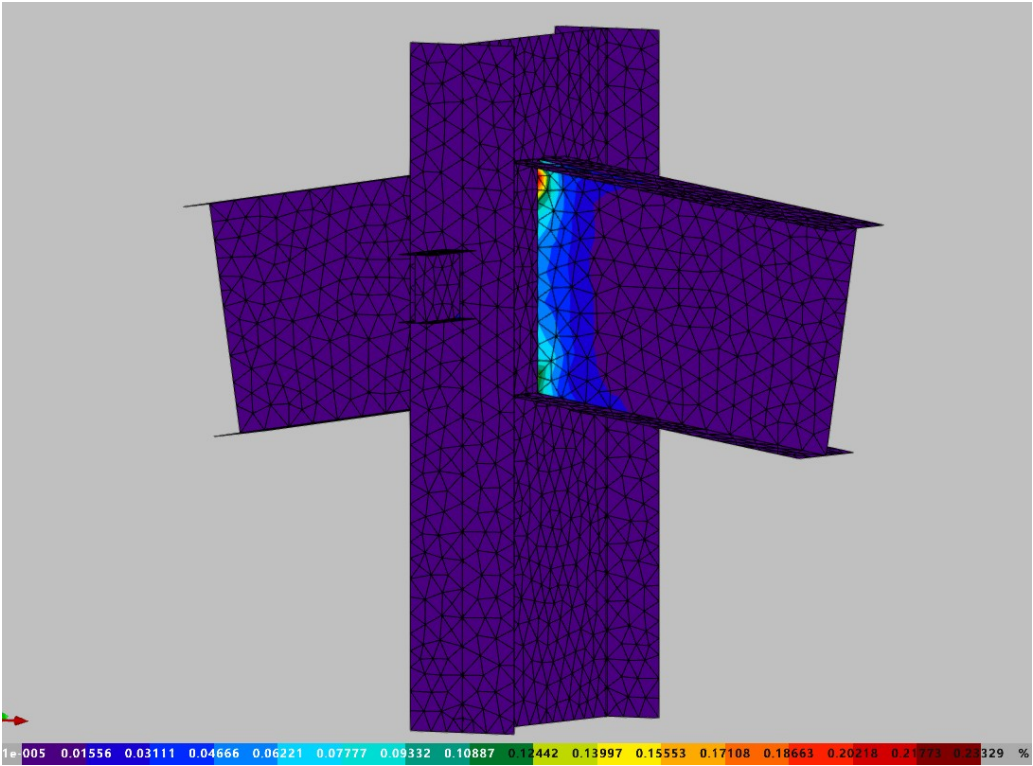


Figura 51: “Unión 2. Variante 3. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

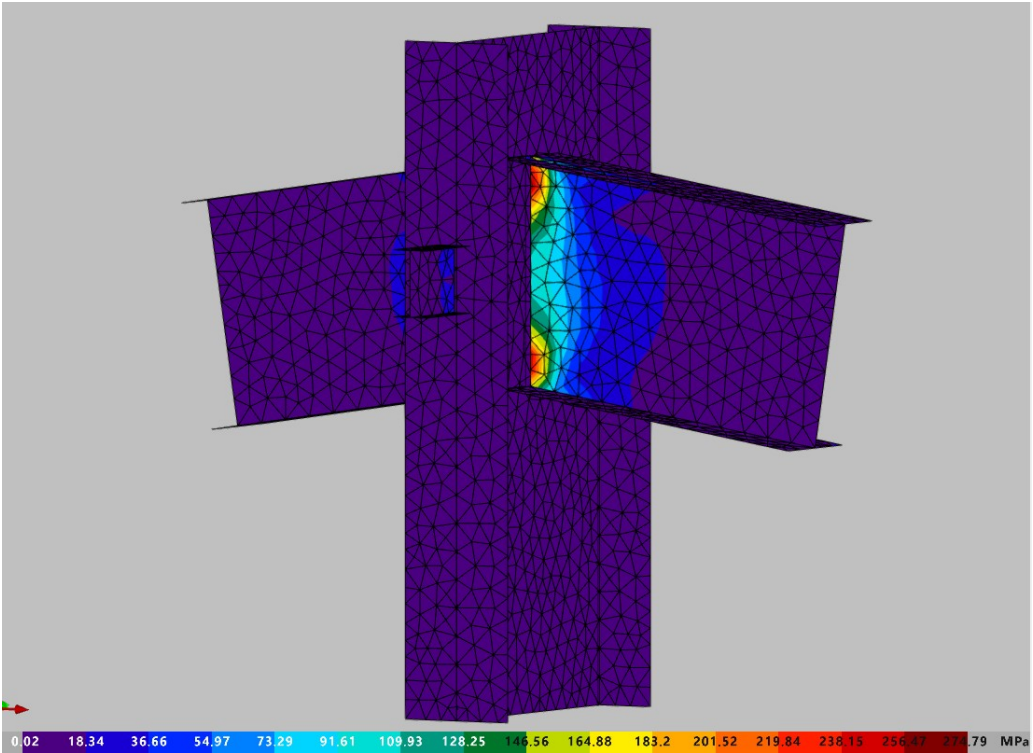


Figura 52: “Unión 2. Variante 3. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

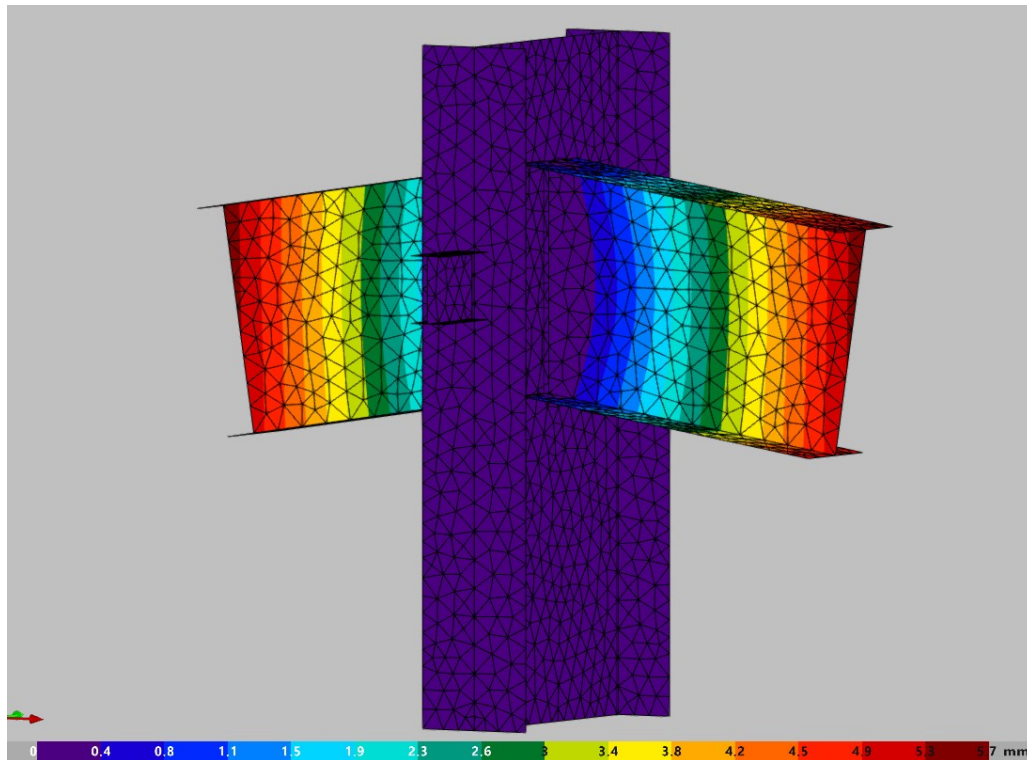


Figura 53: “Unión 2. Variante 3. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

No hay que llevarse a engaño por ver menor difusión de colores en esta unión con respecto a la variante 1. De hecho, mirando en la escala de las tensiones de Von Mises, el color rojo intenso en esta unión corresponde con 270 MPa mayor que los 110 MPa de la variante anterior. La ausencia de color se debe a que el programa tiene que cubrir un rango de tensiones mayor.

En cualquier caso, estos valores pico se producen en la parte superior e inferior de la soldadura quedando el pilar prácticamente inalterado.

8.3.3. Unión 3. Pilar Frontal, Dintel y Viga Auxiliar

En esta unión, no se va a discutir las operaciones que se han llevado a cabo, ni se van a presentar las imágenes de coeficientes de aprovechamiento, tensiones y deformaciones que venimos mostrando hasta ahora porque, de ser así, el lector no encontraría diferencia entre esta y la unión anterior. Sin embargo, es interesante explicar una medida que ha tenido que ser tomada y que volverá a aparecer más adelante.

Cuando generamos la nave y la exportamos a CYPE 3D, pilares y dinteles son generados mediante barras continuas, de nudo a nudo. Y, aunque se definan otras barras que se

apoyen en ellos, nunca dejan de ser barras continuas. En CYPE Connect, esto se ve claramente (Figura 54). Es decir, elevando el pilar mediante el ajuste a un plano de referencia, el programa no genera el corte del dintel y no podemos realizar el ajuste. Por el contrario, da tres avisos de choque con dicho pilar.

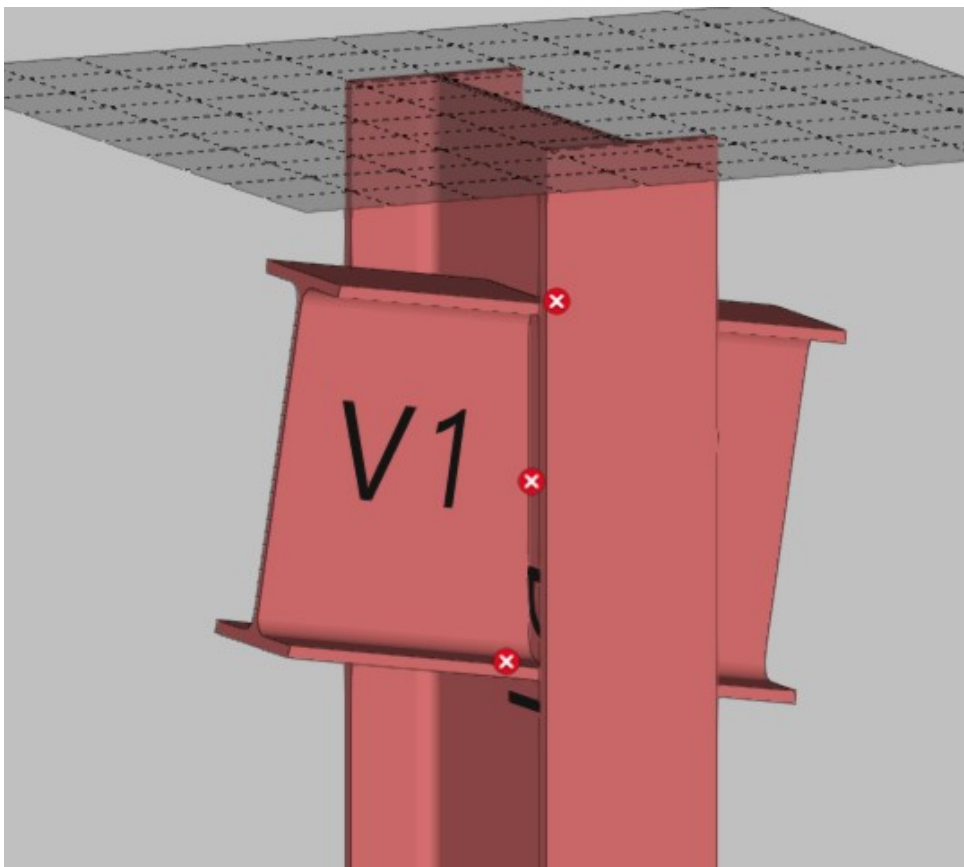


Figura 54: “Continuidad del Dintel. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

La solución a esta problemática es sencilla. Consiste en regresar a la nave en CYPE 3D y en el menú de barra seleccionar la opción de crear pieza. Con esto, el dintel deja de ser continuo y es con ese corte con el que se puede realizar el ajuste a ambas caras del alma del pilar.

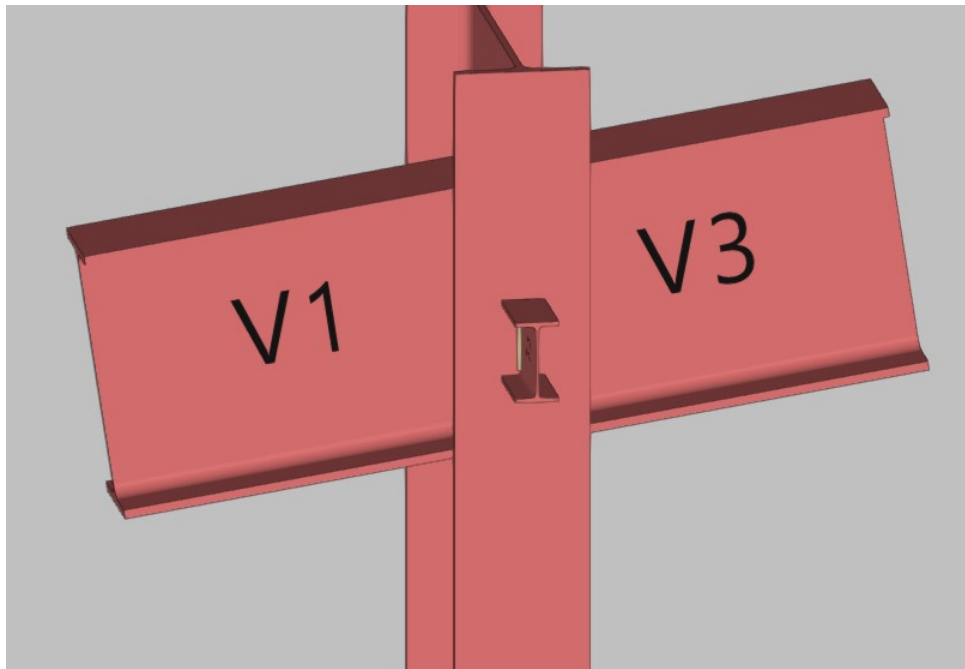


Figura 55: “Corte en el dintel. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

8.3.4. Unión 4. Pilar Lateral, Dintel con Cartela y Viga Auxiliar

Esta es a mi juicio la unión más interesante por diferentes razones. En su diseño, engloba todas las operaciones que han sido expuestas hasta ahora e incluye una nueva, la operación de introducir rigidizadores. Se introducen estos rigidizadores porque la unión es rígida, la única presente en la nave excluyendo la cimentación.

Aunque ha sido comentado anteriormente, vuelvo a resaltar que en versiones menos recientes del programa no se incluían las cartelas. Ha sido con las últimas actualizaciones (2024) cuando han sido introducidas permitiendo un cálculo fiel con respecto al modelo 3D.

Así pues, el diseño contiene operaciones que ya han sido explicadas. En primer lugar se define un plano de referencia a 400 mm por encima del pilar para poder ajustar uno a otro. Los perfiles V2 y V3 son ajustados al alma del pilar como ya se ha mostrado anteriormente. Seguidamente, se ajusta el dintel al ala del pilar con soldaduras en alas y almas.

En la operación rigidizadores, que para este caso necesitamos dos, hay que seleccionar que el rigidizador se soldará al pilar y será de material S275. Las dimensiones de este son

ajustadas por el programa conforme a las dimensiones de la barra, pudiendo ser variadas. En cuanto a la posición, se selecciona que el rigidizador este en la dirección del dintel, dando continuidad a este dentro del pilar y sólo en el ala superior. Se selecciona solo en el ala superior porque seleccionando ambas alas, la inferior no aparece en la zona inferior de la cartela, que es donde nos interesa, sino en el ala inferior del dintel. Por eso, se define una nueva operación pero que coloque el rigidizador localmente. De esta forma, dando un desplazamiento de 560 mm, se consigue colocar el rigidizador en la parte inferior de la cartela. El resultado se muestra en la siguiente figura.

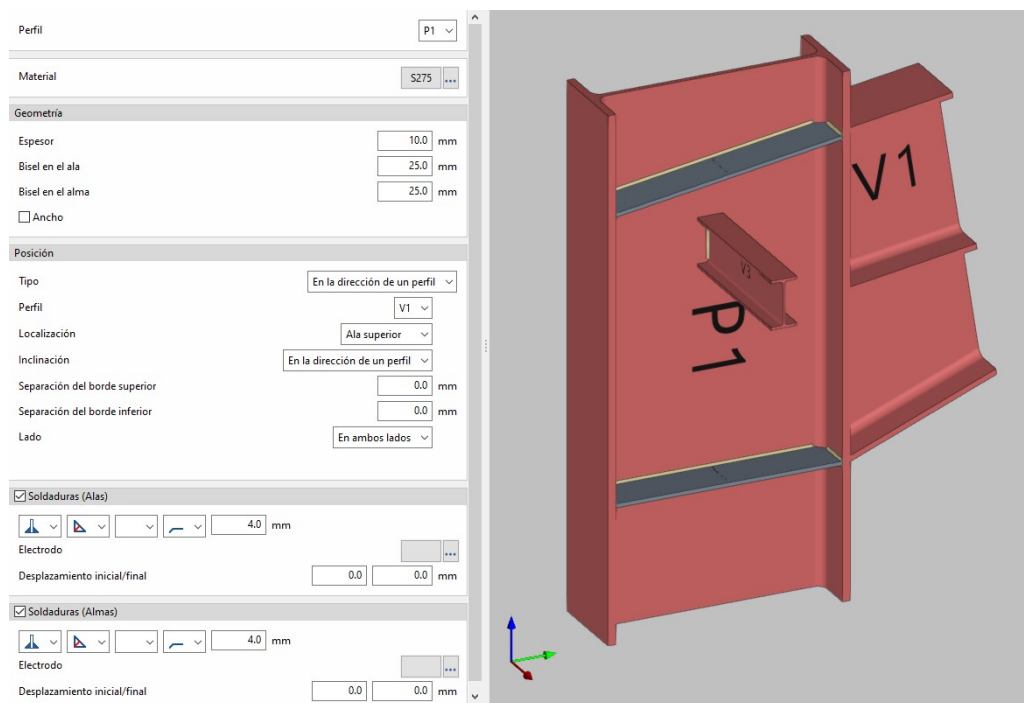


Figura 56: “Unión 4. Rigidizadores. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Todas las soldaduras en perfiles y rigidizadores serán a tope en T con penetración parcial de 4 mm. Tras un primer cálculo se obtiene que las soldaduras de las alas del dintel están aprovechadas al 155.63% (Figura 57). Por ello, se vuelve al modelo y se selecciona que estas soldaduras se realicen con penetración completa. Con esto, conseguimos que se consuma por completo la totalidad de las superficies de contacto que se unen entre sí y la soldadura pasa a estar aprovechada al 60,57% cumpliendo con las comprobaciones (Figura 58).

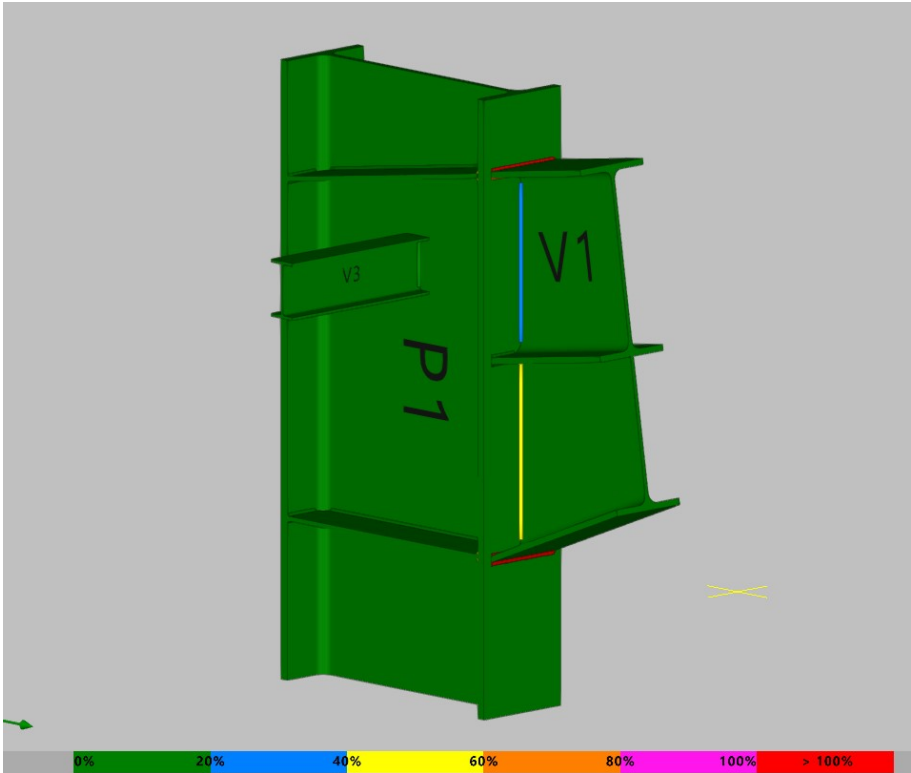


Figura 57: “Unión 4. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

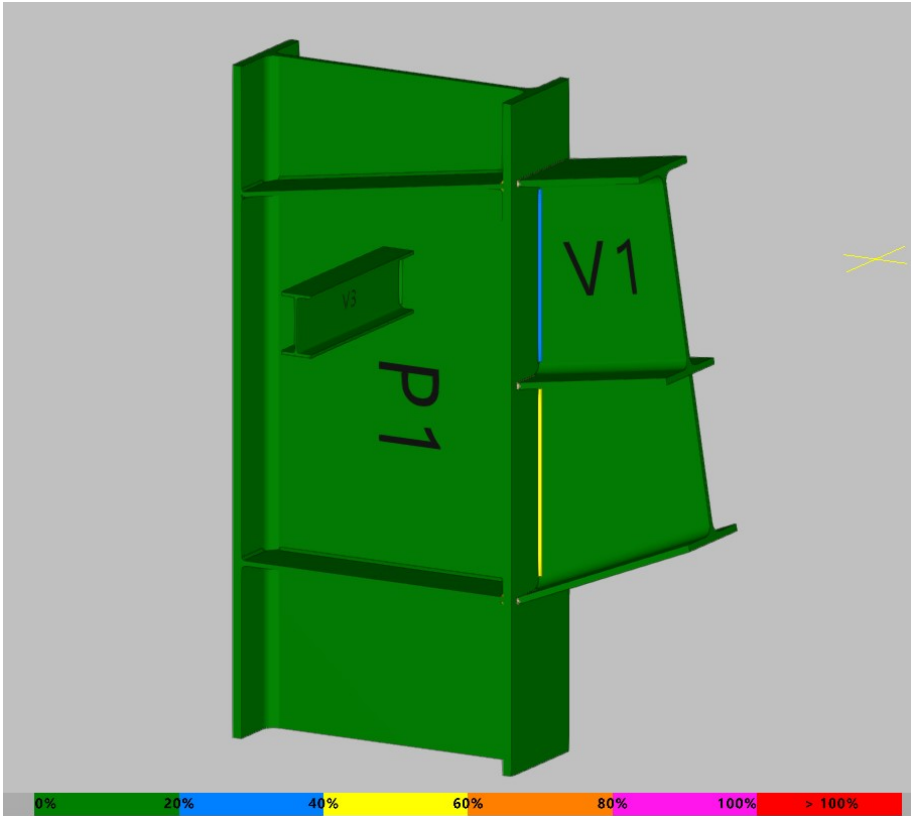


Figura 58: “Unión 4. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

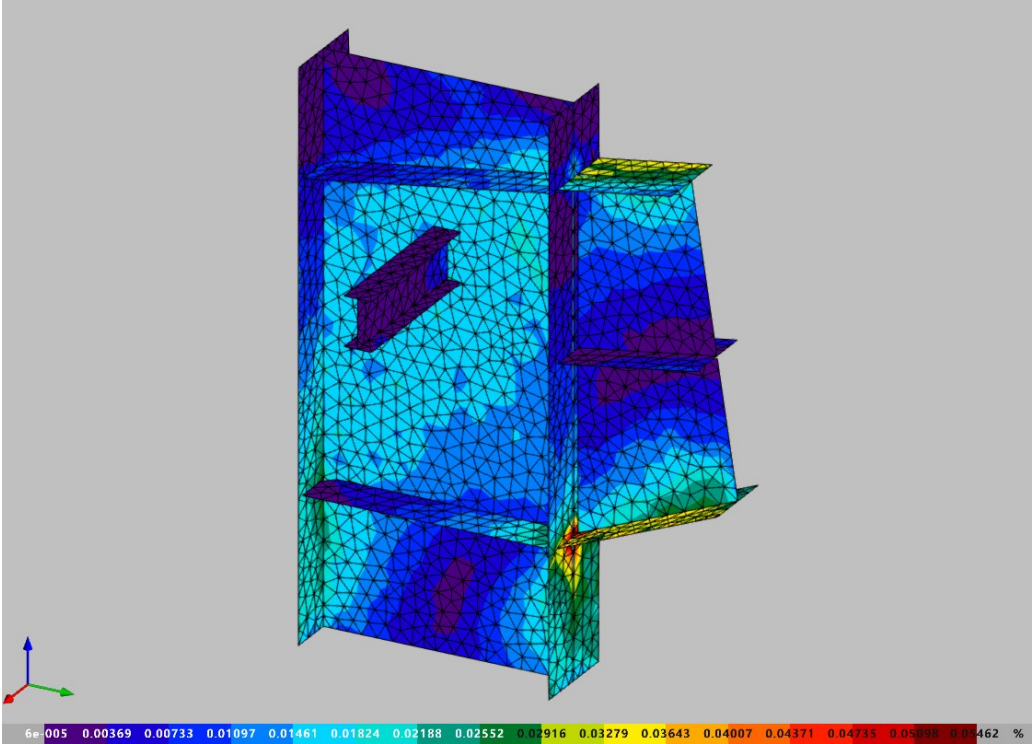


Figura 59: “Unión 4. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

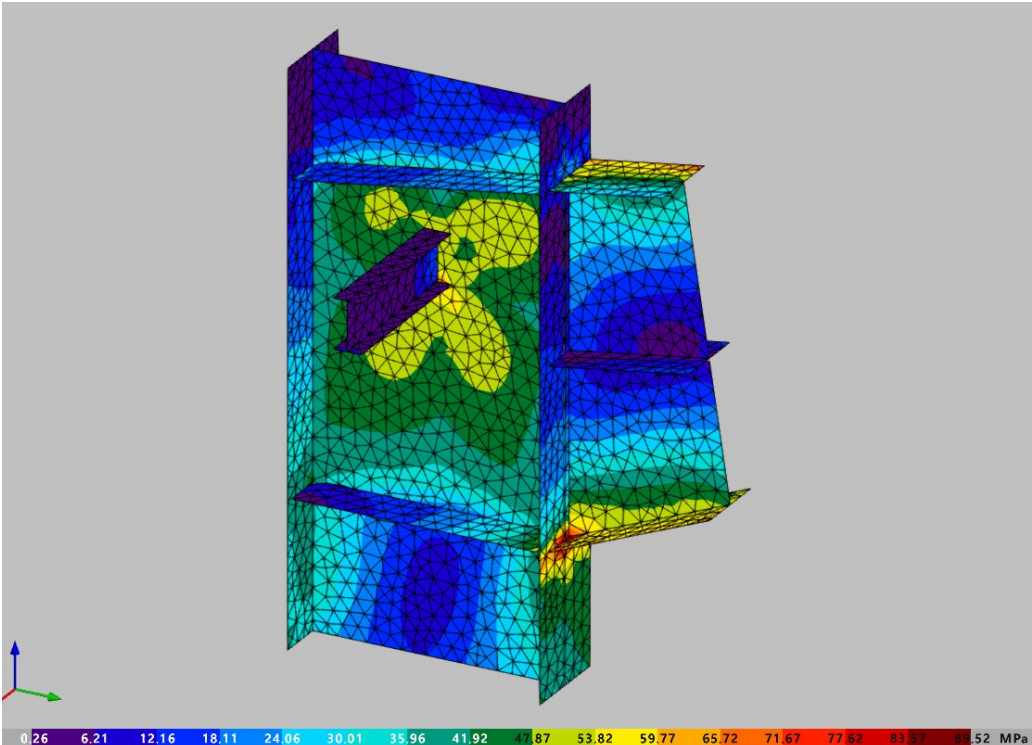


Figura 60: “Unión 4. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

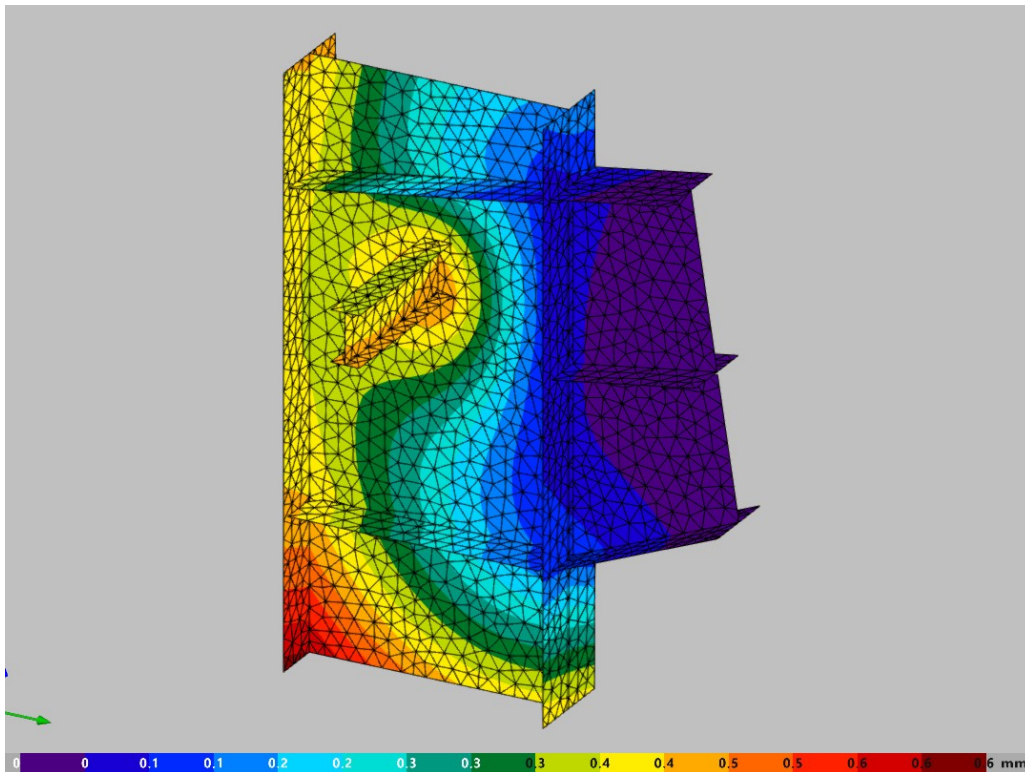


Figura 61: “Unión 4. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Es interesante ver en la imagen 59 cómo en color celeste se va dibujando una región que une la parte superior derecha con la inferior izquierda. Es decir, las deformaciones parecen dibujar una región de continuidad en la que el dintel va descargando sus esfuerzos sobre el pilar.

De la mano con lo anterior, el ala exterior del pilar se lleva los máximos desplazamientos fruto de las tracciones producidas por el máximo momento flector que sufre el pilar.

8.3.5. Uniones Entreplanta

Las uniones de la entreplanta con el resto de la estructura son dos, pero son esencialmente iguales entre sí y comparten las mismas operaciones. Únicamente, la unión 5 se apoya en los pilares laterales mientras que la unión 6 se apoya en los pilarillos. Por lo que sólo será explicada una de ellas.

8.3.5.1. Unión 5. Pilares laterales con perfiles de entreplanta

Para diseñar esta unión, se realizan tres ajustes al pilar, uno por cada barra, con soldaduras a tope con penetración parcial de 4 mm en las almas. Tras un primer cálculo (Figura 62), ninguna de estas soldaduras cumple. Por esto, y como ya hemos hecho en la unión anterior, se cambian a penetración total (Figura 63).

Es interesante destacar que cuando las soldaduras se realizan a tope, realizado el cálculo, el programa ofrece el aprovechamiento de estas (223,67 %). Sin embargo, en esta unión que se ha usado penetración completa, no ofrece dicha información sino que se limita al aprovechamiento de los perfiles (del 25,87 % en este caso). Seguramente sea porque asuma la penetración completa como la continuidad absoluta del perfil con el pilar que lo soporta.

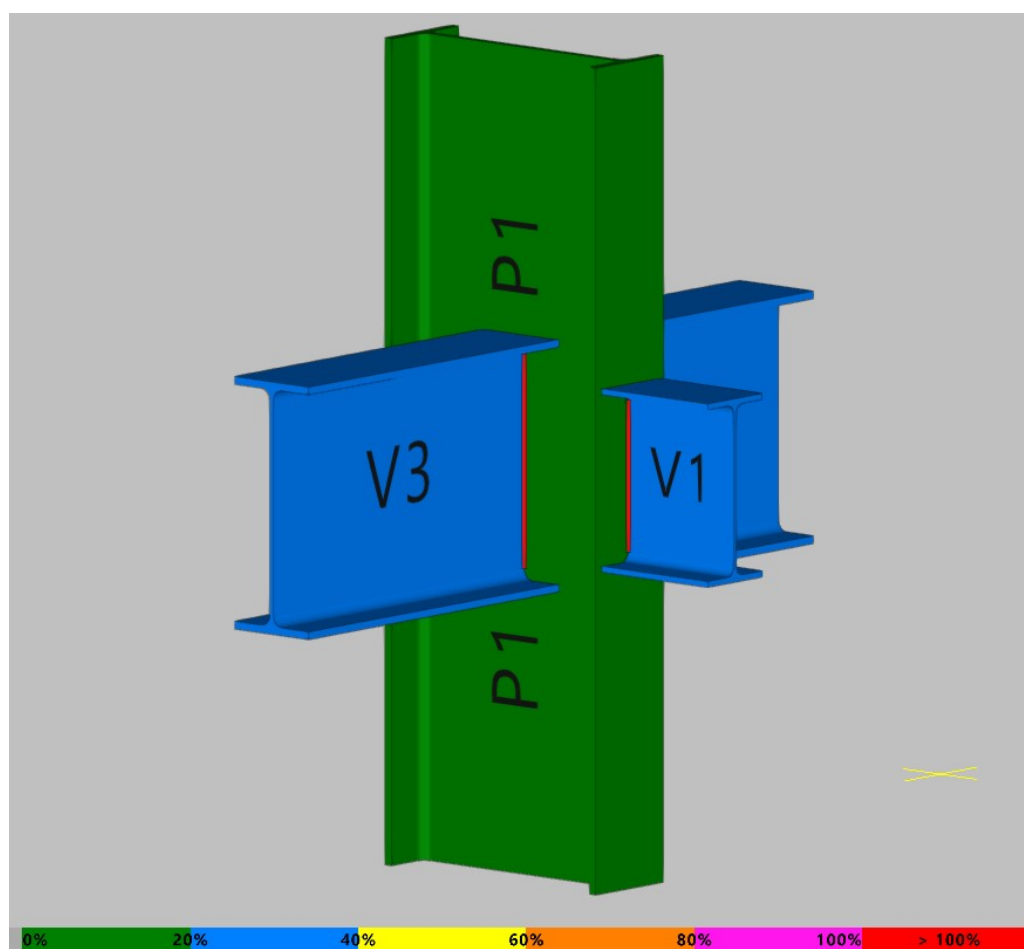


Figura 62: “Unión 5. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

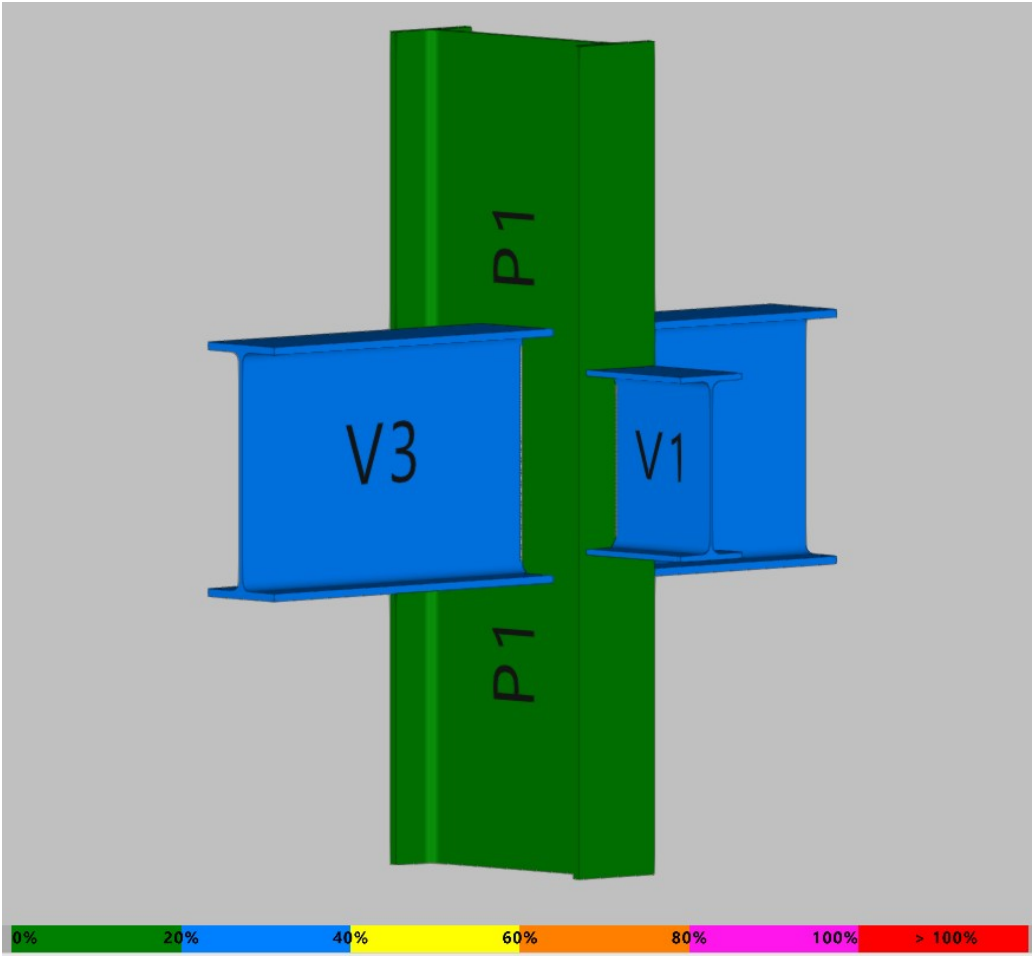


Figura 63: “Unión 5. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

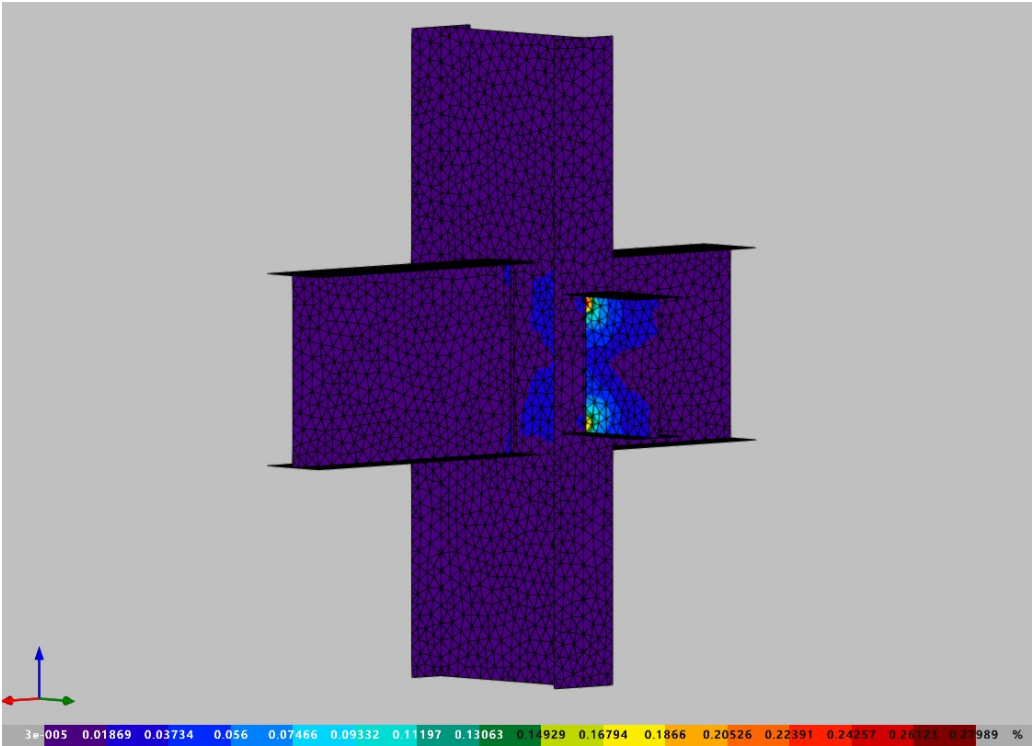


Figura 64: “Unión 5. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

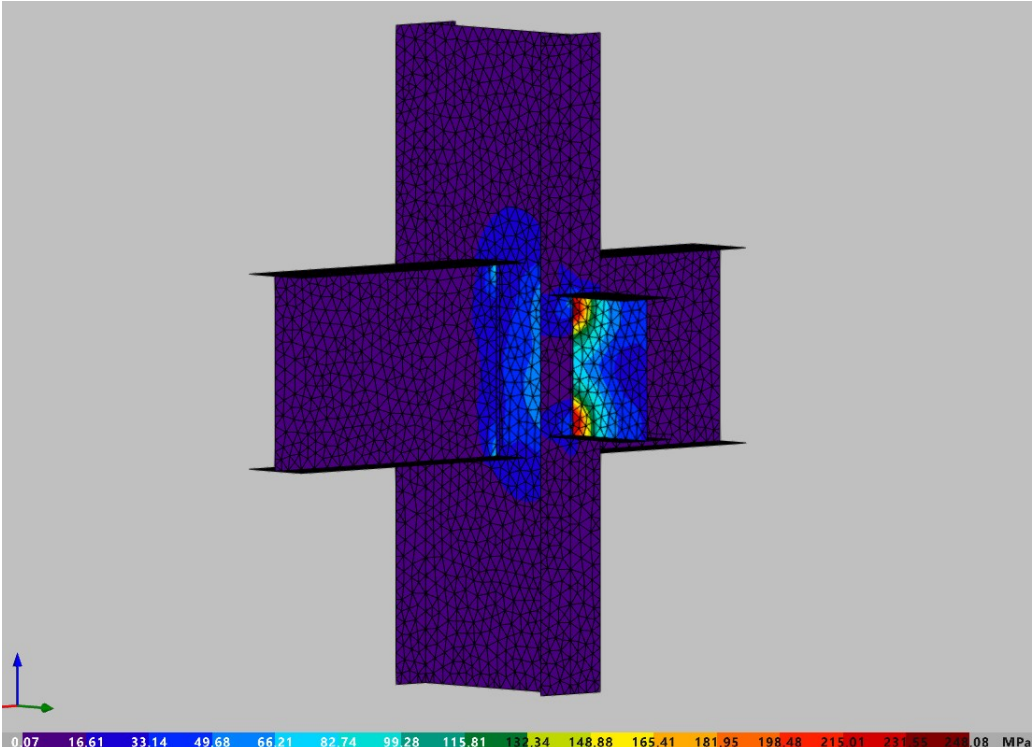


Figura 65: “Unión 5. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

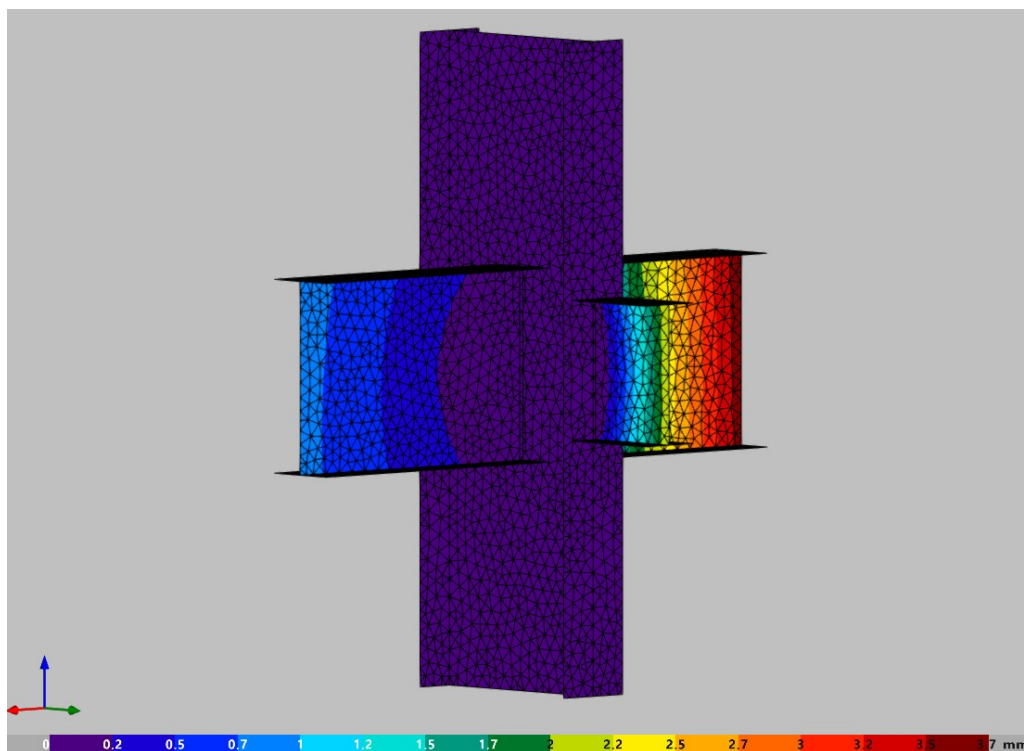


Figura 66: “Unión 5. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Estas imágenes tienen mucha similitud con las ya expuestas en la Unión 2 en su variante 3. Sirven por tanto los mismos comentarios que para ellas hicimos.

En cuanto a la gráfica de desplazamientos, hay diferentes valores para las vigas dependiendo del pilar que analicemos en relación con la situación de la entreplanta. Previsiblemente este comportamiento se vería mitigado si analizásemos uno de los pilares centrales.

8.3.5.2. Unión 6. Pilarillos con perfiles de entreplanta

Inicialmente, la idea para esta unión, viendo su similitud con la anterior y a su vez con la Unión 3, fue apoyar la viga 2 de la imagen 26 en los pilarillos. Hacerlo mediante una placa, soldada a solape con los pilares y unir las vigas de forjado al alma de esta viga 2.

Sin embargo, tras intentarlo, no había posibilidad de hacer cumplir la unión.

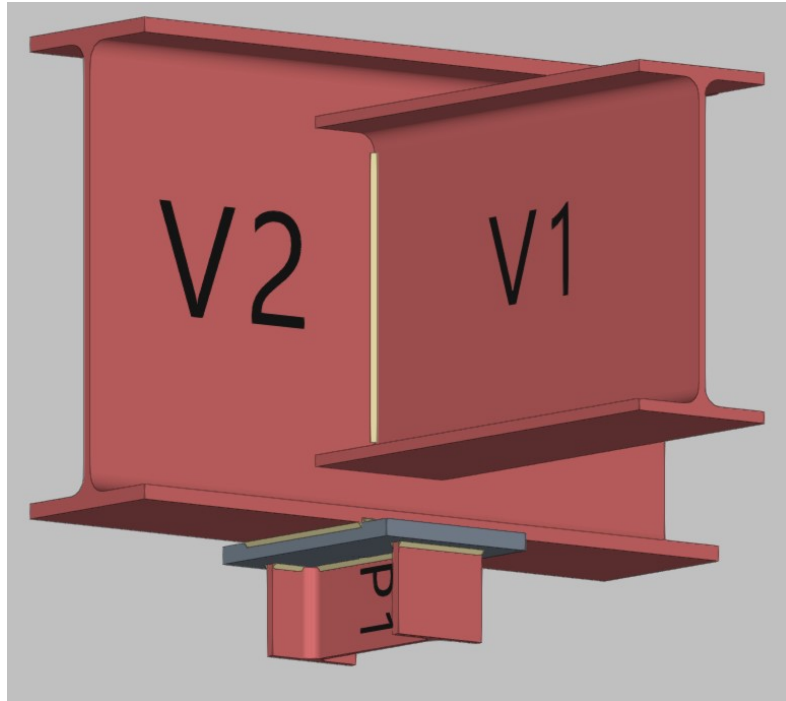


Figura 67: “Unión 6. Intento de apoyo de viga en pilar. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

Por tanto, hacemos igual que hicimos en la unión 3, volver a reproducir el corte de perfil para poder ajustar las barras al pilarillo. Haciendo esto, a excepción de la soldadura de la barra V1 que sí entra, hay que repetir la soldadura por penetración completa para las otras barras. La soldadura está al 75,95 % y los perfiles al 12,13 %.

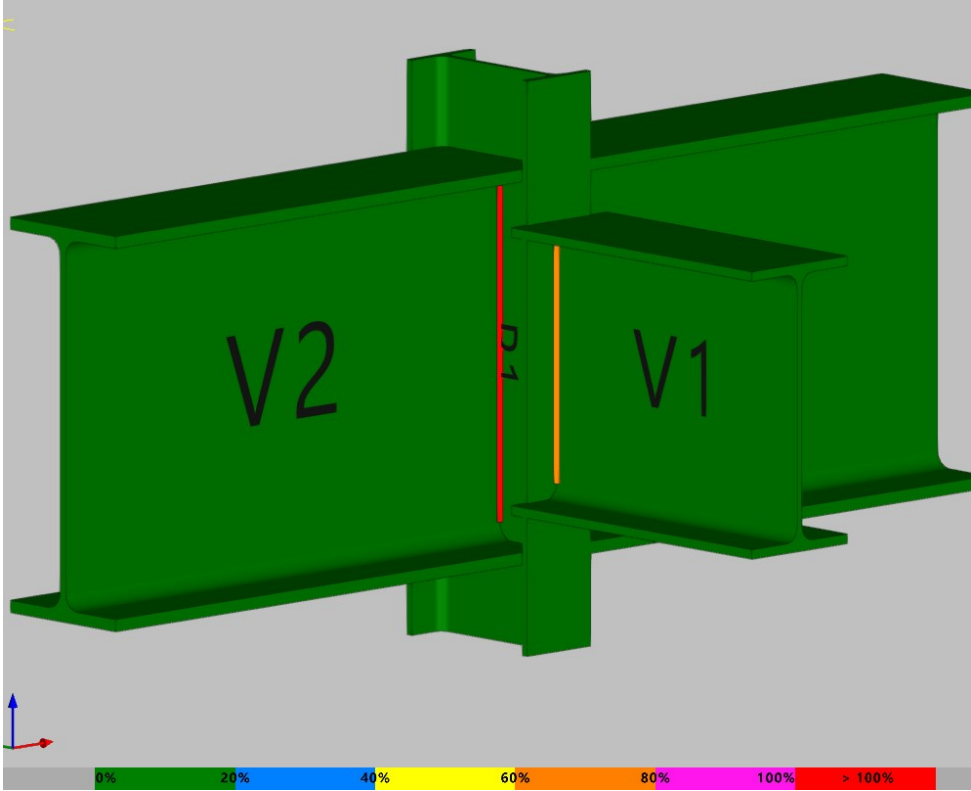


Figura 68: “Unión 6. Coeficiente de aprovechamiento 1. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

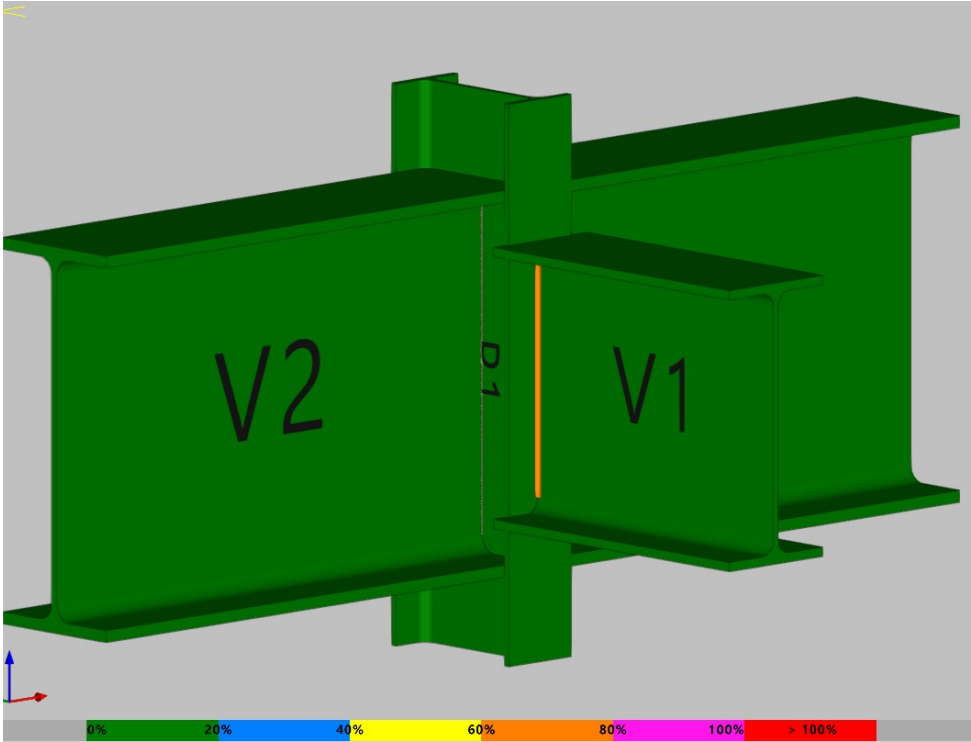


Figura 69: “Unión 6. Coeficiente de aprovechamiento 2. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

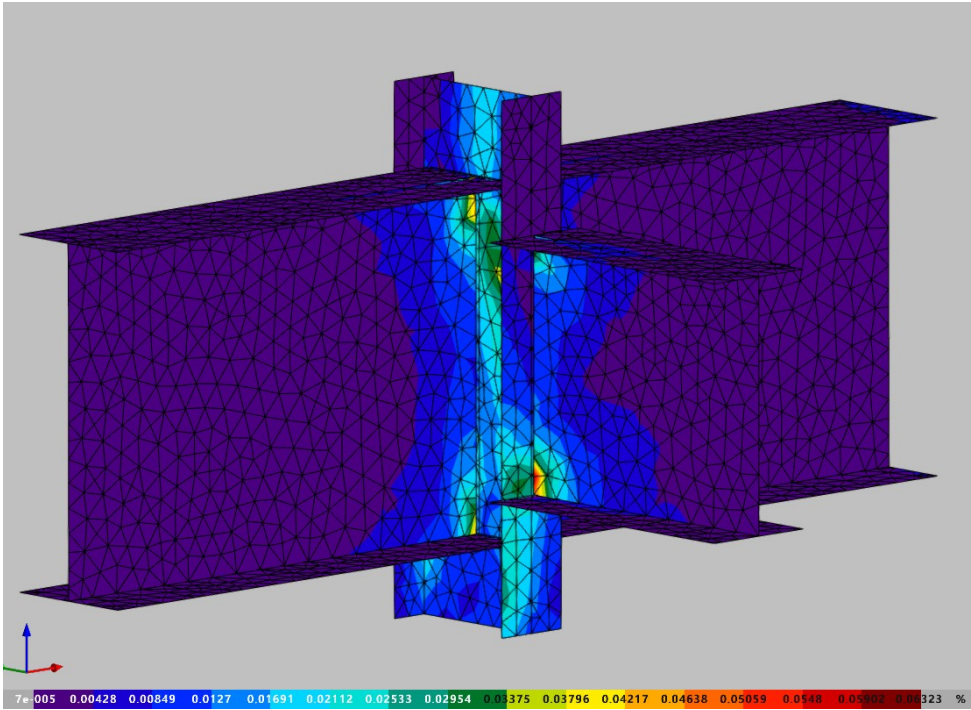


Figura 70: “Unión 6. Deformación de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

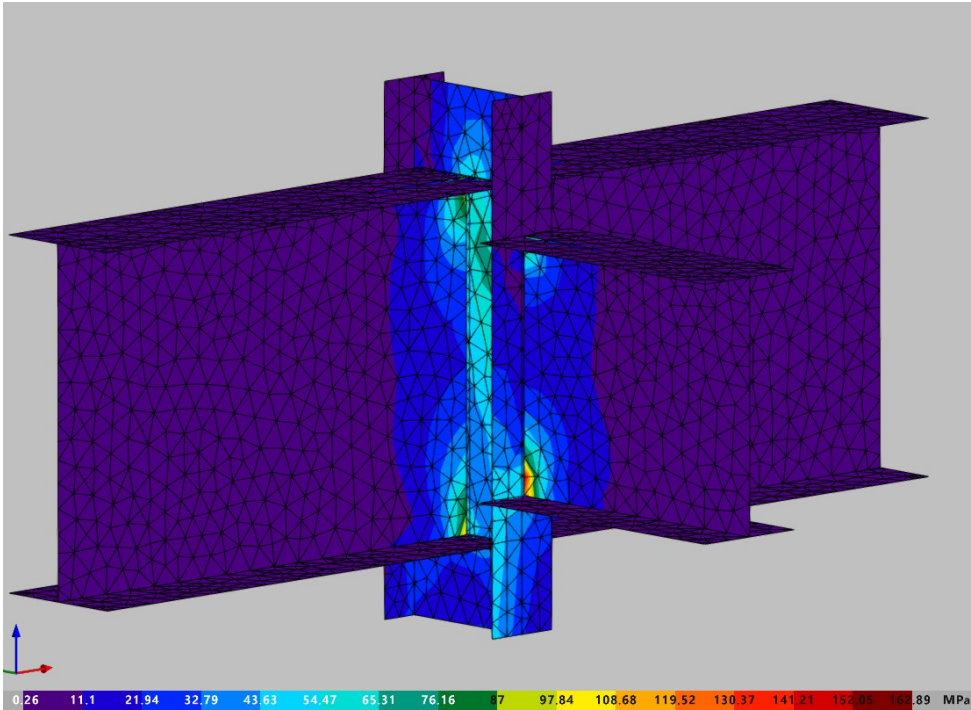


Figura 71: “Unión 6. Tensión de Von Misses. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

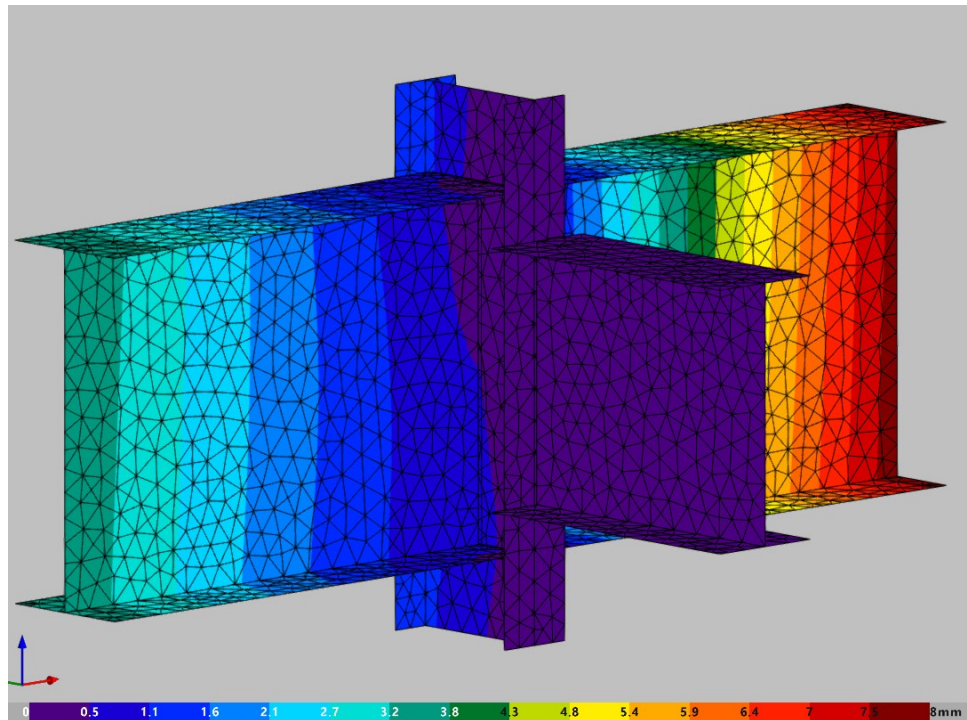


Figura 72: “Unión 6. Desplazamiento. CYPE Connect. Fuente: Propia.”

8.3.6. Cimentación

La cimentación, a diferencia de las uniones anteriores, serán dimensionada mediante CYPE 3D. Estarán compuestas de zapatas rectangulares de hormigón unidas entre sí mediante vigas de atado.

Como hicimos anteriormente, se agruparán las zapatas de los pilares laterales, las de los pilares frontales y las de los pilares de la entreplanta; resultando tres uniones diferentes.

Así, como ejemplo, la unión de los pilares laterales se realiza mediante soldadura de alas y almas a una placa base de 80x40x3 cm unida al hormigón mediante cuatro pernos de 25 mm de diámetro y longitud 45 cm.

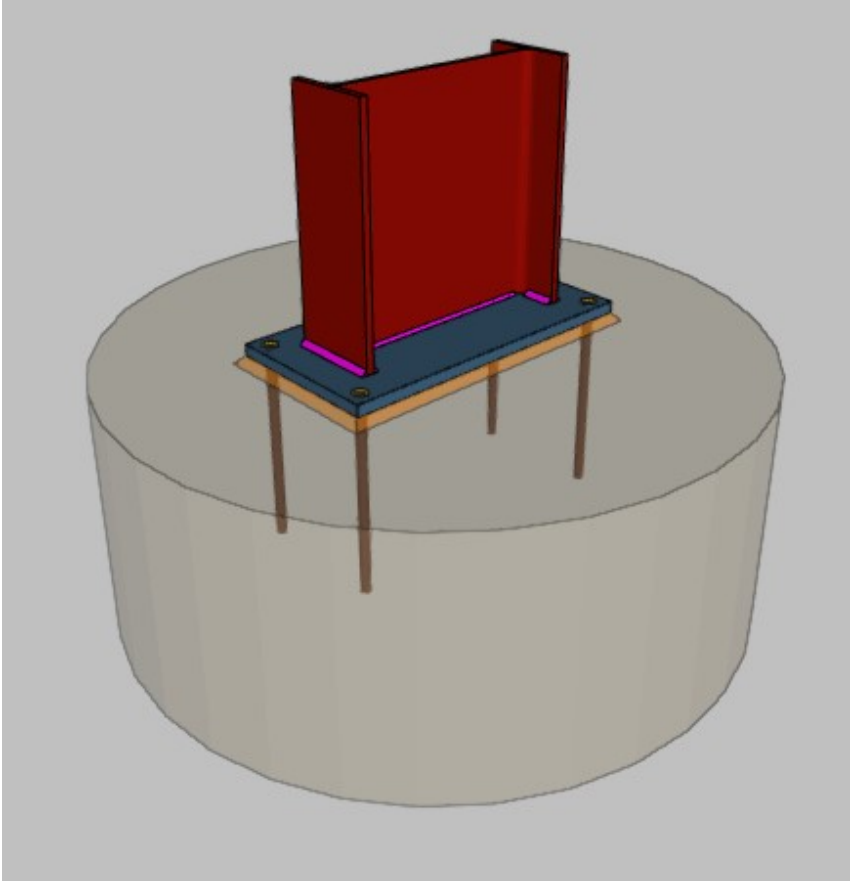


Figura 73: “Detalle de cimentación.. CYPE 3D. Fuente: Propia.”

9. Consideraciones finales

Finalizado el presente proyecto, el autor manifiesta que han sido cumplidos los siguientes objetivos:

- Sentar claramente el propósito y las bases de un proyecto técnico.
- Plasmar los conocimientos adquiridos en las asignaturas de la rama de *Estructuras y Materiales* mediante el manejo de software de cálculo CYPE 3D y CYPE Connect.
- Optimizar diferentes tipologías de estructuras metálicas según el análisis de las tensiones producidas en sus elementos.
- Presentar el diseño, cálculo y análisis de diferentes tipos de uniones de una estructura metálica.
- Desarrollar correctamente un proyecto de ingeniería y los documentos que en él intervienen.

Con todo ello, considero el proyecto lo suficientemente desarrollado, atendiendo a la legislación vigente, como para ser sometido a su aprobación por el tribunal correspondiente.

En Málaga, a septiembre de 2023



Fdo: Víctor María Jolin García

10. Bibliografía

- Argüelles Álvarez, R., Argüelles Bustillo, R., Argüelles Bustillo, J.M., Arriaga Martegui, F., Atienza Reales, J.R. (2013) Estructuras de Acero. Fundamentos y cálculo según CTE, EAE y EC 3. Madrid: Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas.
- Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural (2006).
- Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la edificación (2006).
- Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, Acero (2006).
- Instrucción de Acero Estructural, EAE (2011). Real Decreto 751/2011 de 27 de mayo.
- Apuntes *Estructuras Metálicas*. IV Curso Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga.
- Apuntes *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. IV Curso Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga.
- Apuntes *Estructuras de Hormigón Armado*. IV Curso Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga.
- CYPE Ingenieros, S.A. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción. <https://www.cype.es/>.
- CYPE 3D. Cálculo de estructuras 3D con barras de madera, acero, aluminio o de cualquier material. <http://cype3d.cype.es/>.
- CYPE Connect. Modelado y cálculo de uniones de elementos estructurales mediante el método de elementos finitos. <https://info.cype.com/es/software/cype-connect/>

- CYPE Connect. Guía de inicio rápido. <https://learning.cype.com/es/video/cype-connect-primera-toma-de-contacto-con-su-interfaz/>
- CYPE Connect. Vídeos, tutoriales y webinars. https://learning.cype.com/es/videos_galeria/cype-connect/
- Foro de CYPE. Tornapuntas en correas. <https://medifestructuras.com/Foros/CuestionForo.php?id=174>



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación
Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

ANEXO DE PLANOS

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE
LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Grado en:
INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor:
Víctor María Jolin García

Tutor:
D. José Sandino Egea

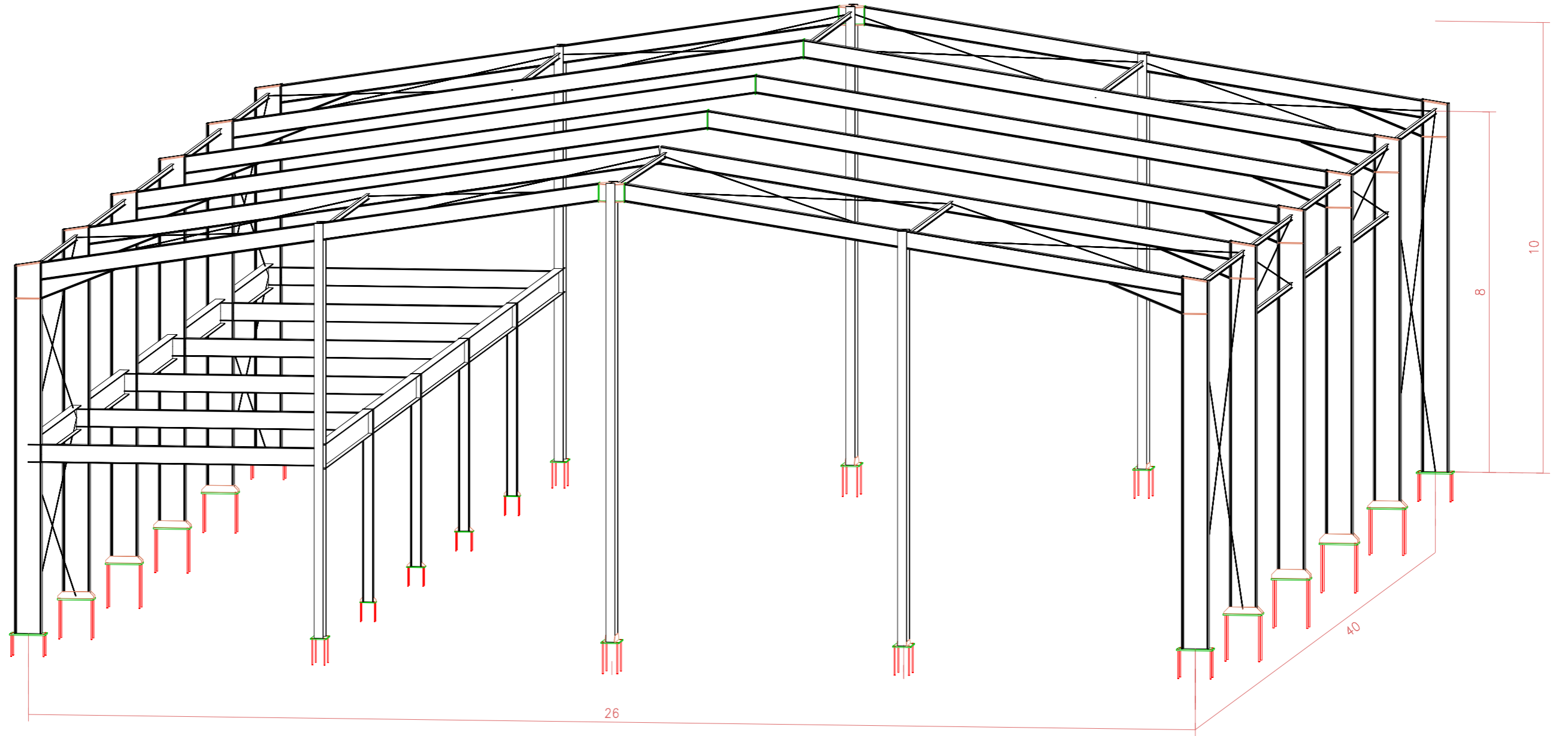
MÁLAGA, Septiembre de 2023

Parte II

Anexo de Planos

Índice de planos

1. Plano de Nave Completa 3D.
2. Plano de Pórtico Frontal.
3. Plano de Pórtico Tipo.
4. Plano de Vistas Laterales Nave.
5. Plano de Entreplanta 3D.
6. Plano de Vista Lateral y en Planta de la Entreplanta.
7. Plano de Replanteo de la Cimentación.
8. Plano de Uniones Cimentación. Tipo 1.
9. Plano de Uniones Cimentación. Tipo 22.
10. Plano de Uniones Cimentación. Tipo 39.
11. Plano Unión 1.1
12. Plano Unión 1.2
13. Plano Unión 2.1
14. Plano Unión 2.3
15. Plano Unión 3
16. Plano Unión 4
17. Plano Unión 5
18. Plano Unión 6



Escala Gráfica



DEPARTAMENTO:

Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: NAVE COMPLETA 3D

FIRMA: *V. Jolin*

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

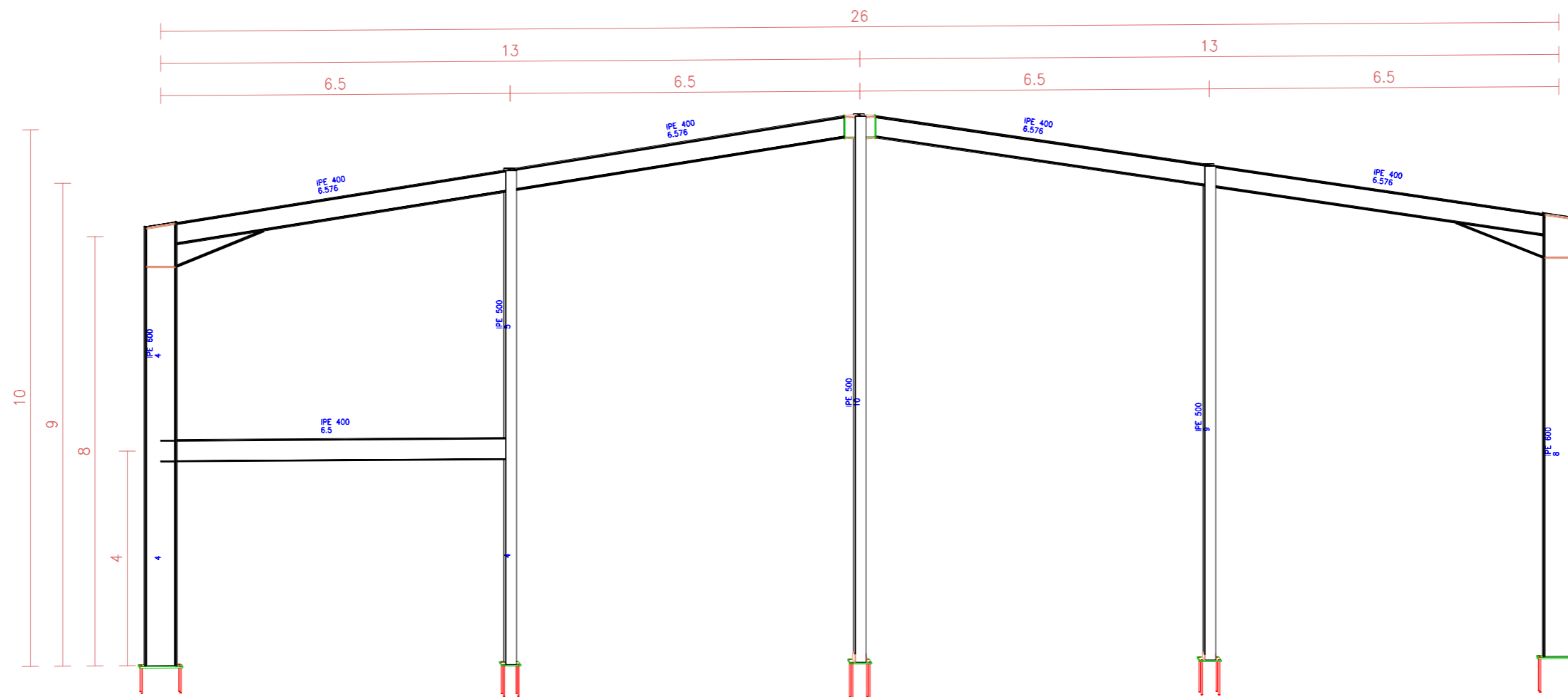
SITUACION: _____

POBLACION: _____ LOCALIDAD: _____

SITA: _____ C.P.: _____

FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/100

Nº EXPEDIENTE: 1 Nº PLANO: 1



Escala Gráfica




DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

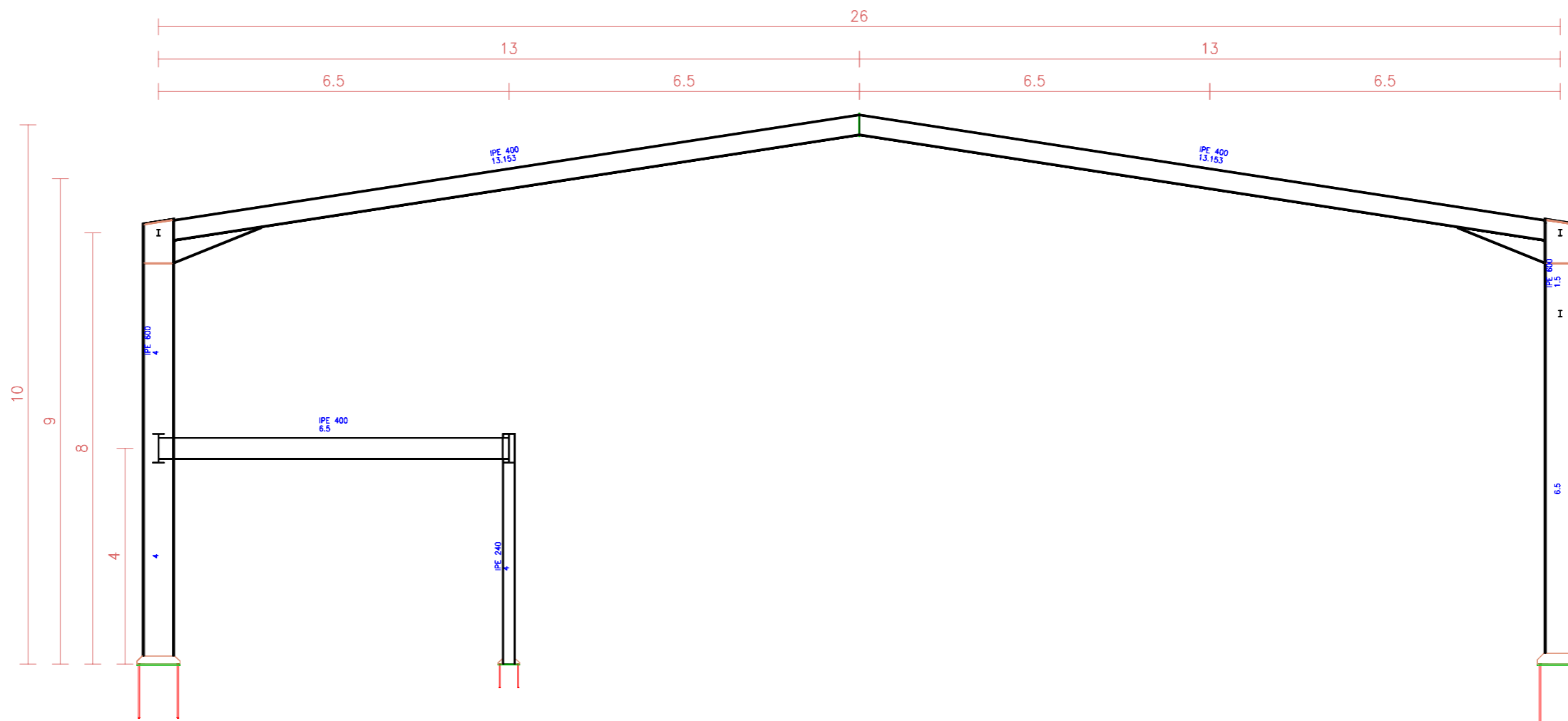
PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: PÓRTICO FRONTAL

FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.: FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/100 N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 2



Escala Gráfica




DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: PÓRTICO TIPO

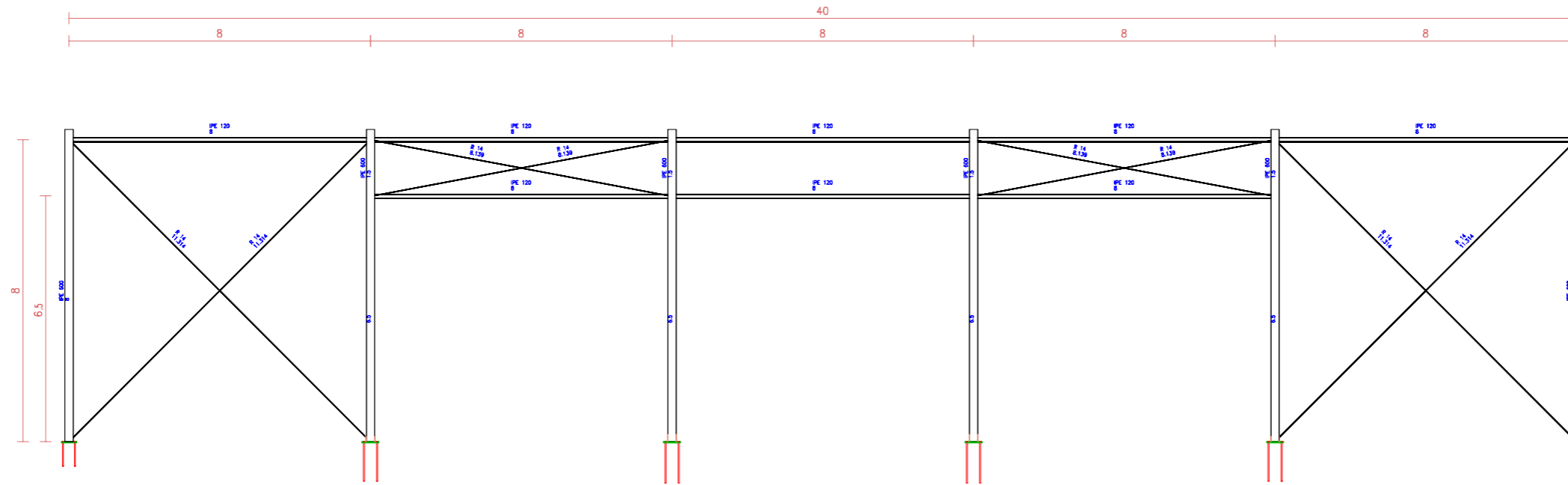
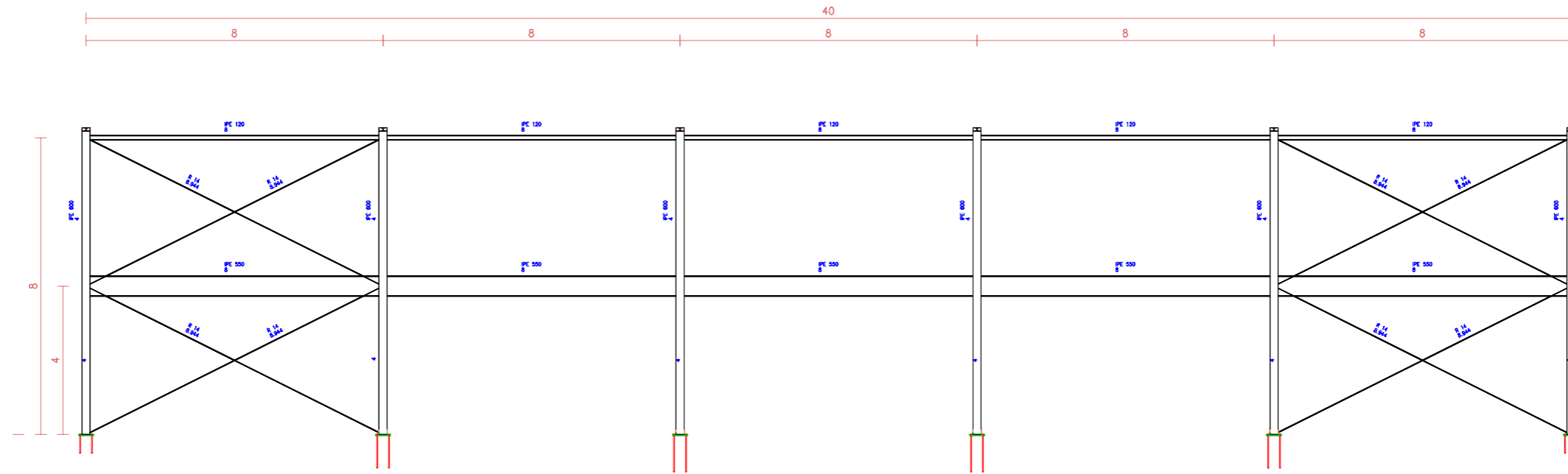
FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION:
POBLACION: LOCALIDAD:
SITA: C.P.:

FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/100

N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 3



Escala Gráfica



DEPARTAMENTO



PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO:

VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO:

VISTAS LATERALES NAVE

FIRMA:

V. Jolin

SITUACION:

POBLACION: LOCALIDAD:

SITA:

C.P.:

FECHA:

23-08-2023

ESCALA:

1/150

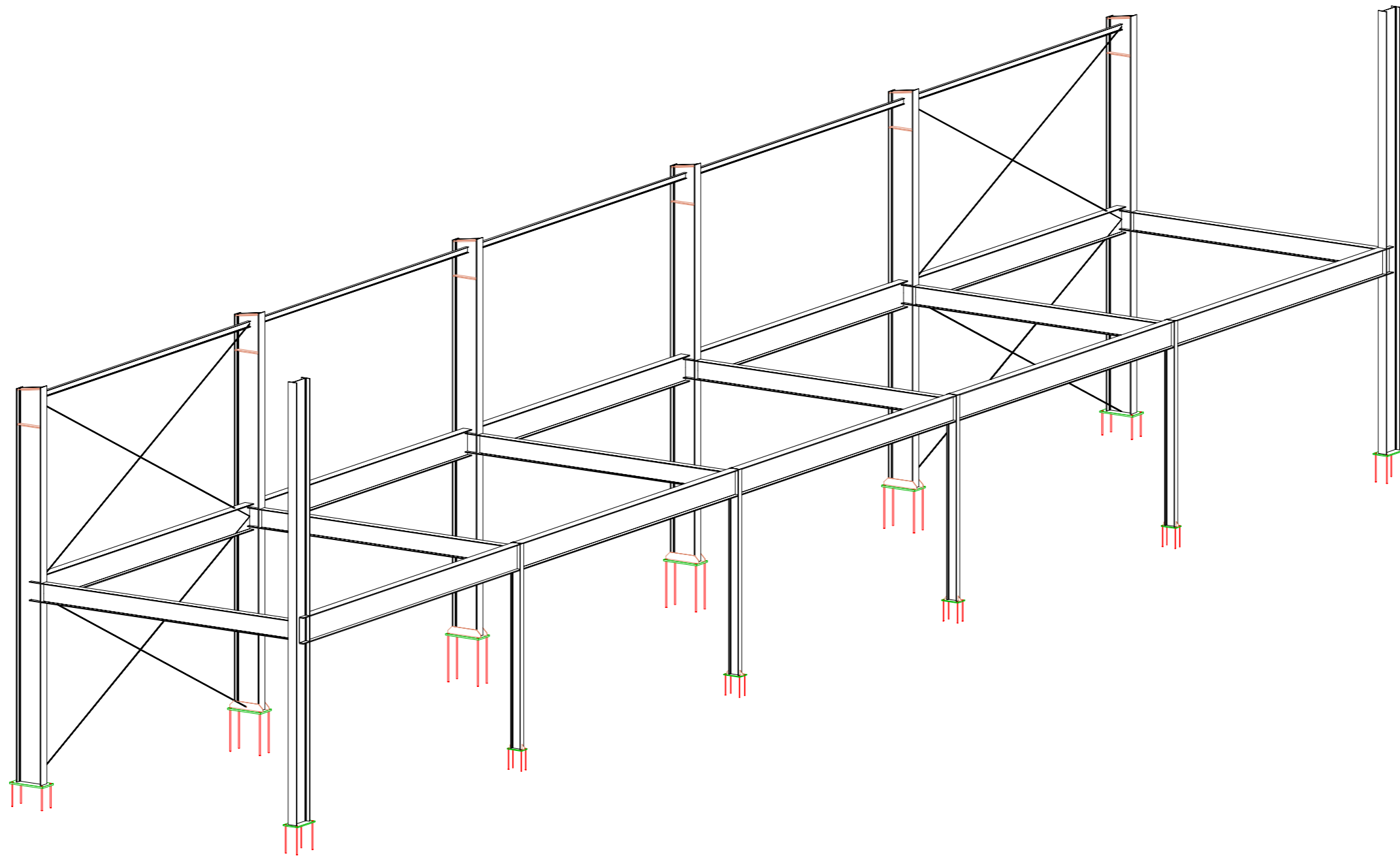
N° EXPEDIENTE:

1

N° PLANO:

4

FDO.:
GRUPO:
GRADO:



Escala Gráfica

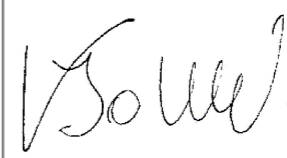


DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: ENTREPLANTA 3D

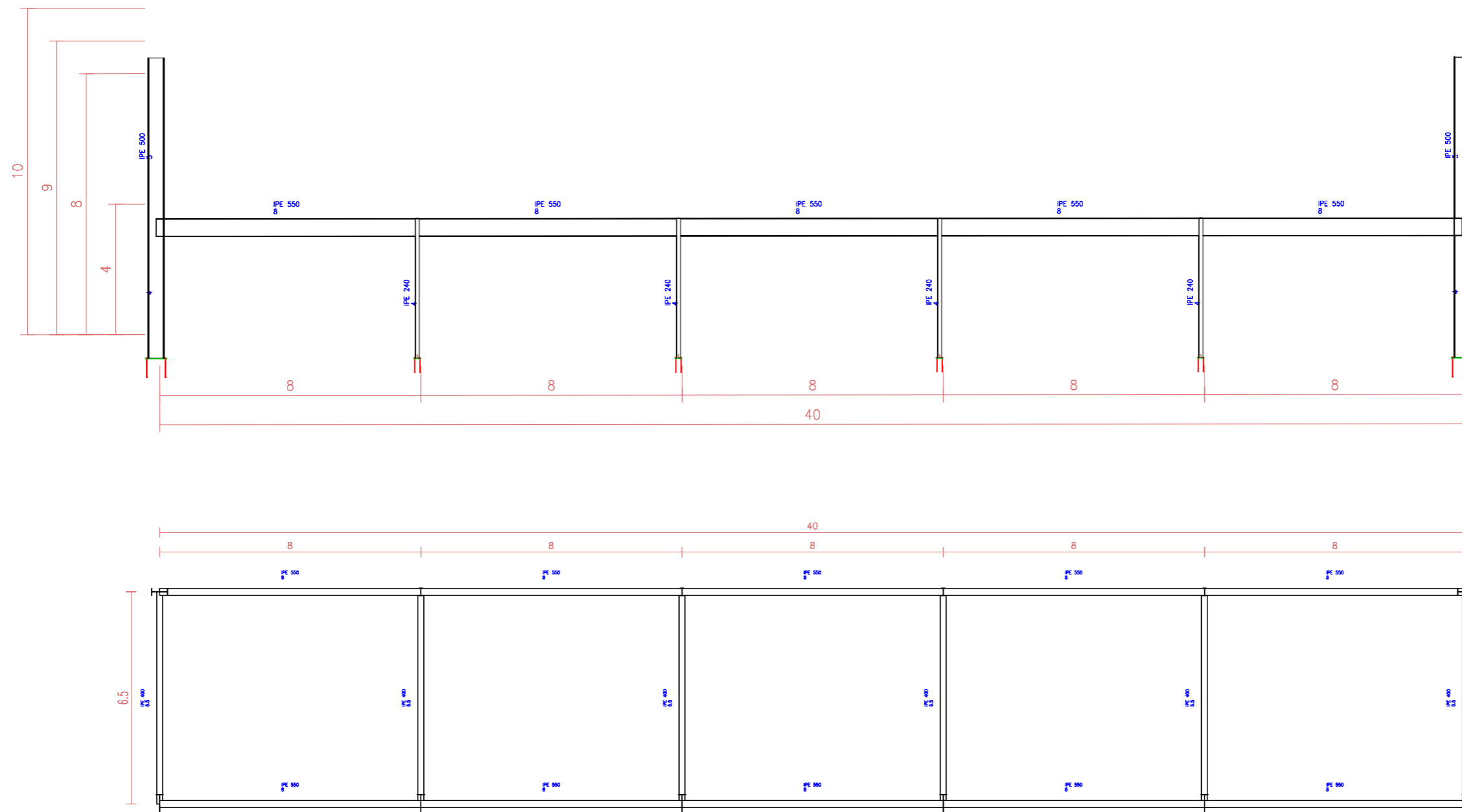
FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION:
POBLACION: LOCALIDAD:
SITA: C.P.:

FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/100

N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 5



Escala Gráfica



DEPARTAMENTO

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: VISTA LATERAL Y EN PLANTA DE LA ENTREPLANTA

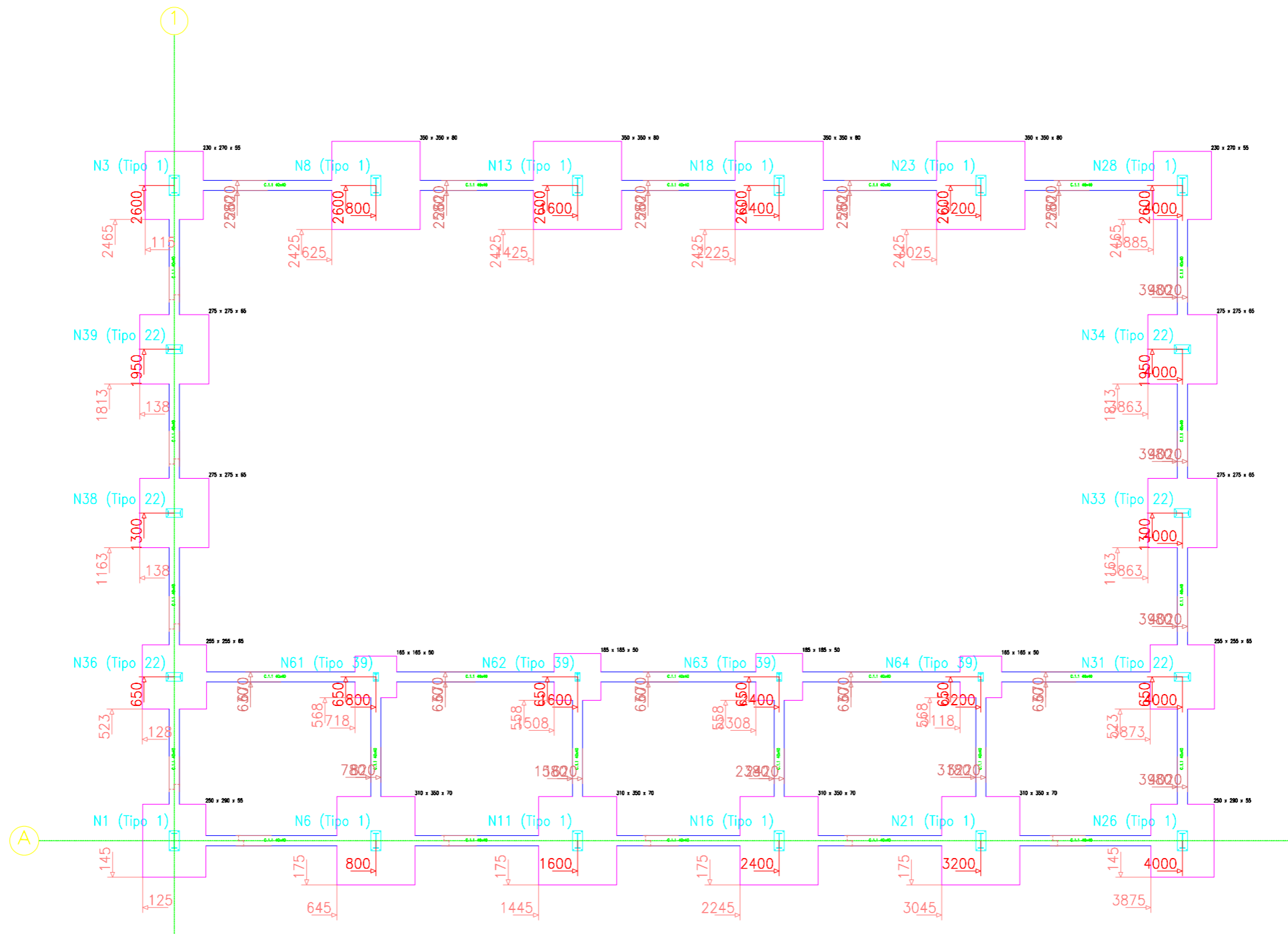
FIRMA: *V. Jolin*

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION:
POBLACION: LOCALIDAD:
SITA: C.P.:

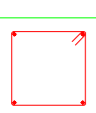
FECHA: 23-08-2023
ESCALA: 1/150

N° EXPEDIENTE: 1
N° PLANO: 6



Cota del plano de cimentación: 0 m

CUADRO DE VIGAS DE ATADO

	C.1.1 Arm. sup.: 2ø12 Arm. inf.: 2ø12 Estribos: 1xø8c/25
---	---

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N1, N3, N6, N8, N11, N13, N16, N18, N21, N23, N26 y N28	4 Pernos ø 25	Placa base (400x800x30)
N31, N33, N34, N36, N38 y N39	4 Pernos ø 20	Placa base (350x650x22)
N61, N62, N63 y N64	4 Pernos ø 12	Placa base (200x350x15)

Escala Gráfica



DEPARTAMENTO




Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

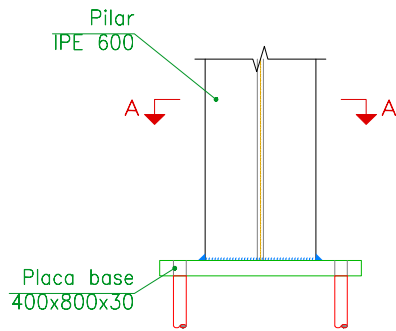
DESIGNACION PLANO: PLANO DE REPLANTEO DE LA CIMENTACIÓN

FIRMA: 

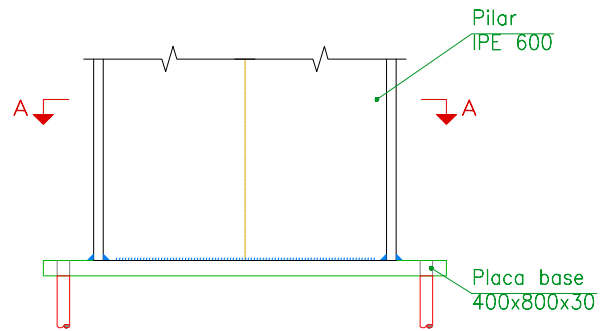
FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.: FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/200 N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 7

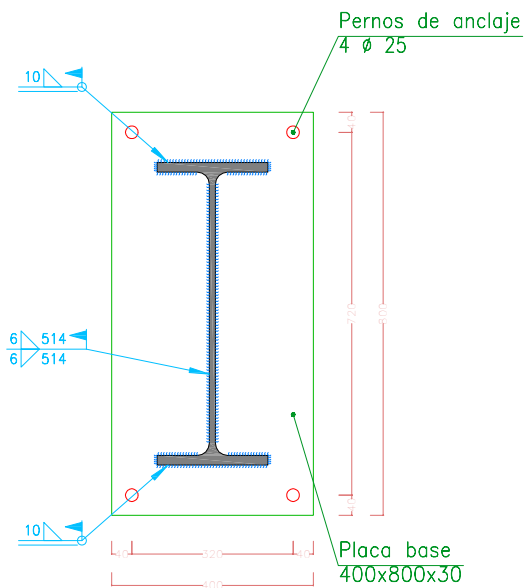
Tipo 1



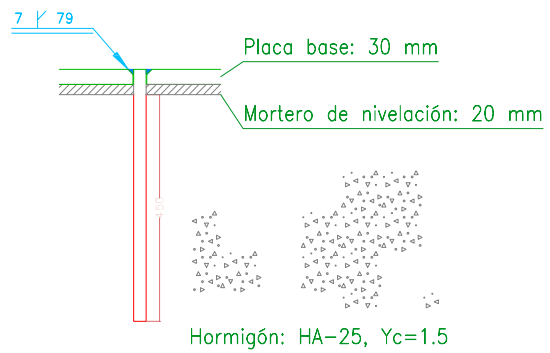
Alzado



Vista lateral



Sección A - A



Anclaje de los pernos $\phi 25$,
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)

Escala 1:15

DEPARTAMENTO



PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO:

VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACIÓN PLANO:

UNIONES CIMENTACIÓN

TIPO 1

FIRMA:

V. Jolin

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION:

POBLACION:

LOCALIDAD:

SITA:

C.P.:

FECHA:

23-08-2023

ESCALA:

1/200

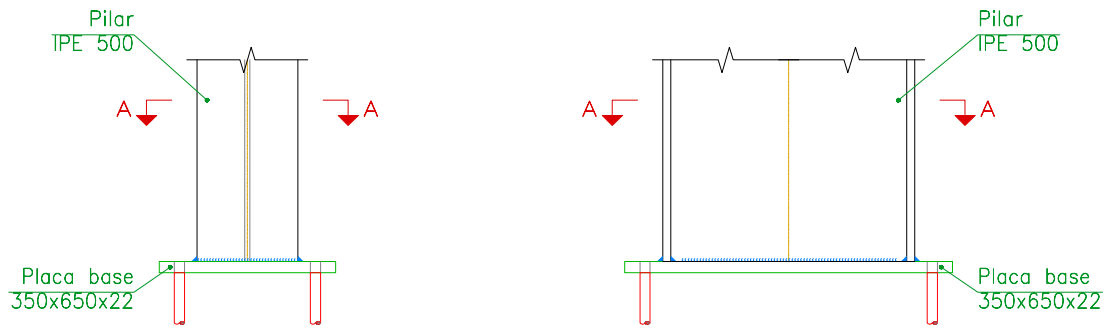
Nº EXPEDIENTE:

1

Nº PLANO:

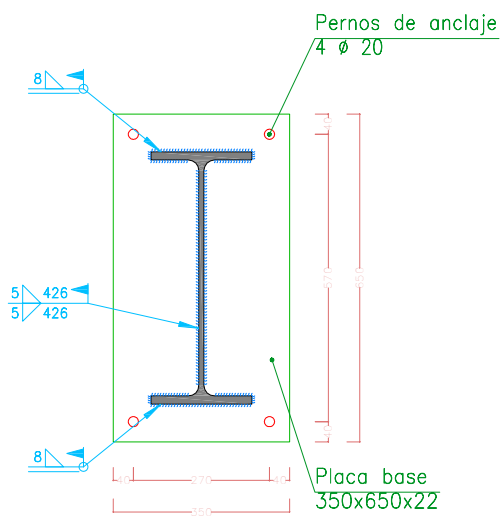
8

Tipo 22

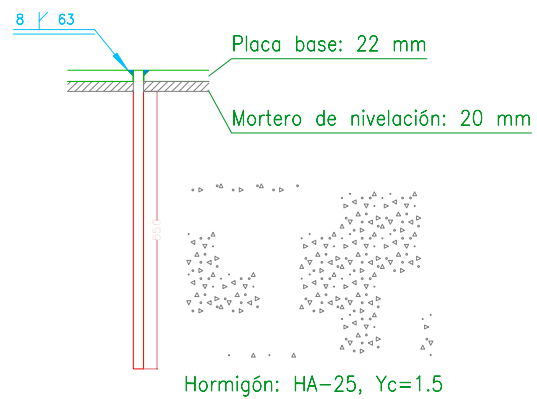


Alzado

Vista lateral



Sección A - A



Anclaje de los pernos $\phi 20$,
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)

Escala 1:15

DEPARTAMENTO



PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO:

VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO:

UNIONES CIMENTACIÓN

TIPO 22

FIRMA:

V. Jolin

SITUACION:

POBLACION:

LOCALIDAD:

SITA:

C.P.:

FECHA:

23-08-2023

ESCALA:

1/15

N° EXPEDIENTE:

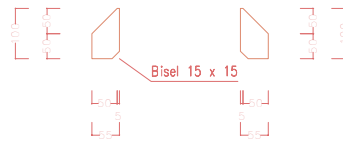
1

N° PLANO:

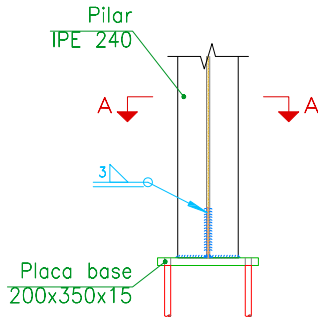
9

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

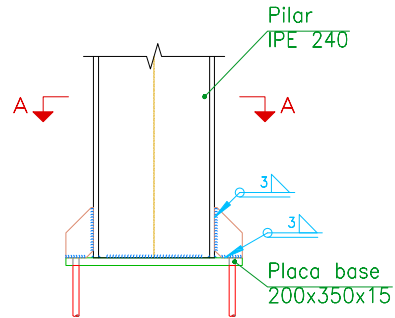
Tipo 39



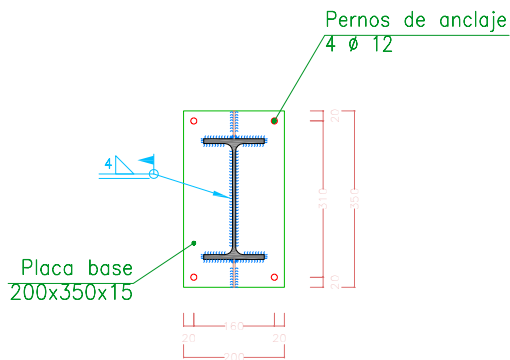
Rigidizadores y - y ($e = 4 \text{ mm}$)



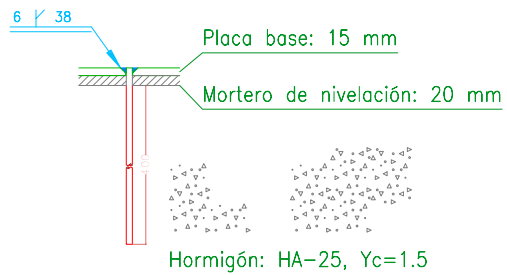
Alzado



Vista lateral



Sección A - A



Anclaje de los pernos $\varnothing 12$, B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)

Escala 1:15

DEPARTAMENTO



PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO:

VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO:

UNIONES CIMENTACIÓN

TIPO 39

FIRMA:

V. Jolin

SITUACION:

POBLACION:

LOCALIDAD:

SITA:

C.P.:

FECHA:

23-08-2023

ESCALA:

1/15

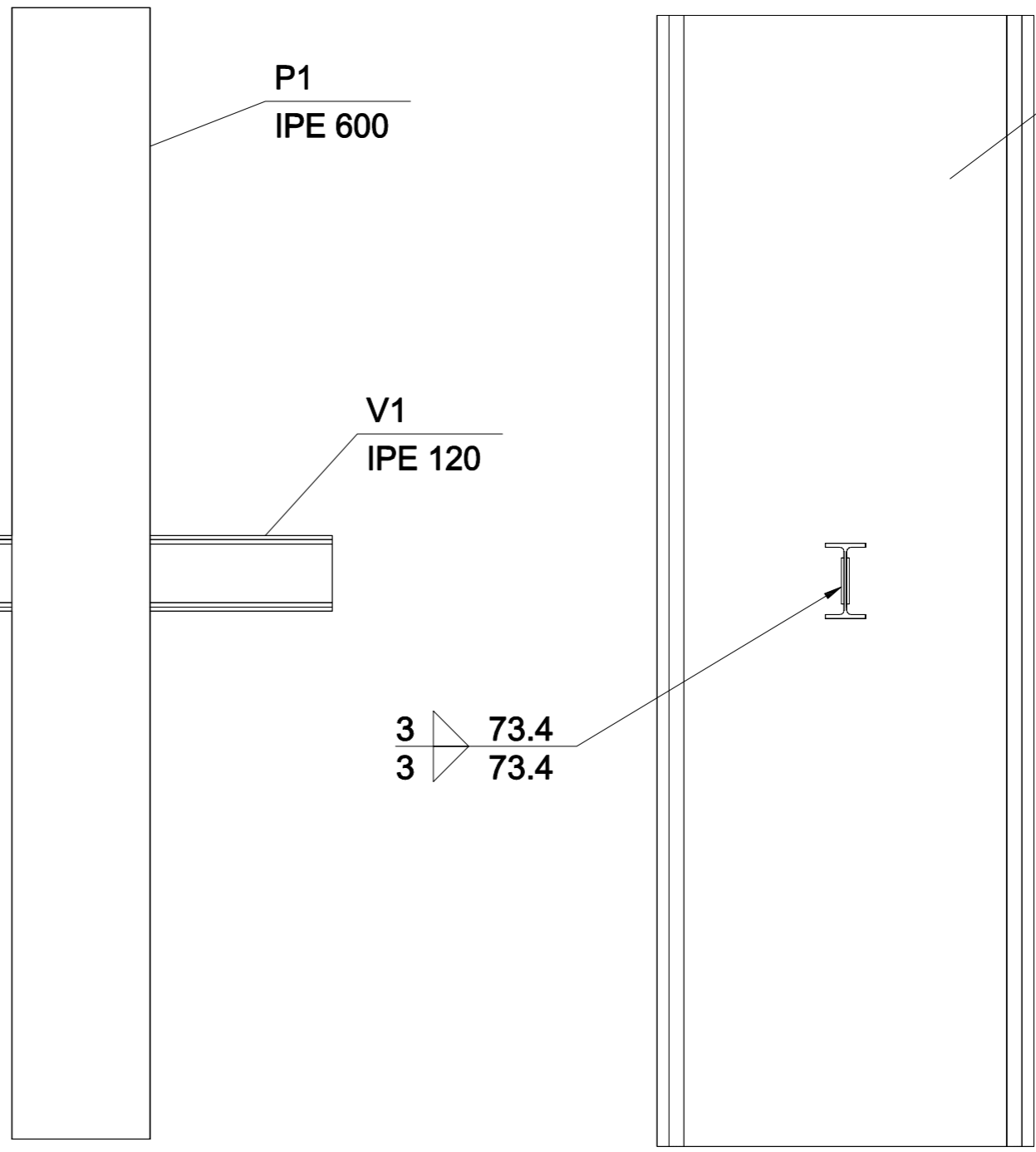
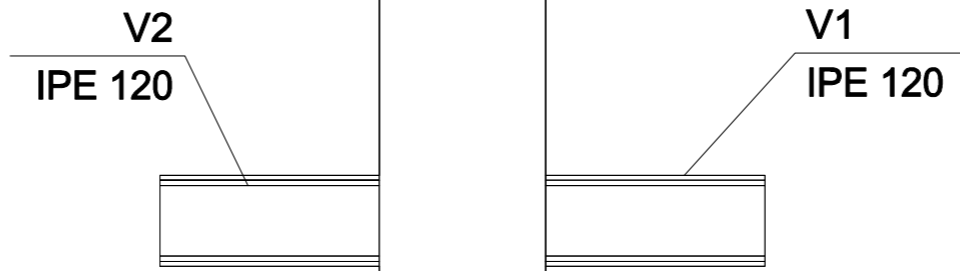
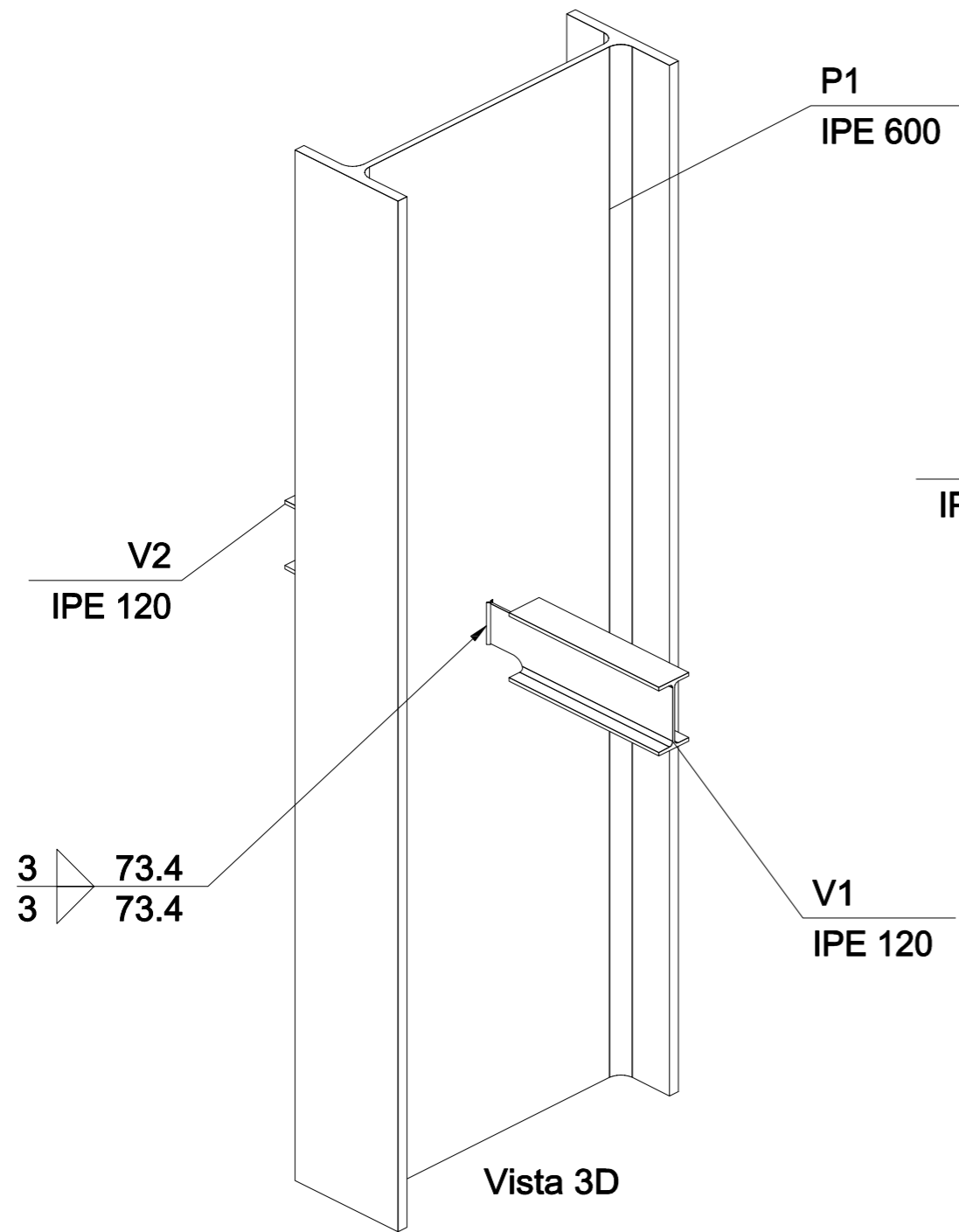
N° EXPEDIENTE:

1

N° PLANO:

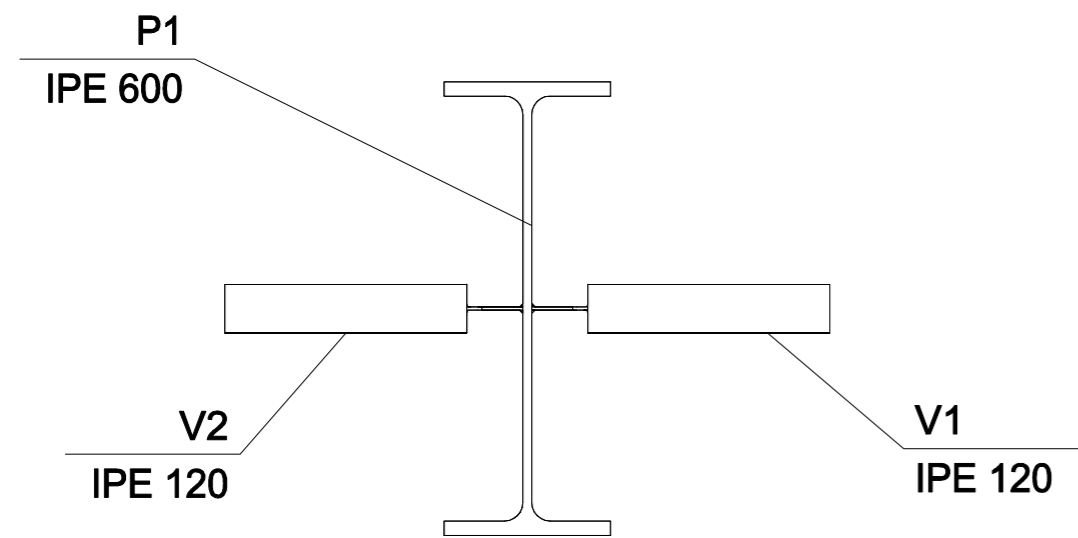
10

FDO.:
GRUPO:
GRADO:



Alzado

Perfil



Planta

DEPARTAMENTO:



Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

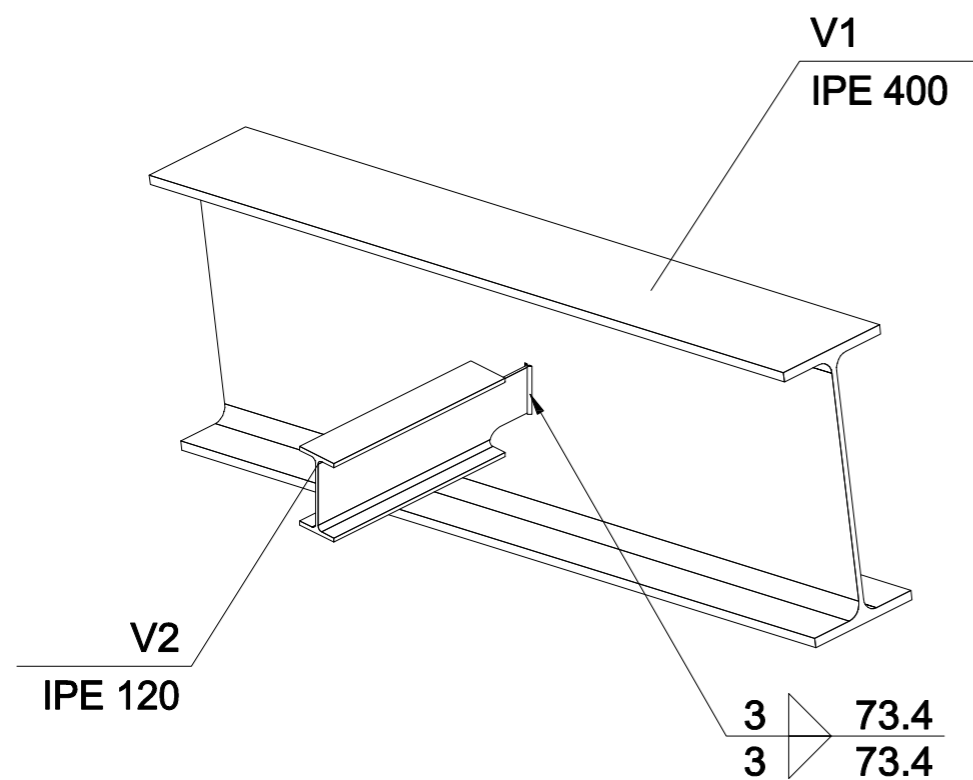
PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: UNIÓN 1.1

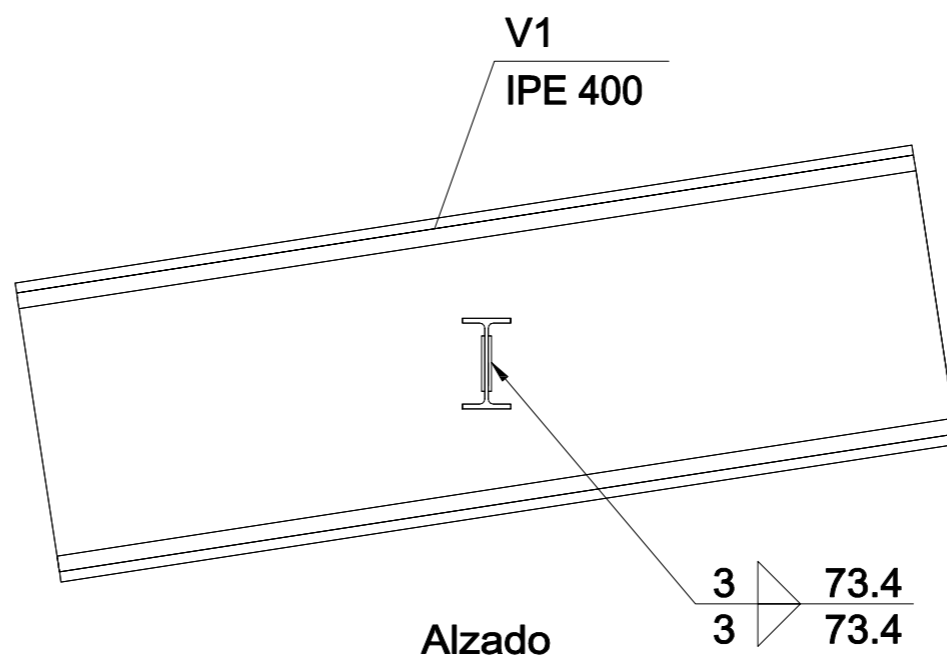
FIRMA: *V. Jolin*

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

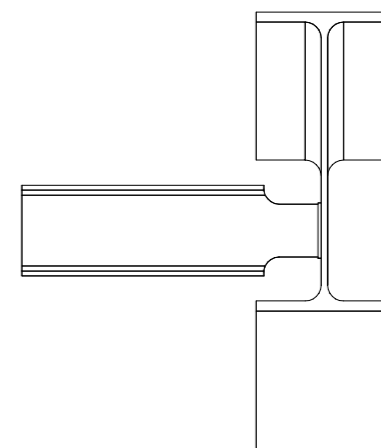
SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.: FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/10 N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 11



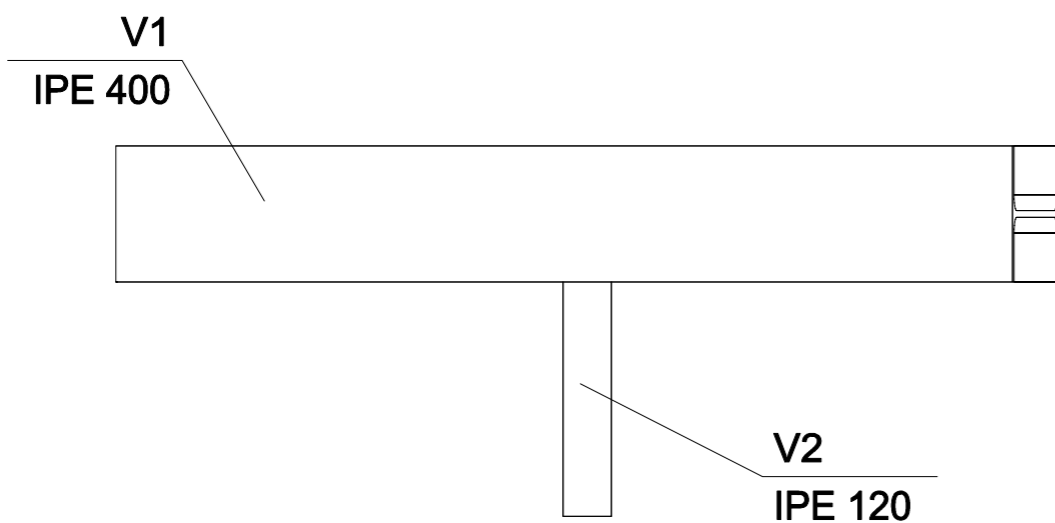
Vista 3D



Alzado



Perfil



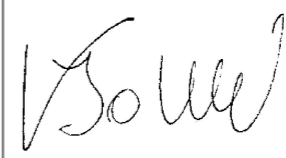
Planta

DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: UNIÓN 1.2

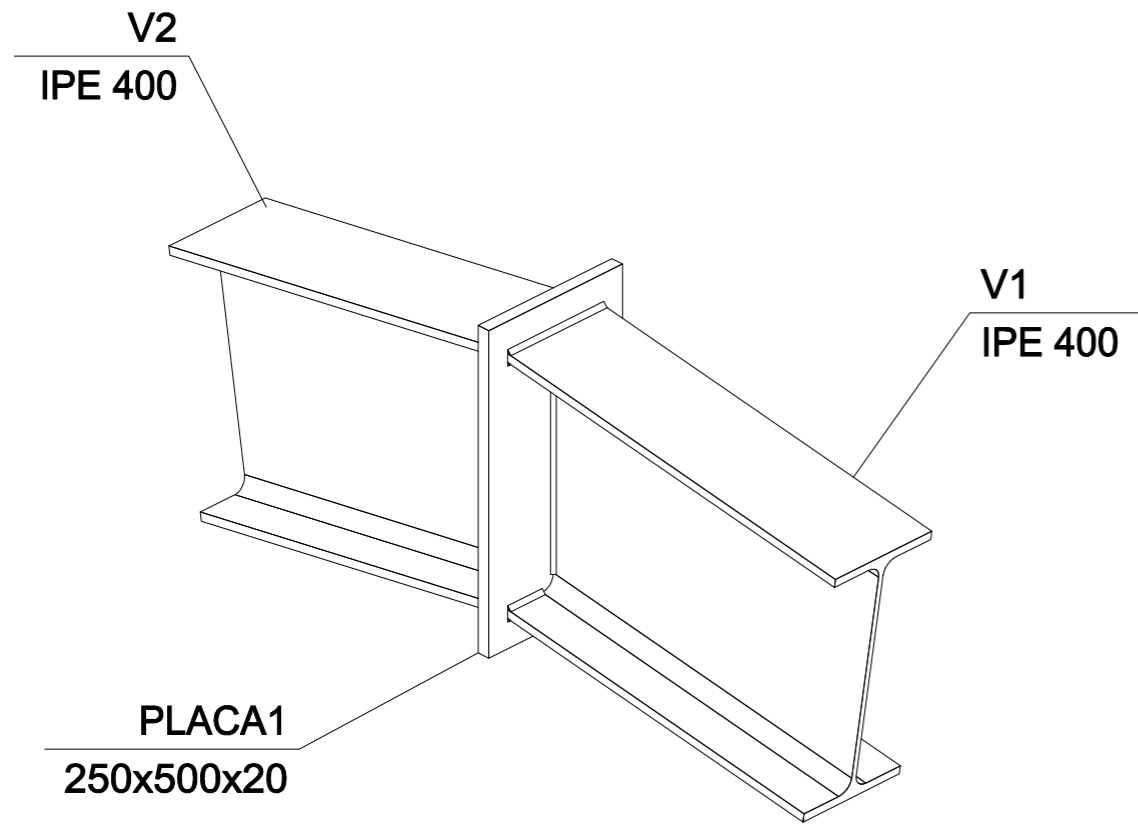
FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

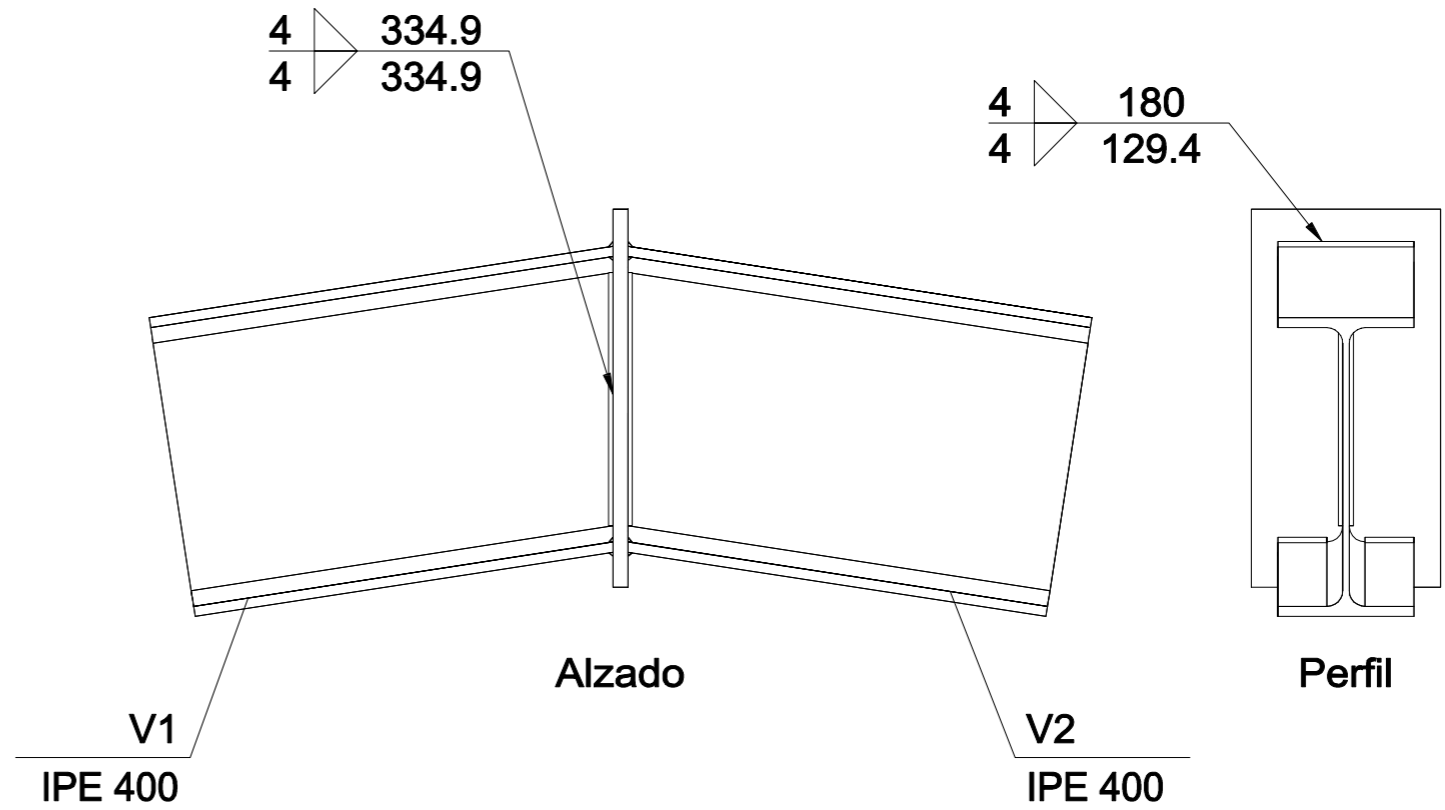
SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.:

FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/10

Nº EXPEDIENTE: 1 Nº PLANO: 12

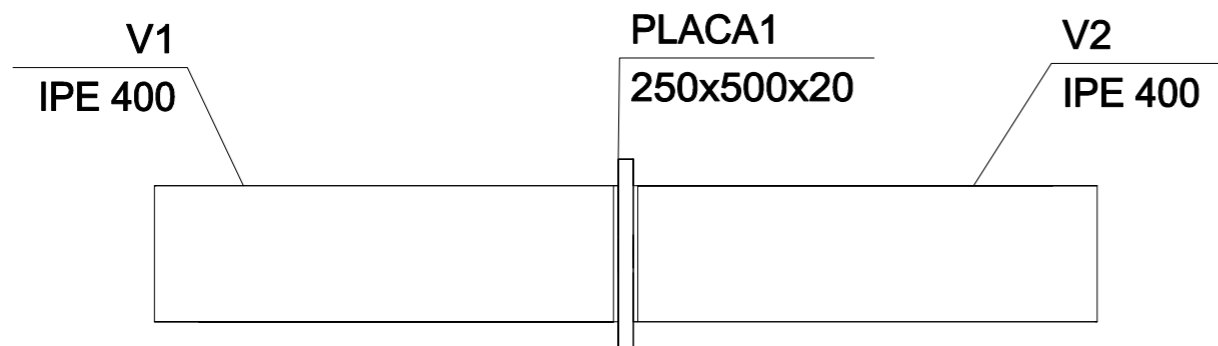


Vista 3D



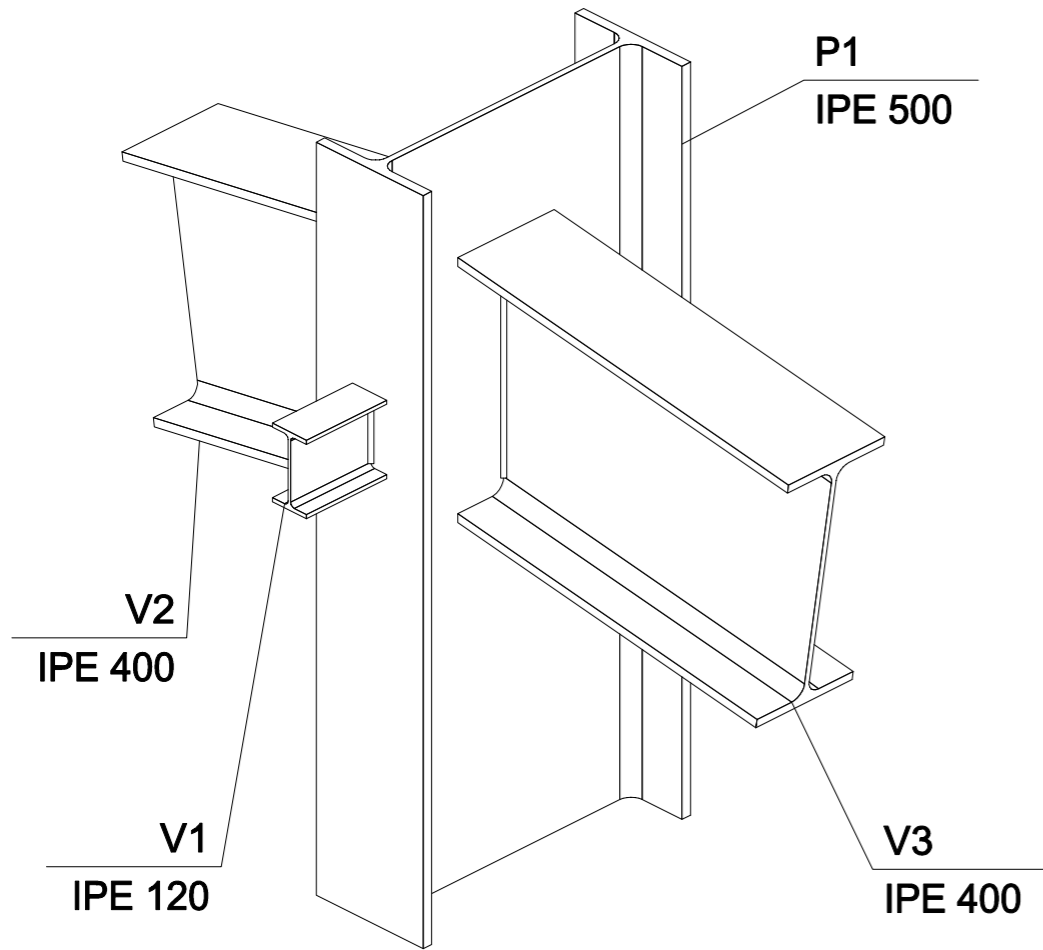
Alzado

Perfil

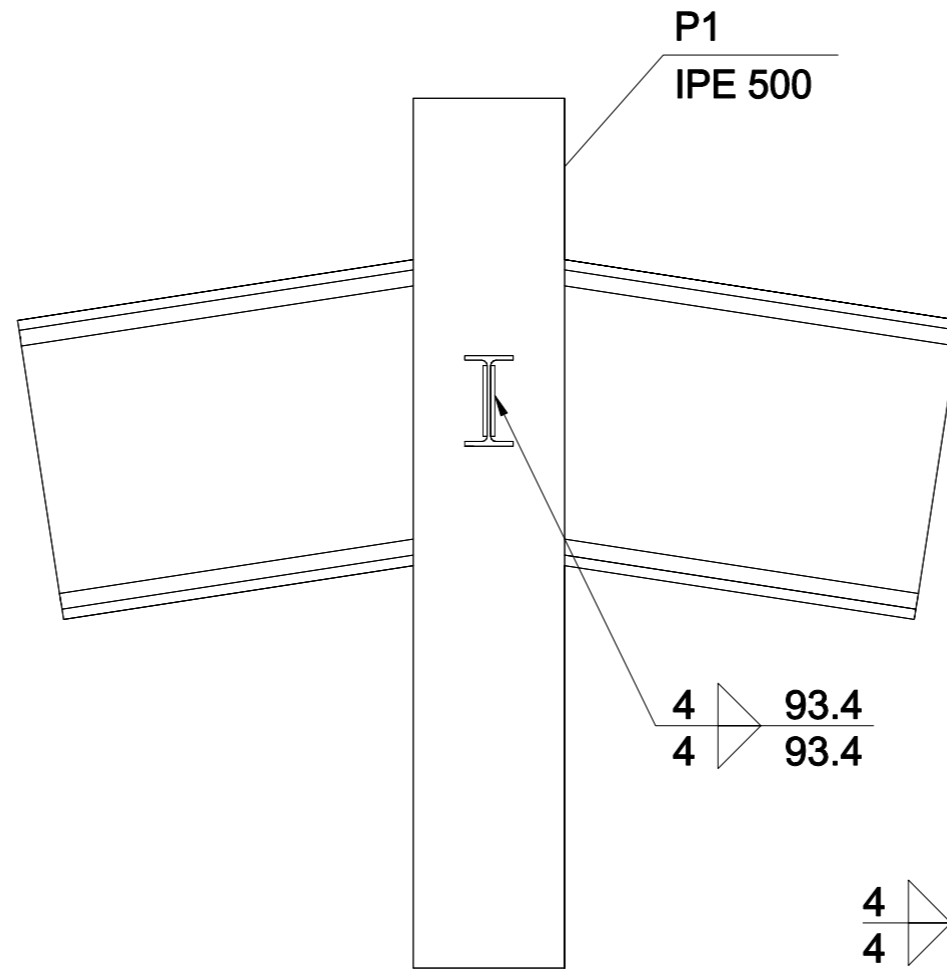


Planta

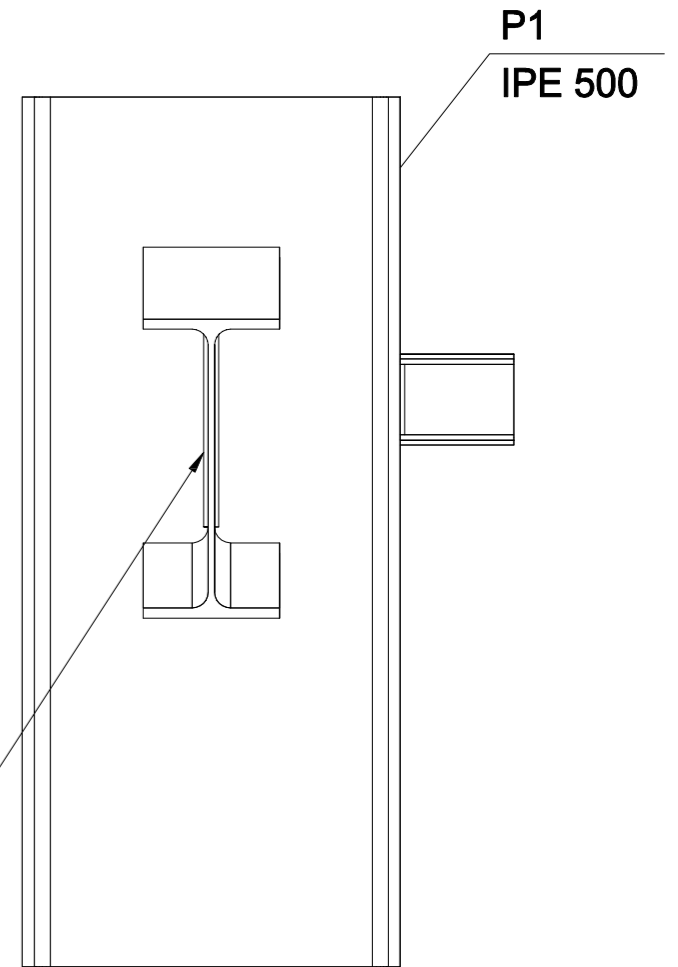
DEPARTAMENTO:		PROYECTO:	DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS		
DESIGNACION PLANO:	UNIÓN 2.1	PETICIONARIO:	VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA		
FIRMA:		SITUACION:	POBLACION:	LOCALIDAD:	
FDO.:		FECHA:	23-08-2023	ESCALA:	1/10
GRUPO:		Nº EXPEDIENTE:	1	Nº PLANO:	13
GRADO:					



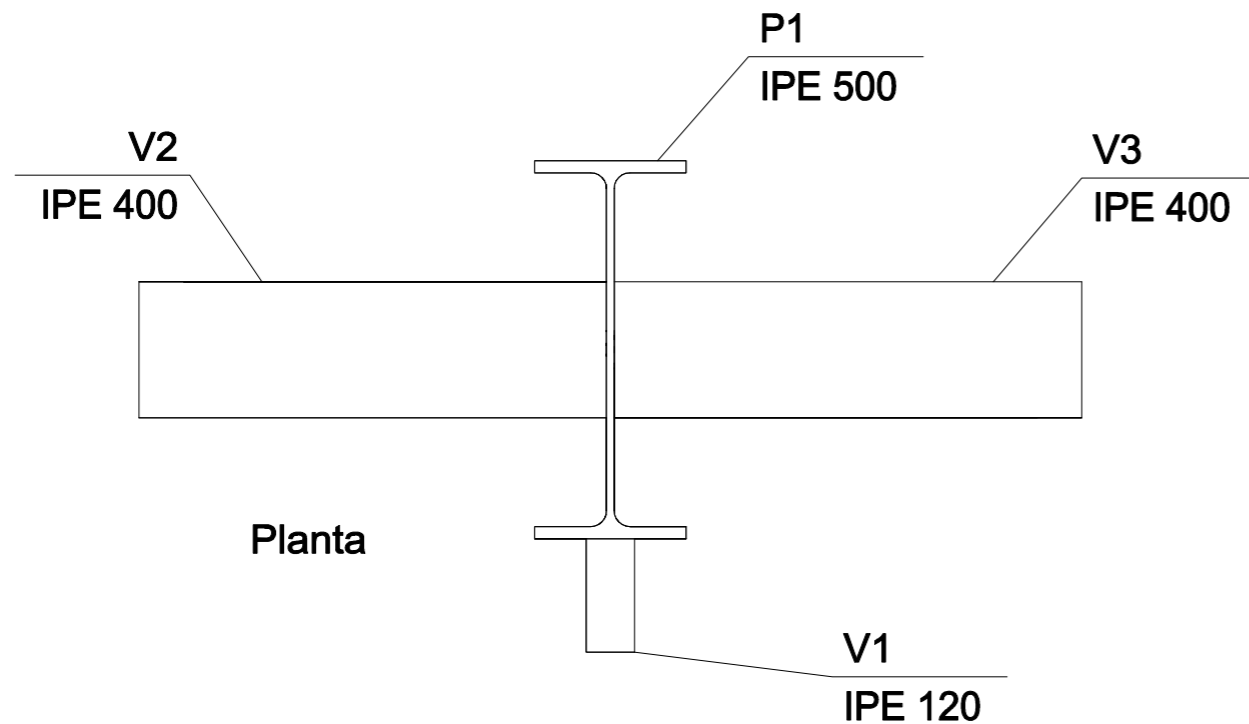
Vista 3D



Perfil



Alzado



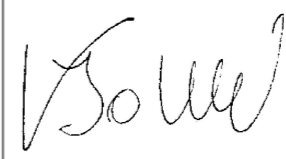
Planta

DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

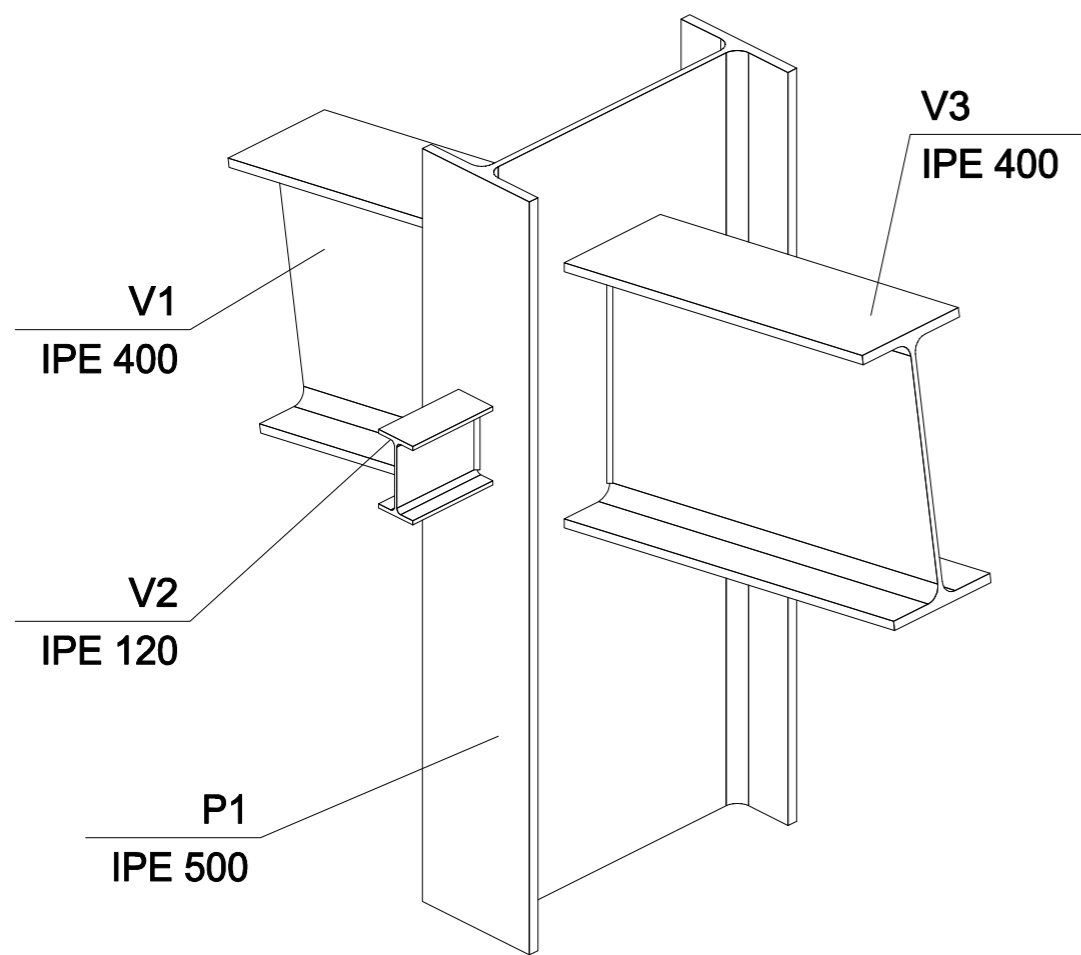
PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: UNIÓN 2.3

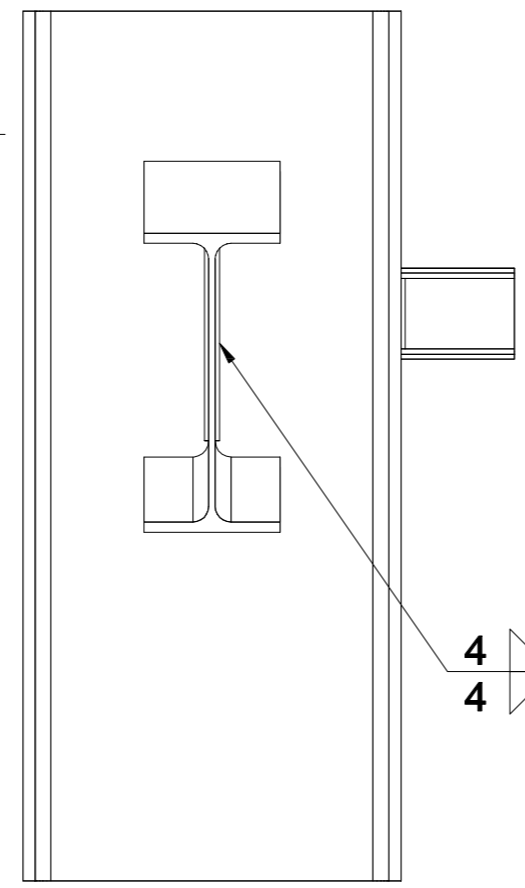
FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

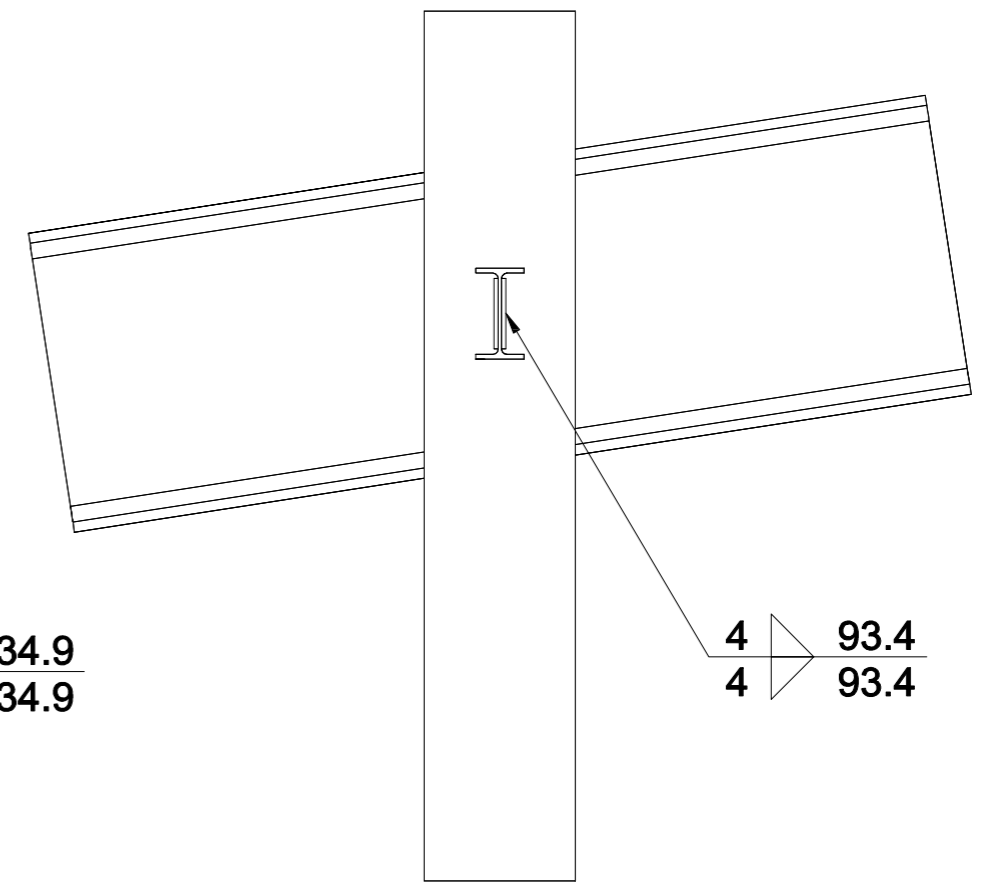
SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.: FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/10 N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 14



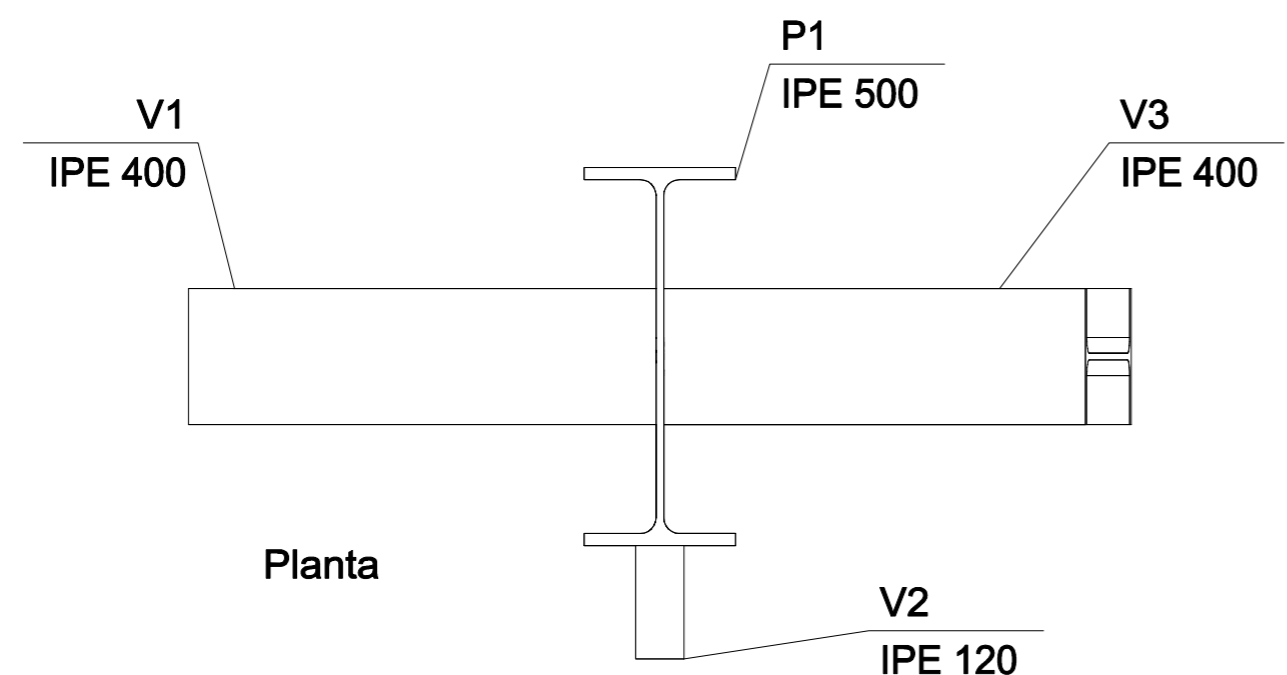
Vista 3D



Alzado



Perfil




Planta

DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: UNIÓN 3

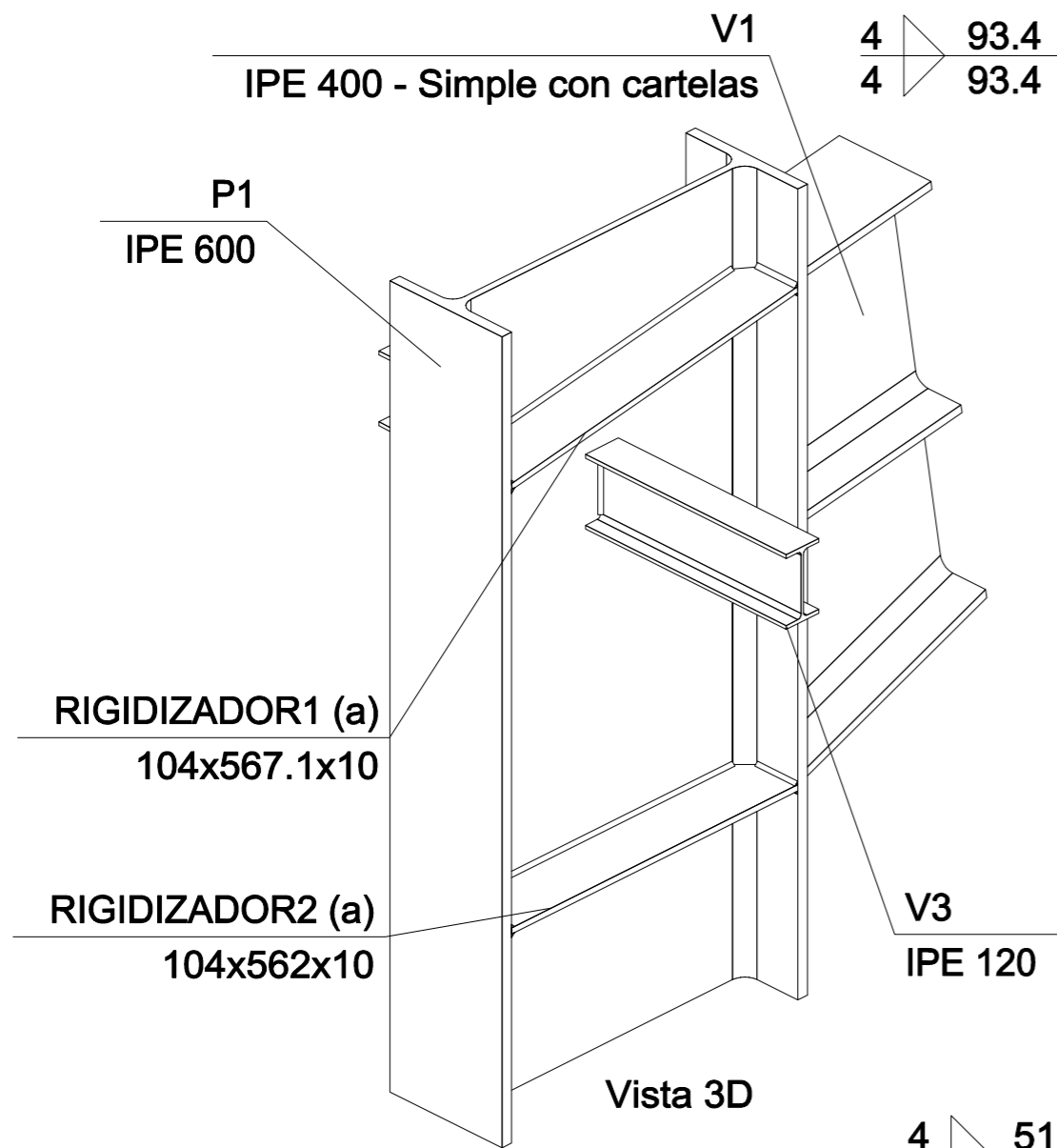
FIRMA: 

FDO.:
GRUPO:
GRADO:

SITUACION:
POBLACION: LOCALIDAD:
SITA: C.P.:

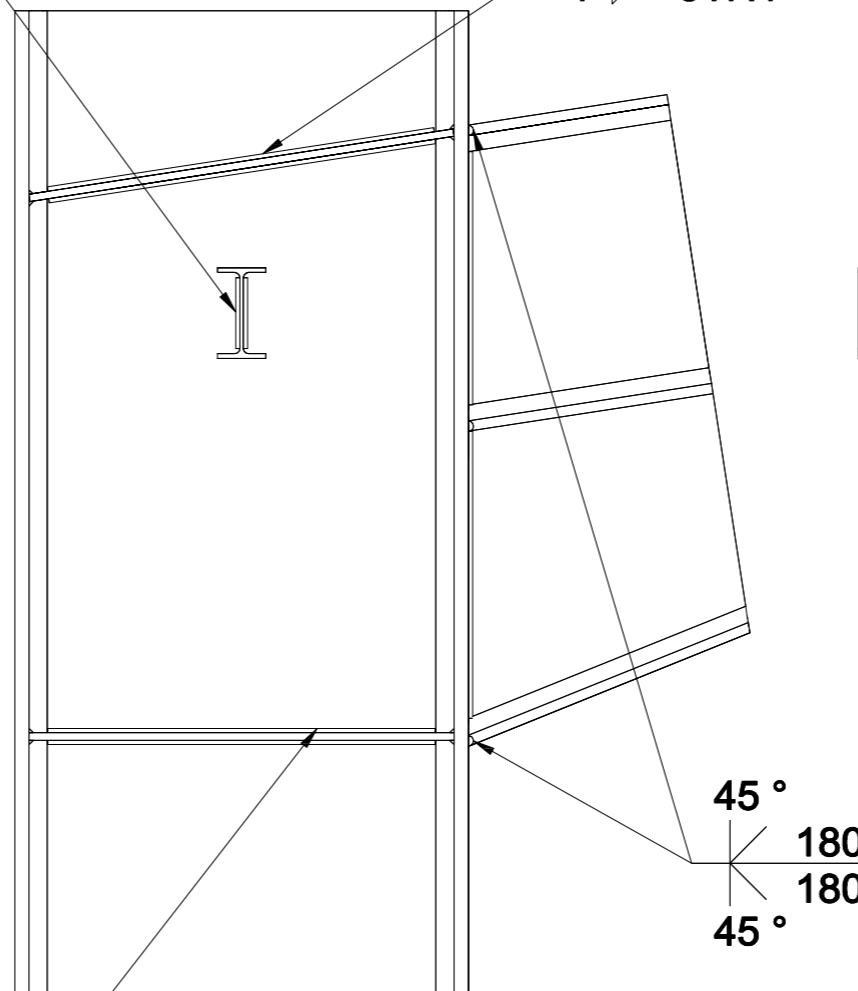
FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/10

N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 15



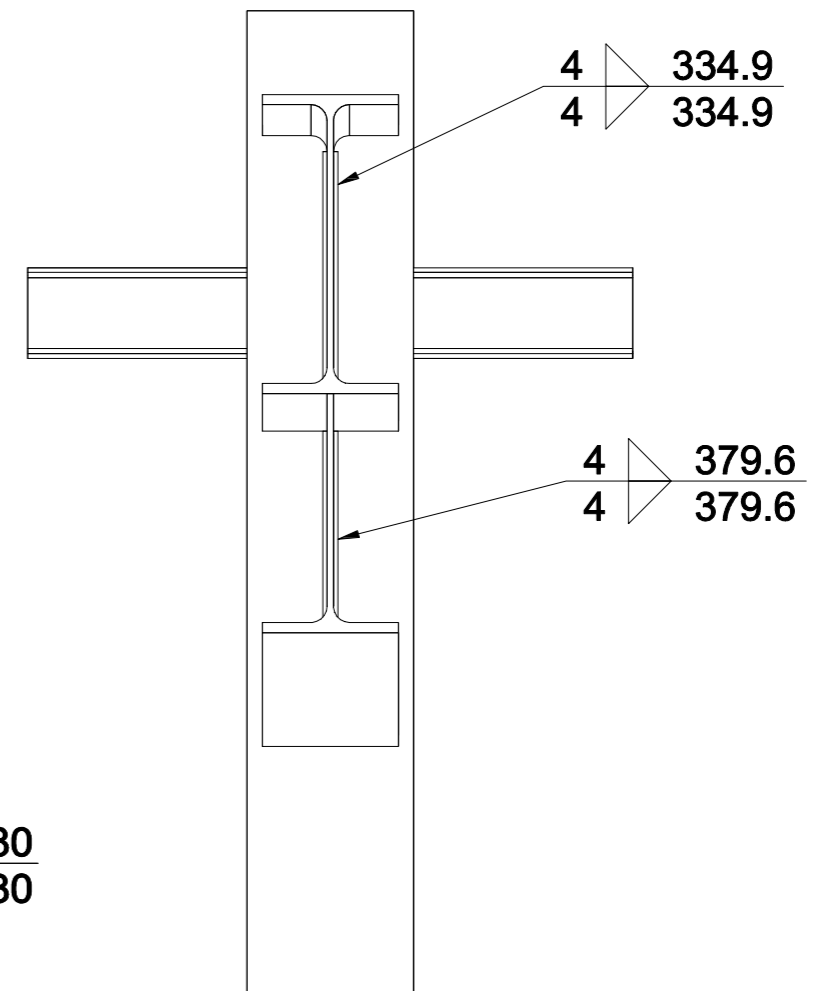
4 93.4
4 93.4

4 517.1
4 517.1



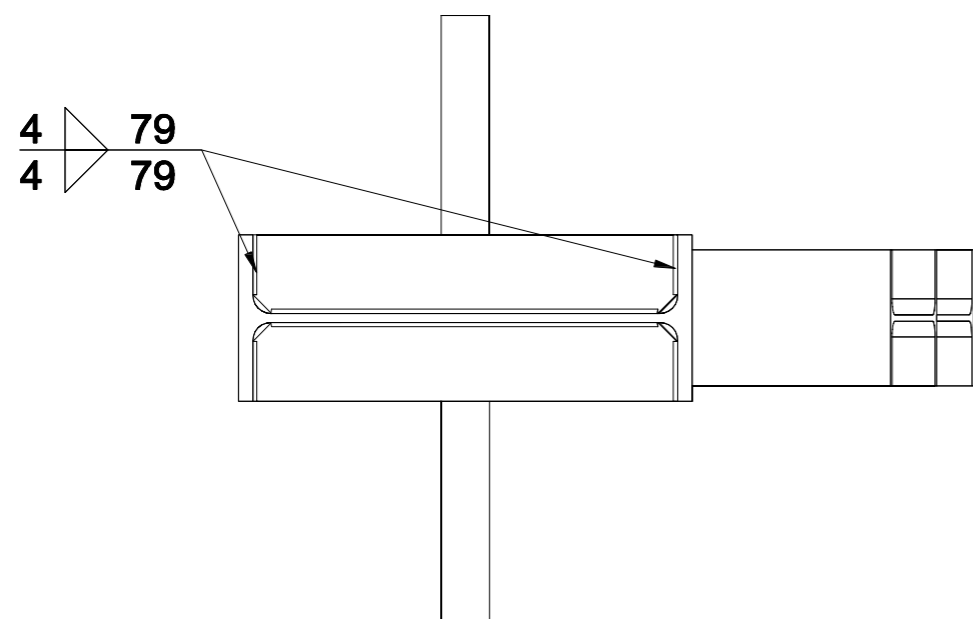
4 512
4 512

45°
180
45°



4 334.9
4 334.9

4 379.6
4 379.6



4 79
4 79

DEPARTAMENTO: 

PROYECTO: *DISERNO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS*

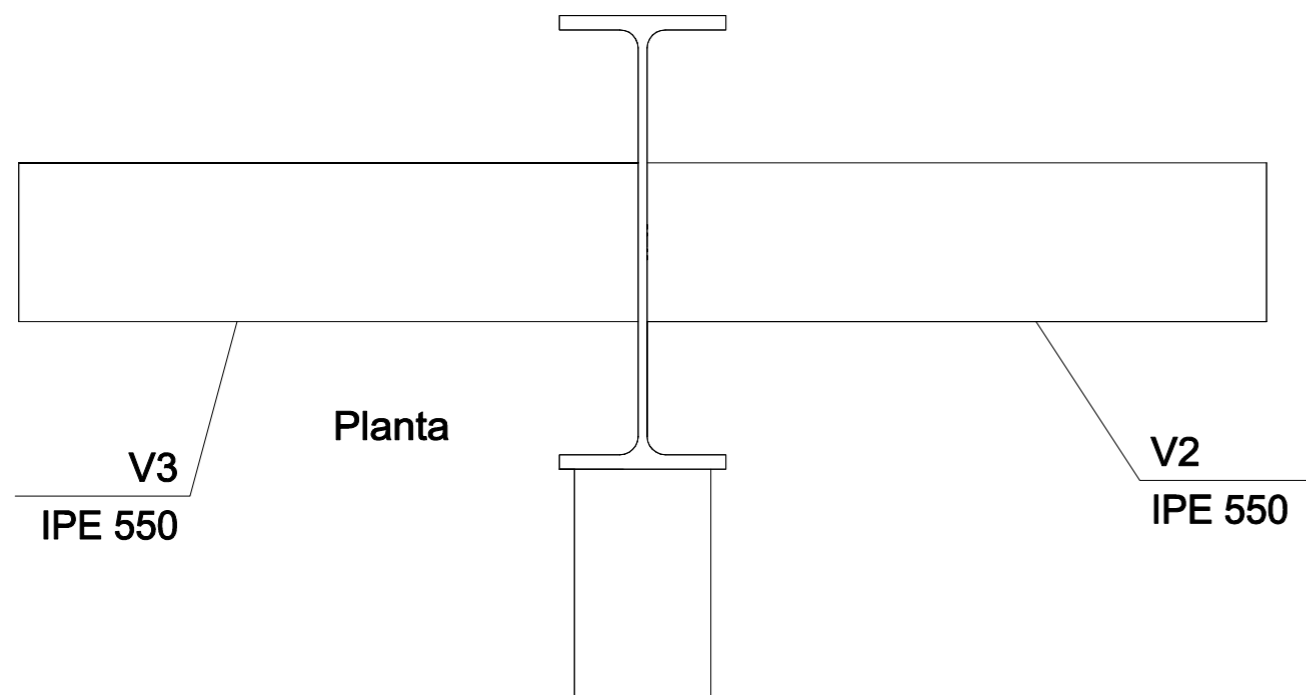
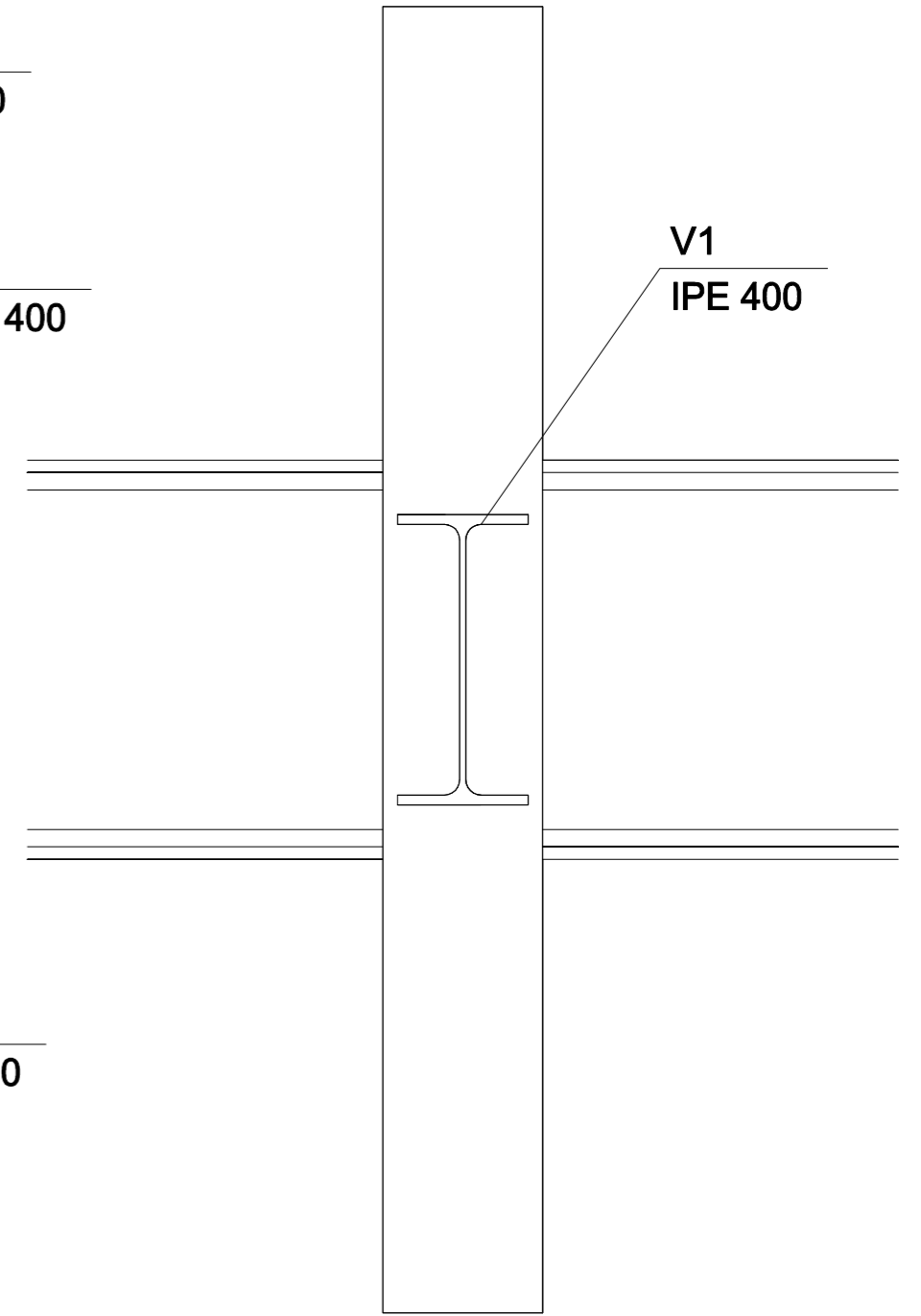
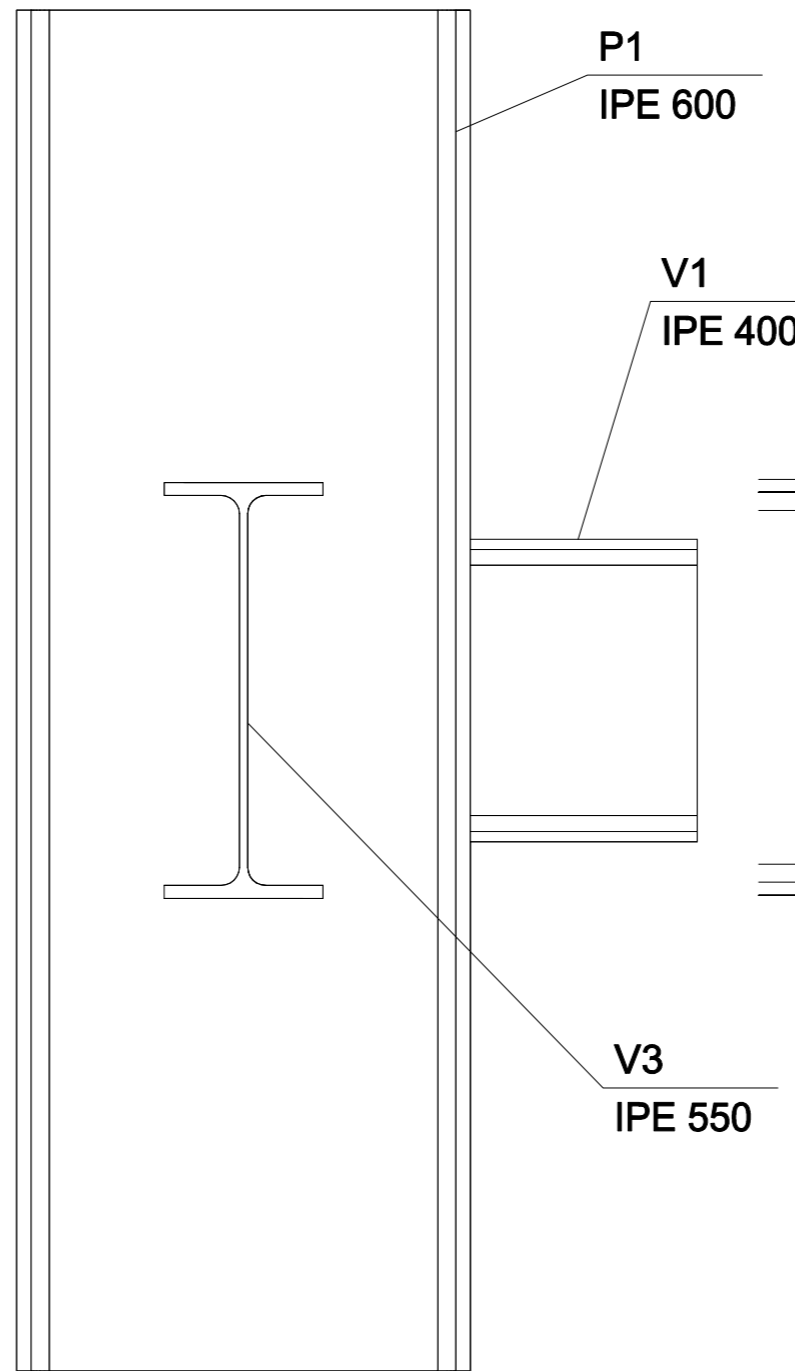
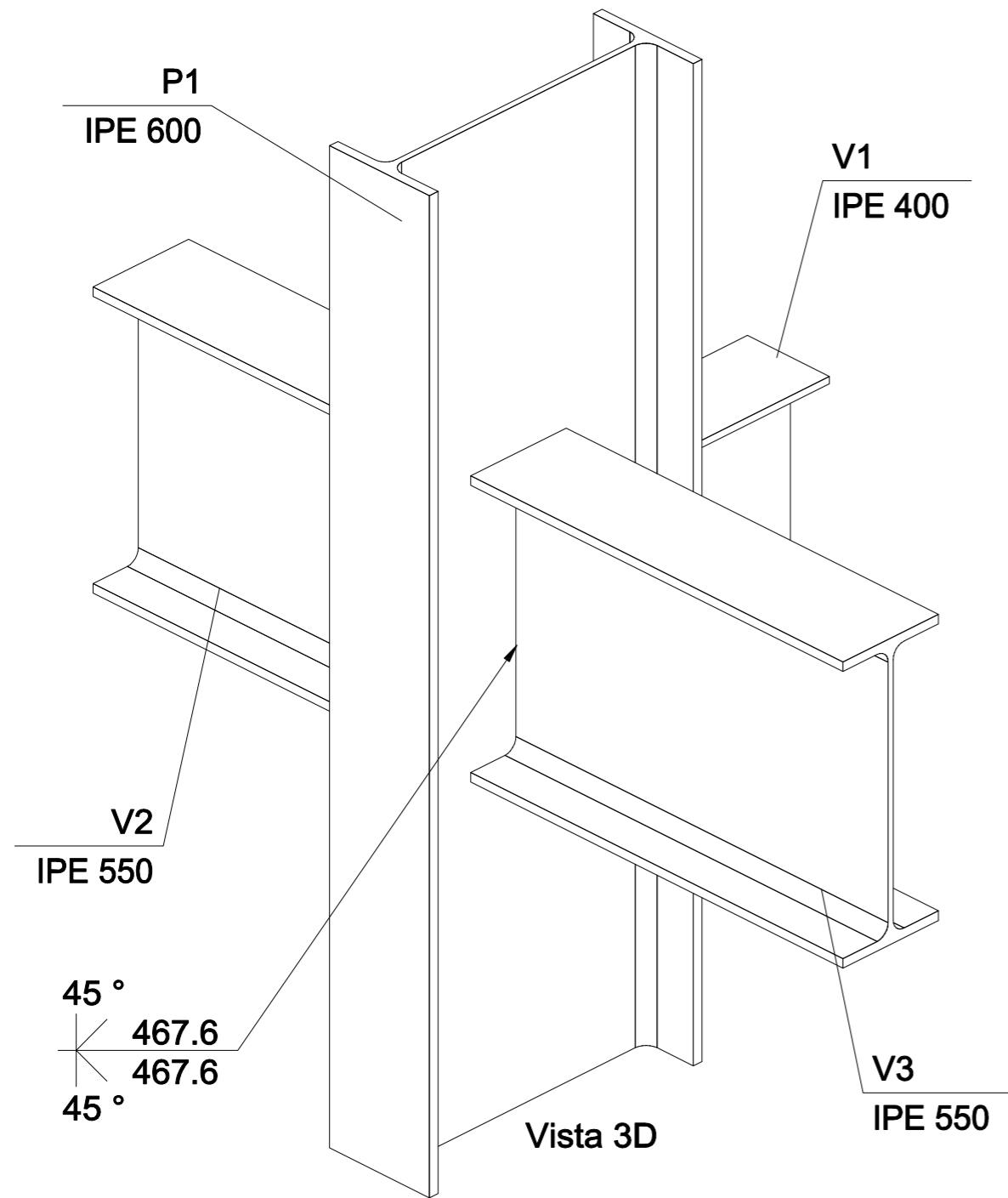
PETICIONARIO: *VICTOR MARIA JOLIN GARCIA*

DESIGNACION PLANO: *UNIÓN 4*


FIRMA: *V. Jolin*

SITUACION: _____
POBLACION: _____ LOCALIDAD: _____
SITA: _____ C.P.: _____
FECHA: *23-08-2023* ESCALA: *1/10*
N° EXPEDIENTE: *1* N° PLANO: *16*

FDO.:
GRUPO:
GRADO:



DEPARTAMENTO:



Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

DESIGNACION PLANO:

UNIÓN 5

PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO:

VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

FIRMA:



SITUACION:

POBLACION: LOCALIDAD:

SITA: C.P.:

FECHA:

23-08-2023

ESCALA:

1/10

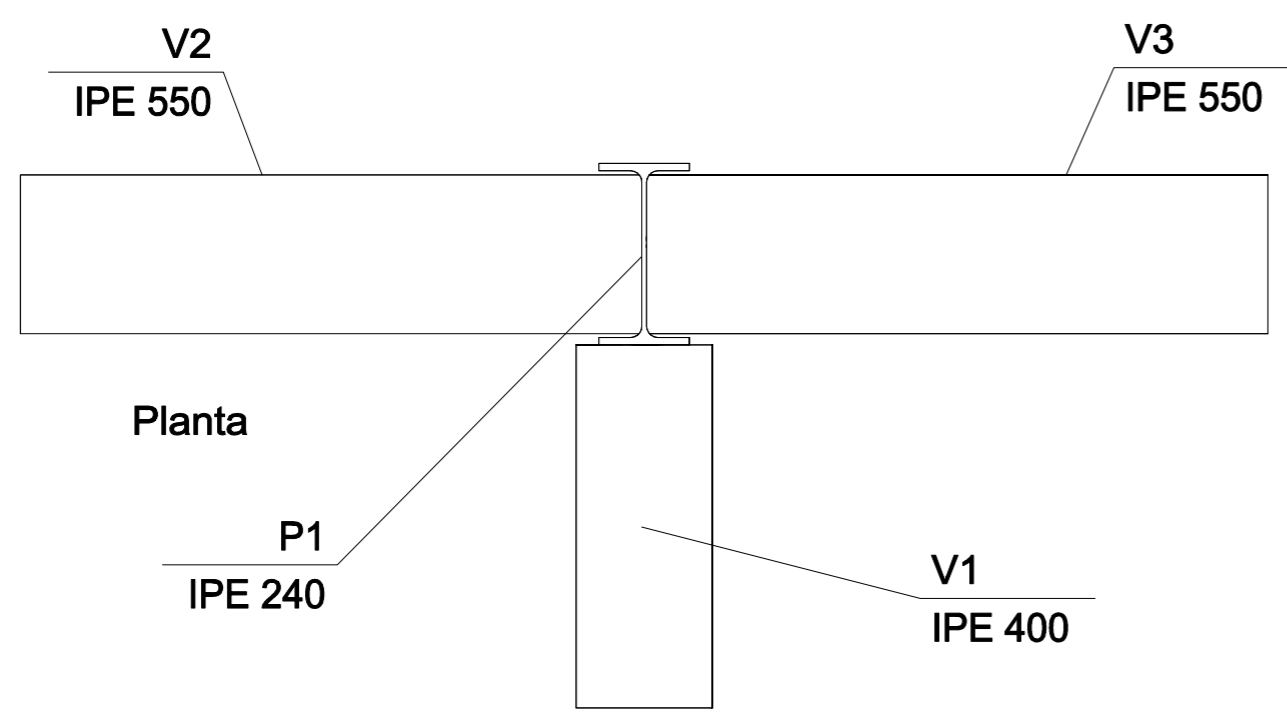
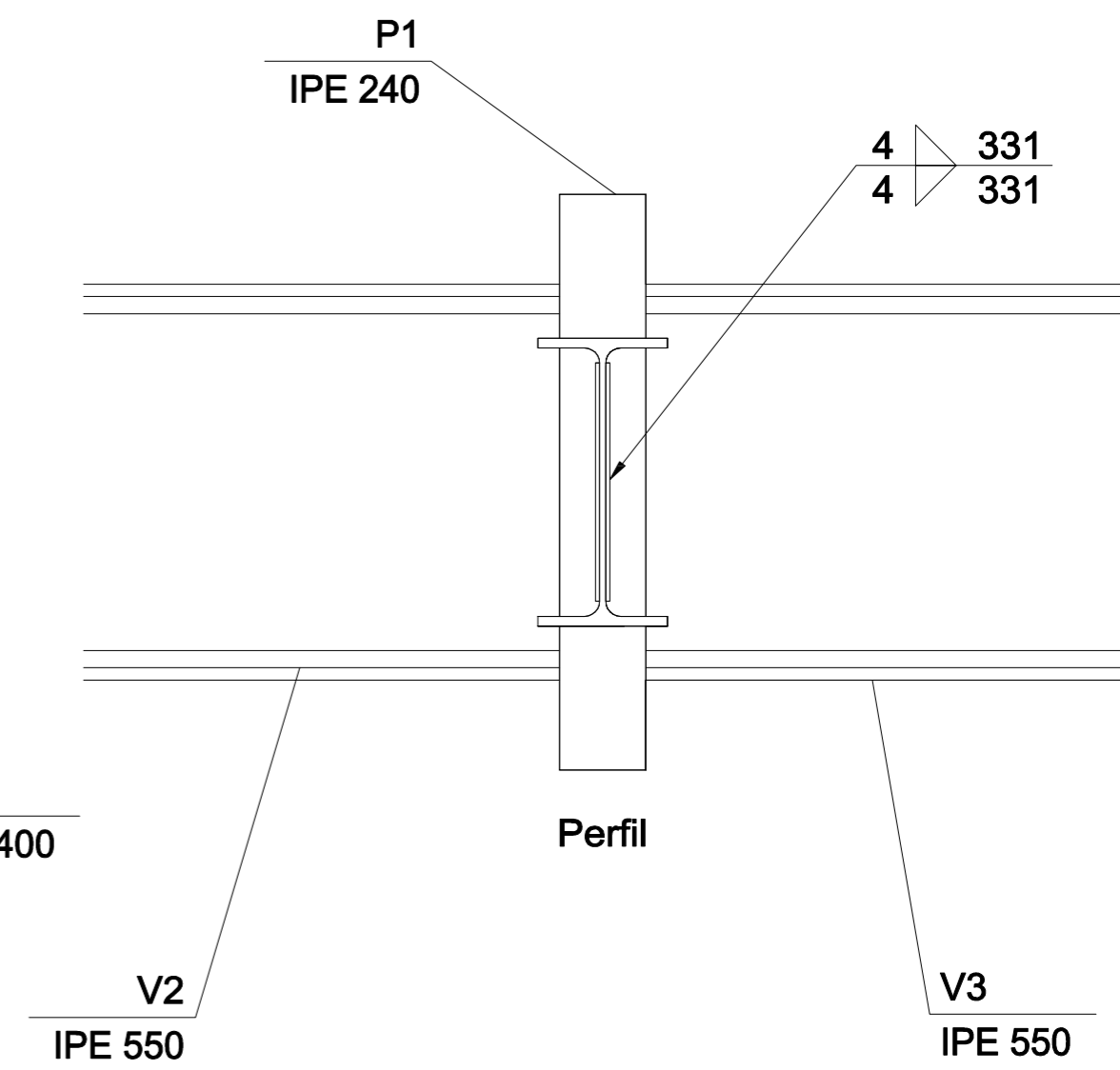
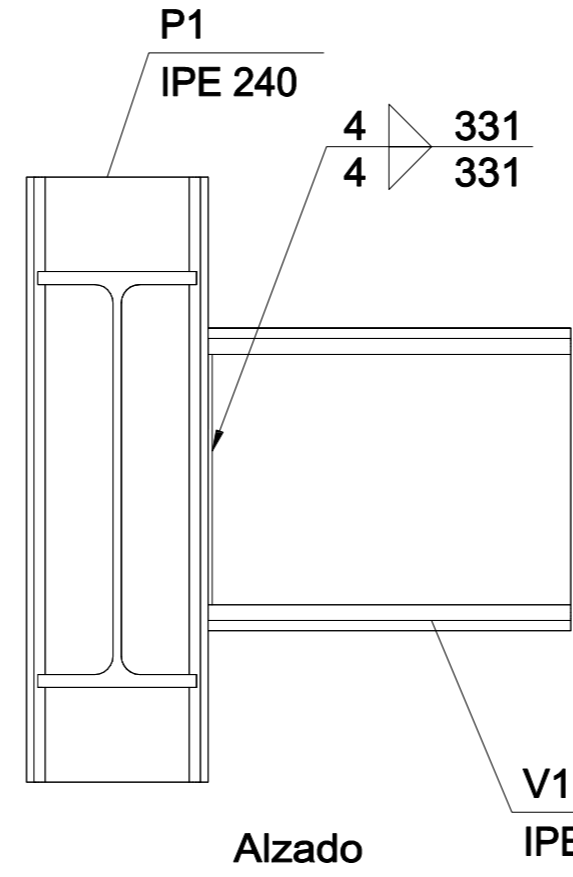
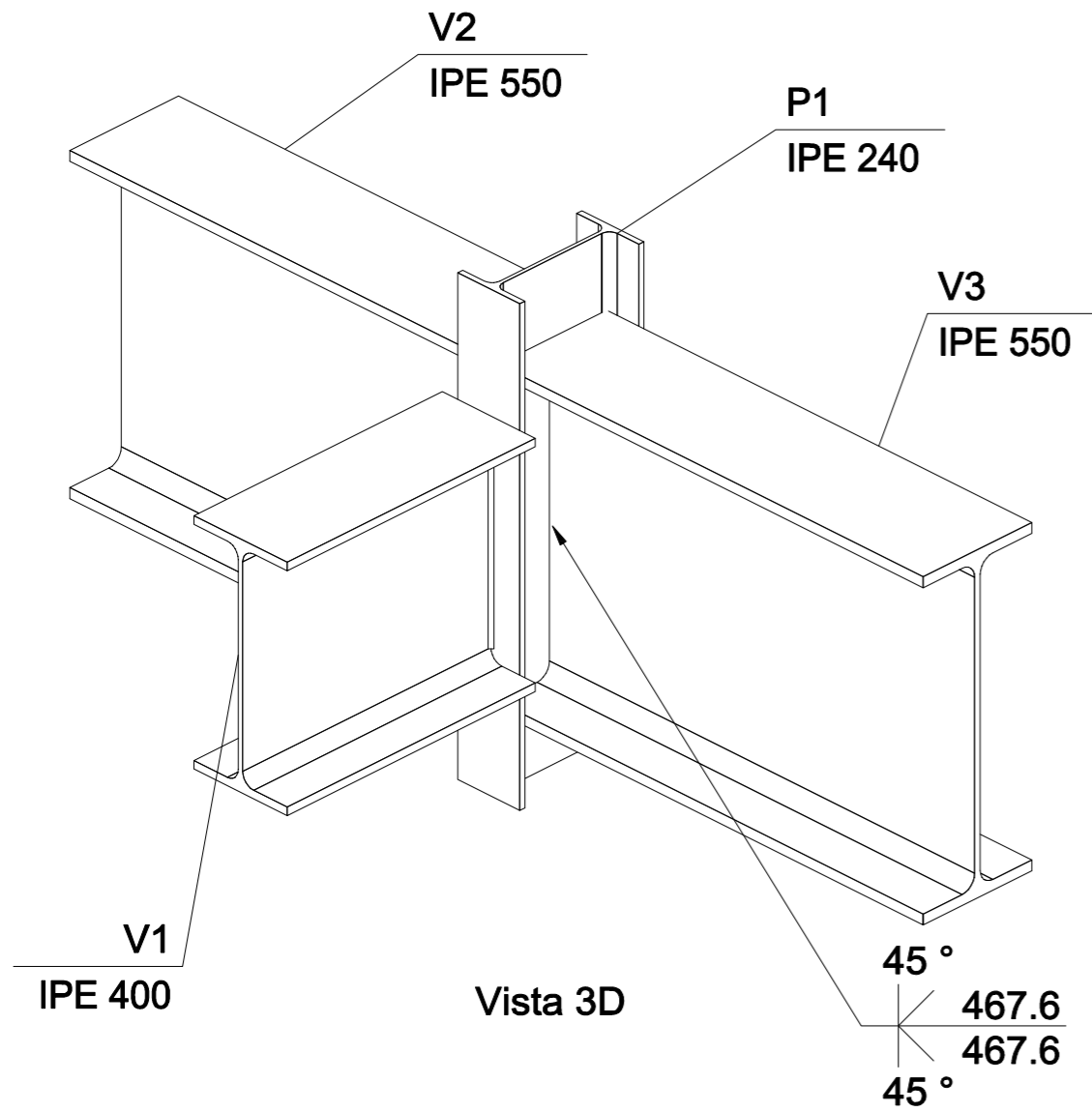
N° EXPEDIENTE:

1

N° PLANO:

17

FDO.: GRUPO: GRADO:



DEPARTAMENTO:



Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras

PROYECTO: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE INDUSTRIAL Y MODELADO DE LAS UNIONES MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

PETICIONARIO: VICTOR MARÍA JOLIN GARCÍA

DESIGNACION PLANO: UNIÓN 6

FIRMA: *V. Jolin*

SITUACION: POBLACION: LOCALIDAD: SITA: C.P.:

FECHA: 23-08-2023 ESCALA: 1/10

N° EXPEDIENTE: 1 N° PLANO: 18

FDO.: GRUPO: GRADO: