



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA
METÁLICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE
GRAN LUZ EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA
DEL PÓRTICO CENTRAL:
CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O
DE PERFILES DE SECCIÓN VARIABLE.**

Autor:

Rubén Valverde Pérez

Tutor:

Lorenzana Ibán, Antolín

Valladolid, Febrero de 2019

Agradecimientos

Ha llegado uno de los momentos más esperados en mi vida, después de más de cinco años de cursos compaginándolos con el trabajo que he realizado en diferentes en empresas, presento este Trabajo de Fin de Grado para obtener el título de Grado en Ingeniería Mecánica.

No me ha sido fácil todos estos años después de terminar la carrera de Arquitecto Superior, sufrir los duros estragos de la crisis de la construcción, volver a ponerme a estudiar para “reinventarme”, renunciando y perdiendo numerosas cosas, para obtener este título y poder volver al mercado laboral.

Tengo que agradecer a mucha gente que estuvo a mi lado, empezando por mis compañeros de universidad, que a pesar de la diferencia de edad me acogieron como uno más. A mis profesores que me ayudaron, transmitieron su conocimiento y fueron comprensibles con mi situación. En especial a mi tutor D. Antolín Lorenzana Iban por haberme mostrado su apoyo.

A mis compañeros de trabajo en el taller de estructuras Técnicas Dylpa, S.L. de los que mucho aprendí en el montaje de estructuras metálicas. A los compañeros de Ingeolid proyectos S.L. por los conocimientos de estructuras que me han sabido transmitir.

Pero sobre todo agradecer a mi familia, a mis padres, que gracias a su esfuerzo y sacrificio pudieron darme la educación ahora recibida y la posibilidad de hacer este Grado.

Ana María & Rafael

Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado, se pretende analizar la construcción de una nave de estructura metálica con 40,82 metros de luz, realizada con tres sistemas constructivos diferentes, Cerchas, Pórticos Acartelado y Pórticos de Sección Variable. Se estudiará el pórtico central de las tres tipologías para ver cuál es la más idónea (un estudio de toda la nave llevaría a formular numerosas hipótesis que serían practicante inabarcables en un TFG)

La nave se sitúa en la población de Terradillos (Salamanca) destinada a almacén y distribución de bebidas, con una longitud de 68,4 m, salvando una luz de 40,82 m y con una altura libre de 8,64 m para posibilitar el almacenamiento de estanterías de 6 m. Para ello se dispondrán 12 pórticos separados a 5,70 m.

Para los cálculos estructurales se ha utilizado el programa CYPE versión 2017.m, los módulos Generador de Pórticos, CYPE3D, AutoCAD y Catia para los planos y Presto para las mediciones y presupuesto.

Palabras clave: Estructura metálica, nave, cerchas, pórticos acartelados, pórticos variables, CYPE, Catia, AutoCAD, Presto, optimización.

Abstract

In the present Final Degree Project, we intend to analyze the construction of a metallic structure with 40 meters of width, made with three different construction systems, Trusses, Recessed and Arched Frames and Articulated Variable Section Frames. The central Frame of the three typologies will be studied to see which solution is the most suitable (a study of the whole ship would lead to proposing numerous hypotheses that would be an insuperable practitioner in a FDP)

The industrial building is located in the town of Terradillos (Salamanca) for storage and distribution of beverages, with a length of 68.4 m in length and saving a width of 40.82 m with a free height of 8.64 m to enable the storage of shelves of 6 m. For this, 12 separate porticos at 5.70 m will be installed.

For the structural calculations, the CYPE program version 2017.m, the Porch Generator modules, CYPE3D, AutoCAD and Catia for the plans and Presto for the measurements and budget have been used.

Keywords: Metallic structure, industrial building, frame, cartouched frames, changeable frames, CYPE, Catia, AutoCAD, Presto, optimization.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Motivación	8
1.2. Objetivos	9
1.2.1. Objetivo principal	9
1.2.2. Objetivos secundarios	9
1.3. Estructura del trabajo	9
2. MEMORIA DESCRIPTIVA	11
2.1. Antecedentes	12
2.2. Localización	12
2.3. Normativa	16
2.3.1. Justificación Normas Urbanísticas Municipales de Terradillos	16
2.3.2. Relación de Normativa a cumplir	17
2.4. Distribución	18
2.5. Materiales	20
2.5.1. Cimentación	20
2.5.2. Estructura	20
2.5.3. Tornillería	21
2.5.4. Soldaduras	24
2.5.5. Cerramiento laterales	25
2.5.6. Cubierta	26
3. APLICACIÓN DEL CTE ACCIONES DE LA EDIFICACIÓN	29
3.1. Geometría	30
3.1.1. Sistemas de coordenadas	30
3.1.2. Definición de la geometría	31
3.1.3. Ejes de cálculo	31
3.1.4. Criterio de signos de los listados de solicitaciones	32
3.2. Acciones permanentes	33
3.2.1. Cubierta	33
3.2.2. Cerramiento lateral	34
3.3. Acciones Variables	34
3.3.1. Sobrecarga de uso	34
3.3.2. Viento	35
3.3.3. Acciones térmicas	37
3.3.4. Nieve	38
3.4. Acciones accidentales	40

3.4.1.	Sismo	40
3.4.2.	Incendio	40
3.4.3.	Impacto	41
3.5.	Combinación de acciones	41
3.5.1.	Capacidad portante.....	41
3.5.2.	Aptitud al servicio.....	43
4.	CÁLCULO DE SOLUCIONES ESTRUCTURALES	45
4.1.	Generador de Pórticos.....	46
4.1.1.	Geometría de la nave.....	46
4.1.2.	Cerramiento lateral	46
4.1.3.	Datos generales de la obra.....	47
4.1.4.	Cálculo de correas.....	48
4.1.5.	Exportación a CYPE 3D.....	50
4.2.	Cerchas	53
4.2.1.	Consideraciones iniciales	53
4.2.2.	Modificación de geometría.....	53
4.2.3.	Descripción de nudos.....	56
4.2.4.	Descripción de las barras	57
4.2.5.	Coefficientes de pandeo.....	58
4.2.6.	Flechas.....	61
4.2.7.	Cálculo	62
4.2.8.	Cimentación.....	69
4.3.	Pórticos Acartelados.....	70
4.3.1.	Modificación de la geometría.....	70
4.3.2.	Descripción de nudos.....	73
4.3.3.	Descripción de las barras	73
4.3.4.	Coefficientes de pandeo.....	74
4.3.5.	Flechas.....	75
4.3.6.	Cálculo	75
4.3.7.	Cimentación.....	80
4.4.	Pórticos de Sección Variable	81
4.4.1.	Consideraciones iniciales	81
4.4.2.	Modificación de geometría.....	81
4.4.3.	Descripción de nudos.....	82
4.4.4.	Descripción de las barras	82
4.4.5.	Coefficientes de pandeo.....	85
4.4.6.	Pandeo lateral.....	85
4.4.7.	Flechas.....	87

4.4.8.	Cálculo	88
4.4.9.	Cimentación.....	93
4.5.	Comparativa de las tres soluciones estructurales.....	94
4.5.1.	Perfiles y secciones de los elementos.....	94
4.5.2.	Kg de acero.....	95
4.5.3.	Cimentación.....	96
4.5.4.	Tensiones	96
5.	ESTUDIO PORTICO CENTRAL.....	103
5.1.	Cercha	104
5.1.1.	Diagramas.....	104
5.1.2.	Comprobación de los pilares.....	107
5.2.	Pórticos Acartelados.....	113
5.2.1.	Diagramas.....	113
5.2.2.	Comprobación de los pilares.....	115
5.3.	Pórticos de Sección Variable	119
5.3.1.	Diagramas.....	119
5.3.2.	Comprobación de los pilares.....	121
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	127
6.1.	Trabajos futuros	129
7.	MEDICIONES Y PRESUPUESTOS.....	131
7.1.	Cerchas	132
7.2.	Pórticos Acartelados.....	134
7.3.	Pórticos de Sección Variable	136
8.	LISTADO NO EXHAUSTIVO DE COMPROBACIONES DE CYPE3D	139
8.1.	Cerchas	140
8.2.	Pórticos Acartelados.....	145
8.3.	Pórticos de Sección Variable	147
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	153
10.	INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	155
10.1.	Índice de tablas	159
11.	FOTOGRAFIAS	161
12.	PLANOS.....	167

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

En la construcción industrial existen diferentes formas de ejecutar una misma nave. A lo largo de la historia han surgido muchas tipologías que han ido mejorando las versiones anteriores.

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado (de aquí en adelante TFG) es el estudio de la estructura metálica de una nave real de 68,4 m de longitud y 40,82 m luz (2.792 m² construidos) realizada con tres sistemas constructivos diferentes, Cerchas, Pórticos Acartelados y Pórticos de Sección Variable. Nos centraremos en el pórtico central de la misma estudiándolo desde el punto de vista estructural y constructivo para ver qué solución de las tres es la más óptima.

Se pretende ver la repercusión en los diferentes elementos constructivos (cimentación, pilares, cabios ...) de la consecuencia de elegir un sistema u otro. Como trabajan estos elementos dependiendo de la geometría y tipología adoptados.

A modo de resumen indicaremos los puntos fundamentales de estos sistemas ^[3]:

Cerchas:

- Grandes luces, distancia máxima recomendada 45 m.
- Colocación de falsos techos sencilla
- Gran capacidad de soportar cargas.
- Dificultad para instalar lucernarios
- Gran cantidad de barras y muchas soldaduras.
- Protección contra incendios compleja.
- Mayor mantenimiento.
- Mayor acumulación de suciedad.

Pórticos Acartelados:

- Luces recomendadas máximas en torno a 40 m.
- Gran volumen interior.
- Menos perfiles.
- Más diáfana que la anterior.
- Menor capacidad de soportar cargas-pesos.
- Falsos techos, más difíciles de colocar, sobre todo en los acartelamientos.
- Fácil colocación de lucernarios.
- Protección contra incendios sencilla.

Pórticos de Sección Variable:

- Luces máximas entorno a los 45 m.
- Volumen interior grande aunque menor que la anterior.
- Necesidad de fabricar los perfiles en taller a base de chapones.
- Gran capacidad de soportar cargas.
- Dificultad en la colocación de falsos techos.
- Unión con la cimentación más compleja al ser articulada.
- Facilidad para colocación de lucernarios.
- Protección contra incendios sencilla.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Estudio mediante la simulación con el programa CYPE de la estructura de una nave industrial construida con tres sistemas diferentes viendo cuál de las tres resulta más rentable y óptima.

1.2.2. Objetivos secundarios

- Análisis de las cargas del CTE y más concretamente del DB-SE-AE (Documento Básico de Seguridad Estructural de Acciones de la Edificación)
- Estudio constructivo de las tres tipologías de sistemas elegidos.
- Repercusión económica de cada uno de los sistemas constructivos
- Estudio a pandeo de los pilares.

1.3. Estructura del trabajo

Este trabajo está basado en un caso real de una nave industrial realizada en la población del Terradillo de la provincia de Salamanca. Seguiremos en mismo método de trabajo que se hizo en el estudio de ingeniería a la hora de realizar esta nave.

Primeramente se estudiarán los condicionantes de partida; necesidades del cliente, logísticas, urbanísticas, de diseño. materiales empleados, solicitudes a las que está expuesta la nave, etc.

Se elegirá una geometría tipo que cumpla las condiciones anteriores y que desde el punto de vista estructural sea razonable. Para ello diseñaremos el pórtico tipo con el programa Generador de Pórticos que nos dará un primer esbozo de la nave con las cargas aplicadas.

Una vez obtenida esta geometría básica y las cargas que solicitan a la nave, modificaremos su configuración mediante el programa CYPE3D para adaptarlo a las tres tipologías que vamos a emplear. Nos centraremos en el análisis del pórtico central, ya que un análisis completo de la estructura nos llevaría a realizar numerosas suposiciones. Obtendremos de esta manera los diferentes perfiles que componen cada uno de los tres sistemas elegidos.

Analizaremos las repercusiones de elegir un sistema u otro, secciones de los perfiles, tensiones, aprovechamiento máximo, cimentación, etc.

Realizaremos una medición del material que se utilizará en la construcción de cada una de las tipologías, comparando los diferentes presupuestos para ver cuál de las tres soluciones es la más económica.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. Antecedentes

La empresa Comercial de Bebidas Tejedor S.L. se dedica al almacenamiento y distribución de bebidas refrescantes, cerveza y vino a los establecimientos especializados. La empresa va a realizar unas nuevas instalaciones desde donde poder almacenar y distribuir sus productos, ampliando la zona de servicio de la empresa^[1].

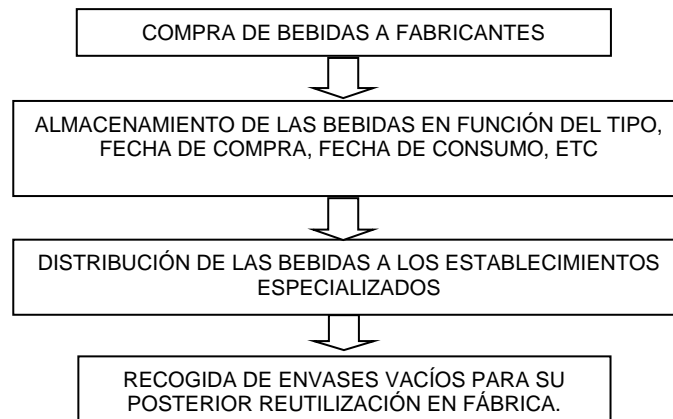
Se trata de unas nuevas instalaciones donde la empresa pretende desarrollar la actividad de almacenamiento y distribución de bebidas, cervezas y vino, con una zona destinada a tareas administrativas. La actividad que desarrolla la empresa es la compra de grandes lotes de bebidas embotelladas y envasadas a las fábricas productoras. Para posteriormente venderla y distribuirla en pequeñas cantidades a los establecimientos especializados en venta de bebidas.

Los motivos de la inversión son los de establecer la actividad de almacén distribuidor de bebidas en unas nuevas instalaciones desde las cuales poder ampliar la zona de influencia de la empresa. Las nuevas instalaciones, al contar con cerramientos y cubiertas totalmente opacos, evita el paso de la luz, con lo que se evita la degradación de las bebidas.

Los objetivos estratégicos son:

- Mejorar y controlar la calidad de los productos almacenados.
- Preparar la instalación para un probable aumento de la actividad de almacenamiento y distribución.
- Disponer de unas nuevas instalaciones más amplias y preparadas para el almacenamiento de este tipo de productos, evitando la degradación de las bebidas debido a la luz solar, temperaturas elevadas, etc.

Se define gráficamente el proceso.



2.2. Localización

La inversión efectuada se va a realizar en la Parcela 120, Polígono 501 del municipio de Terradillos, C.P. 37.882, Terradillos (Salamanca). La parcela es de forma trapezoidal con un desnivel de norte a sur de 3,40 m. situándose la cota más baja en el Norte.

Se adjunta localización de la parcela, ficha catastral y plano con levantamiento topográfico de la misma.

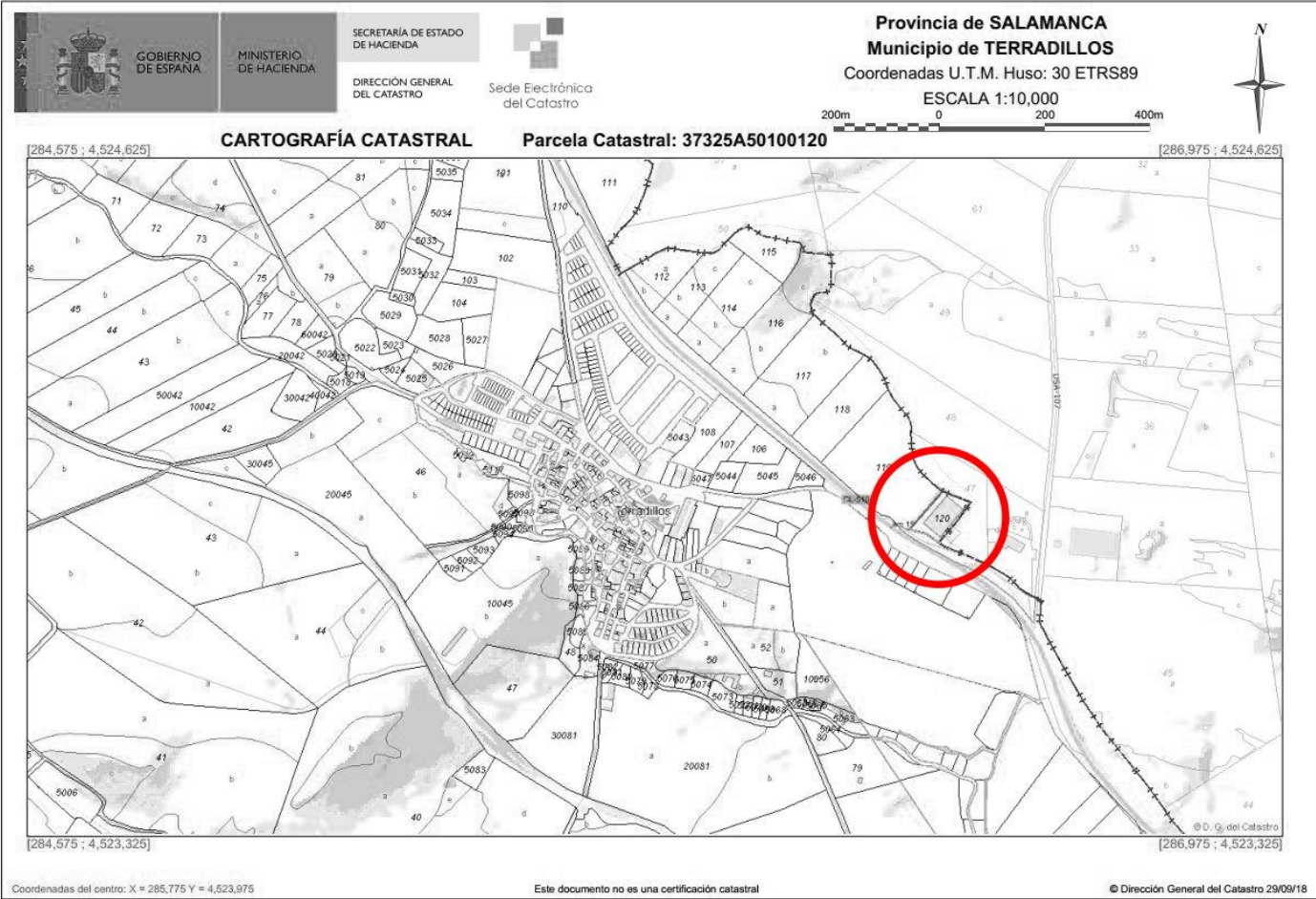


Figura 2.2-1 Localización en catastro

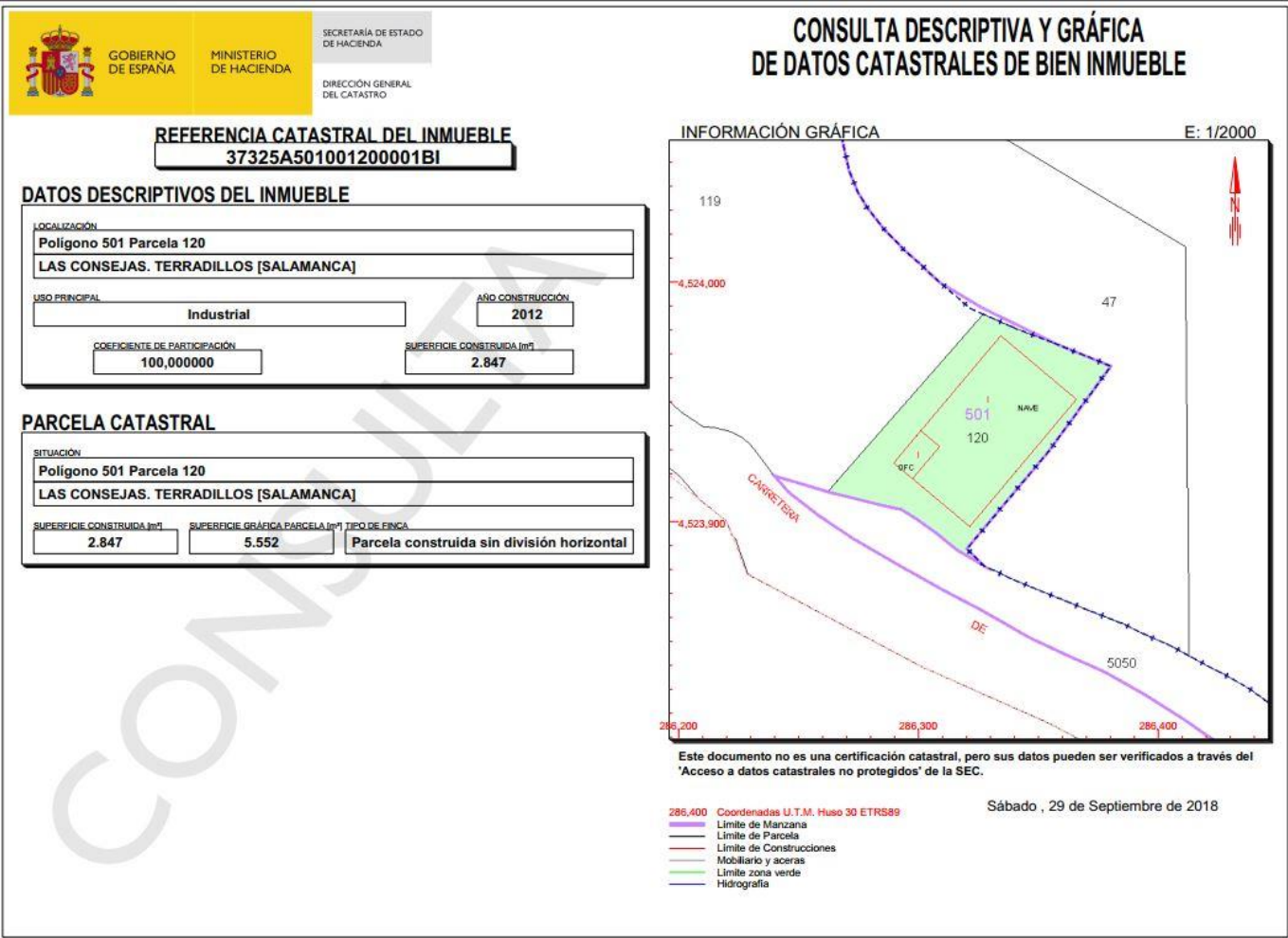


Figura 2.2-2 Referencia catastral

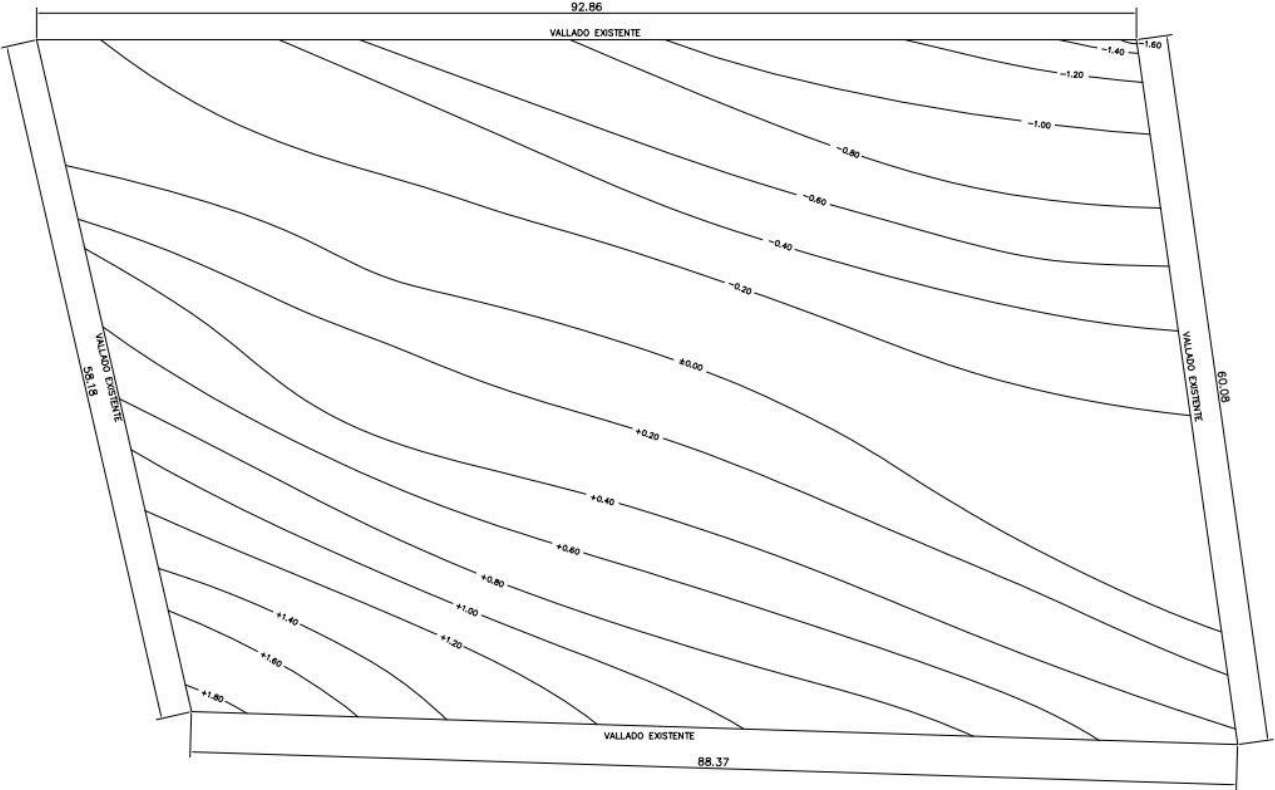


Figura 2.2-3 Plano topográfico de parcela

2.3. Normativa

2.3.1. Justificación Normas Urbanísticas Municipales de Terradillos

La nave proyectada debe cumplir las Normas Urbanísticas Municipales de Terradillos, con fecha de publicación en el BOCYL de 30 de Mayo de 2006

Para la ejecución del presente proyecto, se realizó Solicitud de Autorización de Uso Excepcional en Suelo Rústico para almacén contenedor genérico en parcela 12 polígono 501 en el municipio de Terradillos (Salamanca) con una superficie de 5.247 m²

Se justifica el total cumplimiento de las disposiciones vigentes según ficha:

SITUACIÓN: PARCELA 120, POLÍGONO 501, TERRADILLOS (SALAMANCA)

PLANEAMIENTO: SUELO RUSTICO COMÚN

CONCEPTO	EN PLANEAMIENTO	PARCELA A ESTUDIO
Parcela mínima	Parcelario catastral. Segregación mínima: UMC	5.247 m ² . (TOPOGRAFÍA) CUMPLE
Ocupación	5%	54,28% (en parcela) SE DISPONE DE PARCELAS DISCONTINUAS PARA ALCANZAR EL 5% CUMPLE
Retranqueos	6 m	Mínimo 6 m.
Edificabilidad	0,05 m ² /m ²	0,5428 m ² /m ² (en parcela) SE DISPONE DE PARCELAS DISCONTINUAS PARA ALCANZAR los 0,05 m ² /m ² CUMPLE
Altura	1p/7m hasta el alero o justificación por mayor altura	1p/8,60 metros hasta alero CUMPLE (*) Se justifica
Pendiente máxima cubierta	30%	8% CUMPLE
Condiciones especiales	La implantación de edificaciones de más de 3.000 m ² requerirá la tramitación de un Plan Especial	2.848,11 m² CUMPLE

Tabla 2.3.1-1 Cumplimiento de planeamiento

Para alcanzar los parámetros de ocupación y edificabilidad que establece la Normativa Urbanística de Terradillos, se toma como base un conjunto de parcelas discontinuas con la misma calificación urbanística, con el fin de cumplir con el artículo 41 (Normas de parcelación) de la normativa en vigor. Esta afección se gravará en el Registro de la Propiedad sobre cada una de ellas.

(*) Justificación de altura:

La empresa, como ya se ha indicado, almacena bebida para su posterior distribución. Dicha bebida, se compra a los fabricantes paletizada. Los pallets tienen un peso elevado, por lo que es necesario disponer de carretillas elevadoras para su manipulación dentro del almacén.

Esto implica que se deban disponer de pasillos de grandes dimensiones donde las carretillas puedan maniobrar, con lo que se reduce notablemente la superficie destinada a almacenamiento. La empresa soluciona este problema, disponiendo de estanterías en tres alturas más la planta de cota de suelo, lo que implica la necesidad de disponer de 8 m de altura (2 m por planta de estantería) que poseen las estanterías, más una pequeña holgura con respecto a cubierta, por lo que la nave se eleva hasta los 8,60 m necesarios para poder desarrollar con garantías el almacenamiento propuesto.

2.3.2. Relación de Normativa a cumplir**Normativa urbanística**

- Normas Urbanísticas Municipales de Terradillos, 6 de marzo de 2006
- Solicitud de Autorización de Uso Excepcional en Suelo Rústico para Almacén contenedor genérico en parcela 12 polígono 501 en el municipio de Terradillos (Salamanca)
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.(BOE núm. 74,Martes 28 marzo 2006)
- Método y Normas de Ensayo del Laboratorio Central del Ministerio de Fomento.
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre L.O.E. “Ley de Ordenación de la Edificación” (BOE Nº 266, de 6 de noviembre de 1.999).
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Normativa sobre industria y maquinaria.

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Real Decreto 2135/1980, de 26 de septiembre, sobre liberación en materia de instalación, ampliación y traslado de industrias en general.
- Ley 3/1990, de 16 de marzo, sobre normas reguladoras de la seguridad de las instalaciones en las industrias en general.
- Real Decreto 2200/1995 de la Infraestructura para la calidad y seguridad industrial y directiva Europea 93/465 CEE.
- Directiva europea 93/465 CEE relativa a los módulos correspondientes de evaluación de conformidad y a las disposiciones referentes al sistema de colocación del marcado CE de conformidad, que van a utilizarse en las directivas de armonización técnica.
- Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas, modificado por Real Decreto 56/1995, de 20 de enero.

Reglamentos de instalaciones.

- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.(BOE núm. 74,Martes 28 marzo 2006)
- Real Decreto 842/2002 por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

- Real Decreto 2267/2004, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales
- Ley 54/1997 del Sector eléctrico.
- Real Decreto 1955/2000 por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimiento de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Normas particulares de la Empresa Suministradora de Energía Eléctrica.
- Normas UNE.

Normativa de aplicación sobre seguridad y salud en los lugares de trabajo.

- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre de Seguridad y Salud en la Edificación.
- Ley 3/1.998, de 24 de junio de la Junta de Castilla y León sobre supresión de barreras arquitectónicas.

Normativa medioambiental de aplicación.

- Ley 11/2003 de 8 de Abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León
- Ley 1/2009, de 26 de febrero, de modificación de la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.
- Real Decreto Legislativo 1302/1986. Evaluación de impacto ambiental.
- Real Decreto 1131/1998 Reglamento sobre evaluaciones de impacto ambiental.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985 de Aguas (BOE nº 103, de 30-4-86).
- Ley 5/2009 de 4 de Julio, del ruido de Castilla y León.
- Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico (BOE nº 309, de 26-12-72).

2.4. Distribución

Se establecen las dimensiones y características geométricas de la nave para poder realizar los cálculos pertinentes. Al tratarse de una nave de almacenamiento se busca una forma geométrica lo más rectangular posible.

La nave proyectada dispondrá de:

- Zona de almacenamiento que ocupa prácticamente toda la nave
- Zona administrativa ubicada en planta baja y dispone de:
 - Despacho de dirección
 - Sala preventa
 - Administración
 - Sala de catas
 - Vestuario de personal
 - Almacén
 - Aseo, hall y pasillo.

Se adjunta cuadro de superficies y esquema de distribución.

Cuadro de superficies útiles:

ZONA		DEPENDENCIA	SUPERFICIES ÚTILES
ZONA NAVE	PLANTA BAJA	ALMACÉN	2.628,45 m ²
ZONA OFICINAS	PLANTA BAJA	HALL	7,97 m ²
		PASILLO	15,47 m ²
		ADMINISTRACIÓN	36,84 m ²
		DESPACHO DIRECCIÓN	14,95 m ²
		SALA DE PREVENTA	20,10 m ²
		SALA DE CATAS	40,94 m ²
		VESTUARIO PERSONAL	13,43 m ²
		ALMACÉN	7,46 m ²
		ASEO	2,46 m ²
TOTAL PLANTA BAJA			2.788,07 m²

Tabla 2.4-1 Cuadro de superficies útiles

Cuadro de superficies:

LOCAL	SUPERFICIE PARCELA	SUPERFICIE OCUPADA	SUPERFICIE EDIFICADA	SUPERFICIE ÚTIL
Planta baja	5.247,00 m ²	2.848,11 m ²	2.848,11 m ²	2.788,07 m ²
TOTAL	843,04 m²	2.848,11 m²	2.848,11 m²	2.788,07 m²

Tabla 2.4-2 Cuadro de superficies

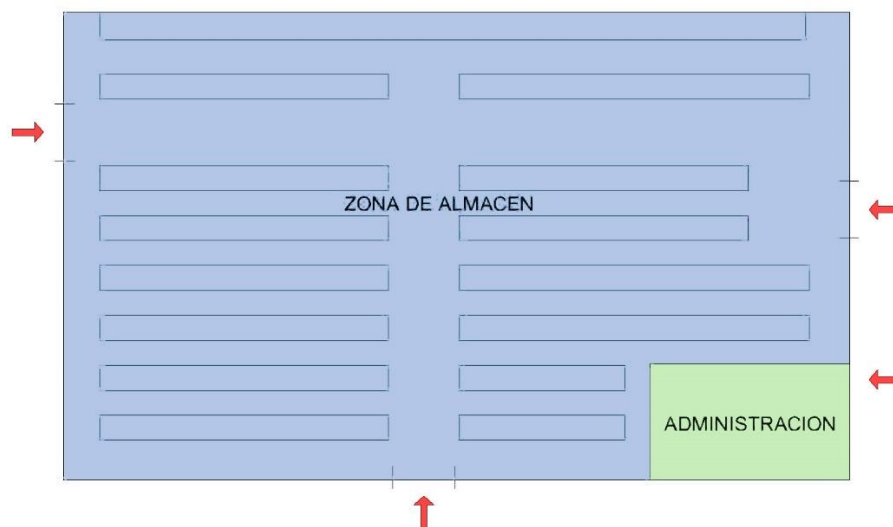


Figura 2.4-1 Planta de distribución

En el punto 11 se adjuntas las fotos de la nave ejecutada.

2.5. Materiales

2.5.1. Cimentación

Para la cimentación se usará HA-25/P/30/IIa de acuerdo con el artículo 39.2 de la EHE-08 sobre la tipificación de los hormigones, corresponde a un hormigón armado de resistencia característica específica de 25 MPa, consistencia plástica, tamaño máximo del árido de 30 mm y ambiente con humedad alta.

Previamente se verterá una capa de 10 cm de espesor de hormigón de limpieza HL-15/P/20/IIa.

La cimentación se realizará con zapatas flexibles de hormigón armado unidas por vigas de atado, que servirán a su vez de apoyo para los paneles de cerramiento. El dimensionamiento de estas dependerá de las cargas introducidas por los pilares y su unión a ellas (empotrados o articulados).

Para el terreno se considera tensión admisible mismo de 0,2 MPa, correspondiente a arenas semidensas.

Para el acero de la cimentación se usarán barras corrugadas B 500 S ($f_y = 500$ MPa)

Tabla 32.2.a Tipos de acero corrugado

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Designación		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,s}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{máx}$ (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo ⁽³⁾	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_u/f_y ⁽²⁾		≥ 1,05	≥ 1,05	$1,20 \leq f_u/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_u/f_y \leq 1,35$
Relación $f_y \text{ real}/f_y \text{ nominal}$		--	--	≤ 1,20	≤ 1,25

(1) Para el cálculo de los valores unitarios se utilizará la sección nominal.

(2) Relación admisible entre la carga unitaria de rotura y el límite elástico obtenidos en cada ensayo.

(3) En el caso de aceros corrugados procedentes de suministros en rollo, los resultados pueden verse afectados por el método de preparación de la muestra para su ensayo, que deberá hacerse conforme a lo indicado en el Anejo 23. Considerando la incertidumbre que puede conllevar dicho procedimiento, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de $\epsilon_{máx}$ que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

Tabla 2.5.1-1 Tipos de acero corrugado

2.5.2. Estructura

Se usará perfiles laminados en caliente S275JR para la estructura de las tres soluciones adoptadas.

Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

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

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

Tabla 2.5.2-1 Características mecánicas de los aceros

2.5.3. Tornillería

Se utilizará tornillería de alta resistencia de grado 8.8, utilizando como referencia el catálogo Dislas^[14].

Tabla 4.3 Características mecánicas de los aceros de los tornillos, tuercas y arandelas

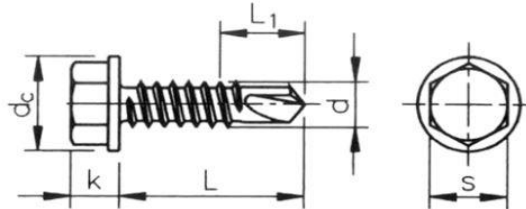
Clase	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)	240	300	480	640	900
Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	400	500	600	800	1000

Tabla 2.5.3-1 Característica mecánicas de los tornillos, tuercas y arandelas.

Tornillos de cubierta

Serán de tipo autorroscante provisto de goma para evitar la entrada de agua.

Tornillo punta broca más arandela goma M5,5x22, clase 8.8 DIN 7504-K zincado



d_c	8,8	10,5	11	13,2
k max.	4,25	4,45	5,45	6,45
s	7	8	8	10
$L1 \approx$	7	8	10	11

Figura 2.5.3-1 Tornillo punta broca, DIN 7504-K

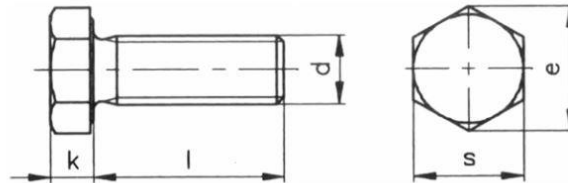
Tornillos estructura

Para las uniones de los diferentes perfiles se utilizarán, tornillos de cabeza hexagonal con diferente métrica y longitudes según sean los cálculos realizados,

no objeto de este TFG. Por ejemplo para la unión de los cabios de la cubierta a los pilares se podrían usar:

Tornillo cabeza hexagonal M20x60, clase 8.8, DIN 933, zincado.

TORNILLO CABEZA HEXAGONAL



k	1,4	1,7	2	2,8	3,5	4	5,3	6,4	7,5	8,8	10	11,5	12,5	14	15	17	18,7	21	22,5
e	4,32	5,45	6,01	7,66	8,79	11,05	14,38	18,9	21,1	24,49	26,75	30,14	33,53	35,72	39,98	45,2	50,85	55,37	60,79
s	4	5	5,5	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55

Figura 2.5.3-2 Tornillo cabeza hexagonal, DIN 933

Tornillos cimentación

Podría realizarse la cimentación con placa y contraplaca regulada con tuercas para obtener una nivelación milimétrica y posterior relleno del hueco entre las placas con mortero de alta resistencia tipo SikaGrout®-218 utilizando varillas roscadas como por ejemplo:

Varilla roscada M22x250, calidad 8.8, DIN 975, zincada.

VARILLA ROSCADA

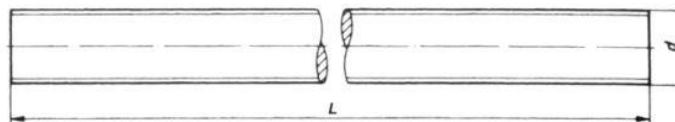


Figura 2.5.3-3 Varilla roscada

Para las uniones se utilizará doble elemento de seguridad usando tuerca y contratuerca o arandela Grower y tuerca autoblocante.

Tuercas

La clase en general usada para toda la estructura serán tuercas DIN 934, un ejemplo de designación de ellas serían las tuercas:

Tuerca hexagonal M20, clase 8, DIN 934 zincada.

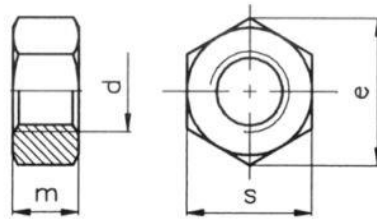


Figura 2.5.3-4 Tuerca, DIN 934

Tuercas de seguridad

Las tuercas usadas para la inmovilización de los elementos roscados serán:

Tuerca autoblocante M20, clase 8, DIN 980 zincada.

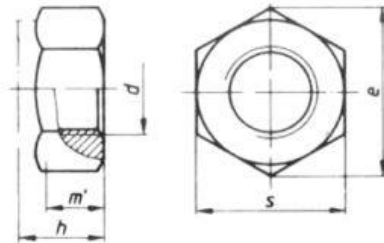


Figura 2.5.3-5 Tuerca, DIN 980

Arandelas en general

Para los elementos de toda la estructura excepto la cimentación el tipo escogido será:

Arandela Plana M12, DIN 125, zincada

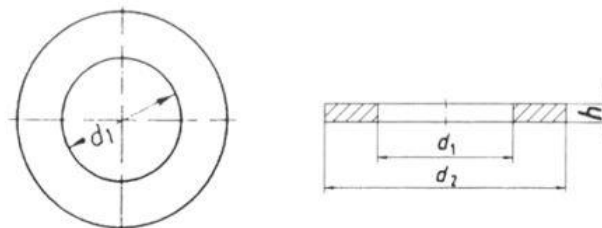


Figura 2.5.3-6 Arandela plana, DIN125

Arandelas cimentación

Al soportar mayor carga se usarán arandelas de ala ancha que también permiten tener unas holguras mayores en los taladros de las placas de cimentación y posicionar mejor los pilares.

Arandela de ala ancha, DIN 9021, zincada

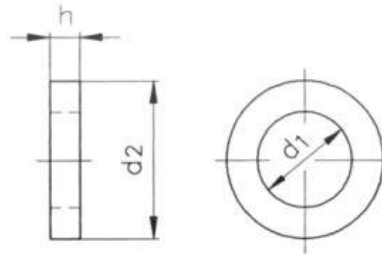


Figura 2.5.3-7 Arandela ala ancha, DIN 9021

Arandelas de seguridad

Otro elemento para la inmovilización de los pernos y tornillos junto con las tuercas autoblocantes serán las arandelas Grower:

Arandela Grower, DIN 127, zincada

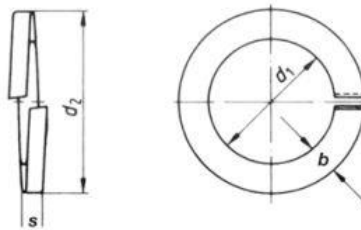


Figura 2.5.3-8 Arandela Grower, DIN 127

2.5.4. Soldaduras

Diferenciaremos dos tipos de soldaduras^[11]:

Soldaduras en taller

Para las soldaduras en taller se usará la soldadura MAG (Metal Active Gas), soldadura eléctrica con fusión, utilizando como gas de protección CO₂. Usaremos este método ya que la accesibilidad de las piezas en taller es buena y se puede trabajar en posiciones cómodas.

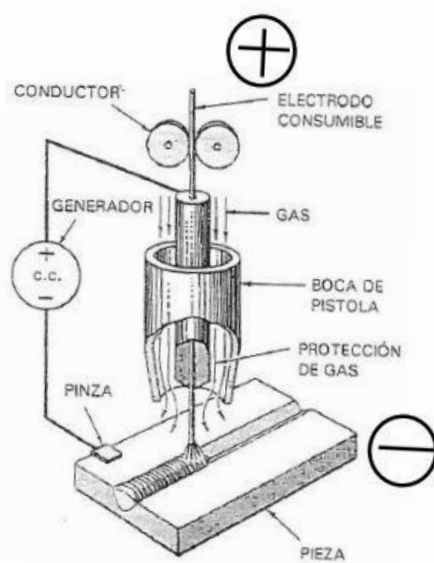


Figura 2.5.4-1 Soldadura MAG (Metal Active Gas)

Soldaduras en obra

Se evitará en la medida de lo posible ya que la estructura se diseñará usando uniones atornillos. Cuando fuera necesario se usará soldadura con arco eléctrico y electrodo metálico revestido, SMAW (Shield Metal Arc Welding). Para ello utilizaremos electrodos de rutilo de 2,5 mm x 350 mm para este tipo de soldaduras

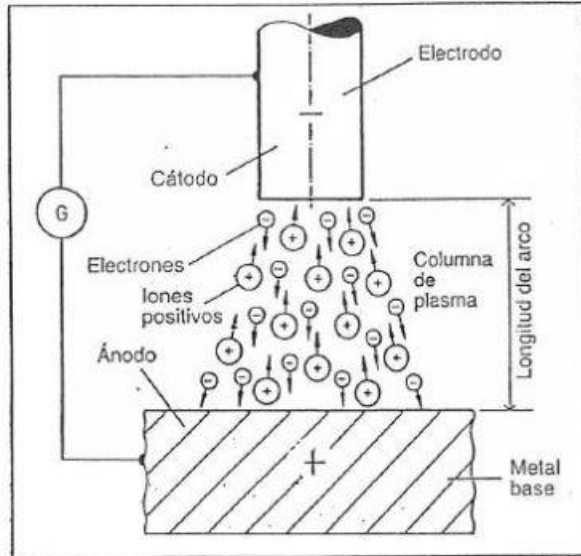


Figura 2.5.4-2 Soldadura SMAW (Shield Metal Arc Welding)

2.5.5. Cerramiento laterales

Para el cerramiento de la nave usaremos panel de cerramiento prefabricado de hormigón machihembrado, de 20 cm de espesor, acabado en color gris liso, en piezas de 2,40 m de ancho. Formadas por dos planchas de hormigón de 5 cm de espesor con rigidizadores interiores, con capa interior de poliestireno de 10 cm de espesor^[15].

El panel se colocara entre las almas de los perfiles de la estructura, haciendo que a pandeo inmovilice esto considerándolos como empotrados.



Figura 2.5.5-1 Sección cerramiento prefabricado de hormigón

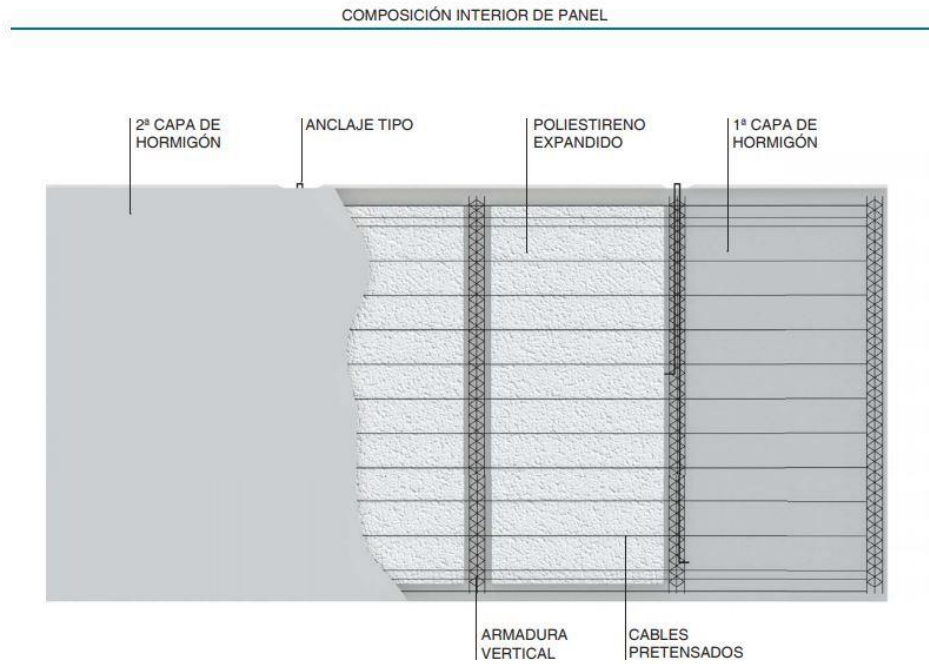


Figura 2.5.5-2 Alzado cerramiento de panel de hormigón prefabricado.

2.5.6. Cubierta

Para el cerramiento de cubierta usaremos panel sándwich con núcleo aislante rígido de alto rendimiento térmico (espuma PIR-poliisocianurato o PUR-poliuretano). Caras exteriores de chapa perfilada de acero estructural tipo S220GD de espesor 0,5 mm.

En la imagen siguiente podemos ver las dimensiones, peso y características térmicas.

Ancho útil	1.150 mm					
Longitud de fabricación	Estándar:	2,0 a 13,5 m				
	Especial:	13,5 a 20 m (transporte especial)				
Conductividad térmica (PIR)	0,0195 W/mK					
Conductividad térmica declarada (PIR)	0,0217 W/mK (considerando núcleo envejecido)					
Densidad del núcleo aislante	40 ± 5 kg/m³					
Espesor núcleo aislante (A)	30	40	50	60	80	100 (mm)
Peso	9,9	10,3	10,7	11,1	11,9	12,9 (kg/m²)
	11,4	11,9	12,4	12,8	13,8	14,8 (kg/ml)
Transmitancia térmica (PIR)	0,63	0,49	0,40	0,34	0,26	0,22 (W/m²K)

NOTA: Transmitancia térmica determinada acorde a norma EN 14509, considerando el efecto del envejecimiento del núcleo aislante, certificada mediante la marca N de AENOR.

Tabla 2.5.6-1 Características panel de cubierta

Para la determinación de las distancias entre correas también es importante ver la tabla de luces máximas que nos aporta el fabricante. En nuestro caso para una carga de 1.000 N/m² y una distancia de 1,4 m cumplimos sobradamente con un panel de 40 mm de espesor, situándonos en el caso más desfavorable de dos apoyos y una flecha admisible máxima de L/200.

DOS APOYOS	Espesor (mm)	Cargas descendentes (daN/m ²)						
		50	75	100	125	150	175	200
	30	3,50	3,00	2,60	2,30	2,10	1,90	1,80
	40	3,80	3,30	2,90	2,60	2,40	2,20	2,10
	50	4,10	3,60	3,20	2,90	2,70	2,50	2,40
	60	4,40	3,90	3,50	3,20	3,00	2,80	2,70
	80	5,30	4,60	4,20	3,90	3,65	3,50	3,35
	100	5,60	5,00	4,45	4,05	3,75	3,50	3,35

NOTA: Flecha máxima admisible $\leq L/200$. 1 daN/m² \approx 1 kg/m²

Tabla 2.5.6-2 Cargas máximas panel de cubierta biapoyado

3. APLICACIÓN DEL CTE ACCIONES DE LA EDIFICACIÓN

3.1. Geometría

3.1.1. Sistemas de coordenadas

Se utilizan tres tipos de sistemas de coordenadas^[12]:

Sistema general: Es el sistema de coordenadas utilizado para situar elementos en el espacio. Está constituido por el origen de coordenadas O_g y los ejes X_g , Y_g y Z_g , formando un triedro. Los ejes X_g y Z_g definen el plano horizontal del espacio, y los planos formados por $X_g Y_g$ y $Y_g Z_g$ son los verticales.

Sistema local: Es el sistema de coordenadas propio de cada una de las barras de la estructura y depende de su situación y orientación en el espacio. Cada barra tiene un eje de coordenadas local para cada uno de sus nudos i y j , a los que se denominará $[O_{li}, X_{li}, Y_{li}, Z_{li}]$ y $[O_{lj}, X_{lj}, Y_{lj}, Z_{lj}]$, respectivamente. Los ejes locales se definen de la siguiente manera:

- Ejes Locales en el NUDO i :
 - El origen de coordenadas O_{li} está situado en el nudo i .
 - El eje X_{li} se define como el vector de dirección ji .
 - El eje Y_{li} se selecciona perpendicular a los ejes X_{li} y Z_g , de forma que el producto vectorial de Z_g con X_{li} coincida con Y_{li} .
 - El eje Z_{li} se determina por la condición de ortogonalidad que debe cumplir el triedro formado por X_{li} , Y_{li} , Z_{li}
- Ejes Locales en el NUDO j :
 - El origen de coordenadas O_{lj} está situado en el nudo j .
 - El eje X_{lj} se define como el vector de dirección ij .
 - El eje Y_{lj} se selecciona perpendicular a los ejes X_{lj} y Z_g , de forma que el producto vectorial de Z_g con X_{lj} coincida con Y_{lj} .
 - El eje Z_{lj} se determina por la condición de ortogonalidad que debe cumplir el triedro formado por X_{lj} , Y_{lj} y Z_{lj} .

Sistema principal: Es el sistema de coordenadas que coincide con el sistema de ejes principales de inercia de la sección transversal de una barra. Se obtiene mediante una rotación de valor un ángulo β , entre los ejes Y local e Y principal de su nudo de menor numeración, medido desde el eje Y local en dirección a Z local.

El sistema de coordenadas general $[O_g, X_g, Y_g, Z_g]$ se utiliza para definir las siguientes magnitudes:

- Coordenadas de los nudos.
- Condiciones de sustentación de los nudos en contacto con la cimentación (apoyos, empotramientos, resortes y asientos).
- Cargas continuas, discontinuas, triangulares y puntuales aplicadas en las barras.
- Fuerzas y momentos en los nudos.
- Desplazamientos en los nudos y reacciones de aquellos en contacto con el terreno, obtenidos después del cálculo.

El sistema de coordenadas principal $[O_p, X_p, Y_p, Z_p]$ se utiliza para definir las siguientes magnitudes:

- Cargas de temperaturas, con gradiente térmico a lo largo del eje Y_p o Z_p de la sección.
- Cargas del tipo momentos flectores y torsores en barras.
- Resultados de solicitaciones de una barra.
- Gráficas de las solicitaciones principales.

3.1.2. Definición de la geometría

La estructura se ha definido como una malla tridimensional compuesta por barras y nudos. Se considera barra al elemento que une dos nudos. Las barras son de directriz recta, de sección constante entre sus nudos, y de longitud igual a la distancia entre el origen de los ejes locales de sus nudos extremos.

Las **uniones de las barras** en los nudos pueden ser de diferentes tipos:

- UNIONES RIGIDAS, en las que las barras transmiten giros y desplazamientos a los nudos.
- UNIONES ARTICULADAS, en las que las barras transmiten desplazamientos a los nudos pero no giros.
- UNIONES ELASTICAS, en las que se define un porcentaje a los tres giros, en ejes principales de barra.

Las **condiciones de sustentación** impuestas a los nudos de la estructura en contacto con la cimentación, condiciones de sustentación, permiten limitar el giro y/o desplazamiento en los ejes generales. Según las distintas combinaciones de los seis posibles grados de libertad por nudo, se pueden definir diferentes casos:

- NUDOS LIBRES: desplazamientos y giros permitidos en los tres ejes de coordenadas.(-----).
- NUDOS ARTICULADOS: sin desplazamientos, con giros permitidos en los tres ejes.(XYZ---).
- NUDOS EMPOTRADOS: desplazamientos y giros impedidos. Empotramiento perfecto.(XYZXYZ).
- APOYOS VERTICALES: desplazamientos permitidos respecto a los ejes X_g y Z_g , y giros permitidos en los tres ejes.(-Y----).
- APOYOS HORIZONTALES en X: desplazamientos permitidos respecto a los ejes Y_g y Z_g , y giros permitidos en los tres ejes.(X-----).
- APOYOS HORIZONTALES en Z: desplazamientos permitidos respecto a los ejes X_g e Y_g , y giros permitidos en los tres ejes(--Z---).
- RESORTES o APOYOS ELASTICOS: desplazamientos respecto a los ejes $X_g/Y_g/Z_g$ definidos por las constantes de rigidez $K_{dx}/K_{dy}/K_{dz}$, giros respecto a dichos ejes definidos por las constantes de rigidez $K_{gx}/K_{gy}/K_{gz}$. Es posible definir en un nudo condiciones de sustentación y resortes, en diferentes ejes.

3.1.3. Ejes de cálculo

Se permite considerar como ejes de cálculo o las barras que el usuario defina (las líneas que unen dos nudos) o el eje físico (geométrico) de las secciones de las barras.

En el primer caso, si se considera necesario, se podrán introducir de forma manual en el cálculo los efectos que puedan producir la diferencia de situación entre los ejes de cálculo y los ejes físicos de las secciones transversales de las barras, mediante la introducción de acciones adicionales, fuerzas y momentos, o mediante la modelización de los nudos como elementos con dimensión.

En el caso de considerar como ejes de cálculo los ejes geométricos de las piezas, se pueden utilizar como luz de las barras diferentes criterios, entre los que se encuentra el adoptado por la EHE, la distancia entre apoyos.

3.1.4. Criterio de signos de los listados de solicitaciones

Los listados de 'Solicitaciones' y 'Por Secciones', que se obtienen mayorados, se realizan según los ejes principales del nudo inicial de las barras (X_p, Y_p, Z_p). El criterio de signos utilizado es el siguiente:

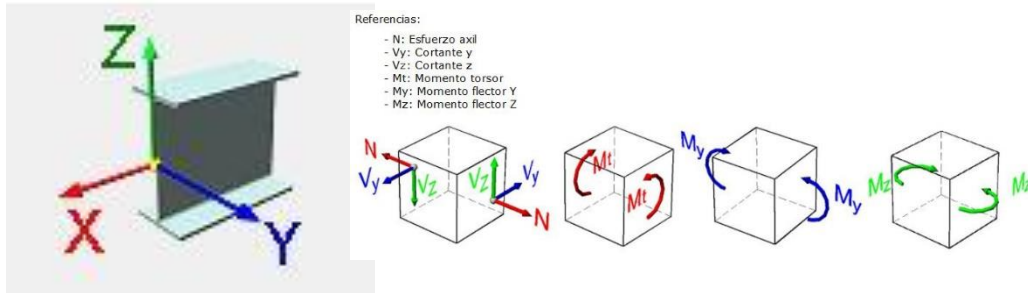


Figura 3.1.4-1 Criterio de signos

- Axiles F_x . Un valor negativo indicará compresión, mientras que uno positivo, tracción.
- Cortantes V_y . Un valor positivo indicará que la tensión de cortadura de una rebanada, en la cara que se ve desde el nudo inicial, tiene el mismo sentido que el eje Y_p .
- Cortantes V_z . Un valor positivo indicará que la tensión de cortadura de una rebanada, en la cara que se ve desde el nudo inicial, tiene el mismo sentido que el eje Z_p .
- Momentos Flectores M_y (plano de flexión perpendicular a Y_p). En el caso de vigas y diagonales cuyo plano de flexión no sea horizontal (es decir, su eje Z_p no es horizontal), se utiliza el criterio habitual: los momentos situados por encima de la barra (la fibra traccionada es la superior) son negativos, mientras que los situados por debajo (la fibra traccionada es la inferior) son positivos.

En el caso de vigas y diagonales cuyo plano de flexión sea horizontal (su eje Z_p es horizontal), y en el caso de pilares, se utiliza el siguiente criterio: los momentos situados hacia el eje Z_p positivo son positivos, mientras que los situados hacia el eje Z_p negativo son negativos.

- Momentos Flectores M_z (plano de flexión perpendicular a Z_p). En el caso de vigas y diagonales cuyo plano de flexión no sea horizontal (es decir, su eje Y_p no es horizontal), se utiliza el criterio habitual: los momentos situados por encima de la barra (la fibra traccionada es la superior) son negativos, mientras que los situados por debajo (la fibra traccionada es la inferior) son positivos.

En el caso de vigas y diagonales cuyo plano de flexión sea horizontal (su eje Y_p es horizontal), y en el caso de pilares, se utiliza el siguiente criterio: los momentos situados hacia el eje Y_p positivo son positivos, mientras que los situados hacia el eje Y_p negativo son negativos.

- Momentos Torsores M_x . El momento torsor será positivo si, vista la sección desde el eje X_p de la barra (desde su nudo inicial), ésta tiende a girar en el sentido de las agujas del reloj.

3.2. Acciones permanentes

Las acciones permanentes son las acciones de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierras) y equipo fijo^[13].

Su valor se termina, en general, como un valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios. En el Anejo C del Documento Básico Seguridad estructural Acciones de la Edificación se incluye una tabla de pesos.

Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m^3	Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m^3
Materiales de albañilería		Madera	
Arenisca	21,0 a 27,0	Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Basalto	27,0 a 31,0	Laminada encolada	3,7 a 4,4
Calizas compactas, mármoles	28,0	Tablero contrachapado	5,0
Diorita, gneis	30,0	Tablero cartón gris	8,0
Granito	27,0 a 30,0	Aglomerado con cemento	12,0
Sienita, diorita, pórfido	28,0	Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Terracota compacta	21,0 a 27,0	Tablero ligero	4,0
Fábricas		Metales	
Bloque hueco de cemento	13,0 a 16,0	Acero	77,0 a 78,5
Bloque hueco de yeso	10,0	Aluminio	27,0
Ladrillo cerámico macizo	18,0	Bronce	83,0 a 85,0
Ladrillo cerámico perforado	15,0	Cobre	87,0 a 89,0
Ladrillo cerámico hueco	12,0	Estaño	74,0
Ladrillo silicocalcáreo	20,0	Hierro colado	71,0 a 72,5
Mampostería con mortero		Hierro forjado	76,0
de arenisca	24,0	Latón	83,0 a 85,0
de basalto	27,0	Plomo	112,0 a 114,0
de caliza compacta	26,0	Zinc	71,0 a 72,0
de granito	26,0	Plásticos y orgánicos	
Sillera		Caucho en plancha	17,0
de arenisca	26,0	Lámina acrílica	12,0
de arenisca o caliza porosas	24,0	Linóleo en plancha	12,0
de basalto	30,0	Mástico en plancha	21,0
de caliza compacta o mármol	28,0	Poliestireno expandido	0,3
de granito	28,0	Otros	
Hormigones y morteros		Adobe	16,0
Hormigón ligero	9,0 a 20,0	Asfalto	24,0
Hormigón normal ⁽¹⁾	24,0	Baldosa cerámica	18,0
Hormigón pesado	> 28,0	Baldosa de gres	19,0
Mortero de cemento	19,0 a 23,0	Papel	11,0
Mortero de yeso	12,0 a 28,0	Pizarra	29,0
Mortero de cemento y cal	18,0 a 20,0	Vidrio	25,0
Mortero de cal	12,0 a 18,0		

⁽¹⁾ En hormigón armado con armados usuales o fresco aumenta 1 kN/m^3

Figura 3.2-1 Pesos específicos aparentes de materiales de construcción

3.2.1. Cubierta

Para la cubierta como se ha dicho anteriormente usaremos panel sándwich con núcleo aislante rígido de alto rendimiento térmico (espuma PIR-poliisocianurato o PUR-poliuretano).

Chapa grecada de 0,5 mm de espesor	0,058	kN/m ²
Nucleo poliuretano (densidad 40 Kg/m ³):40 x 0,04	0,016	kN/m ²
Chapa grecada de 0,5 mm de espesor	0,058	kN/m ²
Remates, solapes y tornillería	0,03	kN/m ²
Instalación de futuras placas solares (0,12-0,17 kN/m ²)	0,16	kN/m ²
PESO TOTAL CUBIERTA	0,322	kN/m²

Tabla 3.2.1-1 Peso de cubierta

Del lado de la seguridad podemos considerar

Peso de cubierta: 0,33 kN/m².

3.2.2. Cerramiento lateral

Se considera que el peso del cerramiento lateral es nulo. Está formado por paneles prefabricados de hormigón encarrilados en los pilares, por lo que su peso descansa sobre los zunchos que atan las zapatas.

Peso del cerramiento lateral: 0,00 kN/m².

3.3. Acciones Variables

3.3.1. Sobrecarga de uso

Es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Por lo general la sobrecarga de uso puede simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. Como valores característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1. del citado DBSE-AE. Estos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, como los derivados de la utilización poco habitual.

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 ⁽⁴⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁸⁾	2
		G2	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
				0	2

Tabla 3.3.1-1 Valores característicos de sobrecargas de uso

Para nuestro caso según la tabla 3.1. Consideramos que es una cubierta accesible únicamente para conservación con inclinación inferior a 20° por lo que le corresponde una carga uniforme de 1 kN/m².

La llamada [7] nos dice que no se considera concomitante con el resto de acciones variables.

La llamada [4] indica que el valor se refiere a la proyección horizontal de la cubierta.

La llamada [6] dice que se puede adoptar un área tributaria inferior a la total de la cubierta, no menor de 10 m² y situada en la parte más desfavorable de la misma, siempre que la solución adoptada figure en el plan de mantenimiento del edificio.

Sobrecarga de uso: 1 kN/m².

3.3.2. Viento

La acción del viento provoca una fuerza perpendicular en los cerramientos expuestos, o presión estática que se puede considerar. Es una fuerza que no actúa de manera constante, por tanto se debe considerar como una acción variable que dependerá de la forma del edificio y de la situación geográfica del mismo siendo:

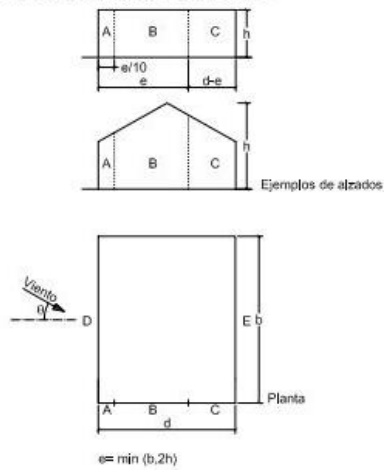
$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (3.1)$$

siendo:

- q_b La presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². (500 Pa) Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.
- c_e El coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.
- c_p El coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los b bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en 3.3.4 y 3.3.5.

La acción del viento se comprobará en todas las direcciones independientemente si hay construcciones medianeras contiguas. Ahora según el DB SE-AE para calcular el viento en todas las direcciones a mano es un proceso bastante tedioso y enredoso que sería objeto de un TFG en sí mismo. Hay que definir diferentes áreas para cada hastial, calculando sus longitudes y teniendo en cuenta la dirección del viento. En el siguiente gráfico se pueden ver las áreas para el caso del viento a 0°. Estas áreas habría que calcularlas para las cuatro direcciones del viento y en los dos sentidos, un trabajo bastante pesado.

Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Tabla 3.3.2-1 Tabla D3 del DB SE-AE

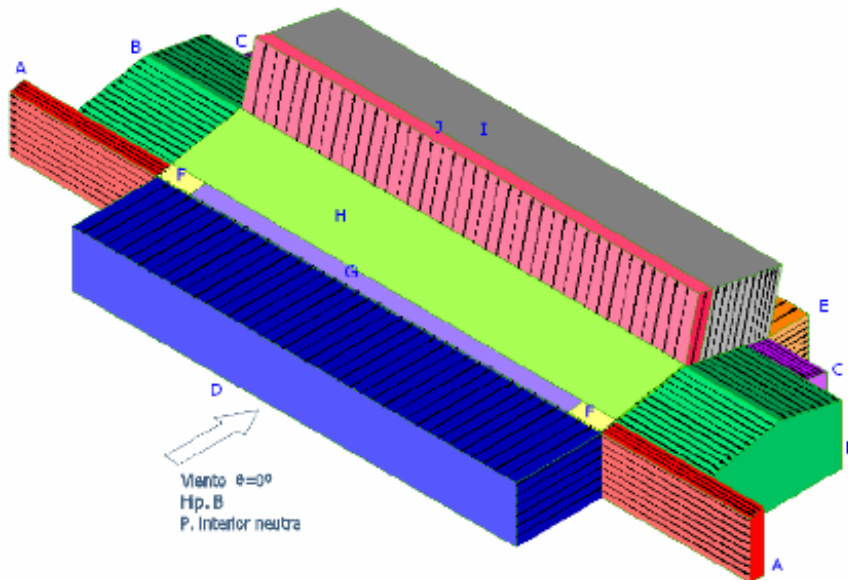


Figura 3.3.2-1 Distribución de fuerzas por áreas del viento

En nuestro caso introduciremos las cargas del viento gracias al Generador de Pórticos de CYPE. Definiremos la localización del mismo según la zona eólica, el grado de aspereza, periodo de servicio y si tiene o no huecos la nave. Las acciones escogidas en el Generador de Pórticos se muestran a continuación.

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

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

Terreno rural llano sin obstáculos

Periodo de servicio (años)

Con huecos

Coeficiente de obstrucción para cubiertas aisladas

Figura 3.3.2-2 Mapa viento de CYPE según el DB SE-AE

Zona eólica A (velocidad 26 m/s)
Grado de aspereza: II (rural sin obstáculos)
Periodo de servicio: 50 años.
Sin huecos: SI
Coeficiente de obstrucción para cubiertas aisladas: 1

3.3.3. Acciones térmicas

La estructura de los edificios están sometidos a cambios geométricos que producen deformaciones debido a la variación de temperatura del ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de:

- Las condiciones climáticas del lugar.
- Orientación.
- Color de los paramentos.
- Exposición .
- Características de los materiales.
- Calefacción y ventilación.
- Aislamiento térmico.

Tabla 3.7 Incremento de temperatura debido a la radiación solar

Orientación de la superficie	Color de la superficie		
	Muy claro	Claro	Oscuro
Norte y Este	0 °C	2 °C	4 °C
Sur y Oeste	18 °C	30 °C	42 °C

Tabla 3.3.3-1 Incremento de temperatura debido a la radiación solar

Como temperatura de los elementos protegidos en el interior del edificio puede tomarse como valor durante todo el año de 20 °C.

Estas variaciones de temperatura produce en los elementos que estén impedido su movimiento unas tensiones. Las juntas de dilatación contribuyen a disminuir los estos efectos. En los edificios habituales con elementos de hormigón y acero se puede obviar las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m. de longitud. En nuestro caso dispondremos de una junta de dilatación en el sentido longitud de la nave.

Junta de dilatación a los 34,2 m.

3.3.4. Nieve

En cubiertas planas de edificios localizados en altitudes inferiores a 1.000 m, es suficiente con considerar una carga de 1,0 kN/m², según el DB SE AE. En otros casos se puede calcular el valor de la carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal q_n, como:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

siendo:

- μ Coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3.
- s_k El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2.

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

Tabla 3.3.4-1 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Con el generador de Pórticos también podemos adoptar tener estos valores, introduciendo el emplazamiento del edificio, la altura, grado de exposición al viento y si esta tiene resaltos o no.

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 resaltos

Figura 3.3.4-1 Cuadro sobrecargas nieve según CYPE



Figura 3.3.4-2 Mapa sobrecarga de nieve de CYPE según el DB SE-AE

Zona: 3 (Terradillos)
Altitud topográfica: 879 m.
Grado exposición al viento: Normal
Cubierta sin resaltos.

3.4. Acciones accidentales

3.4.1. Sismo

Las acciones sísmicas están reguladas en la NSCE-02, Norma de Construcción sismorresistente.

En nuestro caso al tratarse de un edificio de importancia moderada y situarse en un lugar cuya aceleración sísmica básica es igual o inferior a 0,04g no le es de aplicación esta normativa.

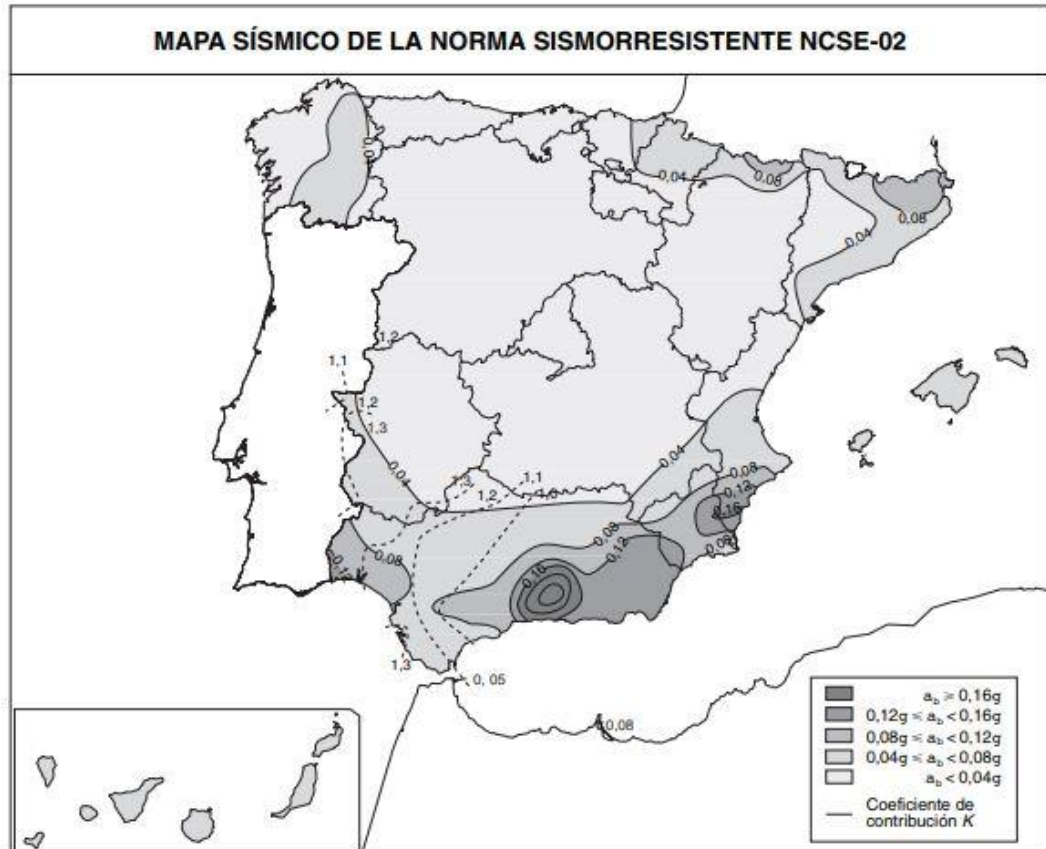


Figura 3.4.1-1 Mapa sísmico de la norma sismorresistente NCSE-02

No es de aplicación la norma sismorresistente.

3.4.2. Incendio

La normativa que regula las acciones del fuego en la estructura viene regulada por el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, al tratarse de una construcción industrial.

No tendremos en cuenta estas acciones ya que no son debidas a una combinación de acciones, sino que dependen del tipo de edificio, la configuración, el grado de protección, etc. Lo que nos llevaría a aumentos de espesor para que la estructura aguantará el tiempo estipulado o la aplicación de revestimientos, que no son objeto de las asignaturas de estructuras de este grado de ingeniería

No aplicaremos esta norma.

3.4.3. Impacto

Las acciones causadas por el impacto de cuerpos en la estructura dependen de la geometría y de la velocidad del cuerpo impactante, así como la capacidad de deformación y amortiguamiento del elemento sobre el que impacta.

Impacto de vehículos

Los valores de cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes debidas al impacto de vehículos de hasta 30 kN de peso total, son de 50 kN en la dirección paralela la vía y de 25 kN en la dirección perpendicular, no actuando simultáneamente.

Este punto no es de aplicación ya que dentro de la nave no circularán vehículos.

3.5. Combinación de acciones

Las acciones a considerar se dividen por su variación en el tiempo en^[13]:

- **Acciones permanentes (G):** Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante.
- **Acciones variables (Q):** Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas.
- **Acciones accidentales (A):** Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña pero de gran importancia, como sismo, incendio, impacto o explosión.

Las acciones también se clasifican por:

- Su naturaleza: en directas o indirectas
- Su variación espacial: en fijas o libres
- La respuesta estructural: en estáticas o dinámicas

El Código Técnico de la edificación establece en el Documento Básico de Seguridad Estructural DB SE, verificaciones basadas en coeficientes parciales.

“En la verificación de los estados límite mediante coeficientes parciales, para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales para las acciones y la resistencia, respectivamente.”

3.5.1. Capacidad portante

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una **situación persistente o transitoria**, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.2)$$

Es decir:

- Todas la acciones permanentes $\gamma_G \cdot G_k$ incluido el pretensado $\gamma_P \cdot P$

- Una acción variable $\gamma_Q \cdot Q_k$ debiéndose adoptar una tras otra en los sucesivos cálculos.
El resto de las acciones variables $\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$

Para situaciones extraordinarias se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.3)$$

Es decir:

- Todas la acciones permanentes $\gamma_G \cdot G_k$ incluido el pretensado $\gamma_P \cdot P$
- Una acción accidental A_d debiéndose analizarse sucesivamente con cada una de ellas.
- Una acción variable $\gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot Q_k +$ debiéndose adoptar una tras otra en los sucesivos cálculos.
- El resto de las acciones variables $\gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot Q_k$

En los casos en los que la acción accidental sea **la acción sísmica**, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.3)$$

Los diferentes coeficientes parciales de seguridad y simultaneidad se obtiene de las tablas 4.1 y 4.2 del DB-AE

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 3.5.1-1 Coeficientes parciales de seguridad γ_Q para las acciones

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Tabla 3.5.1-2 Tabla de coeficientes de simultaneidad ψ

3.5.2. Aptitud al servicio

Se considera que la estructura se comporta adecuadamente en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro si se cumplen las siguientes combinaciones de acciones:

Para acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles se determina mediante la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.4)$$

Es decir:

- Todas las acciones permanentes G_k incluido el pretensado P
- Una acción variable Q_k debiéndose adoptar una tras otra en los sucesivos cálculos.
- El resto de las acciones variables $\gamma_0 \cdot Q_k$

Para acciones de corta duración que pueden resultar reversibles se determina mediante la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.5)$$

Es decir:

- Todas las acciones permanentes G_k incluido el pretensado $\gamma_P \cdot P$
- Una acción variable $\psi_1 \cdot Q_k$ debiéndose adoptar una tras otra en los sucesivos cálculos.
- El resto de las acciones variables $\gamma_2 \cdot Q_k$

Para acciones de larga duración se determina mediante la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.6)$$

Es decir:

- Todas las acciones permanentes G_k
- Una acción variable $\psi_2 \cdot Q_k$

4. CÁLCULO DE SOLUCIONES ESTRUCTURALES

En este punto iremos describiendo el proceso de cálculo de las diferentes soluciones. Para ello utilizaremos el programa de cálculo de estructuras CYPE versión 2017.m.

En primer lugar utilizaremos el módulo Generador de Pórticos (de aquí en adelante G.P.) donde iremos introduciendo la geometría básica de la nave y las solicitaciones que actúan sobre la nave.

Posteriormente con el módulo CYPE3D modificaremos la geometría de la nave para adaptarla a las diferentes soluciones, describiremos los tipos de perfiles, coeficientes de pandeo, flechas límite y calcularemos la estructura junto con su cimentación.

Por último analizaremos el pórtico central de la nave, los diagramas de la envolvente y estudiaremos los pilares a pandeo.

4.1. Generador de Pórticos

Una que tenemos clara la geometría de la nave (alturas, luces, distancia entre pórticos, etc.) en el módulo Generador de Pórticos introducimos la geometría de la misma. En este caso hemos optado por elegir la geometría de la cercha como primera opción por ser la que más barras tiene y la más complicada dibujar en el módulo de CYPE3D. Para ello elegimos la celosía tipo Belga que se asemeja más a nuestra tipología.

4.1.1. Geometría de la nave.

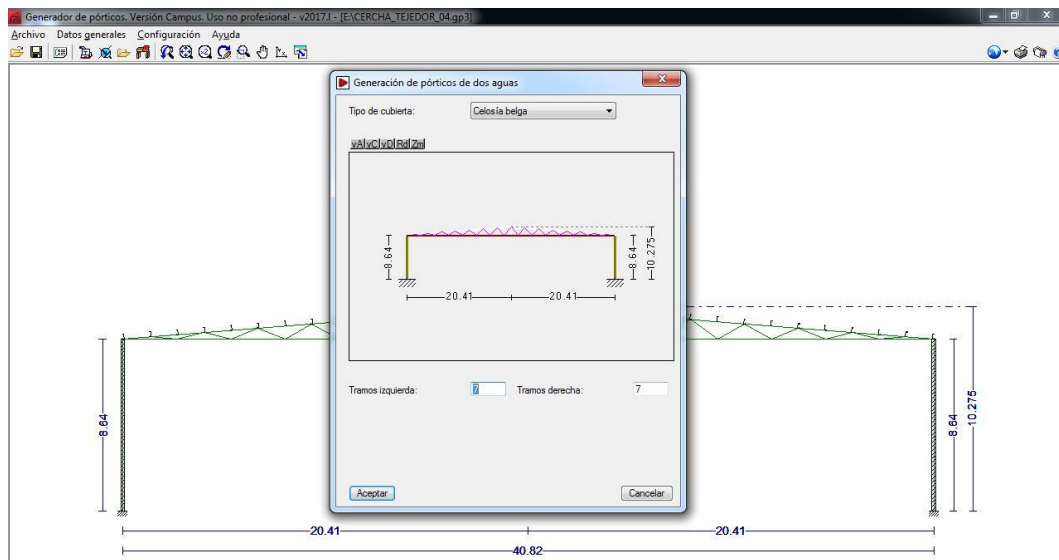


Figura 4.1.1-1 Geometría inicial nave.

4.1.2. Cerramiento lateral

Para que nuestra nave exporte las cargas del viento correspondientes en sus pilares tenemos que decirle que tiene un cerramiento perimetral. Definimos la altura del muro, en nuestro caso al tratarse de paneles prefabricados de hormigón ocupan toda la altura. Marcamos la opción que arriostra el pilar a pandeo, ya que

entendemos que dicho muro es suficiente para el pandeo del pilar en el plano del cerramiento.



Figura 4.1.2-1 Cuadro características muro perimetral

4.1.3. Datos generales de la obra.

Después de esbozar el pórtico y caracterización del comportamiento de sus laterales introduciremos los datos principales de la obra. Introducimos el número de vanos y la distancia entre ellos, 12 vanos con una separación de 5,70 m. Hemos elegido esta modulación ya que el estándar en que se venden los perfil estructurales es de 6 m y para las dimensiones de nuestra nave, es la modulación que más se aproxima a este valor.

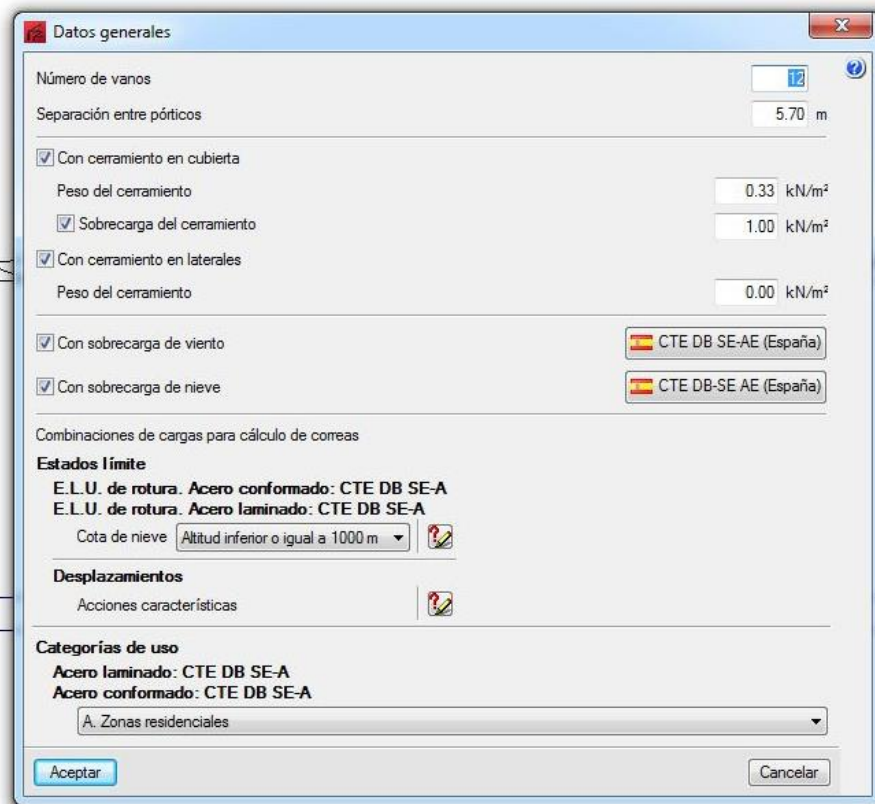


Figura 4.1.3-1 Cuadro datos generales G. P.

El peso del cerramiento lateral lo dejamos en 0 kN/m^2 ya que como se comentó anteriormente son paneles prefabricados de hormigón cuyo peso cae sobre los zunchos que arriostran las zapatas de la cimentación.

Cerramiento de cubierta: Calculado el peso de la cubierta según el DB SE AE, como hemos visto anteriormente, introducimos su valor como vimos en el apartado 3.2.1, activaremos la sobrecarga del cerramiento con un valor de 1 kN/m^2 para contemplar según la tabla 3.1 la carga correspondiente a una cubierta ligera (peso $< 100 \text{ kg/m}^2$) e inclinación menor de 20° correspondiente a la categoría G1.

Sobrecarga de viento: Introducimos como se comentó en el punto 3.2.2, elegimos en el mapa eólico de España donde va a ir ubicada nuestra nave, el grado de aspereza y el entorno.

Sobrecarga de nieve: Introducimos como hicimos en el punto 3.3.4, la situación del edificio, la altitud, su entorno y el grado de exposición al viento. Al estar en una zona con una exposición normal, la carga ni se incrementará ni se reducirá en un 20% según el apartado 3.5.1. del DB SE-AE.

4.1.4. Cálculo de correas

Para definir las correas hay que predeterminar una serie de datos previos.

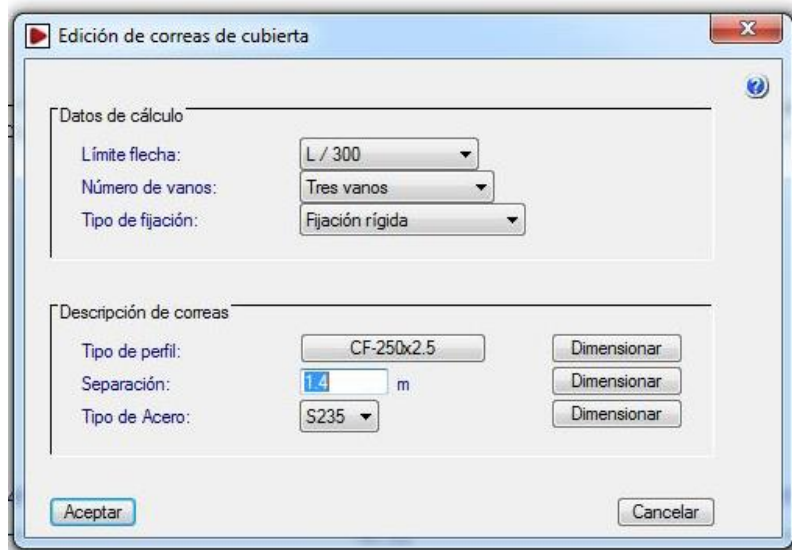


Figura 4.1.4-1 Edición de correas en el G.P.

En la primera de las listas desplegables que nos aparecen debemos limitar las flechas conforme al apartado 4.3.3.1 del DB SE.

- “ ...
- a) $1/500$ en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
 - b) $1/400$ en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
 - c) $1/300$ en el resto de los casos.
- ... ”

En nuestro caso optamos por el caso de la flecha relativa $L/300$ de la longitud de la pieza.

Por otro lado el teorema de los tres momentos o de Clapeyron ofrece la ventaja de que al hacer las correas continuas empotrando en los apoyos unas con otras se puedan reducir los momentos positivos de las mimas. Por ello elegimos la opción de tres vanos^[4]:

La última opción elegimos una fijación rígida que hace que las correas impidan girar en el plano paralelo a la cubierta. Supondremos esta opción aunque en el panel sándwich no sea totalmente de garantizar esto.

Ya en la parte inferior del cuadro de diálogo podremos dimensionar las correas en tres sentidos diferentes. Para nuestro caso usaremos un perfil tipo Z ya que son los más usados en relación a su resistencia/peso que es la misma relación resistencia/precio y será importante a la hora de dar un precio a nuestro cliente.

Estos perfiles no son laminados sino conformados en frío con un tipo de acero S235. La modulación que elegimos como separación entre correas es de 1,4 m perfectamente asumible por el panel sándwich elegido y al tener cada panel mínimo 3 apoyos. Estos paneles también se venden en longitudes de 6 m por lo que nuestros paneles tendrán 4 apoyos. Solo nos queda en la primera pestaña de este grupo darle a dimensionar el perfil de acuerdo con la serie de perfiles Z elegidos.

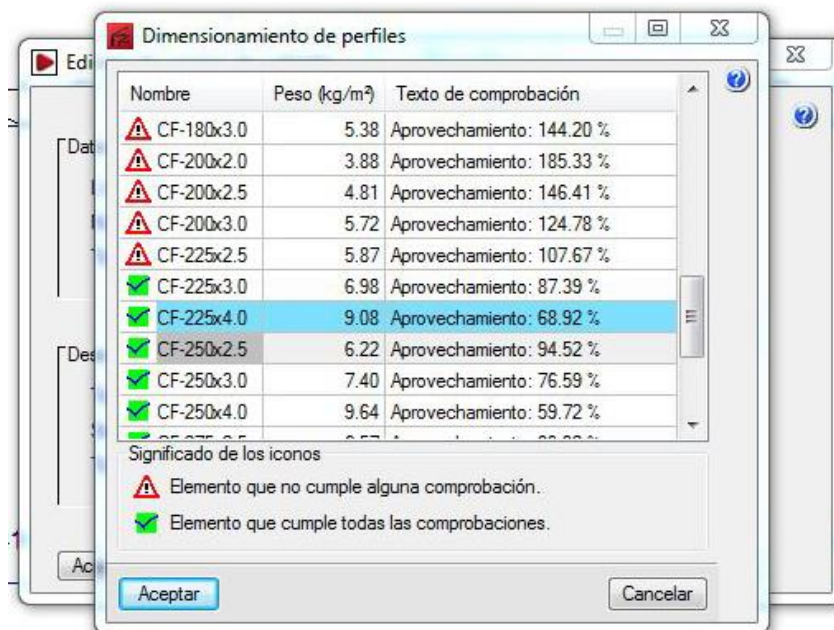


Figura 4.1.4-2 Dimensionamiento correas G.P.

Al calcular, de las opciones como validas, vemos que el mejor perfil que tenemos no es el primero, ni el segundo sino el tercero, ya que su resistencia esta aprovechada mejor y lo que es más importante su masa es menor (8,45 kg/m) a los dos anteriores, o lo que es lo mismo, su precio, como se ve en el cuadro siguiente.

ZF 225.3.0	9,47
ZF 225.4.0	12,30
ZF 250.2.5	8,45

Figura 4.1.4-3 Elección de correa según peso

Como indicación constructiva, comentar que estos perfiles no tienen las alas iguales debiéndose de colocar la que tiene mayor longitud en la parte alta para así poder atornillar mejor la cubierta. Este ala superior debe mirar hacia la cumbre de la cubierta.

4.1.5. Exportación a CYPE 3D

Una vez diseñado el pórtico, descrito los laterales y calculadas las correas solo nos queda exportarlo a CYPE 3D con la ventaja de llevarnos todas las cargas y sus combinaciones. En el cuadro de exportación marcaremos las opciones indicadas en el grafico siguiente.

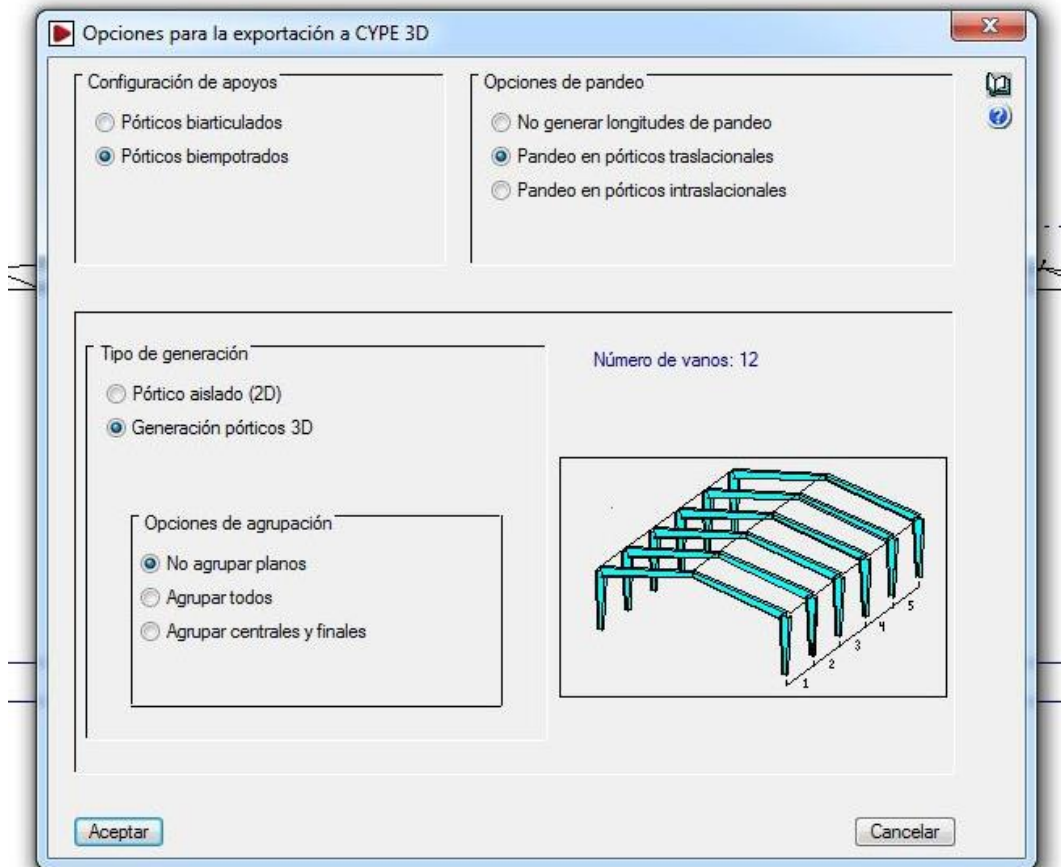


Figura 4.1.5-1 Opciones de exportación a CYPE3D

Para los casos de la Cercha y Pórticos Acartelados marcaremos la opción de biempotrados, en la tipología de Pórticos de Sección Variable, lo cambiaremos cuando llegemos. Elegiremos pórticos traslacionales para que nos genere los

coeficientes de pandeo correspondientes, pero que luego modificaremos según las situaciones. No agruparemos los planos y generaremos los pórticos en 3D.

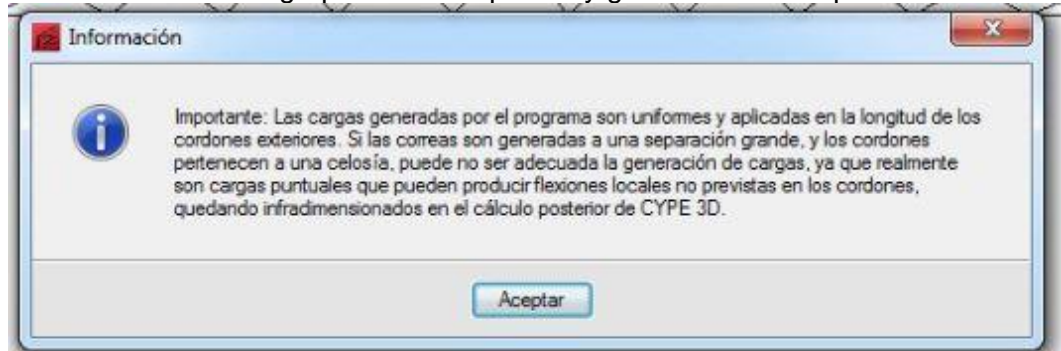


Figura 4.1.5-2 Cuadro aviso distribución cargas

Al exportar se nos advierte de este cuadro, que nos indica que las cargas se consideraran uniformes con lo que estaríamos cometiendo un pequeño error a la hora de calcular nuestra cercha puesto que estas se calculan como cargas puntuales.

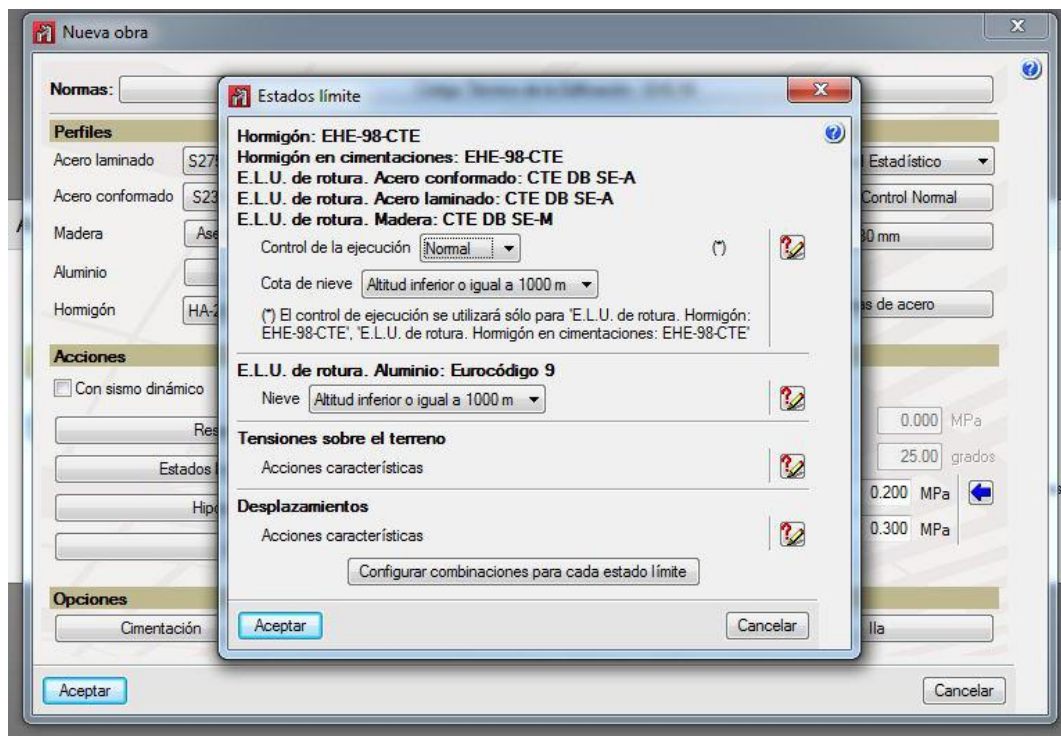


Figura 4.1.5-3 Normativa para cálculos de CYPE3D

Ya en módulo CYPE 3D nos parece el siguiente cuadro donde elegiremos la normativa, el tipo de acero, hormigón y lo que es más importante, en el programa ya tenemos las diferentes hipótesis creadas por el Generador de Pórticos. El viento en las cuadro direcciones y en los sentidos y la carga de nieve considerando los dos faldones cargados, o uno cargado y el otro sin ella, alternativamente.

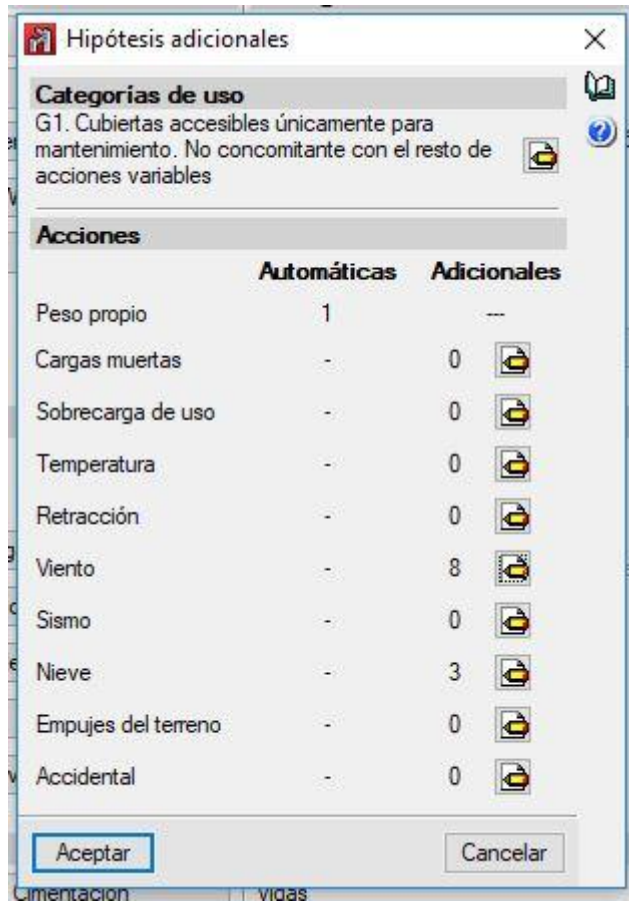


Figura 4.1.5-4 Hipótesis adicionales de CYPE3D

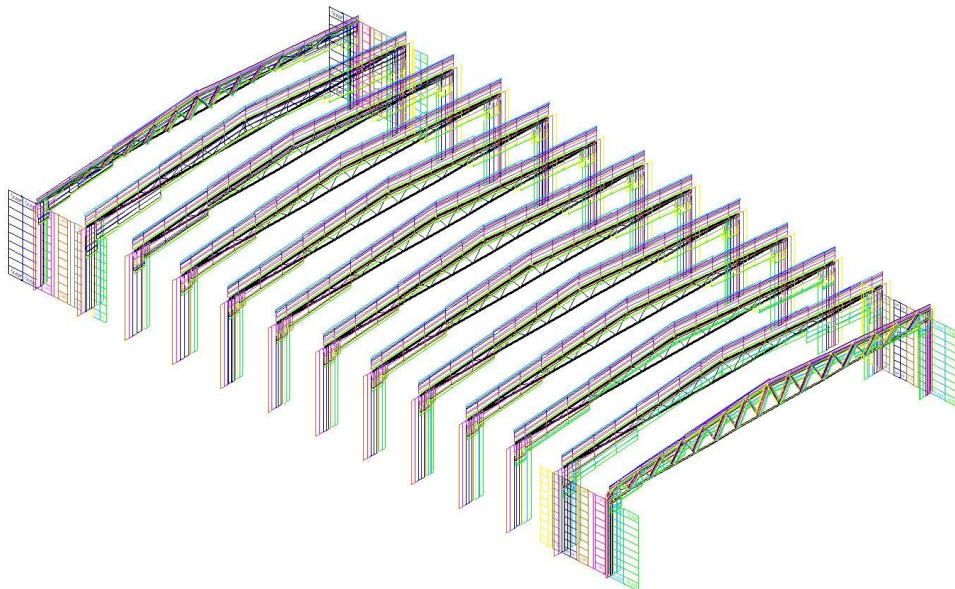


Figura 4.1.5-5 Geometría con cargas

A partir de este punto el camino se divide en tres para estudiar las tipologías escogidas y compararlas viendo los resultados. Calcularemos la nave en su totalidad y posteriormente nos centraremos en el pórtico central para cotejar los resultados y sacar conclusiones.

4.2. Cerchas

4.2.1. Consideraciones iniciales

Las condiciones más importantes para que una cercha trabaje bien son:

- La estructura debe ser isostática, por lo que los nudos deben ir articulados y los apoyos solo deben restringir tres grados de libertad entre los dos (en el plano de la cercha).
- En un nudo, los ejes de todas las barras deben concurrir en él.
- Las cargas deben ser aplicadas directamente en los nudos.
- En cerchas planas las cargas deben ser coplanarias con los nudos.

Nuestro modelo presenta varios fallos respecto a estos condicionantes, pero los aceptaremos aún a riesgo de precisar perfiles mayores.

Como primer fallo nuestra cercha tiene dos apoyos empotrados y no un apoyo fijo y otro móvil que garantizan el isoestatismo. Otro fallo que presenta es que los nudos se suelen soldar por lo que el nudo articulado queda en entredicho. Por último, el Generador de Pórticos nos aplicó una carga uniformemente repartida y no puntual en los nudos. Además le dijimos que calculará el peso propio de los elementos por lo que las barras están cargadas uniformemente a lo largo de toda su longitud.

4.2.2. Modificación de geometría

Del Generador de Pórticos se nos exporta la geometría del pórtico con la separación entre ellos que dimos (5,70 m).

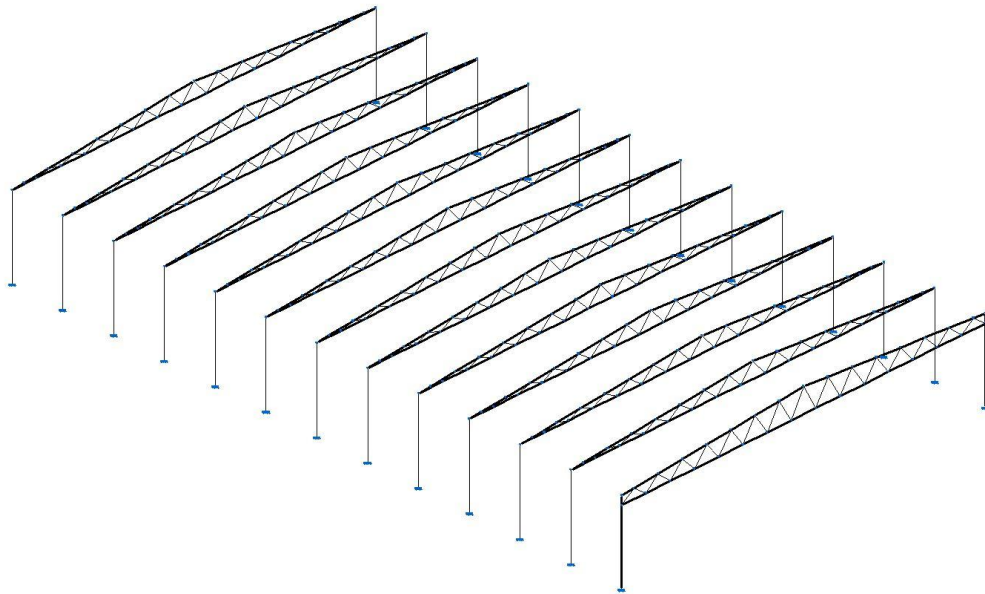


Figura 4.2.2-1 Geometría exportada para tipología cercha

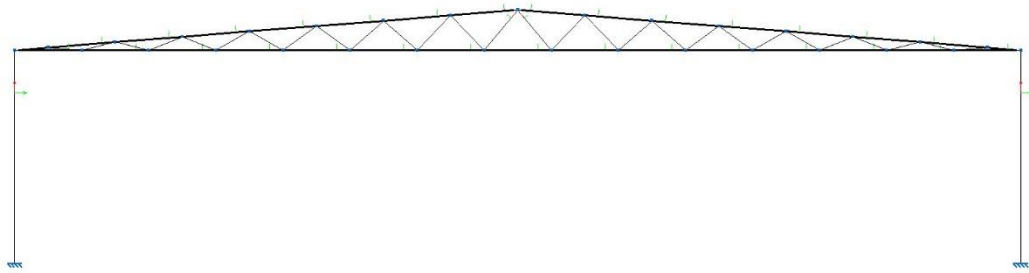


Figura 4.2.2-2 Pórtico central geometría del G.P.

Lo que también nos exporta son las áreas de los paños que nos tramiten las cargas a los diferentes elementos.

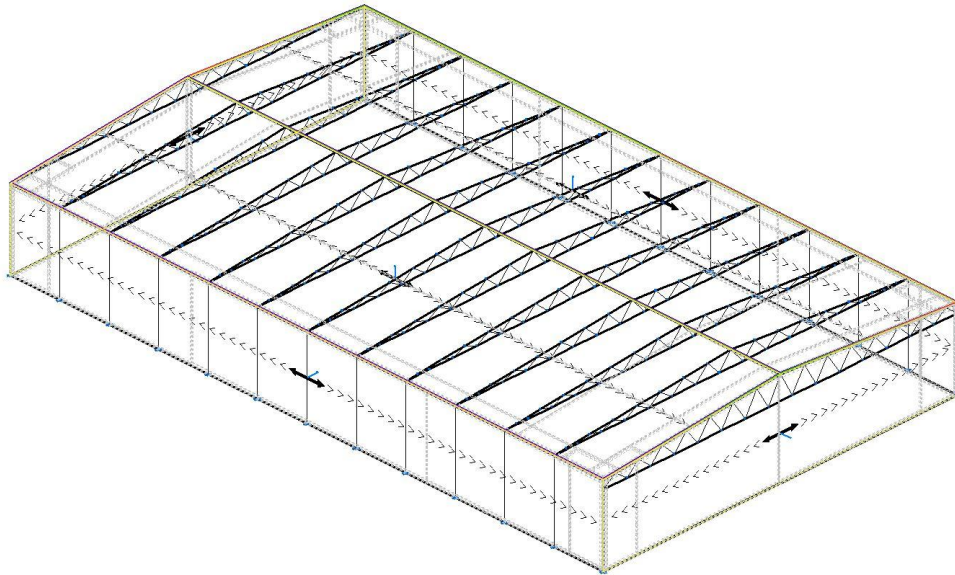


Figura 4.2.2-3 Paños de cargas exportados por el G.P.

Modificaremos la geometría de nuestra nave para adaptarla a la solución que queremos plantear, que serán las siguientes:

- Le daremos más canto a la cercha y de esta manera el nudo donde concurre con el pilar no será tan difícil de ejecutar constructivamente.
- Modificaremos los pórticos de los hastiales para dejar el cordón superior y crearlos con pilarcillos intermedios.
- Añadiremos las cruces de San Andrés en los extremos para arriostrar la nave. Estos arriostramientos solo se los crearemos en la cubierta ya que vimos que los paneles arriostraban la fachada.

El resultado después de todas estas modificaciones será el siguiente

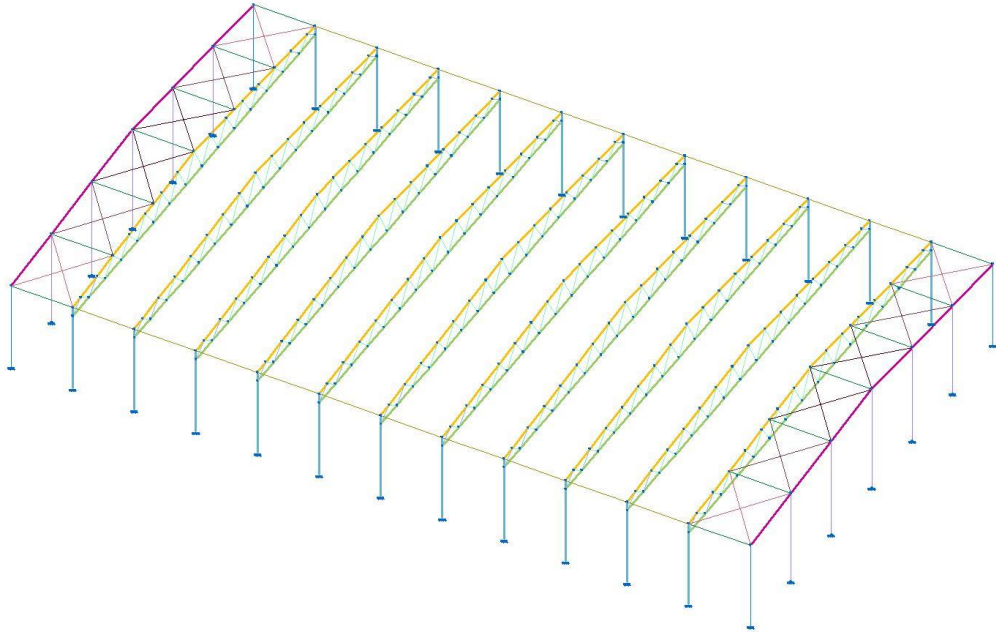


Figura 4.2.2-4 Vista 3D de la tipología cercha

Quedando el pórtico central de la siguiente manera.

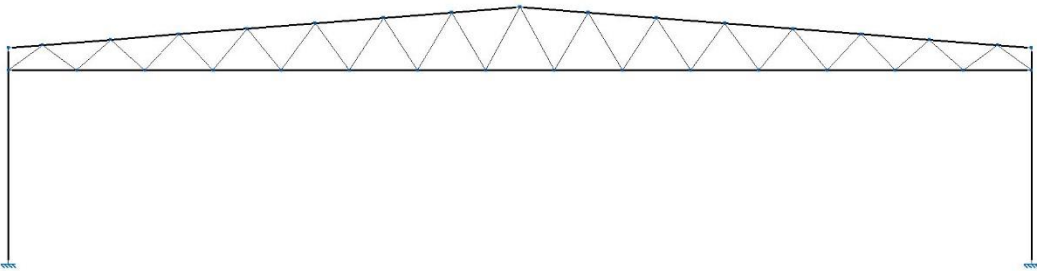


Figura 4.2.2-5 Figura 4.2.2-6 Pórtico central de la tipología cercha

En la geometría final hemos ido agrupando las barras que sean similares estructuralmente, pilares extremos, pilares intermedios, cabios de cubierta, etc.

Gestión de capas

Activa	Nombre de la capa	Visi	Color
<input checked="" type="checkbox"/>	por defecto	<input checked="" type="checkbox"/>	negro
<input type="checkbox"/>	CORDON SUPERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>	amarillo
<input type="checkbox"/>	DIAGONALES	<input checked="" type="checkbox"/>	verde
<input type="checkbox"/>	PILARES CENTRALES	<input checked="" type="checkbox"/>	azul claro
<input type="checkbox"/>	PILARES ESQUINA	<input checked="" type="checkbox"/>	azul
<input type="checkbox"/>	PILARCILLOS	<input checked="" type="checkbox"/>	morado
<input type="checkbox"/>	CABIOS HASTIALES	<input checked="" type="checkbox"/>	magenta
<input type="checkbox"/>	DIAGONAL 1	<input checked="" type="checkbox"/>	rosa
<input type="checkbox"/>	DIAGONALE 2	<input checked="" type="checkbox"/>	rojo oscuro
<input type="checkbox"/>	DIAGONALES 3	<input checked="" type="checkbox"/>	rojo
<input type="checkbox"/>	VIGAS ATADO	<input checked="" type="checkbox"/>	verde oliva
<input type="checkbox"/>	VIGAS ATADO EXTREMAS	<input checked="" type="checkbox"/>	verde
<input type="checkbox"/>	CORDON INFERIOR	<input checked="" type="checkbox"/>	verde claro

Figura 4.2.2-7 listado de capas y colores usados.

En este tipo de naves es interesante hacer una agrupación de los montantes y diagonales extremas de la nave, puesto que son las que mayor carga transmiten.

4.2.3. Descripción de nudos

Como dijimos en el primer punto, aunque sea no sea correcto desde el punto de vista de una cercha, definiremos los apoyos como empotrados. En el programa CYPE3D a través del menú *Nudos > Vinculación exterior* podemos ir definiendo las restricciones de los apoyos en las tres direcciones del espacio.

Sin embargo tenemos que tener en cuenta que un nudo sea empotrado depende del detalle de entrega del pilar a la cimentación, la mejor manera para hacer esto es acartelar el pilar como se ve en la figura siguiente.

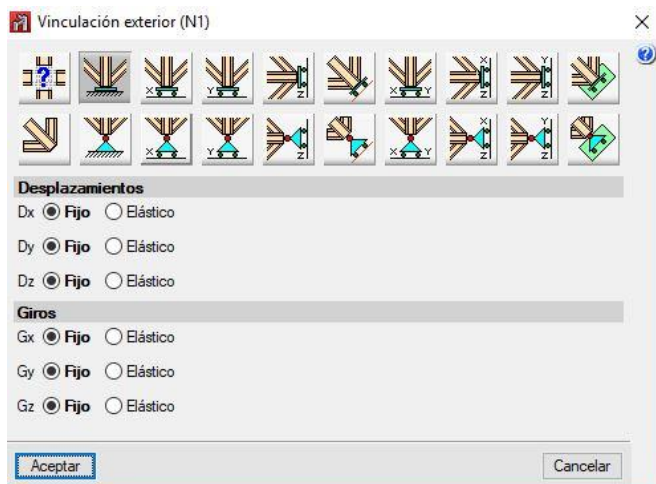


Figura 4.2.3-1 Tipos de nudos según CYPE3D

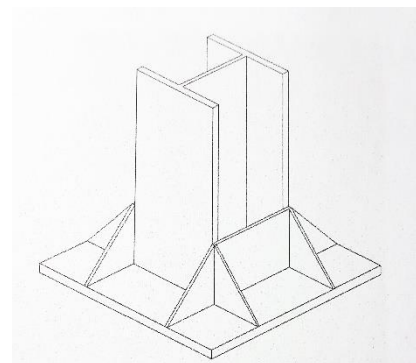


Figura 4.2.3-2 Empotramiento pilar

Los pilares de los hastiales les articularemos ya que estos pilares trabajan esencialmente a flexión debido al viento en sus respectivas fachadas y a que la carga recibida es la correspondiente a la mitad de un vano de la estructura. Con ello conseguiremos un momento flector positivo mayor y así haremos que los pilares trabajen mejor. También articulándolos eliminamos la posibilidad de que estos pilares transmitan momentos a la cimentación con lo que nos ahorraremos en volumen de hormigón.

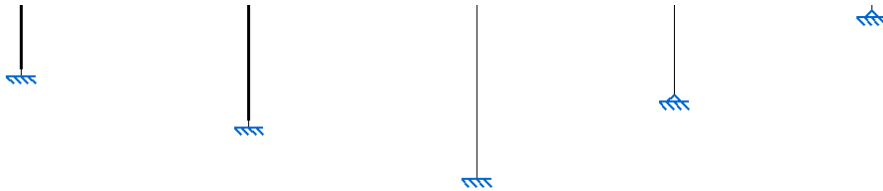


Figura 4.2.3-3 Configuración apoyos cercha

Los nudos de las vigas de atado de los diferentes pórticos y las de las cruces de San Andrés les articularemos en sus extremos para trabajen principalmente a compresión o tracción. Esto lo haremos con el comando Barra>Articular extremos apareciendo en el extremo de la barra unos nudos indicándonoslo.

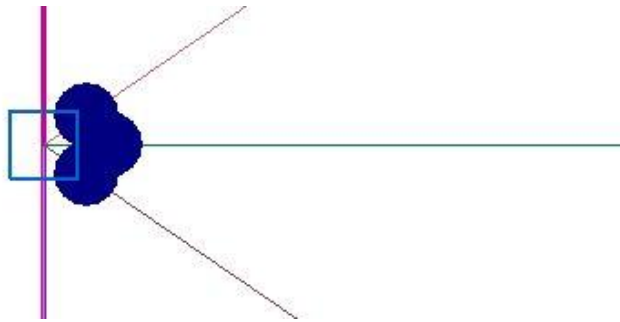


Figura 4.2.3-4 Articulación de Cruces de San Andrés

4.2.4. Descripción de las barras

Mediante el menú barra iremos describiendo los perfiles de los elementos de la nave. Para los pilares y pórticos hastiales hemos elegido perfiles tipo doble T, mientras que para los elementos de la cercha serán perfiles tubulares. Los perfiles elegidos para este predimensionamiento serán los siguientes:

Cordón superior cercha	2UPN100 en cajón
Cordón inferior cercha	2UPN100 en cajón
Diagonales	Tubo cuadrado 100x4
Pilares portico central	HEB-200
Pilares esquinas	HEB-200
Pilarcillos hastiales	HEB-200
Cabios Hastiales	IPE-300
Cruces San Andres 1	Ø16
Cruces San Andres 2	Ø16
Cruces San Andres 3	Ø16
Vigas atado	HEB-140
Vigas atado extremas	HEB-140

Tabla 4.2.4-1 Perfiles iniciales de la tipología cercha

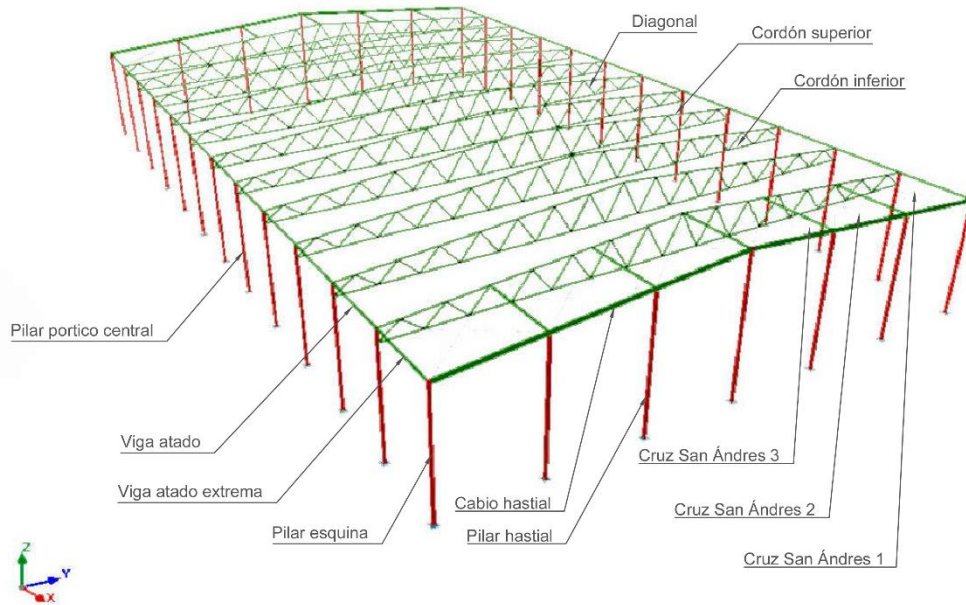


Figura 4.2.4-1 Vista 3D de los elementos tipología Cercha

4.2.5. Coeficientes de pandeo

El pandeo es un fenómeno que condiciona las piezas sometidas a compresión por lo que tenemos que asignar coeficientes de pandeo a todas las piezas y en sus dos planos principales. Nuestra estructura como comentamos anteriormente la consideramos traslacional, pero en el plano de los cerramientos y cubiertas la podemos entender como intraslacional gracias a la rigidez que la interfieren los elementos secundarios y los propios cierres de la nave.

El Código Técnico de la Edificación en el punto 6.3.4.2 del DB SE nos plantea las fórmulas para emplear para cada caso y unos coeficientes de esbeltez dependiendo de los apoyos extremos de la pieza ^[4].

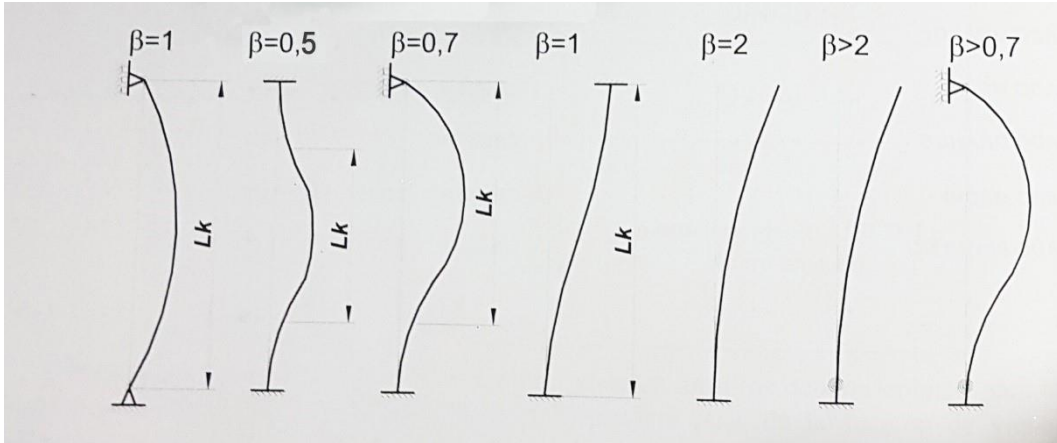


Figura 4.2.5-1 Coeficientes de esbeltez

En la asignación de los coeficientes de pandeo tenemos que fijarnos en los ejes de cada pieza, en CYPE3D el plano débil es el paralelo a las alas que equidistan de ellas, a este plano se le llama xy. El plano fuerte es por tanto el xz que coincide con el del alma de la pieza.

Con la opción *Barra>Pandeo* asignamos estos coeficientes de pandeo a las barras mostrándonos el menú que aparece a continuación

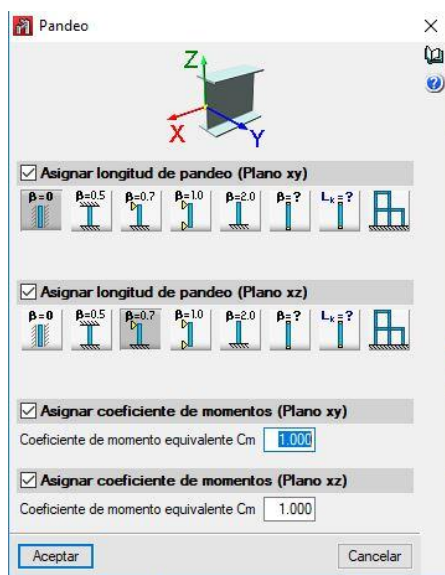


Figura 4.2.5-2 Cuadro de coeficientes de pandeo CYPE3D

Coeficientes de elementos de la cercha

El DB SE-A en su punto 6.3.2.4. habla explícitamente de los elementos triangulados y dice textualmente:

“ ...

En vigas planas trianguladas se tomarán como longitudes de pandeo:

- a) *para los cordones, pandeo en el plano de la viga, la distancia entre ejes de nudos;*
- b) *para los cordones, pandeo fuera del plano, la longitud teórica de la barra medida entre puntos fijos por existir arriostramiento; en caso de no existir puntos fijos, se tratará como una pieza de compresión variable.*
- c) *para los montantes y diagonales, pandeo en el plano de la viga, la longitud libre entre barras;*

d) para los montantes y diagonales, pandeo fuera del plano, la longitud entre ejes de nudos.
 ...”

Por lo tanto para el cordón superior en el plano de la cercha, el plano xz de las barras, le pondremos un coeficiente un $\beta_{xz}=1$, mientras que en el plano paralelo a la cubierta le pondremos un coeficiente un $\beta_{xy}=0,5$ ya que cada barra existe una correa intermedia que reduce la longitud de pandeo de la viga a la mitad.

Para el cordón inferior pondremos igual que el superior en el plano de la cercha un coeficiente $\beta_{xz}=1$, mientras que en el plano perpendicular pondremos estabilizadores cada dos nudos por lo que tendremos un coeficiente $\beta_{xy}=2$.

Para los elementos diagonales la longitud de pandeo será la longitud libre de la pieza en el plano de la cercha, que será algo menor que la distancia entre nudos. Pero por seguridad en vez de considerar 0,8 le asignaremos un $\beta_{xz}=1$. En el plano fuera de la cercha la longitud entre ejes, es decir $\beta_{xy}=1$ también.

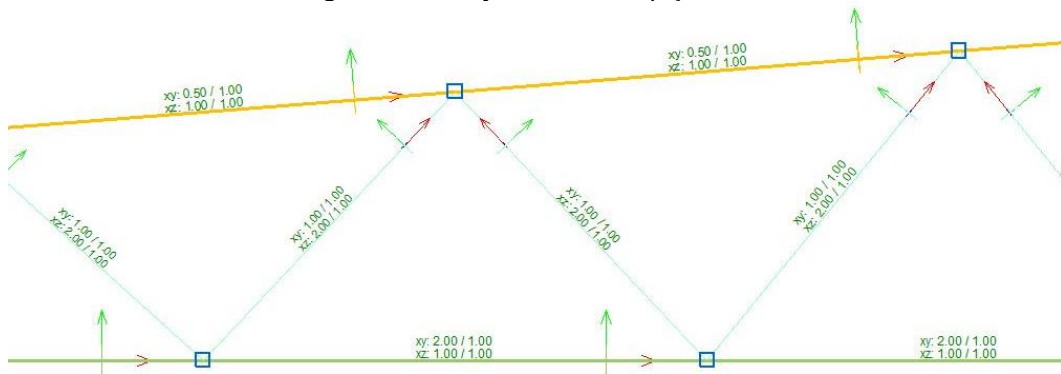


Figura 4.2.5-3 Coeficientes β de barras de cercha

Coeficientes de pandeo cabios hastiales

Para las vigas que conforman la cubierta en los hastiales les asignaremos una longitud de pandeo igual a la separación entre piezas en el plano xy, $L_k=1,4$ m, mientras que en el plano fuerte de la pieza xz le asignaremos un $\beta_{xz} =1$ considerándolas como apoyadas en los pilarcillos de los hastiales.

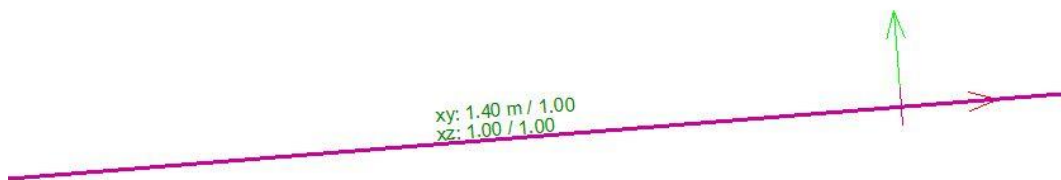


Figura 4.2.5-4 Coeficientes de pandeo cabios hastiales

Coeficientes de pandeo pilares

Los pilares los podemos considerar en su plano de inercia débil, paralelo al cerramiento, disponemos de las piezas prefabricadas de hormigón por lo que en este plano consideramos un coeficiente $\beta_{xy}=0$. En el plano de inercia fuerte el pilar

esta empotrado en la zapata pero en el dintel puede haber un cierto desplazamiento del nudo, así que le asignaremos un coeficiente de 0,7.

A los pilares de las cuatro esquinas de la nave le asignaremos un coeficiente de 0,5 en xy y xz considerando que el cerramiento en ambas direcciones los arriostran. Mientras que a los pilarcillos de los hastiales les asignaremos un coeficiente $\beta_{xz}=1$ en el plano fuerte por estar articulados en la cimentación.

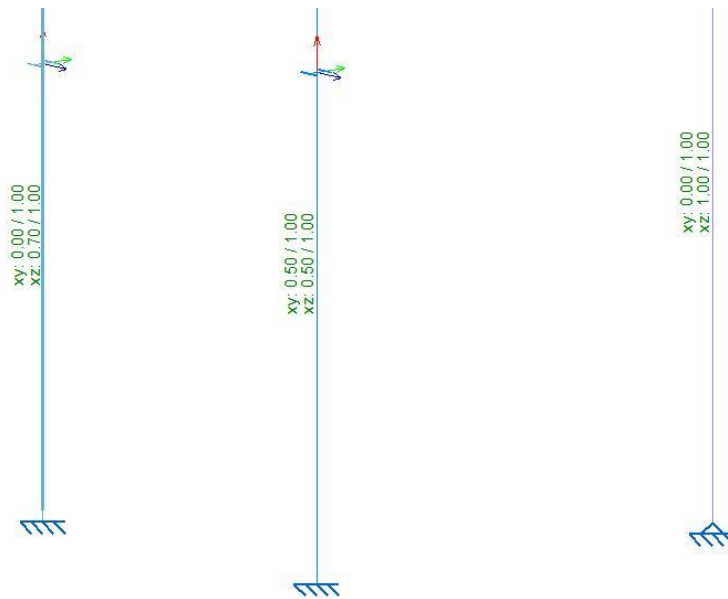


Figura 4.2.5-5 Coeficientes de pandeo β de pilares

Coeficientes de pandeo elementos longitudinales

Para las vigas que atan las cabezas de los pilares y las que forman los rectángulos de las cruces de San Andrés como dijimos en el punto anterior articularemos su extremos. Estas piezas en el plano de inercia débil coinciden con el plano del cerramiento o de la cubierta por lo que no deberían pandear si este es suficientemente rígido, les asignaremos un $\beta_{xy}=0$. En el plano fuerte están biarticulados, así que en el plano xz tendremos un coeficiente $\beta_{xz}=1$.

Coeficientes de pandeo cruces de San Andrés

Estas piezas en las diferentes hipótesis hacen que una trabaje a compresión y otra a tracción siendo extraordinariamente esbeltas. Son por tanto invalidas para trabajar a compresión por lo que se ignoran las capacidades antes estas solicitaciones, se consideran como si no existieran por lo que no les asignaremos ningún coeficiente.

4.2.6. Flechas

Muchos perfiles se desecharán no porque no puedan resistir sino porque no cumplen una verificación en cuanto a las deformaciones que pueden sufrir. Están

flectados o tienen una flecha excesiva que provoca grietas o deformaciones en otros elementos del edificio. Esto es lo que se conoce en el código técnico como “Aptitud al servicio” limitándose las flechas en el epígrafe del DB SE 4.3.3.1. Concretamente se distinguen tres casos de flechas relativas a la longitud total de la pieza.

“ ...

- a) $1/500$ en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) $1/400$ en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) $1/300$ en el resto de los casos.

... ”

Para nuestra estructura tipo cercha limitaremos las flechas del cordón superior e inferior, aunque en teoría estas estructuras no deberían flectar ya que solo trabajan a compresión o tracción. También limitaremos los cabios de las vigas de los pórticos extremos.

Esto se introduce en CYPE3D en el menú Barra>Flecha límite, de manera que limitaremos las flechas relativas de nuestras vigas de cubierta a $L/300$ ya que se encuentra dentro del caso c).

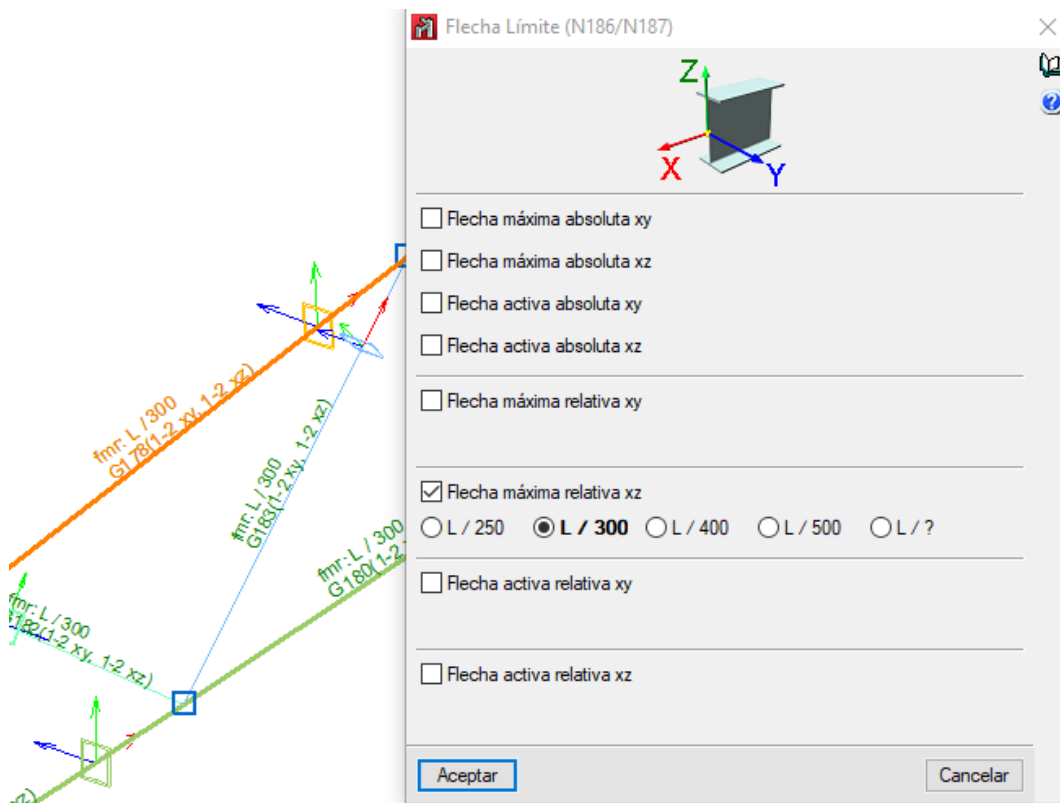


Figura 4.2.6-1 Flecha límite de cordones de cercha

4.2.7. Cálculo

Una vez descritas las barras, los nudos, introducidos los pandeos de las mismas y las flechas procederemos al cálculo de la estructura global. Posteriormente nos

centraremos en el pórtico central de la misma para ir comparando resultados con los demás casos.

En CYPE3D las opciones que se nos presenta de cálculo son las siguientes.

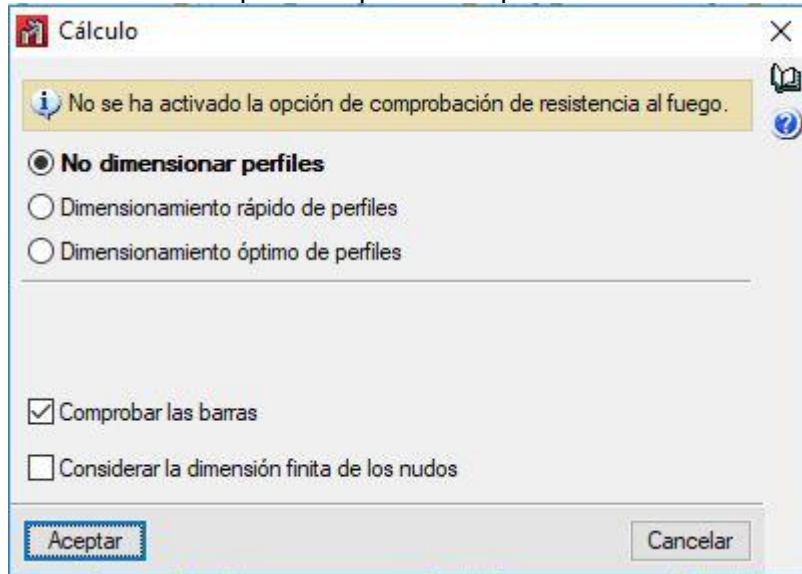


Figura 4.2.7-1 Menú opciones cálculo CYPE3D

Elegiremos la opción de no dimensionar perfiles para analizar que sucede en cada caso y comprobaremos la barras sin tener marcada la casilla de la dimensión finita de los nudos. Con estas opciones le damos a calcular y vemos que casi ninguna barra cumple, mostrándosenos en rojo.

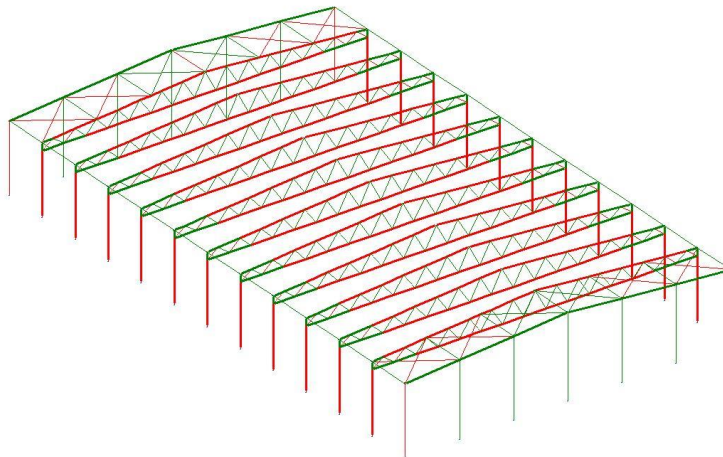


Figura 4.2.7-2 Resultado primero del cálculo cercha

Podemos sacar algunas conclusiones en la cercha. Observamos que las diagonales extremas están más solicitadas que las centrales.

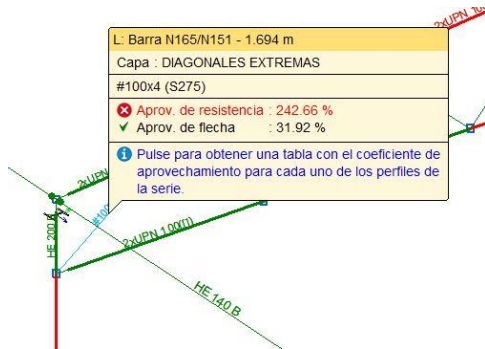


Figura 4.2.7-4 Aprovechamiento resistencia diagonal extrema

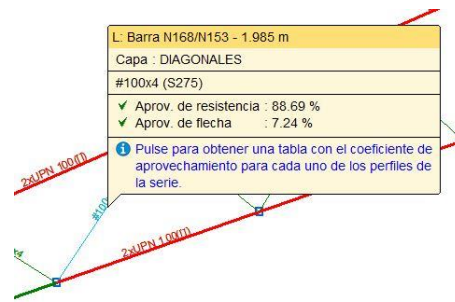


Figura 4.2.7-3 Aprovechamiento resistencia diagonal interior

Por lo que procederemos a dividir las diagonales extremas en otro grupo para así poderles asignar una sección de perfil mayor.

Con el botón Comprobación E.L.U. podemos ver qué condiciones no cumple la barra según el CTE. Así podemos ver por ejemplo los pilares HEB-200 que no cumple:

- Resistencia a flexión en el eje Y
- Resistencia a flexión en el eje Z
- Resistencia a flexión y axil combinados.

Comprobaciones E.L.U. (Barra)	
<input type="checkbox"/> Mostrar sólo las comprobaciones que no se cumplen:	
Estado	Comprobación
✓ Cumple	Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)
✓ Cumple	Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)
✓ Cumple	Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)
✓ Cumple	Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)
✗ Error	Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✗ Error	Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✓ Cumple	Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✗ Error	Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Figura 4.2.7-5 Comprobaciones E.L.U. de pilares de la cercha.

Con la opción comprobar barras el programa nos sugiere que perfil de la serie es el primero que cumple.

✗	HE 200 B	61.31	206.75 %
✗	HE 220 B	71.44	161.31 %
✗	HE 240 B	83.21	132.61 %
✗	HE 260 B	92.94	109.95 %
✓	HE 280 B	103.15	92.57 %
✓	HE 300 B	117.04	76.56 %

Figura 4.2.7-6 Opciones de tipos de perfiles

Para el caso de los pilares el siguiente que cumple nuestro es el HEB-280. Iremos Eligiendo en cada caso cual es el perfil correcto hasta conseguir que la todas las

barras de la estructura queden en verde. Iremos haciendo cálculos iterativos ya que al cambiar los perfiles los esfuerzos en los nudos se van redistribuyendo hasta así llegar a la solución óptima que se muestra a continuación.

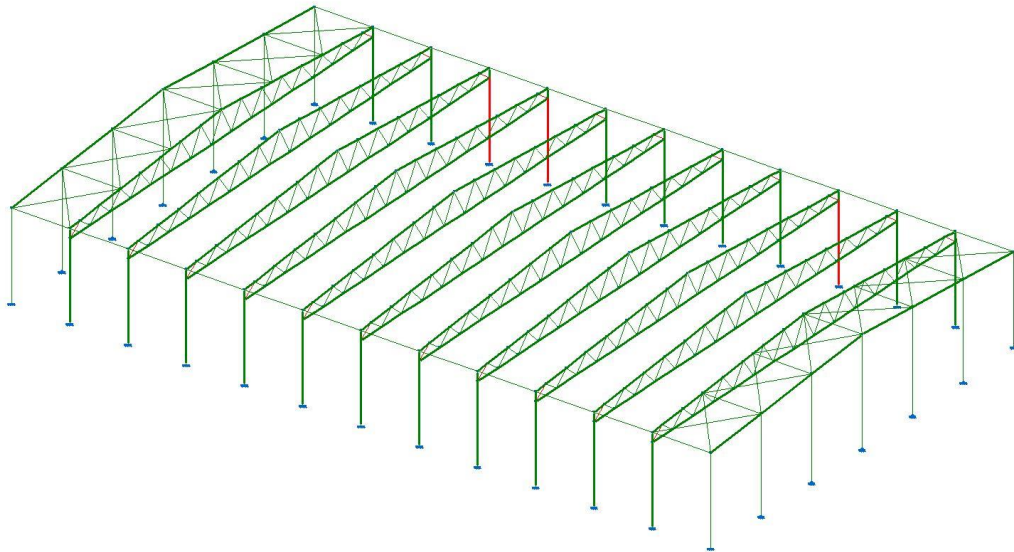


Figura 4.2.7-7 Resultado final del cálculo cercha

Vemos que la estructura nos cumple, aunque aún nos parecen alguno elementos en rojo, tres pilares de un extremo y las diagonales finales de la cercha, que estudiaremos a continuación.

Dando a la *comprobación de los E.L.U.* vemos que sucede con los pilares observando que estos fallan porque no cumplen la flexión compuesta sin cortante, siendo esta de 1.007 cuando debería ser menor que 1. Su aprovechamiento de resistencia está en 100,71% por lo que vemos que no cumple por muy poco.

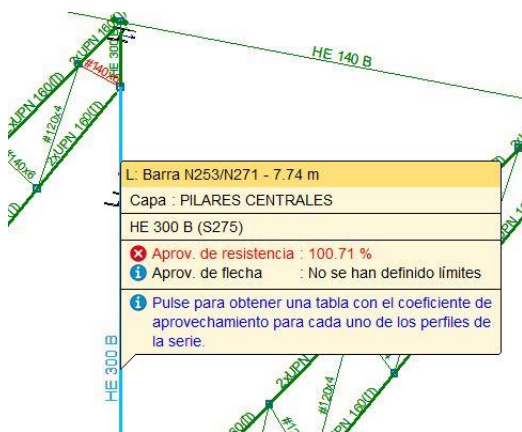


Figura 4.2.7-8 Aprovechamiento resistencia pilares tipología cercha

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N253, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
 Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : \underline{1.007} \quad \times$

Figura 4.2.7-9 Comprobación E.L.U. pilares tipología cercha

Damos este perfil como valido ya que es muy poca la diferencia y solo sucede en tres pilares de la nave.

La diagonal ultima vemos que tampoco cumple por muy poco, un 100,73% por lo que también la damos como válida.

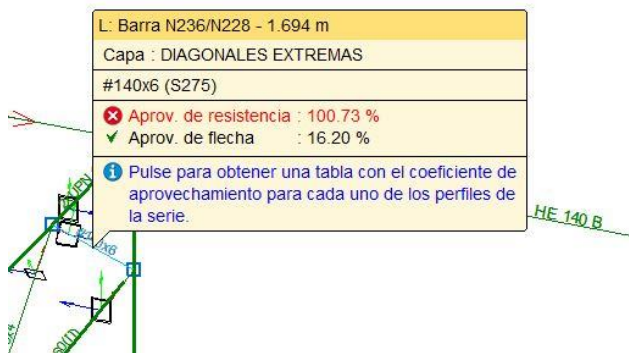


Figura 4.2.7-10 Aprovechamiento resistencia diagonales tipología cercha

De manera que aceptando estas pequeñas imperfecciones la estructura nos queda de la siguiente manera.

Cordón superior cercha	2UPN160 en cajón
Cordón inferior cercha	2UPN160 en cajón
Diagonales	Tubo cuadrado 120x4
Diagonales extremas	Tubo cuadrado 140x4
Pilares portico central	HEB-300
Pilares esquinas	HEB-280
Pilarcillos hastiales	HEB-200
Cabios Hastiales	IPE-200
Cruces San Andres 1	Ø30
Cruces San Andres 2	Ø24
Cruces San Andres 3	Ø16
Vigas atado	HEB-140
Vigas atado extremas	HEB-140

Tabla 4.2.7-1 Perfiles finales tipología cercha

Vista 3D de la tipología Cercha:

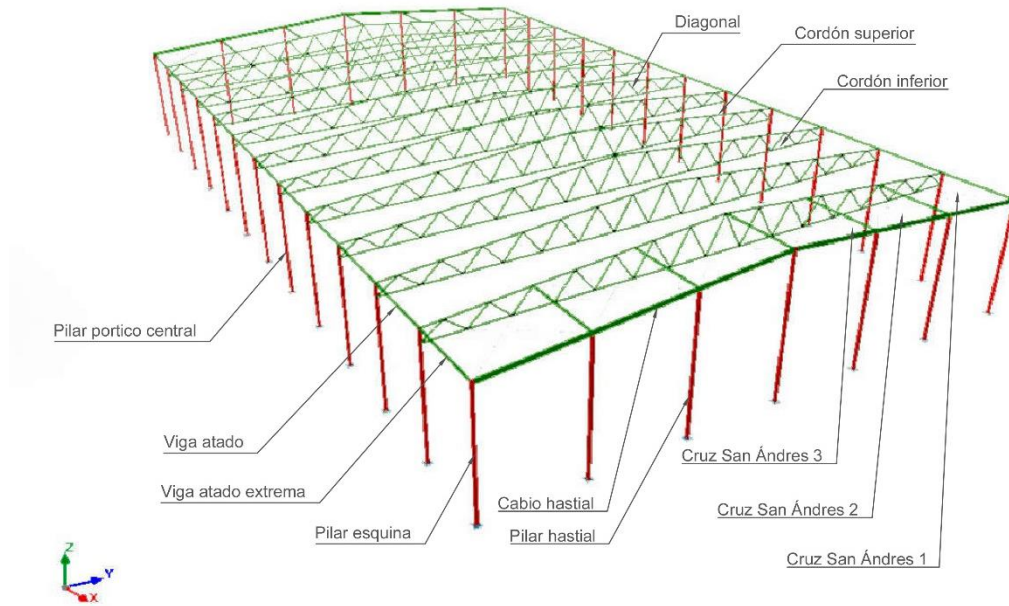


Figura 4.2.7-11 Vista 3D tipología Cercha

Nuestro pórtico central de la nave quedará de la siguiente manera:

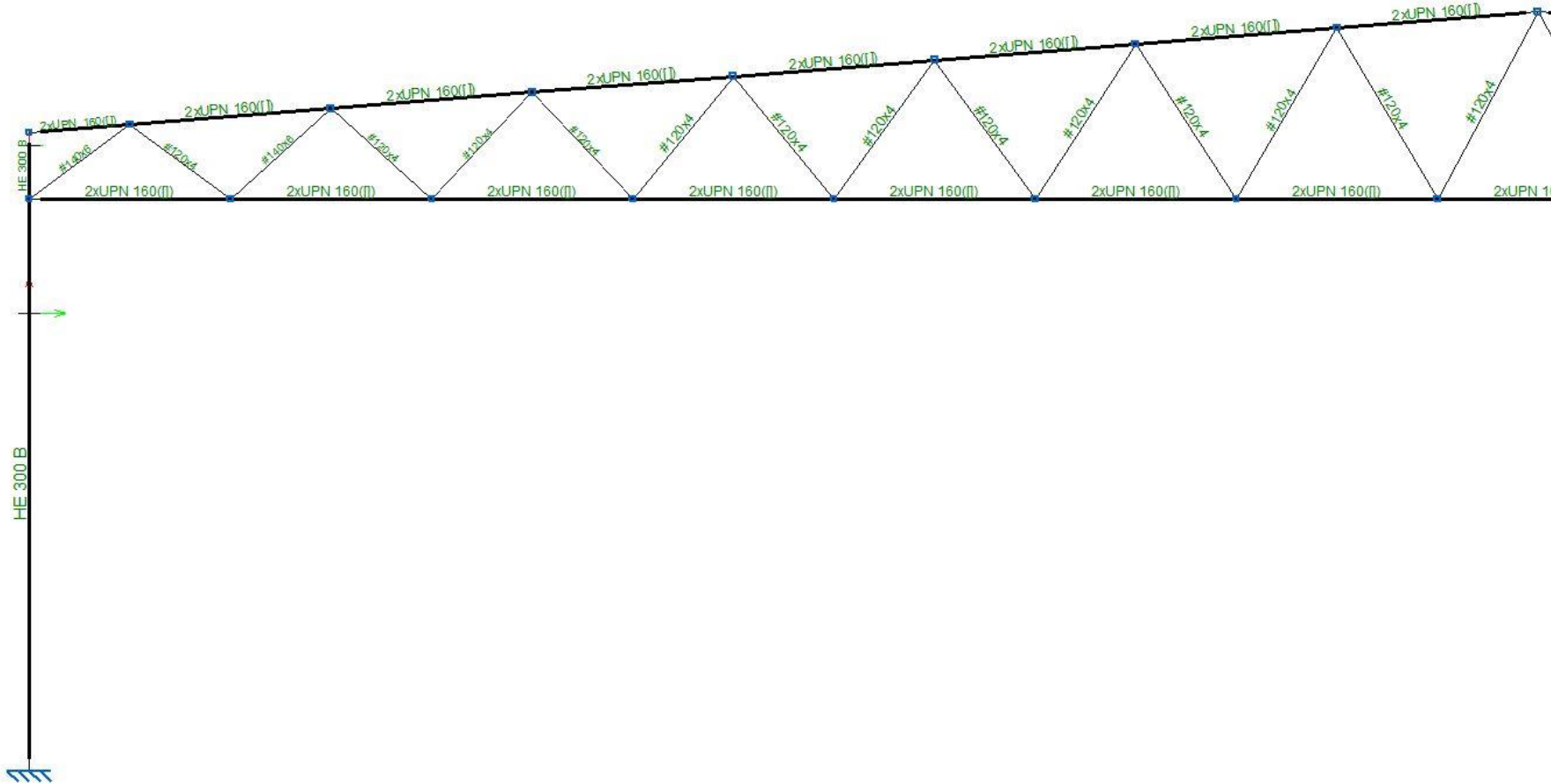


Figura 4.2.7-12 Pórtico final tipología Cercha

4.2.8. Cimentación

Calculada la estructura CYPE3D mediante la pestaña cimentación nos permite el cálculo de la misma. No nos detendremos mucho en este punto simplemente veremos las zapatas que se nos generan para poderlas comparar con el resto de tipos de estructura que nos quedan.

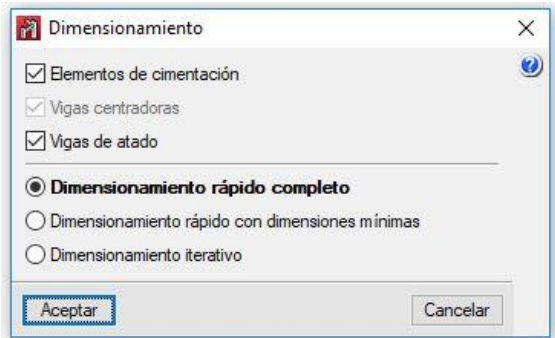


Figura 4.2.8-1 Cuadro dimensionamiento cimentación CYPE3D

Con esta opción se nos calcularán las zapatas y vigas de atado de la nave, siendo la zapata del pórtico central la siguiente.

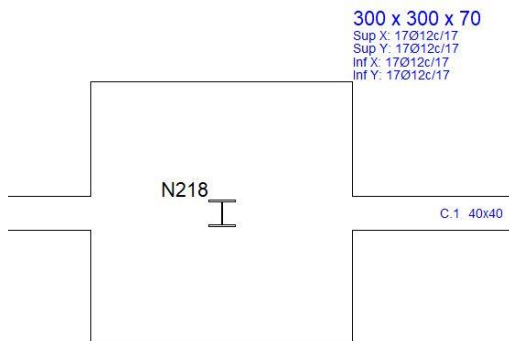


Figura 4.2.8-2 Zapata pórtico central tipología cercha.

Tenemos una zapata de 3,00 x 3,00 x 0,70 m. con armados tanto inferiores como superiores de redondos del 12 cada 17 cm.

4.3. Pórticos Acartelados

Partiremos de la geometría de la cercha que nos exportó el Generador de Pórticos para que de esta manera tengamos en la estructura de la nave las mismas acciones y podamos compararlas con las otras soluciones. Sería una continuación del apartado 4.1.5. exportación a CYPE3D, donde se nos produjo este estado de cargas de la estructura.

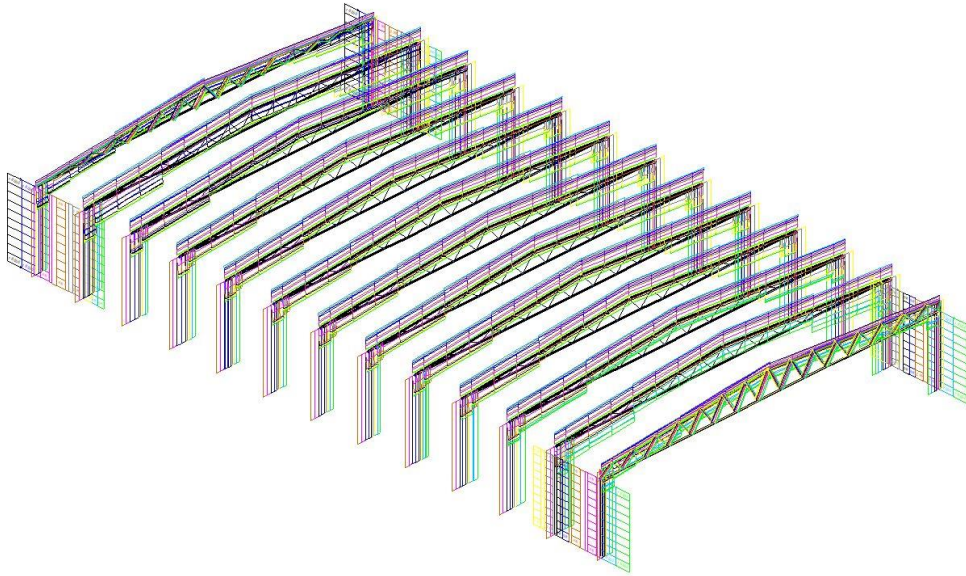


Figura 4.3-1 Geometría con cargas

En esta solución iremos más rápido en las explicaciones ya que algunas coinciden con la solución anterior.

4.3.1. Modificación de la geometría

Ahora tendremos que ir suprimiendo las diagonales y cordón inferior de la cercha, para que esta nos quede solo con el cordón superior que está dividido en tramos. Tendremos que borrar estos tramos también y volver a dibujar la barra como un solo elemento que vaya de la cumbre al pilar.

Procederemos también a crear los pórticos hastiales, en donde tenemos que ir colocando los pilarcillos. También definiremos las cruces de San Andrés y añadiremos las vigas longitudinales que unen los pórticos de la nave.

El resultado después de todas estas modificaciones será el siguiente:

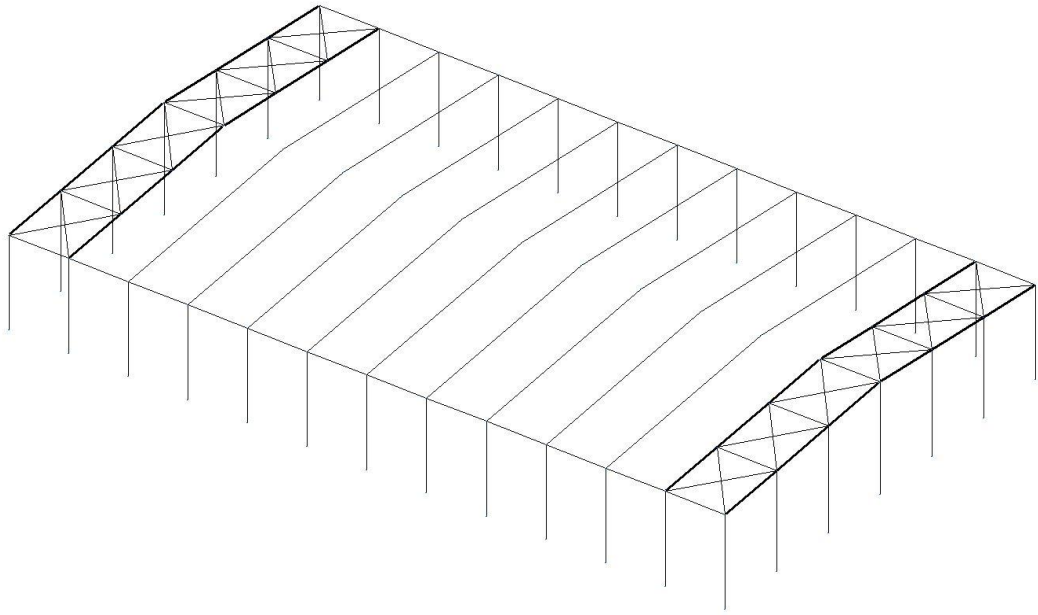


Figura 4.3.1-1 Geometría inicial tipología Pórticos Acartelados

Vemos que los paños donde se generan las cargas son los mismos que los que teníamos con la solución de las cerchas.

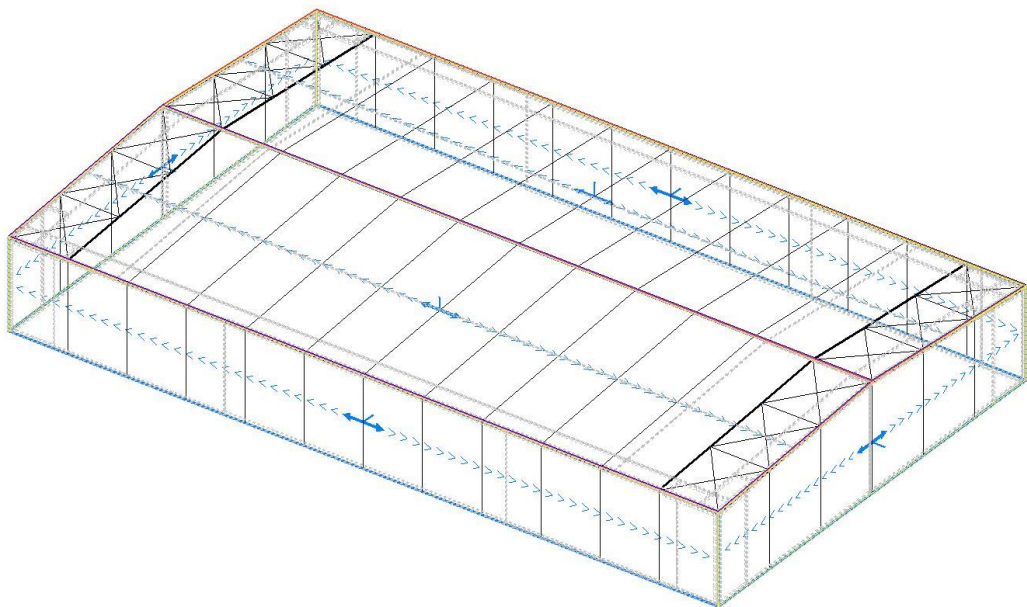


Figura 4.3.1-2 Paños de cargas en tipología Pórticos Acartelados.

Y las cargas que se generan en los pórticos son las siguientes:

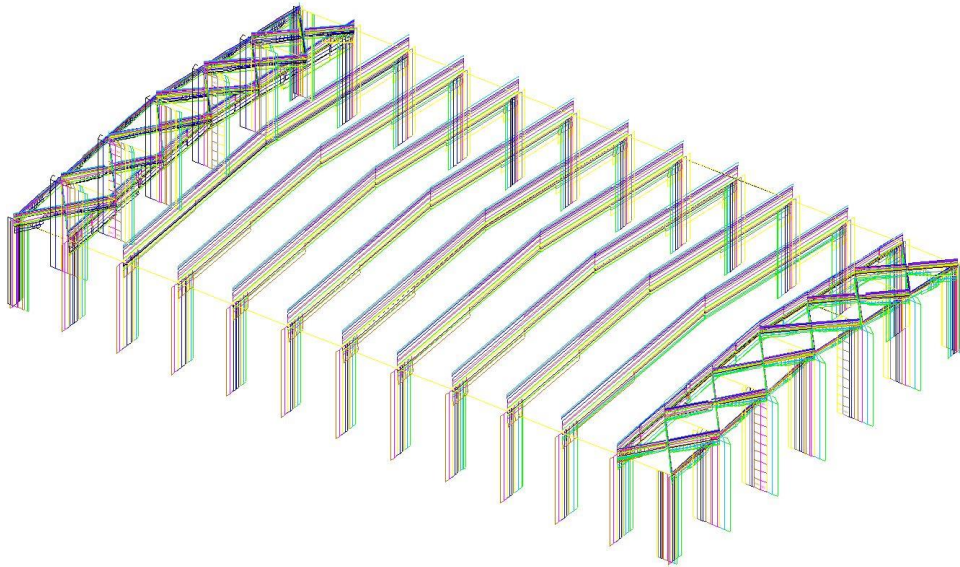


Figura 4.3.1-3 Distribución de cargas tipología Pórticos Acartelados

En esta geometría igual que en el caso anterior iremos agrupando las barras y metiéndolas en capas diferentes, para que cambiando un solo perfil cambiemos todos aquellos que están bajo las mismas condiciones. En este caso tendremos menos barras que la cercha, al no existir los cordones ni los diagonales de la misma.

Gestión de capas			
Activa	Nombre de la capa	Vis...	Color
<input checked="" type="checkbox"/>	por defecto	<input checked="" type="checkbox"/>	Black
<input type="checkbox"/>	PILARES PORTICOS	<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow
<input type="checkbox"/>	PILARES ESQUINAS	<input checked="" type="checkbox"/>	Orange
<input type="checkbox"/>	PILARES HASTIALES	<input checked="" type="checkbox"/>	Brown
<input type="checkbox"/>	DINTELES PORTICOS	<input checked="" type="checkbox"/>	Light Green
<input type="checkbox"/>	DINTELES HASTIALES	<input checked="" type="checkbox"/>	Green
<input type="checkbox"/>	VIGAS ATADO	<input checked="" type="checkbox"/>	Dark Green
<input checked="" type="checkbox"/>	VIGAS CRUCES	<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan
<input type="checkbox"/>	CRUCES 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Purple
<input type="checkbox"/>	CRUCES 2	<input checked="" type="checkbox"/>	Dark Purple
<input type="checkbox"/>	CRUCES 3	<input checked="" type="checkbox"/>	Dark Purple

Figura 4.3.1-4 Cuadro de gestión de capas

4.3.2. Descripción de nudos

Como en el caso de las cerchas haremos los mismos cambios en la estructura para adaptarla a nuestra solución:

- Comprobaremos que los pilares de los pórticos son empotrados.
- Los pilarcillos de los hastiales les articularemos en su base.
- Las cruces de San Andrés y las vigas longitudinales las articularemos en sus extremos mediante el comando articular extremos.

4.3.3. Descripción de las barras

Procederemos a asignar los diferentes tipos de perfil a las barras. Para los cabios del pórtico central elegiremos un perfil tipo IPE porque es la serie de perfiles comerciales que dan mayor resistencia en su plano fuerte para un mismo peso, de manera que optimizaremos cada gramo de acero y por lo tanto gastaremos menos dinero.

Para los pilares dispondremos un perfil HEB-400, que ya es un perfil importante, pero que seguramente tendremos que aumentar ya que la nave tiene más de 40 metros de luz. Para los cabios de los pórticos centrales una buena proporción para un predimensionamiento es que los dinteles sean entre un 60-70% del canto de los pilares, esto hay decirlo con muchas reservas ya que depende de numerosos factores. Con esta proporción de 2/3 asignaremos a nuestros dinteles unos perfiles IPE-270.

En este caso tenemos que asignar a los dinteles las cartelas iniciales inferiores y finales inferiores. Como norma general se suele asignar a la cartela inferior inicial un décimo de la luz. En nuestro caso sería una cartela de 4 m. de longitud. Para la cartela inferior final, se diseña de manera que se garantice un empotramiento de los dos cabios de la cubierta, no teniendo una función estructural importante ya que recibe poca carga. Se suele diseñar para que esta quede de manera horizontal y su aspecto estético de la nave sea mejor. Si nuestra cubierta tiene una pendiente del 8% tendremos que cortar en diagonal al 8% el IPE-270 , por lo tanto nos hace falta $270/0.08 = 3.375$ mm.

Figura 4.3.3-1 Cuadro de definición de cartelas

El resto de elementos los dejaremos igual que en el caso anterior de la cercha (pilares de esquina, pilarcillos, cabios hastiales, cruces de San Andrés y vigas longitudinales)

Pilares portico central	HEB-400
Pilares esquinas	HEB-200
Pilarillos hastiales	HEB-200
Cabios centrales	IPE-270
Cabios hastiales	IPE-270
Cruces San Andrés 1	Ø16
Cruces San Andrés 2	Ø16
Cruces San Andrés 3	Ø16
Vigas atado	HEB-140
Vigas cruces	HEB-140

Tabla 4.3.3-1 Perfiles iniciales tipología Pórticos Acartelados

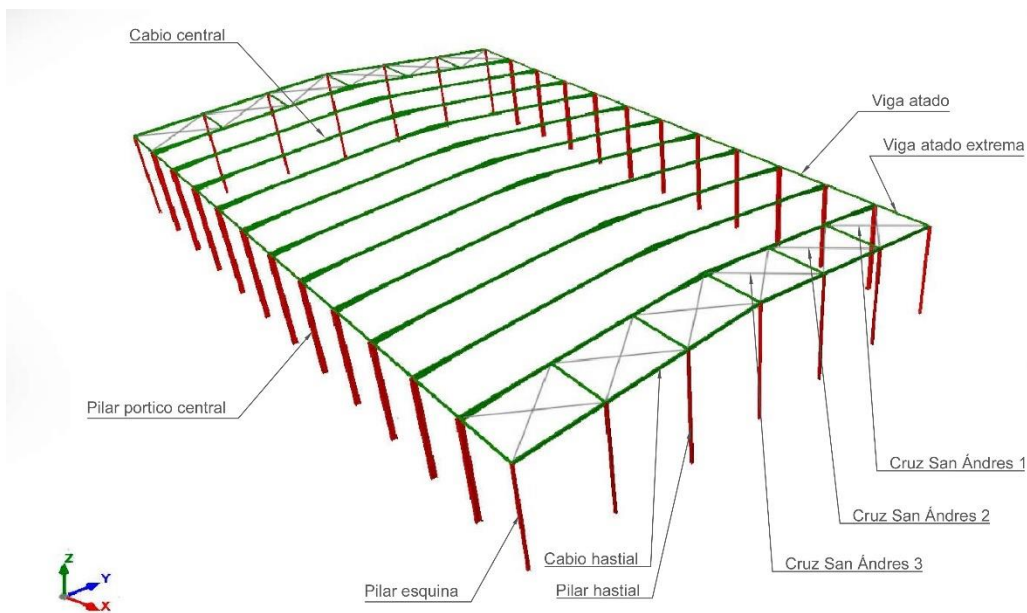


Figura 4.3.3-2 Vista 3D de los elementos tipología Pórticos Acartelados

4.3.4. Coeficientes de pandeo

En los cabios de la cubierta asignaremos de manera un poco diferente los coeficientes de pandeo. Los cabios centrales en su plano débil, el paralelo al plano de la cubierta, están arriostrados por las correas que las separábamos 1,24 m. De manera que en vez de asignar un coeficiente de pandeo, les asignaremos una longitud de pandeo $L_k = 1,24$ m. En el plano fuerte también les pondremos un longitud de pandeo $L_k = 20,48$ m, su longitud. Si hubiéramos puesto en este plano un coeficiente $\beta_{xz}=1$, sería correcto para los cabios centrales, pero no para el segundo y penúltimo que están divididos por las vigas longitudinales de las cruces de San Andrés.

Los coeficientes de pandeo de los cabios de los hastiales, pilares de las esquinas, pilarillos, elementos longitudinales y cruces de San Andrés serán los mismo que en el caso anterior.

4.3.5. Flechas

En este caso una limitación de flecha máxima para los cabios de los pórticos centrales, ya que el programa en la flecha relativa estima la longitud de la pieza menos la de las cartelas, lo que nos daría un valor menor. Por lo que tendremos que dividir la longitud de los cabios entre la limitación de flecha. Nuestro caso sería $20.480/300 = 68$ mm.

Para los pórticos segundo y penúltimo al estar divididos por las barras de cierre de las cruces de San Andrés, tendremos que crear mediante la orden *Barra>Crear grupos de flecha*, una barra que vaya desde los pilares hasta la cumbra para que trabaje como un único elemento.

Para los cabios de los pórticos hastiales usaremos la restricción de flecha relativa de $L/300$. Este mismo valor usaremos para las vigas longitudinales y vigas de cierre de las cruces de San Andrés. Estos últimos elementos no deberían tener problemas ya que la única carga que reciben son los pesos propios de ellos.

4.3.6. Cálculo

Procedemos al cálculo con las barras descritas mediante la opción *Cálculo>Comprobar barras* y vemos que la mayoría no entran en cálculo. Solo vemos que las vigas longitudinales y las cruces de San Andrés nos vale, debido fundamentalmente a que no reciben cargas.

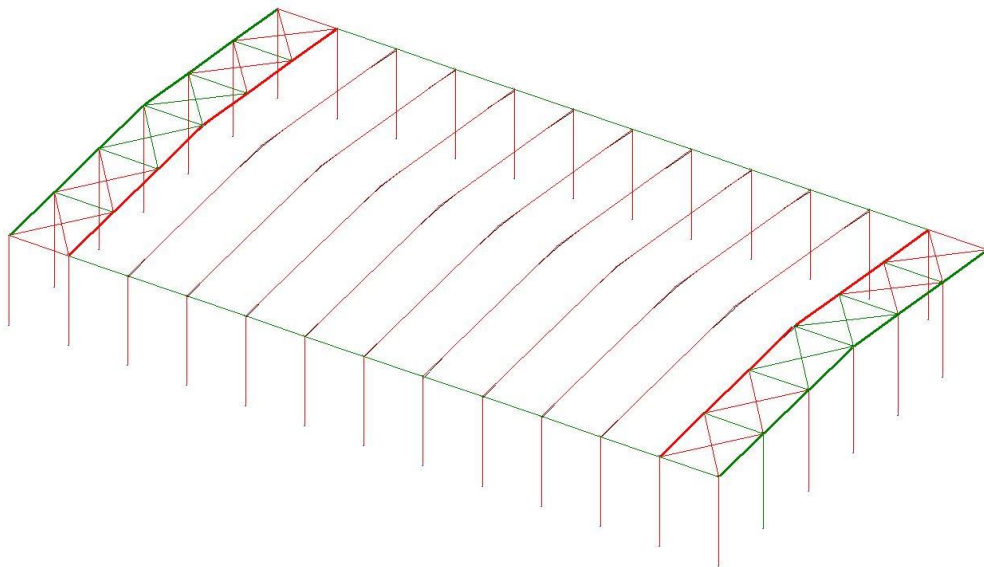


Figura 4.3.6-1 Resultado primero del cálculo Pórticos Acartelados

Procederemos a cambiar la sección de los perfiles que no cumplen. Cambiaremos los pilares a HEB-550, los de esquina a HEB-240, los pilarcillos a HEB-240, los cabios de los hastiales a IPE-200 y las cruces de San Andrés a $\varnothing 30$, $\varnothing 24$ y $\varnothing 16$. Los cabios de los pórticos centrales los pondremos de IPE-550 pero teniendo en cuenta para que la cartela inferior quede horizontal tendrá que ser de longitud $550/0,08 = 6.875$ mm.

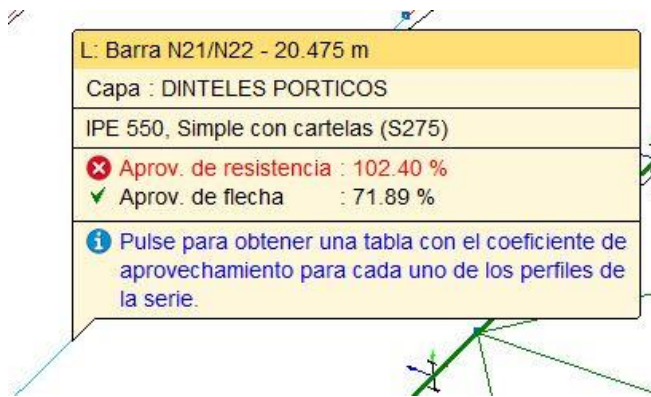


Figura 4.3.6-2 Aprovechamiento de resistencia cables centrales de Pórticos Acartelados

Con el nuevo cálculo vemos que los cables no cumplen por muy poco, esta aprovechada su resistencia un 102,40%

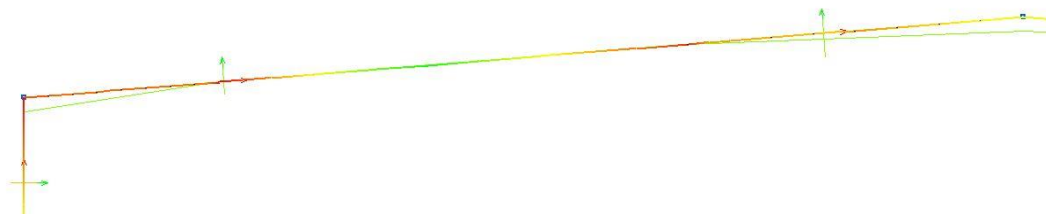


Figura 4.3.6-3 Esfuerzos en cables de Pórticos Acartelados

Vemos mediante el comando *Esfuerzos*, que su tensión máxima se produce justo antes de llegar a la cartela. Por lo tanto para optimizar la estructura y no subir de sección todos los cables centrales procederemos a prolongar la cartela inferior inicial. Con esto estamos haciendo que nuestra estructura tenga forma más abovedada haciendo que trabaje mejor. Prolongamos dicha cartela de 4 m a 5 m y procedemos al nuevo cálculo.

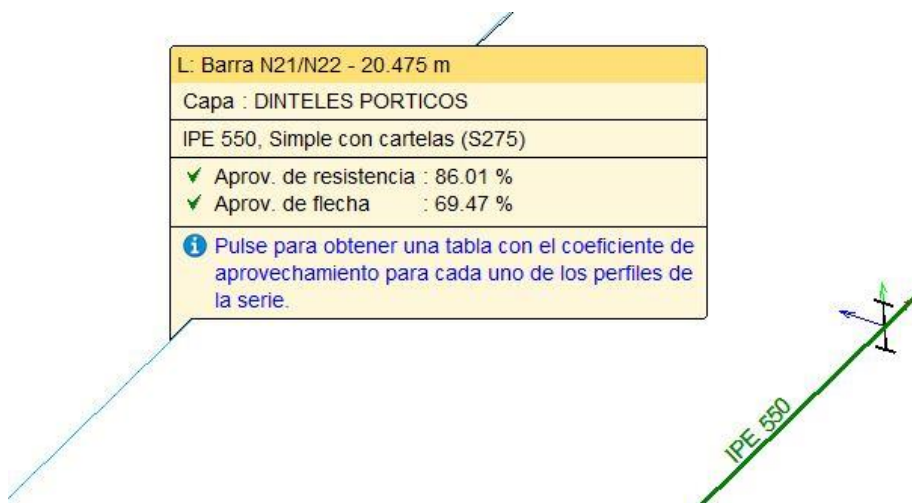


Figura 4.3.6-4 Aprovechamiento de resistencia cables después de modificación

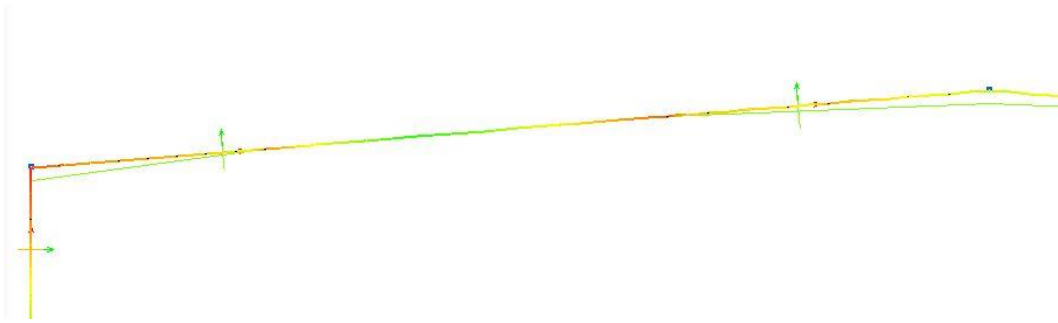


Figura 4.3.6-5 Esfuerzos en cabios después de modificación

Vemos que al prolongar la cartela su aprovechamiento de resistencia es del 86,01% y su tensión ha disminuido próxima a la cartela inferior. Otra conclusión que podemos sacar es que el cabio esta menos solicitado en su parte central (zona verde) por lo que esta se la sección adecuada para cuando sea necesario dividir la pieza para su montaje.

Podríamos optimizar más la estructura. Por ejemplo los pilarcillos de los hastiales están aprovechados al 75,48% por lo que les podríamos bajar hasta un HEB-200. El que está más solicitado es el central por tener mayor longitud. Pero para mantener un criterio de uniformidad en el pórtico y no tener múltiples soluciones que en obra puedan dar lugar a error, los mantendremos como están.

✗	HE 160 B	42.63	142.01 %
✗	HE 180 B	51.26	101.92 %
✓	HE 200 B	61.31	75.18 %
✓	HE 220 B	71.44	57.83 %
✓	HE 240 B	83.21	46.78 %
✓	HE 260 B	92.94	38.24 %
✓	HE 280 B	103.15	31.88 %



Figura 4.3.6-6 Pilares válidos para pórticos hastiales

Los perfiles de esta tipología de estructura que nos sales son los siguientes:

Pilares portico central	HEB-550
Pilares esquinas	HEB-240
Pilarcillos hastiales	HEB-240
Cabios centrales	IPE-550
Cabios hastiales	IPE-200
Cruces San Andrés 1	Ø30
Cruces San Andrés 2	Ø24
Cruces San Andrés 3	Ø16
Vigas atado	HEB-140
Vigas cruces	HEB-140

Tabla 4.3.6-1 Resultado de final perfiles tipología Pórticos Acartelados

Nuestra estructura vista en 3d:

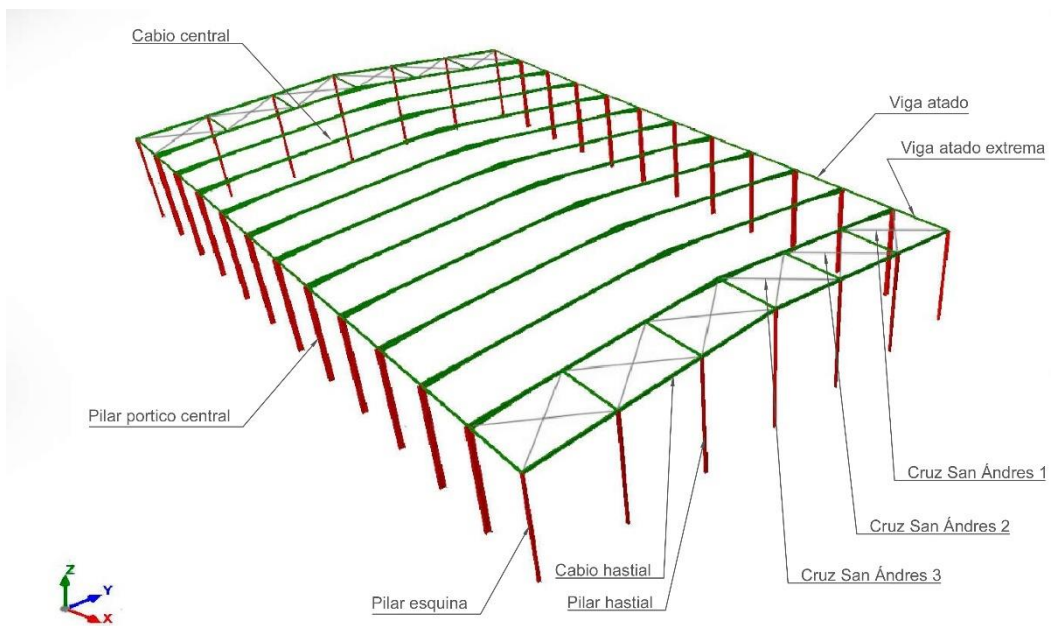


Figura 4.3.6-7 Vista 3d Pórticos Acartelados

El pórtico central quedaría de la siguiente manera:

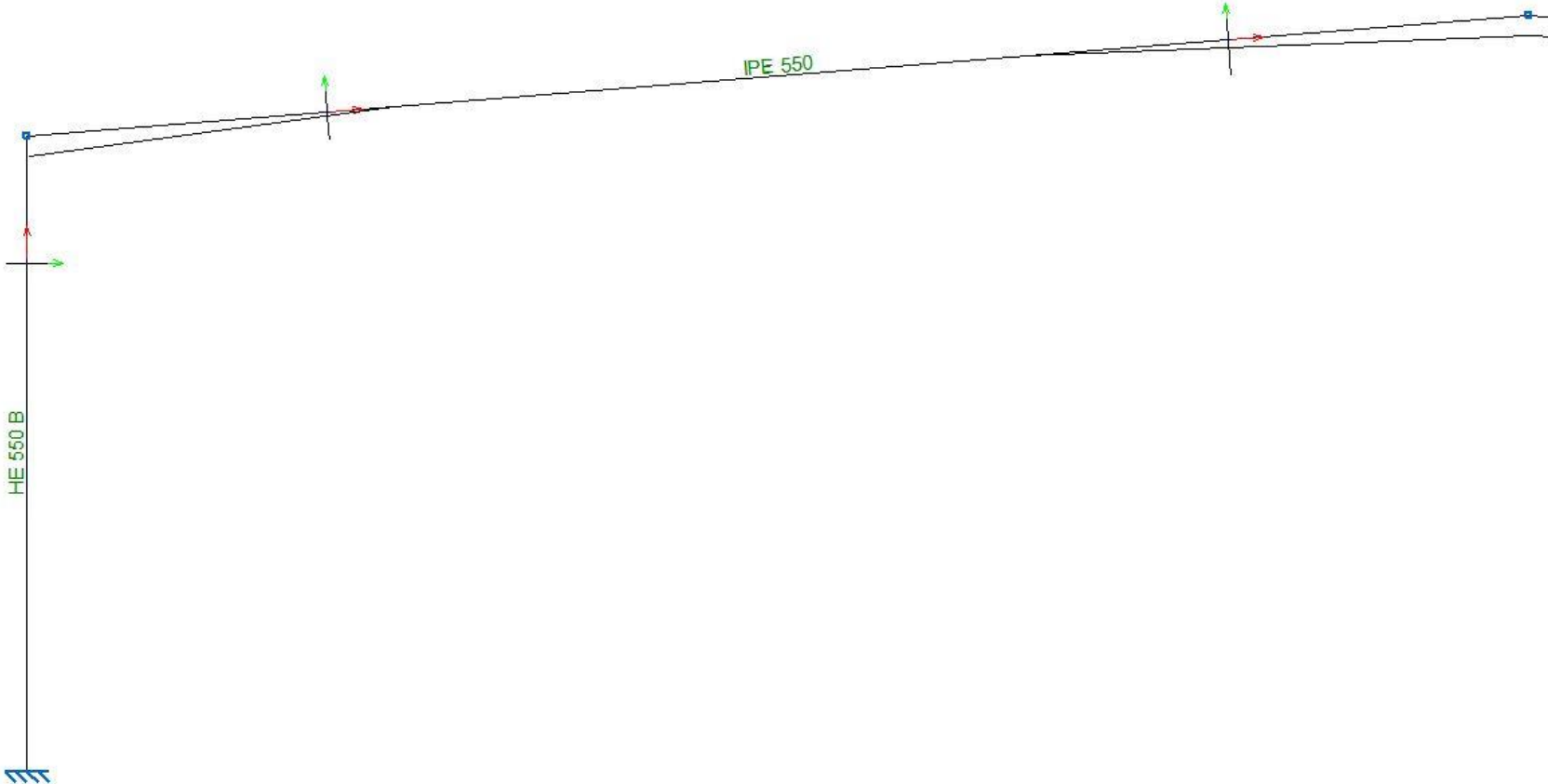


Figura 4.3.6-8 Pórtico final tipología Pórticos Acartelados

4.3.7. Cimentación

Procedemos al cálculo de la cimentación en la pestaña correspondiente.

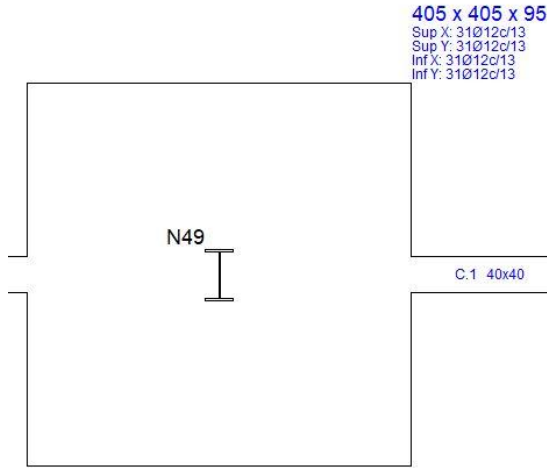


Figura 4.3.7-1 Cimentación tipología Pórticos Acartelados

Nos dimensiona una zapata mayor que en el caso anterior de 4,05 x 4,05 x 0,95 con armados de redondos del 12 cada 13 cm en las dos direcciones tanto en la parrilla inferior como superior. Esto es debido a que el momento que se produce en la base del pilar es mayor, de 837,16 kN·m frente a los 221,02 kN·m.



Figura 4.3.7-2 Momentos en apoyos de Pórticos Acartelados

4.4. Pórticos de Sección Variable

4.4.1. Consideraciones iniciales

Este sistema estructural suele tener los pórticos entre si más separados, ya que poseen perfiles más masivos que aguantan más. Para nuestro caso dispondremos la misma separación para compararlo con los demás bajo las mismas condiciones.

Esta tipología se caracteriza porque el nudo en la base esta articulado, lo que hace que no se trasmitan momentos a la zapata y esta sea de menores dimensiones. Se suele utilizar esta solución cuando los terrenos poseen baja capacidad portante.

Para ello a la placa de anclaje se le sueldan unas cartelas taladradas a modo de orejetas entre las que se engarza el pilar que también lleva realizado un taladro. Este se refuerza con unas platabandas paralelas al alma con el objeto de repartir los esfuerzos.



Figura 4.4.1-1 Detalle nudo articulado

Entre los taladros de las cartelas y atravesando el pilar y sus platabandas se dispone un bulón de acero especial alrededor del cual el pilar puede girar libremente. Este bulón se suelda a las cartelas de la placa por su cara exterior.

4.4.2. Modificación de geometría

En este caso modificaremos la geometría desde el Generador de Pórticos para que nos exporte los nudos de la base de los pilares articulados.



Figura 4.4.2-1 Cuadro exportación a CYPE 3D

Procederemos como en el caso anterior a ir suprimiendo las diagonales y cordón inferior de la cercha, el cordón superior lo redibujaremos pero en vez de un solo tramo lo dividiremos en dos, para poder hacer el primer tramo de sección variable. Crearemos los pórticos hastiales con los pilarcillos y definiremos la cruces de San Andrés con las vigas longitudinales que unen los pórticos.

El resultado después de estas modificación será la misma geometría que en el caso anterior.

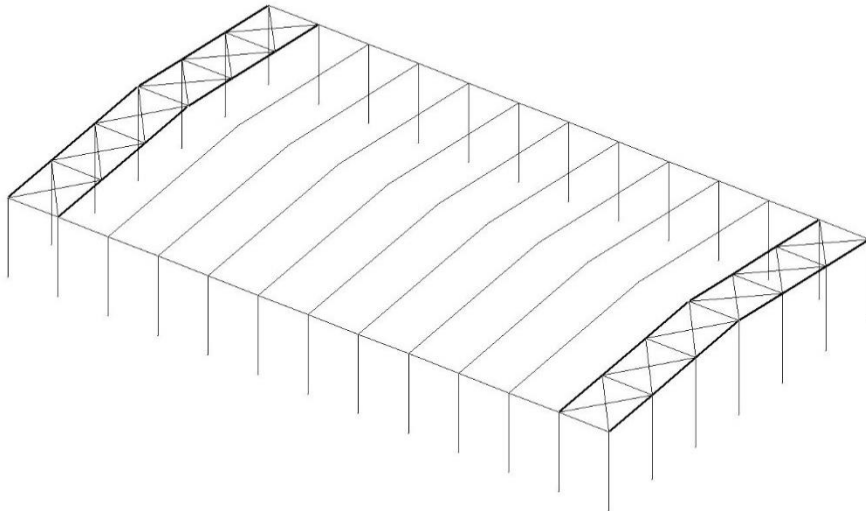


Figura 4.4.2-2 Geometría inicial tipología Pórticos de Sección Variable

4.4.3. Descripción de nudos

Realizaremos los cambios necesarios en los nudos de la cimentación cruces de San Andrés y vigas longitudinales:

- Comprobaremos que los pilares de los pórticos son articulados.
- Los pilarcillos de los hastiales los articularemos en su base, dejando los de las esquinas empotrados.
- Las cruces de San Andrés y las vigas longitudinales las articularemos en sus extremos mediante el comando articular extremos.



Figura 4.4.3-1 Apoyos de Pórticos de Sección Variable

4.4.4. Descripción de las barras

En este caso tendremos que crear una serie de perfiles para definir los pilares y cambios de sección variable. Serán de tipo IPE en el que tendremos que definir longitudes y espesores de almas y alas. Llamaremos a esta serie de perfiles PIV “Perfiles de Inercia Variables”

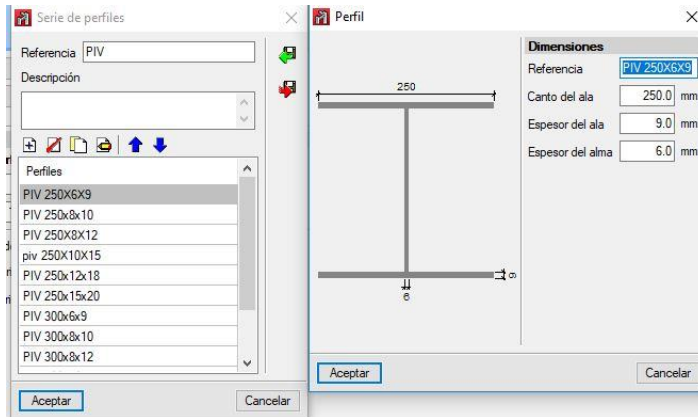


Figura 4.4.4-1 Creación de perfiles PIV

Crearemos esta serie de perfiles en donde la primera cifra será la longitud de las alas, el segundo el espesor del alma y el tercero el espesor de las alas. La variación del anchura del pilar se la iremos definiendo cuando designaremos las barras.

Para los pilares de los pórticos centrales les daremos un canto pequeño en la base, ya que habrá poco momento por ser un apoyo articulado y en la cabeza del pilar le daremos mayor anchura por ser esta zona donde los momentos son mayores. Definiremos estas barras con un perfil PIV 300x15x20 (Ancho =300 mm, espesor del alma 15 mm, espesor de las alas 20 mm) con una altura inicial en la base de 300 mm y en cabeza del pilar de 900 mm. En los pilares definiremos unas rigidizadores del alma, para evitar el alabeo de las alas y la abolladura del alma, mientras más rigidizadores menos sensible será al colapso por esbeltez. Dividiremos nuestros pilares en cuatro partes por lo que colocaremos los rigidizadores cada 2.160 mm de espesor 8 mm.

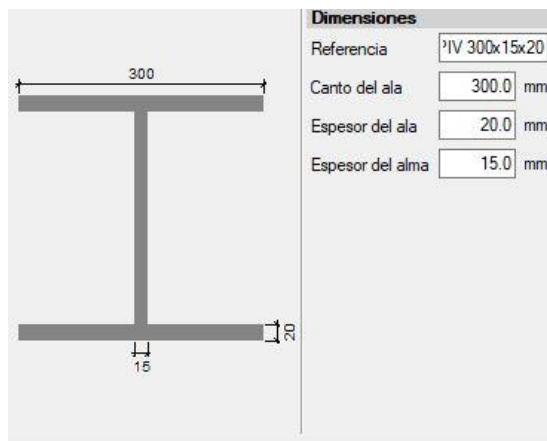


Figura 4.4.4-2 PIV 300x15x20

Los cabios de los pórticos centrales de cubierta los dividiremos en dos tramos, para que el tramo que va del pilar a la parte intermedia sea de sección variable, en este caso elegimos el mismo perfil PIV 300x15x20 con canto inicial de 800 y final de 500 disponiendo rigidizadores cada dos correas, es decir 2800 mm también de espesor 8 mm.

Serie de perfiles PIV
 Perfil PIV 300x15x20

Datos adicionales

Disposición
 Perfil simple

Canto del perfil
 Canto inicial 800.0 mm
 Canto final 500.0 mm

Hay rigidizadores de alma
 Separac. entre rigidizadores 2800.0 mm
 Espesor de los rigidizadores 8.0 mm

Figura 4.4.4-3 Perfil de cabio de cubierta

El otro tramo que conforma el cabio de la cubierta lo haremos de canto constante con el mismo perfil PIV 300x15x20 y el mismo tipo de rigidizador que en el tramo inicial.

El resto de elementos los dejaremos igual que en el caso anterior de la cercha (pilares de esquina, pilarcillos, cabios hastiales, cruces de San Andrés y vigas longitudinales)

		Canto inicial	Canto final	Rigidizadores
Pilares portico central	PIV 300x15x20	300	900	2160
Cabios centrales 1º tramo	PIV 300x15x20	800	500	2800
Cabios centrales 2º tramo	PIV 300x15x20	500	500	2800
Cabios hastiales	IPE-270			
Pilares esquinas	HEB-200			
Pilarcillos hastiales	HEB-200			
Cruces San Andres 1	Ø16			
Cruces San Andres 2	Ø16			
Vigas longitudinales atado	HEB-140			
Vigas longitudinales cruces	HEB-140			

Tabla 4.4.4-1 Perfiles iniciales tipología Pórtico de Sección Variable

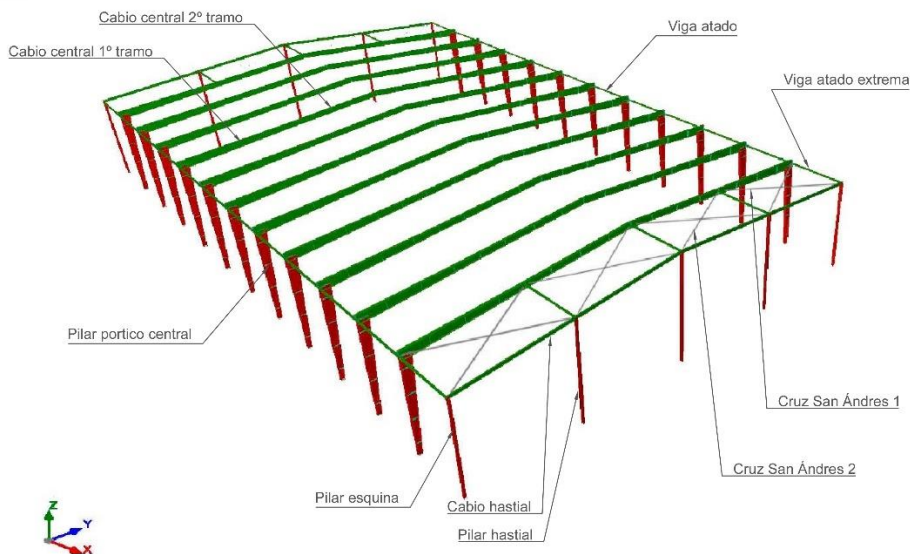


Figura 4.4.4-4 Vista 3D tipología Pórtico de Sección Variable

4.4.5. Coeficientes de pandeo

Respecto a la opción con los Pórticos Acartelados no cambia mucho los coeficientes. Lo único a destacar que los pilares en vez de tener un $\beta_{xz}=0,7$ en su plano de inercia fuerte, tendrán un $\beta_{xz}= 1$ por tener el apoyo articulado.

4.4.6. Pandeo lateral

El pandeo lateral es el riesgo de deformación por pandeo de la sección en piezas esbeltas. En estos perfiles no comerciales con almas tan grandes y grandes esbeltos tenemos que incorporar este elemento, es decir en los pilares y cabios de los pórticos centrales. En los perfiles comerciales lo comprobaremos en los casos que dice el artículo 6.3.3.1. del CTE DB SE-A.

“ ...

No será necesaria la comprobación a pandeo lateral cuando el ala comprimida se arriostra de forma continua o bien de forma puntual a distancias menores de 40 veces el radio de giro mínimo. No obstante, en estos casos se deberá asegurar una rigidez y una resistencia adecuadas de los apoyos laterales.

... ”

En nuestro caso anterior con un IPE-550 con un radio de giro $i_y = 4,45$ cm tenemos que $4,45 \times 40 = 1.780$ mm $>$ 1.400 mm entre correas por lo que no era necesaria su comprobación. Comprobaremos el pandeo lateral en los pilares centrales en los que podemos comprometernos a arriostrar las alas superior e inferior cada 1,75 m. La normativa DB SE-A en su artículo 6.3.4.2. según la tabla 6.10 determina unos coeficientes dependiendo del tipo de diagrama de flectores y del momento entre arriostramiento, $C_{m,y}$ y $C_{m,z}$.

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

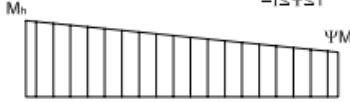
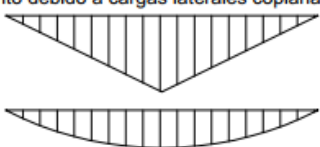
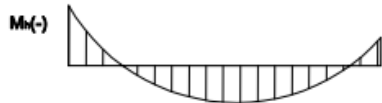
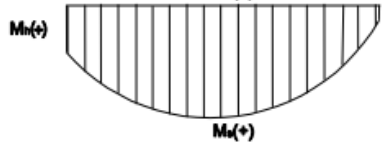
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente	
	$C_{m,y} = C_{m,j} (i = y)$ $C_{m,z} = C_{m,j} (i = z)$ $C_{m,LT} = C_{m,i} (i = LT)$	
Momentos de extremo $-1 \leq \psi \leq 1$ 		
	$C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$	
Momento debido a cargas laterales coplanarias 		
	$C_{m,i} = 0,9$	
	$C_{m,i} = 0,95$	
Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos		
	$\alpha = M_e/M_h$	$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $-1 \leq \alpha \leq 0$ $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4$ si $0 \leq \alpha \leq 1$
	$\alpha_h = M_y/M_e$	$C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$ con $-1 \leq \alpha_h \leq 1$

Tabla 4.4.6-1 Coeficientes de momentos equivalentes

Toda pieza comprimida debe cumplir la fórmula de este artículo

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

En CYPE3D el pandeo y estos coeficientes se lo definiremos en el menú *Barra>Pandeo lateral*, eligiendo el último icono de cada fila, tanto para el ala superior como el inferior. En nuestro caso para los pilares nos comprometeremos a arriostrar ambos cada 1,75 m y determinaremos unos coeficientes $C_{m,y}$ y $C_{m,z}$ de 1 para estar del lado de seguridad.

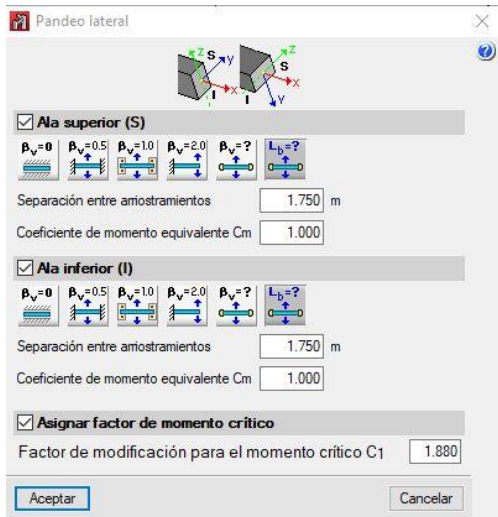


Figura 4.4.6-1 Menú pandeo lateral CYPE 3D

El factor de modificación para el momento C1 es el correspondiente a la Tabla 6.7 del DB SE-A que depende de las condiciones de apoyo y del tipo de sollicitación, para los pilares le pondremos un coeficiente de 1,88 al tener momento solo en un extremo por tener el apoyo articulado.

En las vigas de la cubierta pondremos los coeficientes $C_{m,y}$ y $C_{m,z}$. serán de 1 también y C1 será de 2,75 al tener momentos en ambos extremos y opuestos. Esta vez nos comprometeremos a arriostrarlo cada correa y el inferior cada 2 correas, es decir cada 2.800 mm.

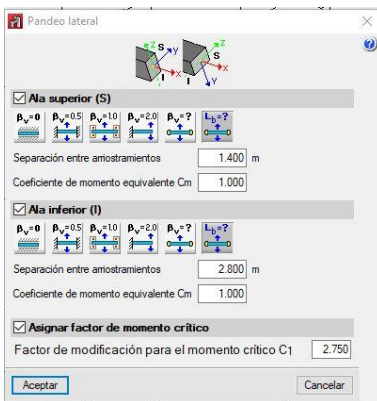


Figura 4.4.6-2 Pandeo lateral en cabios de cubierta



Figura 4.4.6-3 Detalle arriostramiento cabios con correas

4.4.7. Flechas

La asignación de flechas será la misma que en el caso de Pórticos Acartelados, con la salvedad de que esta vez los cabios de cubierta están divididos en dos piezas, por lo que tenemos que hacer que la flecha sea la conjunta, para ellos está el comando *Barra>Crear grupos de flecha*.

4.4.8. Cálculo

Ya tenemos todos los parámetros introducidos por lo que procedemos al cálculo de la estructura con el comando *Cálculo>Comprobar barras*

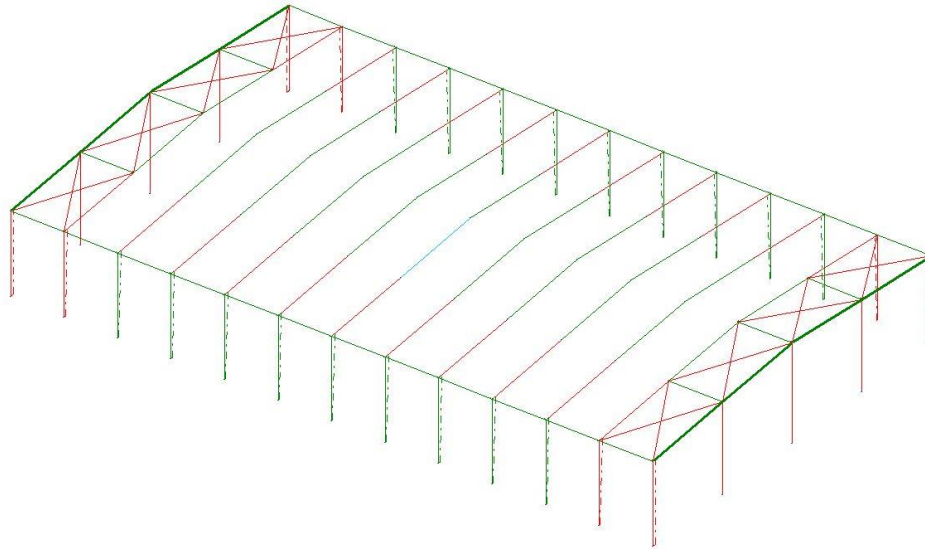


Figura 4.4.8-1 Resultado primero del cálculo Pórticos de Sección Variable

En este primer calculo vemos que no entran en calculo, el primer tramo de los cabios de cubierta, y los perfiles de las esquinas. Los cabios no cumplen debido a su esbeltez.

Comprobaciones E.L.U. (Barra)

Mostrar sólo las comprobaciones que no se cumplen

Estado	Comprobación
Error	Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)
	Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)
	Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)
	Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Figura 4.4.8-2 E.L.U. del primer tramo de cabios de cubierta

Por lo que para solucionar este problema procederemos a dar más canto a la sección. Al primer tramo en el encuentro con el pilar, le pondremos un canto inicial de 1.000 mm y final de 600 mm, lo que nos hará subir también el tramo que va a la cumbrera y ponerle de 600 mm.

Los perfiles de las esquinas no entran por resistencia a flexión en el eje Z y flexión y axil combinados.

Comprobaciones E.L.U. (Barra)

Mostrar sólo las comprobaciones que no se cumplen

Estado	Comprobación
✓ Cumple	Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)
✓ Cumple	Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)
✓ Cumple	Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)
✓ Cumple	Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)
✓ Cumple	Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✗ Error	Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)
✓ Cumple	Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)
✓ Cumple	Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✓ Cumple	Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)
✗ Error	Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Figura 4.4.8-3 Pilares de esquina

Si analizamos la estructura con la hipótesis del viento soplando en dirección paralela al lado largo de la nave, vemos que es en este caso donde se produce esta situación. Estas estructuras son resistentes en el plano de inercia fuerte de los pórticos pero en el sentido transversal son más débiles. Para solucionar este problema procederemos a quitar las articulaciones en el primer vano, de las vigas longitudinales para hacerlas empotradas en los pórticos y subiremos de tamaño el perfil de la viga del primer vano a un HEB-400. También necesitaremos aumentar el tamaño de los perfiles de las esquinas de manera que colocaremos un HEB-700.

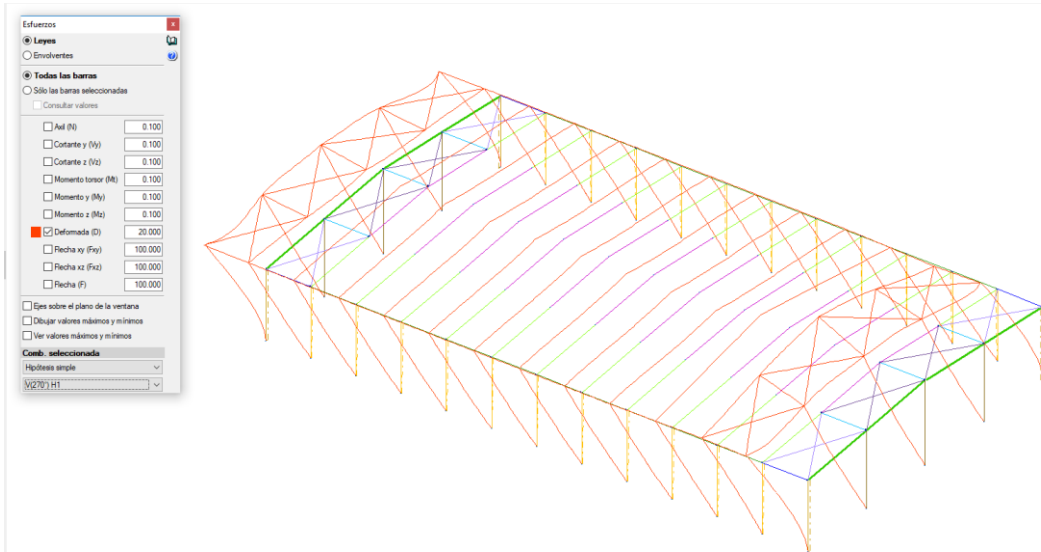


Figura 4.4.8-4 Deformada según la hipótesis V2 (90°)

Estos perfiles de esquina están más solicitados también porque en esta estructura hemos colocado tres pilarcillos en el pórtico hastial en vez de cinco como en los anteriores casos. No pudimos colocar cinco porque los recuadros de las cruces de San Andrés tiene que ser cerrados sin nudos intermedios. Al dividir los cabios de la cubierta en dos, esto nos obligó a solo poner un pilar en cada mitad del pórtico hastial.

En los pórticos hastiales vemos que los cabios están aprovechados al 83,82% por lo que les bajaremos a un perfil IPE-240. Los pilarcillos hace falta que les subamos

un poco de sección hasta un HEB-220 y en las cruces de San Andrés, que tampoco nos cumplen, podremos un Ø24 en primer tramo y Ø32 en el segundo.

Realizados estos cálculos los perfiles que nos quedan de esta tipología de estructura son:

		Canto inicial	Canto final	Rigidizadores
Pilares portico central	PIV 300x15x20	300	900	2160
Cabios centrales 1º tramo	PIV 300x15x20	1000	600	2800
Cabios centrales 2º tramo	PIV 300x15x20	600	600	2800
Cabios hastiales	IPE-240			
Pilares esquinas	HEB-700			
Pilarcillos hastiales	HEB-220			
Cruces San Andres 1	Ø32			
Cruces San Andres 2	Ø24			
Vigas longitudinales atado	HEB-140			
Vigas atado extremas	HEB-400			
Vigas longitudinales cruces	HEB-140			

Figura 4.4.8-5 Resultado de final perfiles tipología Pórticos de Sección Variable

Los pilares de las esquinas no nos cumplirían por poco, siendo su aprovechamiento de 102,3% debido a que no cumplen por resistencia a flexión y axil combinados.

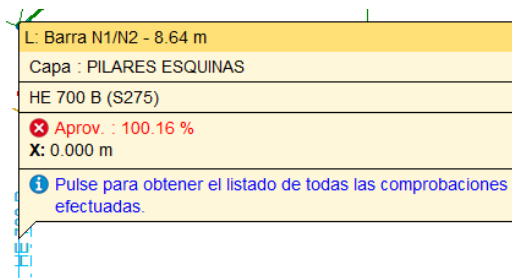


Figura 4.4.8-6 Aprovechamiento resistencia pilares esquina.

Nuestra estructura vista en 3d sería:

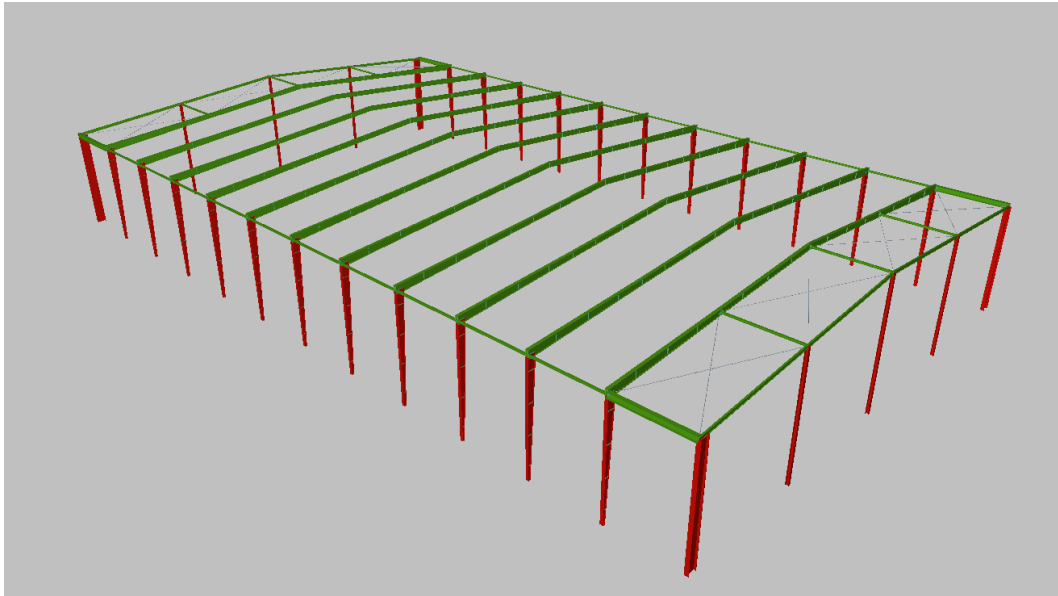


Figura 4.4.8-7 Render final tipología Pórticos de Sección Variable

Y el resultado del pórtico central el siguiente:

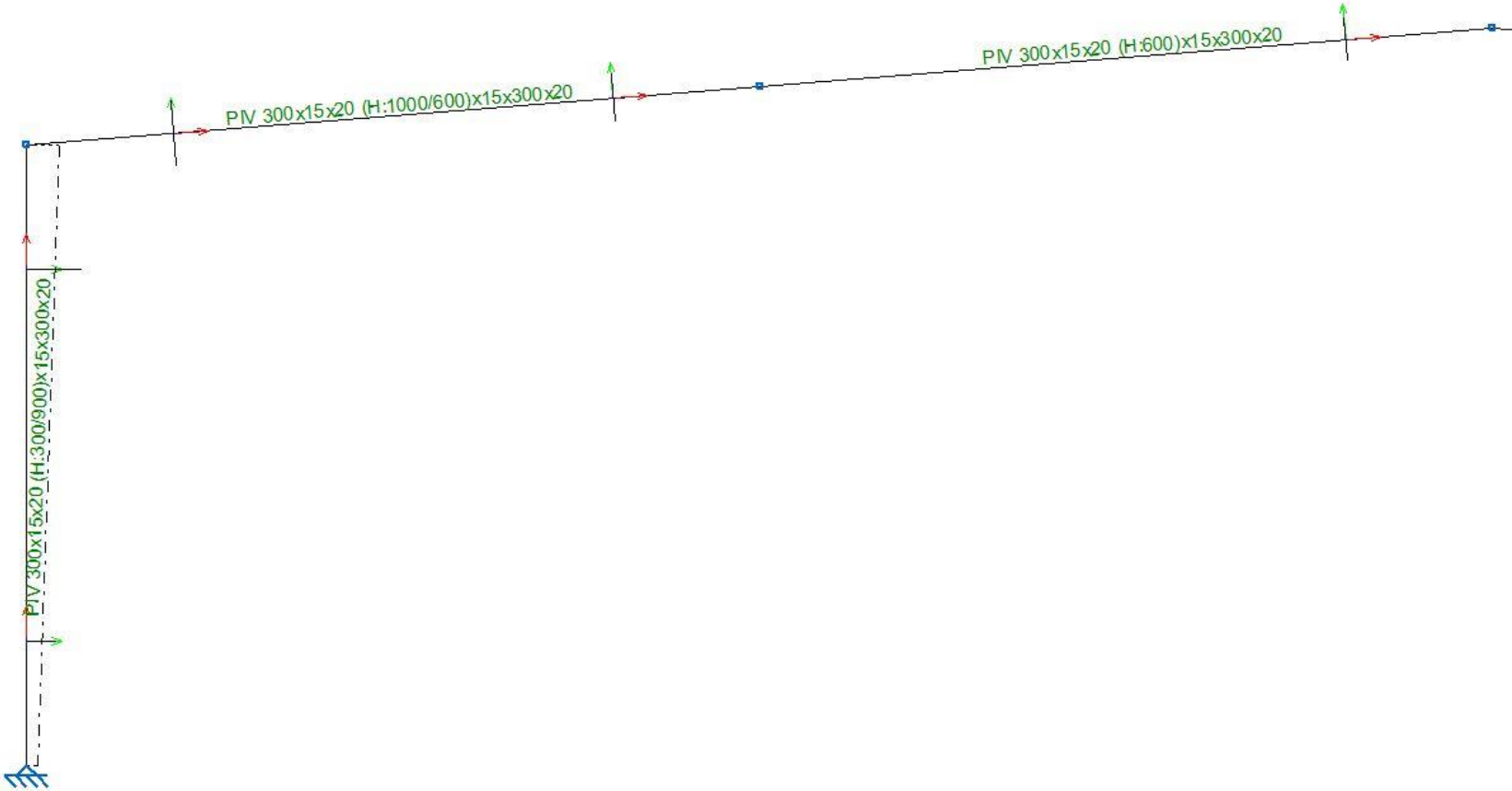


Figura 4.4.8-8 Pórtico final tipología Pórticos de Sección Variable

4.4.9. Cimentación

Como en el resto de caso una vez calculada la estructura pasamos a calcular la cimentación mediante la correspondiente pestaña. En este caso tenemos una zapata muy pequeña, casi ridícula en comparación con la luz que salva la nave.

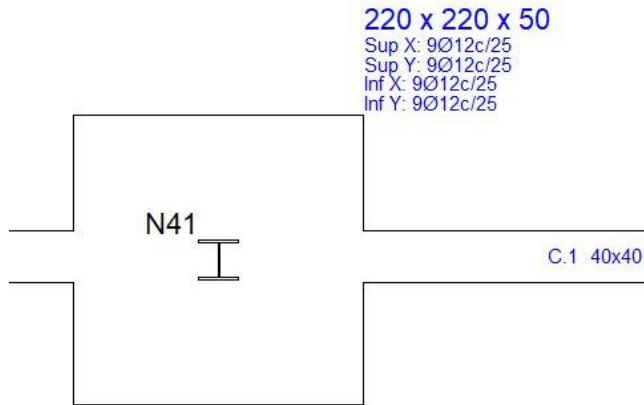


Figura 4.4.9-1 Zapata Pórticos de Sección Variable

Tenemos una zapata de 2,20 x 2,20 x 0,5 m. con armado superior e inferior de redondos del 12 cada 25 centímetros en el eje X y redondos de 12 cada 25 centímetros en el eje Y.

4.5. Comparativa de las tres soluciones estructurales

4.5.1. Perfiles y secciones de los elementos

Un primer paso sería hacer una tabla comparativa de las tres soluciones para diferencias entre las secciones de los perfiles y su tipología.

ELEMENTO	CERCHA	P. ACARTELADO	P. SECCION VARIABLE				
Cabios centrales	Cordón superior cercha	2UPN160 en cajón	IPE-550	PIV 300x15x20	1000	600	2800
	Cordón inferior cercha	2UPN160 en cajón					
	Diagonales	Tubo cuadrado 120x4		PIV 300x15x20	600	600	2800
	Diagonales extremas	Tubo cuadrado 140x4					
Pilares portico central	HEB-300	HEB-550	PIV 300x15x20	300	900	2160	
Pilares esquinas	HEB-280	HEB-240	HEB-700				
Pilarcillos hastiales	HEB-200	HEB-240	HEB-220				
Cabios hastiales	IPE-200	IPE-200	IPE-240				
Cruces San Andres 1	Ø30	Ø30	Ø32				
Cruces San Andres 2	Ø24	Ø24	Ø24				
Cruces San Andres 3	Ø16	Ø16	-				
Vigas atado	HEB-140	HEB-140	HEB-140				
Vigas atado extremas	HEB-140	HEB-140	HEB-400				
Vigas longitudinales cruces	HEB-140	HEB-140	HEB-140				

Tabla 4.5.1-1 Comparativa de perfiles entre tipologías

La gran cantidad de barras que forman la cercha, han de ser sustituidas por perfiles de mayor sección en los casos de los Pórticos Acartelados y los Pórticos de sección Variable para soportar los mismo esfuerzos.

Los pilares también varían de un caso a otro dependiendo del momento que transmitan los cabios de la cubierta.

Los pórticos de los hastiales no varían mucho de una solución a otra, estando entre perfiles HEB-200 y HEB-240. Hay que tener en cuenta que en la solución de Pórticos de Sección Variable se pusieron menos perfiles.

Los pilares de esquina varían poco de la solución de Cerchas a la de Pórticos Acartelados. Pero para la nave con Pórticos de Sección Variable al tener los nudos articulados hemos necesitado aumentar el perfil hasta un HEB-700.

Las cruces de San Andrés y las vigas de atado no varían de una solución a otra. Cabe destacar que en la solución de los Pórticos de Sección Variable para soportar el empuje lateral se hizo el último tramo empotrado, de aquí que la sección de estos perfiles sea un HEB-400.

4.5.2. Kg de acero

Examinados los perfiles, como segundo paso sería medir los kilos de acero de cada una de ellas, para ver cuál de las tres resulta más rentable económicamente.

CYPE3D mediante el comando *Listado* nos permite obtener los Kg de acero de la estructura y de la cimentación.

Nos los separa por tipos de acero y perfiles utilizados, con lo que los Kg de acero son fáciles de obtener.

Para la realización de las mediciones y presupuestos hemos usado estos datos e introducidos en el programa de mediciones y presupuesto PRESTO 8.9 para obtener el precio de cada una de las soluciones

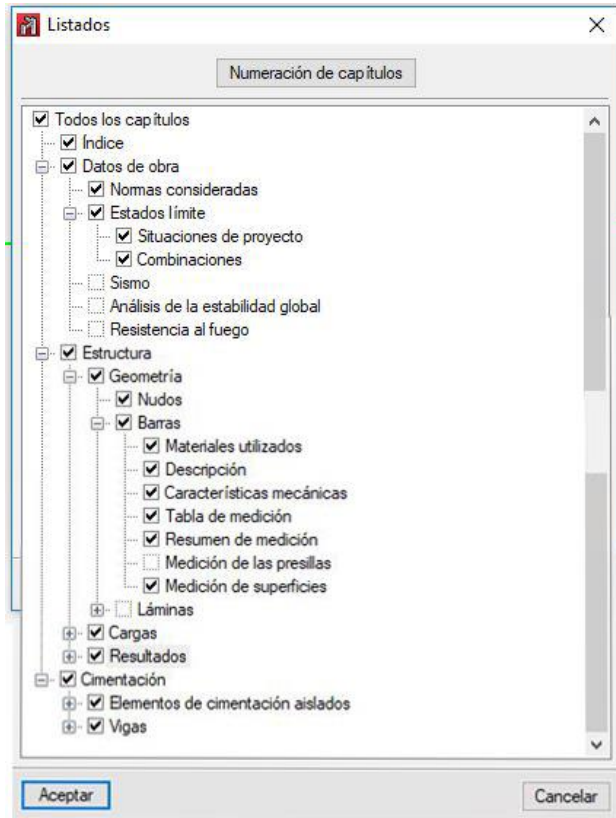


Figura 4.5.2-1 Listado informe CYPE 3D

En el apartado de mediciones y presupuestos se detallan por capítulos y partidas todas las soluciones contempladas anteriormente, presentándose aquí un resumen por capítulos para un análisis rápido entre ambas.

Resumen presupuesto Cerchas

CAP	RESUMEN..	EUROS	%
01	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	12.679,73	4,62
02	CIMENTACION.....	40.392,50	14,70
03	ESTRUCTURAS	192.267,30	69,98
04	PINTURA	29.403,32	10,70

PRESUPUESTO CERCHAS 274.742,85

Resumen presupuesto Pórticos Acartelados

CAP	RESUMEN..	EUROS	%
01	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	19.777,93	5,16
02	CIMENTACION.....	69.479,15	18,11
03	ESTRUCTURAS	258.470,41	67,37
04	PINTURA	35.912,85	9,36

PRESUPUESTO PORTICOS ACARTELADOS 383.640,34

Resumen presupuesto Pórticos de Sección Variable

CAP	RESUMEN..	EUROS	%
01	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	8.984,65	2,76
02	CIMENTACION.....	42.412,63	11,54
03	ESTRUCTURAS.....	277.060,22	75,36
04	PINTURA.....	39.198,85	10,66

PRESUPUESTO DE SECCIÓN VARIABLE	367.656,35
--	-------------------

Como podemos comprobar de las tres soluciones, la más rentable es la tipología de Cerchas, a pesar de tener mayor cantidad de barras los kilogramos de acero son menos que en las otras. La más cara resultaría ser la de Pórticos Acartelados con 383.640,34 €, aunque el capítulo de estructuras no es el más caro de los tres. La solución con Pórticos de Sección Variable es la que más Kg de acero consume (sin cortar que hay que corta los chapones con la inclinación, soldar alas a las almas, rigidizadores....) pero al no transmitir momentos a la cimentación hace que este capítulo sea más económico.

4.5.3. Cimentación

Como vimos la solución de los Pórticos de Sección Variable hacía que la cimentación fuera muy pequeña, en mediciones nos da 185,27 m³ de hormigón frente a los 247,93 m³ de la solución con cerchas, y de los 425,63 m³ de la solución de pórticos rígidos. Esta solución se usa en terreno que tengan poca capacidad portante.

Respecto al global de cada solución se puede apreciar que en la nave con los Pórticos de Sección Variable la cimentación representa tan solo un 11,57% del total, mientras que en las otras dos soluciones está en un 14-18%. Lo que demuestra que con los apoyos articulados, la cimentación se nos abarata en gran medida.

4.5.4. Tensiones

Optimizada la estructura en cada una de ellas, analizaremos los diferentes elementos de la misma bajo el punto de vista de las tensiones, para ver qué elementos sufren más en cada tipología. La concepción de un sistema u otro hace que unos elementos sufran más, siendo necesario prestarles más atención a la hora de su ejecución.

CERCHA

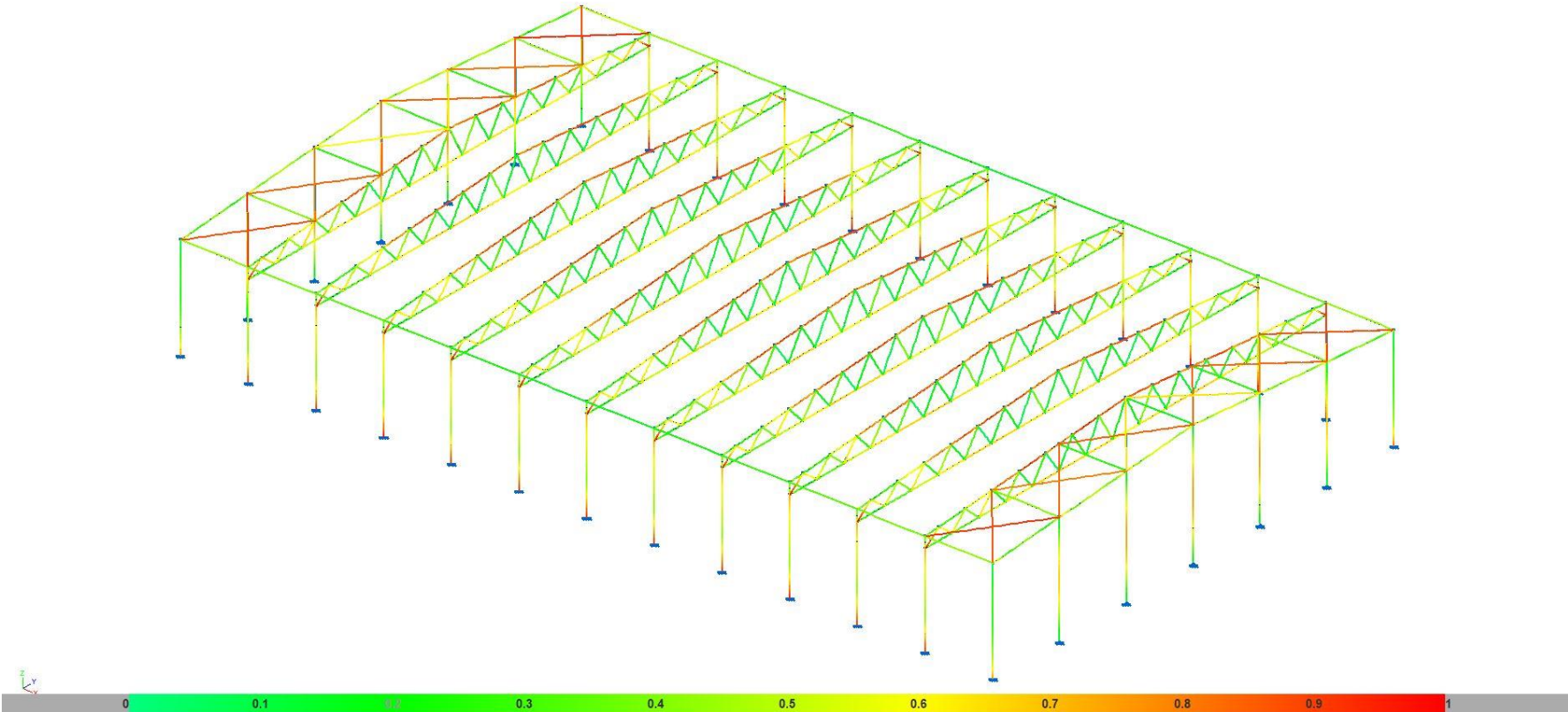


Figura 4.5.4-1 3D de E.L.U. tipología cercha

CERCHA

Vemos que la parte que está más solicitada de toda la estructura es el cordón superior de la cercha en la parte central, a medida que nos acercamos a los pilares son las diagonales las que empiezan a trabajar más y estar más tensionadas, de hecho en la última diagonal como vimos superábamos un poco del 100% del aprovechamiento de su resistencia. El cordón inferior está muy poco tensionado, prácticamente al 50% de su capacidad de resistencia.

Los pilares no sufren demasiado esfuerzo estando solicitado más en la cabeza del pilar y en la base. Siendo en la base el punto más crítico al soportar momentos en las dos direcciones (Veremos cuando analicemos el pórtico principal estos valores).

En los pórticos hastiales los cabios de cubierta sufren más en el punto medio entre los pilarcillos al estar estos apoyados-apoyados, mientras que los pilarcillos su punto más crítico es el medio del mismo ya que tienen su base articulada.

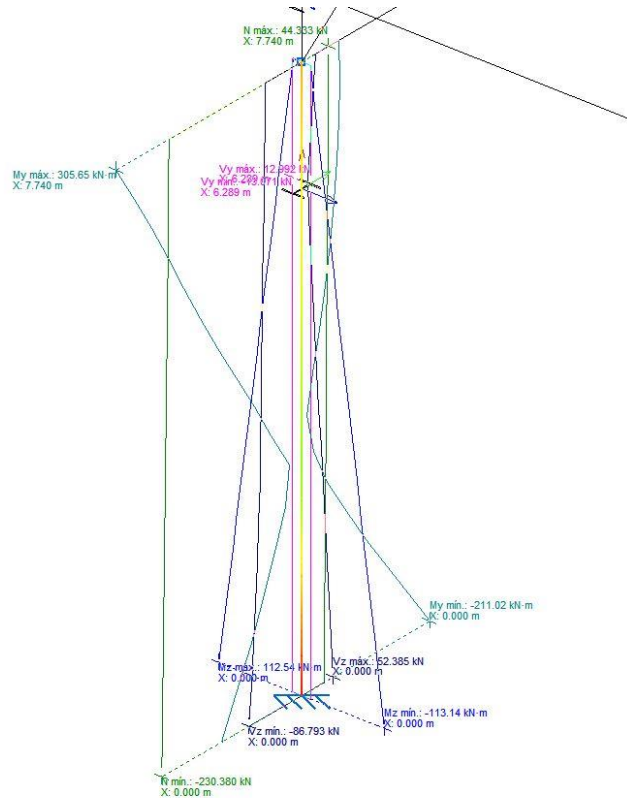


Figura 4.5.4-2 Graficas en pilar de cercha.

Los pilares de las esquinas a pesar de recibir viento en las dos direcciones no se encuentran muy tensionados por estos esfuerzos.

Las cruces de San Andrés vemos como trabajan al máximo con las diferentes direcciones del viento siendo las de que se acercan a los pilares laterales las que peores condiciones tienen. Tuvimos que aumentar la sección de las diagonales en estos, pasando de Ø16, Ø24 hasta Ø30 mm. Las vigas longitudinales de todas la estructura que atan los pórticos no trabajan en gran medida, ya que articulamos sus extremos y prácticamente solo soportan su propio peso.

Desde el punto global esta es una estructura que no está demasiado tensionada al tener más barras que los casos anteriores y de esta manera poder trabajar mejor.

PORTICOS ACARTELADOS

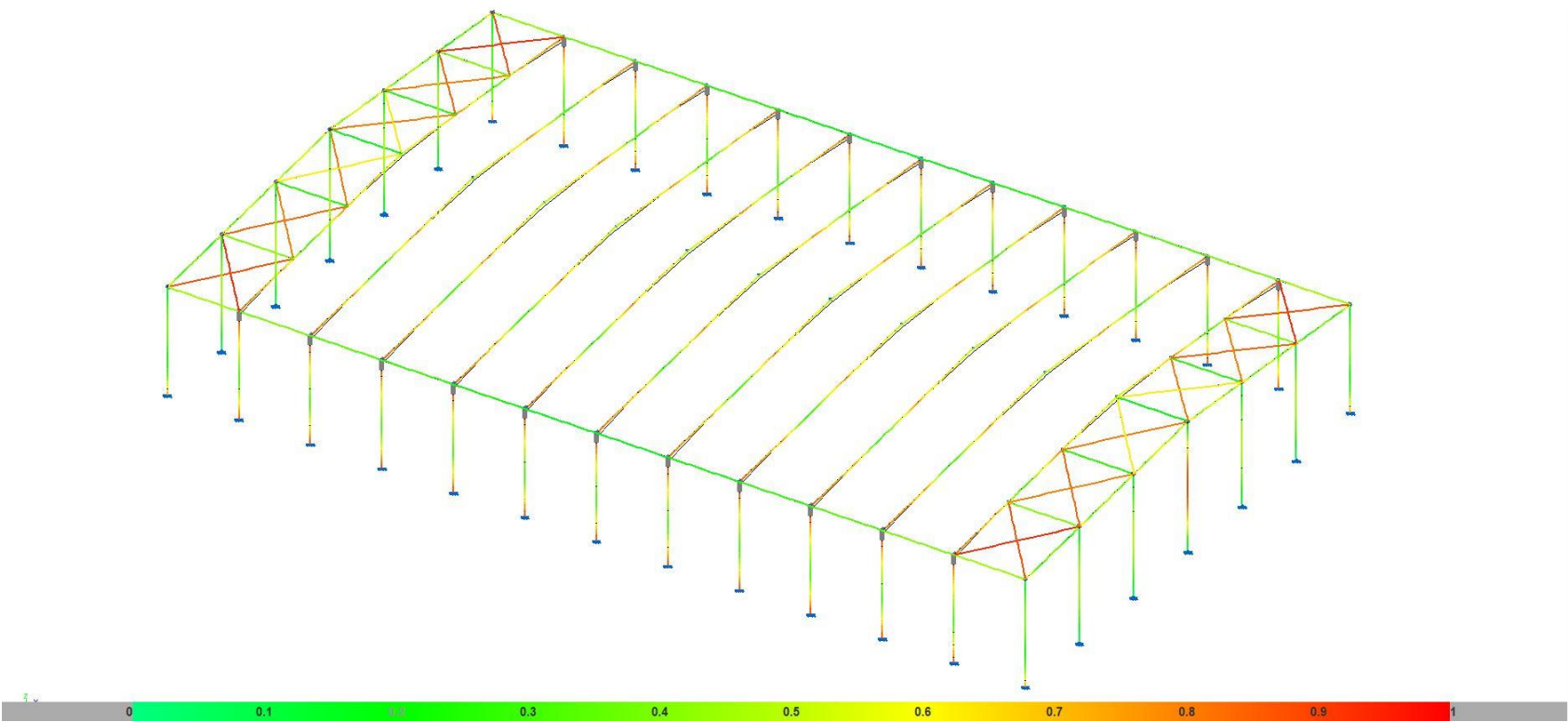


Figura 4.5.4-3 3D de E.L.U. tipología Pórticos Acartelados

PORTICOS ACARTELADOS

A diferencia de la anterior vemos como el cable de la cubierta no está solicitado en su punto máximo en el centro, debido a que disponemos de la cartela que hace que la tensión disminuya. Su punto máximo se produce antes de llegar a ambas cartelas.

Los pilares de los pórticos centrales sufren los mayores esfuerzos en cabeza y base de los mismos, por ser en estos puntos donde se producen los mayores momentos y en la base en mayor medida por estar esta empotrada. Hay que considerar en esta solución que los pilares son unos HEB-550 en vez de los HEB-300 que teníamos en la solución con Cerchas.

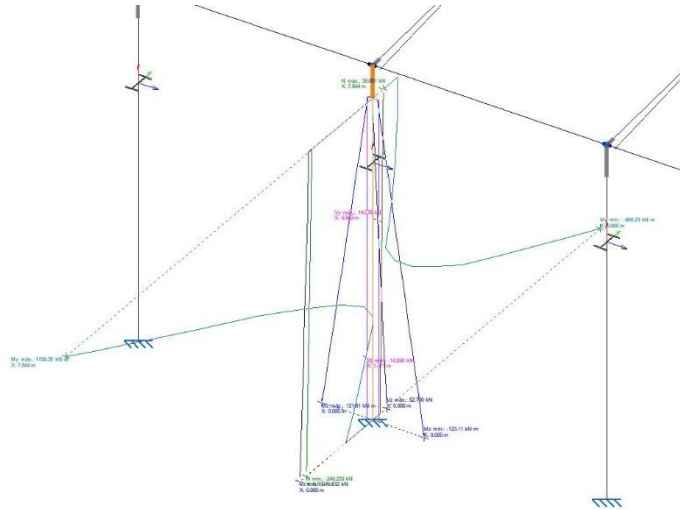


Figura 4.5.4-4 Graficas en pilar de Pórticos Acartelados

Los cables de los pórticos hastiales se comportan igual que en el caso anterior como una viga biapoyada en la que la tensión máxima se produce en el centro del vano. A los pilarcillos les sucede lo mismo estando el pilar central un poco más tensionado debido a su mayor longitud.

A los pilares de las esquinas, cruces de San Andrés y vigas longitudinales les sucede igual que en la solución con cerchas.

Vemos en general que los elementos no están muy solicitados pero hemos tenido que aumentar secciones en pilares y vigas para llegar a una solución óptima.

PORTICOS DE SECCION VARIABLE

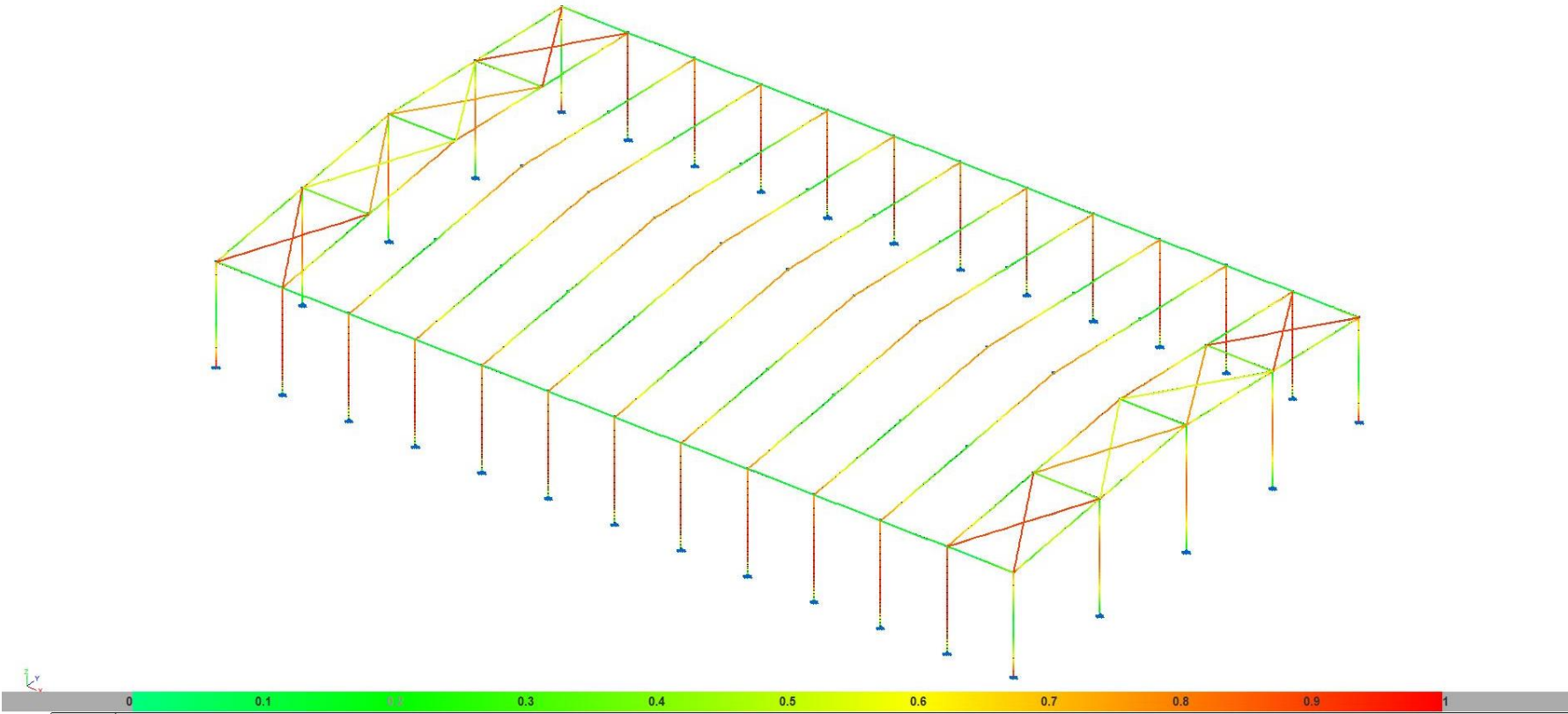


Figura 4.5.4-5 3D de E.L.U. tipología Pórticos de Sección Variable

PORTICOS DE SECCION VARIABLE

En este caso los cabios de cubierta están más solicitados en la cumbre y en el apoyo con el pilar, vemos que el punto donde se produce menos tensión es en el medio de los mismos, punto que elegimos para dividir la barra en dos tramos, uno de sección variable y el otro constante.

Los pilares se encuentran fuertemente tensionados, siendo de toda la estructura el elemento que más sufre. Al estar articulados en la base todo el momento tiene que ser absorbido por el mismo, que en este caso es grande, de 1.848,54 kN·m en la cabeza del pilar. Para poder soportar estas tensiones hemos tenido que llegar a un perfil de 600 mm.

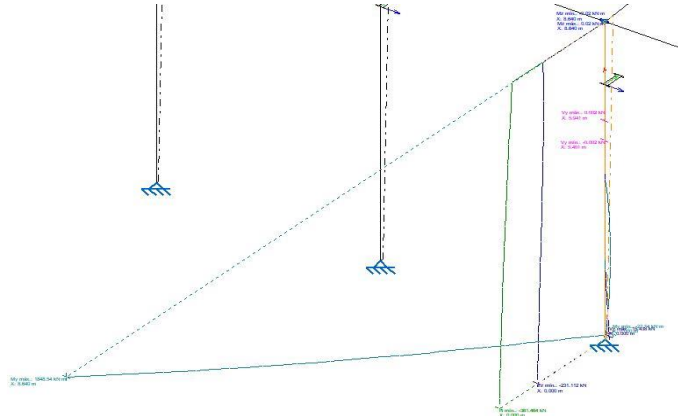


Figura 4.5.4-6 Graficas en pilar de Pórticos de Sección Variable

Los cabios de los hastiales están poco tensionados, menos que los otros dos casos, también como una viga biapoyada. Los pilarcillos se encuentran todos al mismo nivel de esfuerzo, sin que el central presente grandes diferencias respecto al resto, a pesar de ser más largo.

En este caso los pilares de las esquinas si soportan grandes esfuerzos necesitando para ellos un HEB-700 que por muy poco no nos cumple.

Las cruces de San Andrés y las vigas longitudinales les ocurre lo mismo que en los otros casos, soportan casi su propio peso y actúan frente a los esfuerzos longitudinales. Cabe mencionar que las vigas longitudinales de los extremos las hicimos empotradas a los pilares para que ayudarán estas con los momentos que se producen en cabeza en los pilares de las esquinas.

En general podemos ver la diferencia con las otras dos soluciones en los esfuerzos en los pilares, prácticamente en todas su longitud la sección está a provechada al máximo por estar la base articulada.

5. ESTUDIO PORTICO CENTRAL

Procederemos a estudiar cada uno de los pórticos centrales de cada una de las soluciones, analizando sus diagramas de axiles, cortantes, momentos y flechas para ver cuáles son los resultados respecto a los perfiles elegidos y la tipología.

5.1. Cercha

5.1.1. Diagramas

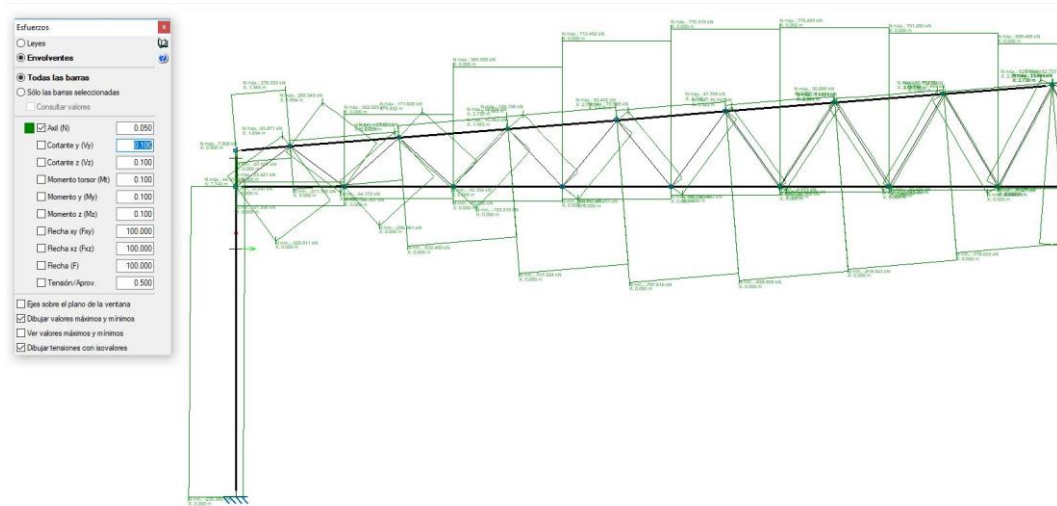


Figura 5.1.1-1 Diagrama axiles Cercha

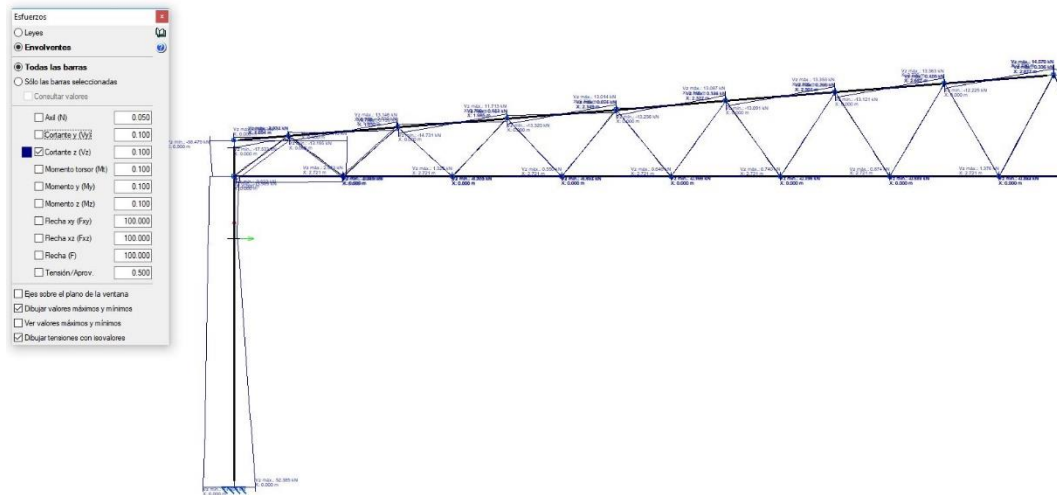


Figura 5.1.1-2 Diagramas cortantes Cercha

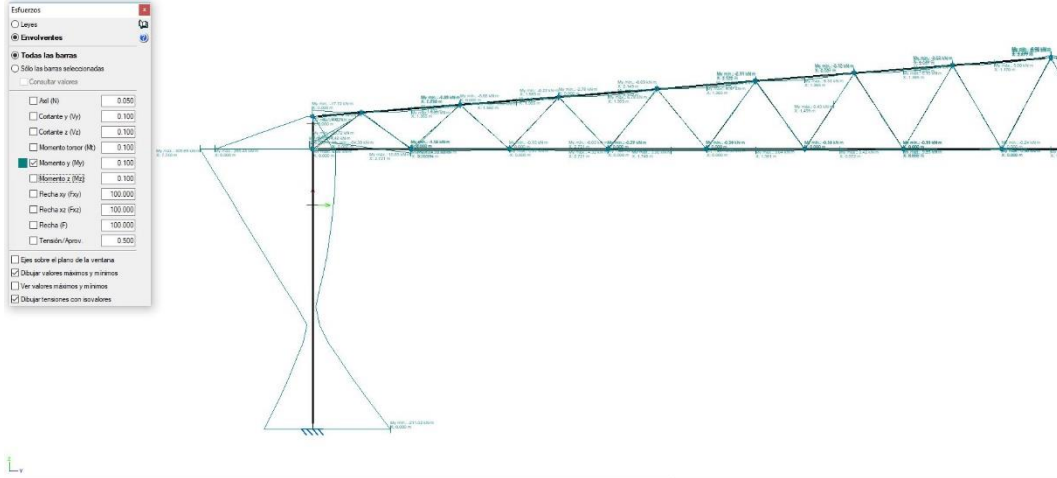
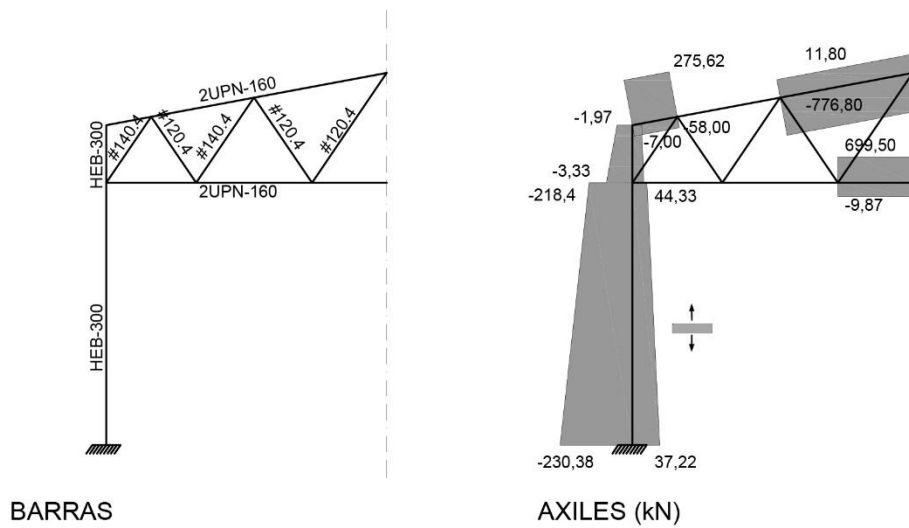


Figura 5.1.1-3 Diagramas momentos Cercha

A modo resumen presentamos la siguiente tabla de valores de la envolvente y gráficas.

CERCHA	AXIL (kN)		CORTANTE (kN)		MOMENTO (kN·m)	
BASE DEL PILAR	-230,380	37,220	-74,899	52,385	-211,000	131,100
CABEZA DEL PILAR	-218,400	44,328	-59,729	13,110	-62,000	-305,680
PRICIOPO DEL CABIO	-58,000	275,615	-17,420	8,500	-17,720	4,620
CUMBRERA	-776,800	11,500	0,000	14,500	-5,760	0,020

Figura 5.1.1-4 Tabla esfuerzos Cercha



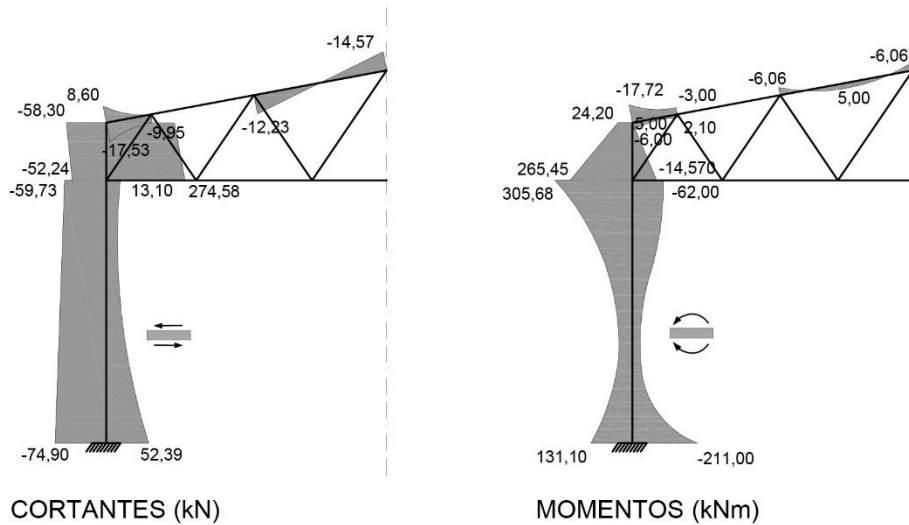
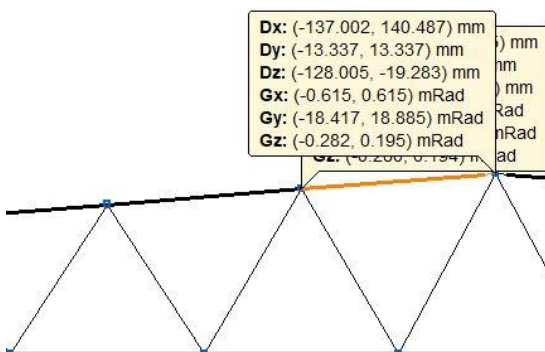


Figura 5.1.1-5 Resumen tipos perfiles y gráficas en cercha

Prácticamente todo el pilar se encuentra comprimido con la misma tensión, entre los -230,00 y -218,40 kN (signo negativo indica compresión). Los valores positivos de 37,22 y 52,39 kN se producen cuando por el viento hay succión en la cubierta y los pilares tiene que trabajar a tracción. Vemos como las barras de la cercha trabajan estando el cordón superior comprimido con -776,80 kN en la parte de la cumbre y en la unión con el pilar -58,00 kN. El cordón inferior como es lógico se tracciona llegando a un valor máximo en la barra central de 699,5 kN.

Respecto del cortante vemos que en la base del pilar tiene en ambas sentidos debido al viento en las dos direcciones. El cortante en la cercha apenas se aprecia, debido a que el peso que reciben las barras en el punto central de las correas es muy poco. Vimos que esto no era lo correcto debido a que la cercha tiene que estar cargada en los nudos, pero su incidencia en la barras es mínima.

En los momentos se ve que el punto de unión con el cabio y en la base son donde se producen los mayores, y que también coincide con los puntos de máxima tensión. En las barras de la cercha aparecen pequeños momentos que como hemos comentado es debido a la caga de la correa en el punto medio de las barras



Respecto a los desplazamientos, lo más interesante sería ver lo que sucede cuando desciende la cumbre, para ver la sensación estética que produciría. En el menú **Resultados>Desplazamientos** podemos ver como esta desciende 128 mm respecto a su posición original.

Figura 5.1.1-6 Desplazamiento cumbre en Cercha

5.1.2. Comprobación de los pilares

Obtenidos los diagramas de la envolvente de los pilares, comprobaremos a mano según el CTE los perfiles obtenidos, para ver si los cálculos de CYPE3D se corresponden con los del CTE.

Los diagramas de esfuerzos de los pilares son los siguientes.

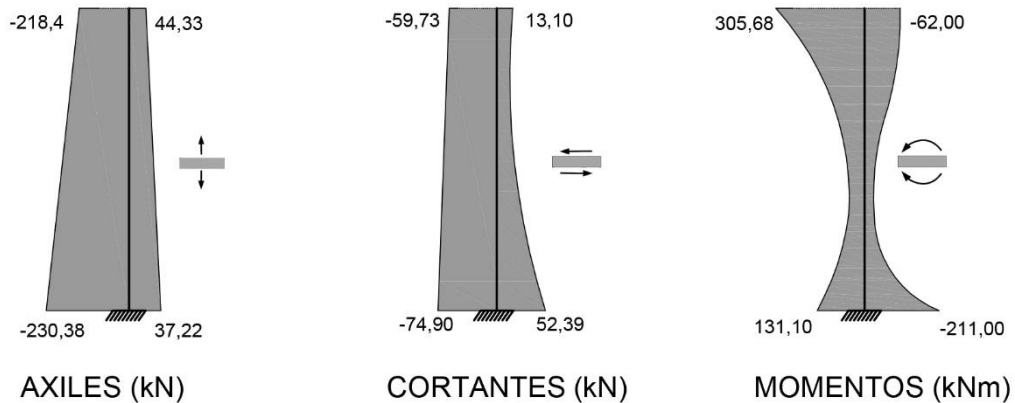


Figura 5.1.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en cerchas

Los esfuerzos, mayorados, obtenidos en la sección más desfavorable, en este caso la cabeza del pilar son:

$$N_{Ed} = 218,40 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 59,73 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{Ed} = 305,65 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

El perfil obtenido en los pilares es un HEB-300 cuyas características son las siguientes:

Perfil	Dimensiones							Términos de sección									
	h	b	e	e ₁	r ₁	h ₁	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _z	I _s
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶
HEB 300	300	300	11,0	19,0	27	208	1.730	149,1	934,0	25.166	1.680	13,00	8.563	571	7,58	192,00	1.688.000

Figura 5.1.2-2 Características mecánicas del perfil HEB-300

Habíamos considerado que los paneles prefabricados arriostaban a los pilares en toda su longitud, en el plano perpendicular al papel. De manera que el coeficiente $\beta_{xy}=0$ que en este caso llamaremos $\beta_z=0$ para utilizar la misma nomenclatura que en el CTE. En el plano paralelo a la estructura pusimos un $\beta_{xz}=0,7$ o $\beta_y=0,7$.

Se dimensionara y comprobará la resistencia, esbeltez y pandeo, siendo:

- f_y : Resistencia característica del acero o tensión de límite elástico.
- f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.
- γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a resistencia ($\gamma_{M0}= 1,05$)

Comprobación a resistencia

La resistencia de cálculo del acero vendrá dada por^[6]:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1,05} = 261,90 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1)$$

Comprobaremos a flexión si cumple el perfil:

$$\frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1; \frac{305,65 \cdot 10^6}{1.680.000 \cdot 261,90} = 0,69 \leq 1 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.2)$$

Con el perfil anterior, un HEB-280, no cumpliríamos.

La sección está sometida a flexión y cortante. Se ha de comprobar si se puede despreciar la reducción del momento plástico resistido por la sección debido al esfuerzo cortante, según el artículo 6.2.8 del DB SE-A

La capacidad a cortante de la sección vendrá dada por ^[7]:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (5.3)$$

Donde A_v para perfiles H cargados paralelamente al alma, la sección sometida a cortante viene dada por la expresión:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 14.910 - 2 \cdot 300 \cdot 19 + (11 + 2 \cdot 27) \cdot 19 = 4.745 \text{ mm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{4.745 \cdot 261,9}{\sqrt{3}} = 717.482 \text{ N} = 717,482 \text{ kN} \quad (5.4)$$

Si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección se empleará la fórmula:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \quad (5.5)$$

Vemos si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección:

$$V_{Ed} = 59,732 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 717.482 = 358,75 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.6)$$

De esta forma la comprobación a resistencia vendrá dada por:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \frac{218,4 \cdot 10^3}{14.910 \cdot 261,9} + \frac{305,65 \cdot 10^6}{1.680.000 \cdot 261,90} = 0,7506 < 1 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.7)$$

Comprobación a esbeltez

Nos encontramos con un elemento comprimido, por lo que tenemos que la comprobación a esbeltez debe cumplir que $\lambda \leq 2$ en ambos planos^[8].

Las longitudes de pandeo, quitando el canto de la cercha, serán:

Para el plano paralelo al plano del dibujo: $L_{k,y} = \beta_y \cdot L = 0,7 \cdot 7740 = 5.418 \text{ mm}$
 Para el plano perpendicular: $L_{k,z} = \beta_z \cdot L = 0 \cdot 7740 = 0 \text{ mm}$ (5.8)

(5.9)

La carga crítica viene dada por la expresión:

$$N_{cr} = \left[\frac{\pi}{L_k} \right]^2 \cdot E \cdot I \quad (5.10)$$

Siendo la esbeltez reducida:

Para el plano paralelo a la estructura:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{5.418}{\pi \cdot 130} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0,48 < 2 \quad \Rightarrow \quad \text{CUMPLE} \quad (5.11)$$

Para el plano perpendicular a la estructura:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{0}{\pi \cdot 75,8} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0 < 2 \quad \Rightarrow \quad \text{CUMPLE} \quad (5.12)$$

Por lo tanto el HEB-300 cumple a esbeltez

Comprobación a pandeo

En este caso la resistencia de cálculo del acero vendrá dada por^[9]:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{275}{1,1} = 250 \text{ N/mm}^2 \quad (5.13)$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a pandeo ($\gamma_{M1} = 1,10$)

Determinamos la curva de pandeo que tenemos para cada plano de pandeo, teniendo en cuenta las dimensiones del perfil HEB-300 ($h = 300 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$ y $t = 11$)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{300}{300} = 1 < 1,2 \\ t = 11 < 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Curva de pandeo en el plano paralelo (eje y): } b \\ \text{Curva de pandeo en el plano perpendicular (eje z): } c \end{array}$$

Con la esbeltez reducida y la tabla 6.3. del DB SE-A obtenemos los valores de los coeficientes de pandeo (χ)^[10].

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de pandeo (χ)

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a ₀	a	b	c	d
Coeficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
≤ 0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

⁽¹⁾ esbeltez intolerable en los elementos principales
⁽²⁾ esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

Tabla 5.1.2-1 Valores de coeficientes de pandeo

Obteniendo:

$$\lambda_y = 0,48 \text{ (curva b)} \rightarrow \chi_y = 0,89 \text{ (interpolando)}$$

En el plano perpendicular a la estructura consideramos que no pandea por estar limitado por los paneles de cerramiento de hormigón prefabricado.

La comprobación a pandeo para el plano paralelo y perpendicular viene dada por la expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \tag{5.14}$$

El coeficiente k_y para secciones de clase 1 y 2 viene dado por la expresión de la tabla 6.9 del DB SE-A

Tabla 6.9 Coeficientes de interacción según peor clase de sección en la pieza

Clase	Tipo de sección	k_y	k_z	k_{yLT}
1 y 2	I, H, abiertas	$1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	el menor de $1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$
	Hueca delgada		$1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$0,6 + \bar{\lambda}_z$
3 y 4	Todas	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{C,Rd}}$	$1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$	$1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{C,Rd}}$

siendo
 $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ valores de las esbelteces reducidas para los ejes y - y y z - z, no mayores que 1,00.

$$N_{C,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Tabla 5.1.2-2 Coeficientes de interacción

Que en nuestro caso será:

$$k_y = 1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1 + (0,48 - 0,2) \cdot \frac{218,4 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 14.910 \cdot 261,9} = 1,018 \quad (5.15)$$

El coeficiente $C_{m,y}$ se obtiene de la tabla 6.10 del coeficiente del momento equivalente:

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$C_{m,y}$	y-y	z-z
$C_{m,z}$	z-z	y-y
$C_{m,LT}$	y-y	y-y

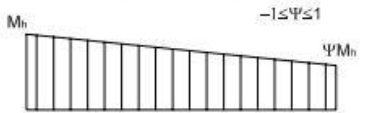


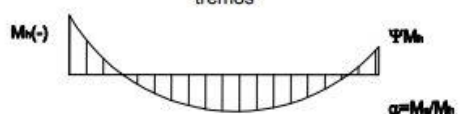
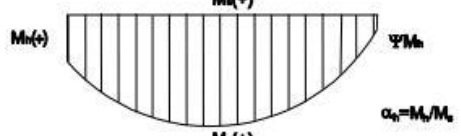
Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente
<p style="text-align: center;">Momentos de extremo $-1 \leq \psi \leq 1$</p> 	$C_{m,y} = C_{m,i} \text{ (} i=y \text{)}$ $C_{m,z} = C_{m,i} \text{ (} i=z \text{)}$ $C_{m,LT} = C_{m,i} \text{ (} i=LT \text{)}$ $C_{m,i} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$
<p style="text-align: center;">Momento debido a cargas laterales coplanarias</p>  	$C_{m,i} = 0,9$ $C_{m,i} = 0,95$
<p style="text-align: center;">Momentos debidos a cargas laterales y momentos de extremos</p>  	$C_{m,i} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } -1 \leq \alpha \leq 0$ $C_{m,i} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha \geq 0,4 \text{ si } 0 \leq \alpha \leq 1$ $C_{m,i} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h \text{ con } -1 \leq \alpha_h \leq 1$

Tabla 5.1.2-3 Coeficientes de momentos equivalentes.

En nuestro caso lo asimilaremos a momento debido a cargas lateral coplanarias teniendo un $C_{m,y} = 0,95$ estando del lado de la seguridad por ser de los más altos de la tabla.

De manera que la comprobación a pandeo en el plano paralelo a la estructura queda de la forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \tag{5.14}$$

$$\frac{218,4 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 14.910 \cdot 250} + 1,018 \frac{0,95 \cdot 305,65 \cdot 10^6}{1.680.00 \cdot 250} = 0,76 < 1$$

Por lo tanto el perfil HEB-300 cumple a pandeo.

5.2. Pórticos Acartelados

5.2.1. Diagramas

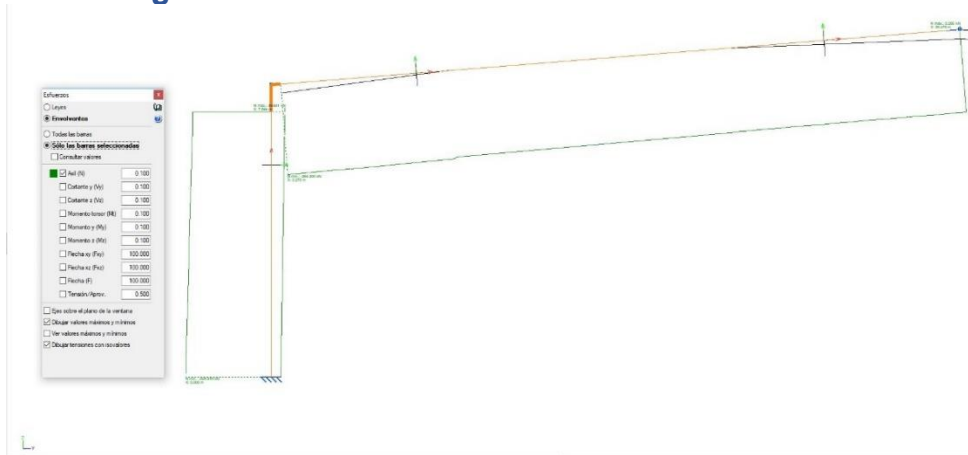


Figura 5.2.1-1 Diagrama axiles Pórticos Acartelados



Figura 5.2.1-2 Diagrama cortantes Pórticos Acartelados

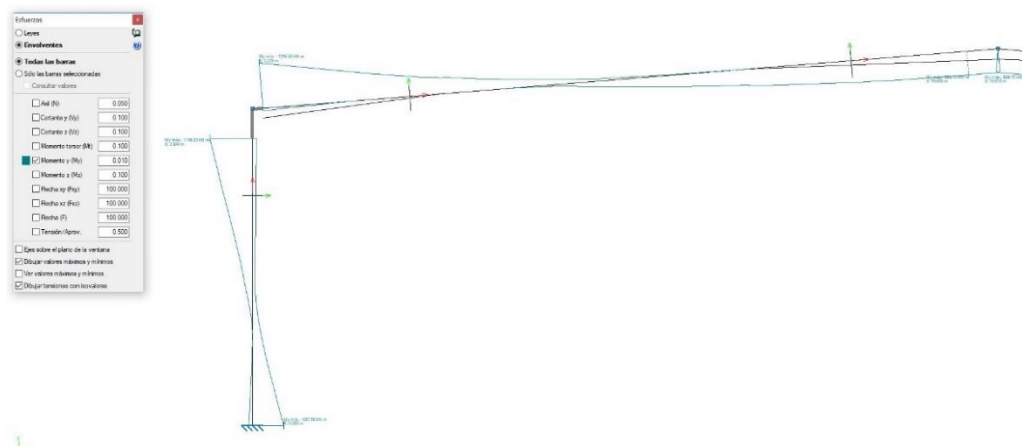


Figura 5.2.1-3 Diagrama momentos Pórticos Acartelados

A modo resumen presentamos la siguiente tabla de valores de la envolvente y gráficas.

EMPOTRADO	AXIL (kN)		CORTANTE (kN)		MOMENTO (kN·m)	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right
BASE DEL PILAR	-249,233	27,322	-264,979	52,700	-837,160	103,090
CABEZA DEL PILAR	-228,530	39,575	-241,000	-2,700	-92,750	1.148,230
PRICIPIO DEL CABIO	-264,200	-3,129	-192,965	43,056	-1.216,580	77,870
CUMBRERA	-240,524	0,086	-6,926	24,050	42,980	623,850

Figura 5.2.1-4 Tabla esfuerzos Pórticos Acartelados

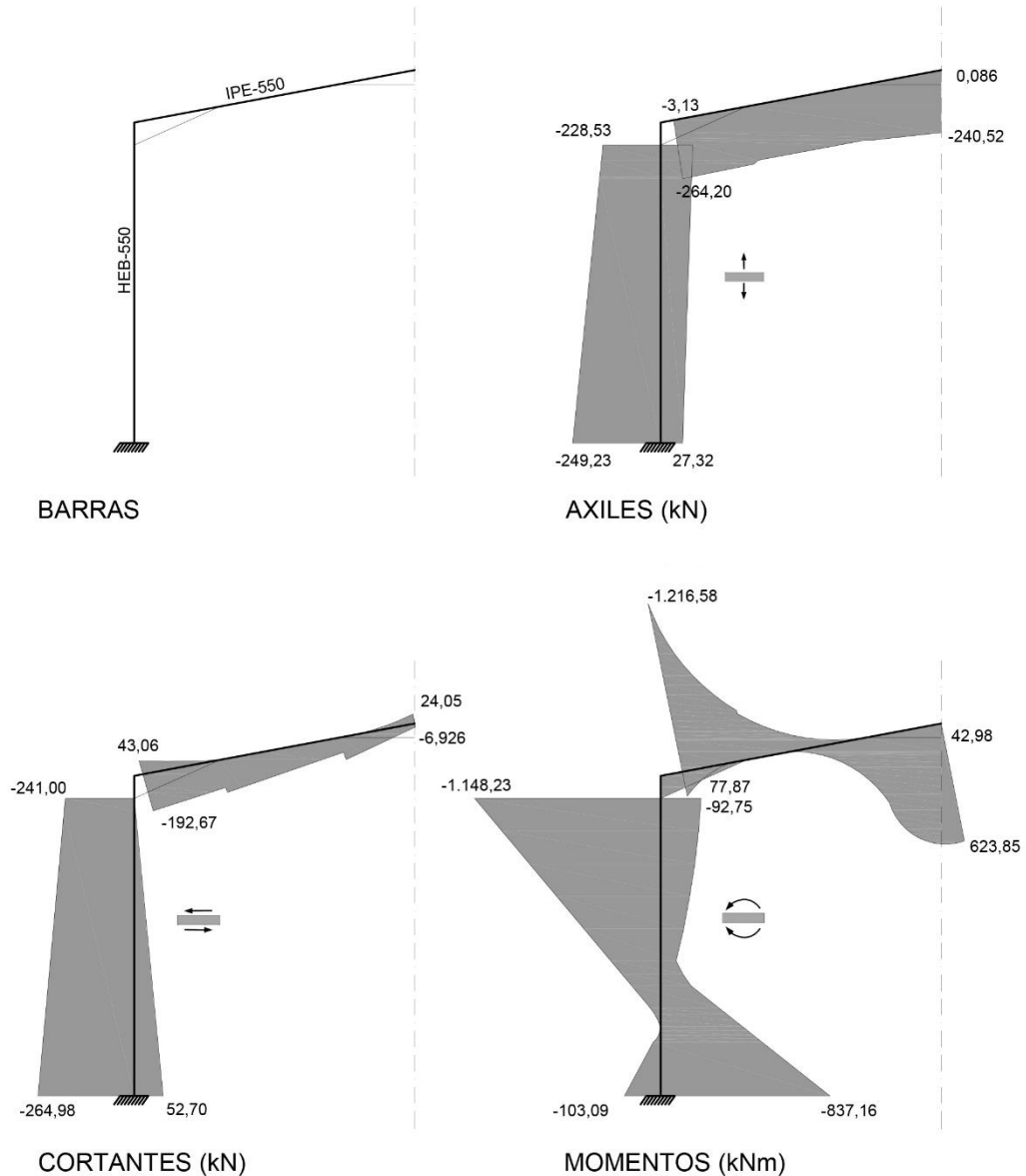
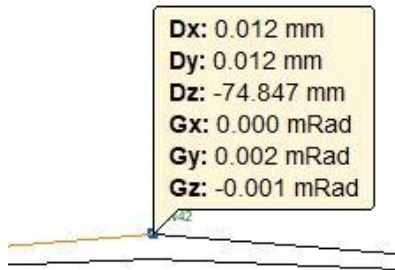


Figura 5.2.1-5 Resumen tipos perfiles y gráficas en Pórticos Acartelados

Vemos en general que todas los diagramas han aumentado debido a que para soportar los esfuerzos, ahora solo tenemos un único perfil, que forma el cabio de cubierta, en vez de toda la cercha. El pilar prácticamente se encuentra igual de tensionado que en el caso anterior con -249,23 kN, el cabio se encuentra de igual modo con ese axil.

Respecto a los cortantes vemos como lo más significativo de este caso es que el cortante se reduce cuando empieza el acartelamiento. Siendo constante a lo largo del pilar y en la base apreciándose la influencia del viento. Apreciamos como en la cubierta va creciendo a medida que llega al pilar, teniéndose en cuenta en este caso a la hora del cálculo, la dimensión finita de los nudos al tener estos mayor sección.



Los momentos tienen un esquema grafico parecido al anterior pero siendo estos mayores. Los puntos más críticos son en la cabeza del pilar y en la base, que también coinciden en el gráfico de tensiones con las zonas más rojas.

Respecto a la cumbrera, el desplazamiento es menor, de 7,5 cm aproximadamente.

Figura 5.2.1-6 Desplazamiento cumbrera en Pórticos Acartelados

5.2.2. Comprobación de los pilares

Comprobaremos los pilares de igual modo que en el caso anterior.

Los diagramas de esfuerzos de los pilares son los siguientes.

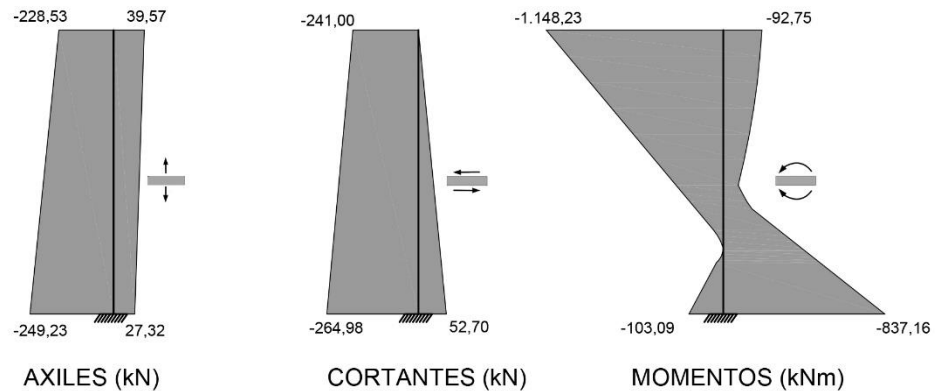


Figura 5.2.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en Pórticos Acartelados

Los esfuerzos, mayorados, obtenidos en la sección más desfavorable, en este caso la cabeza del pilar, antes del acartelamiento son:

$$N_{Ed} = 228,53 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 241,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{Ed} = 1.148,23 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

El perfil obtenido en los pilares es un HEB-550 cuyas características son:

Perfil	Dimensiones							Términos de sección									
	h	b	e	e _t	r _t	h _t	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _t	I _a
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁵
HEB 550	550	300	15,0	29,0	27	438	2.220	254,1	2.800,0	136.691	4.970	23,20	13.077	872	7,17	701,00	8.856.000

Figura 5.2.2-2 Características mecánicas del perfil HEB-550

De igual manera que en el caso anterior consideramos que los paneles prefabricados arriostran los pilares en toda su longitud, en el plano perpendicular al papel. De manera que el coeficiente $\beta_{xy}=0$ o adoptando la nomenclatura del CTE $\beta_z=0$. En el plano paralelo a la estructura pusimos un $\beta_{xz}=0,7$ o $\beta_y=0,7$.

Se dimensionara y comprobará la resistencia, esbeltez y pandeo, siendo:

- f_y : Resistencia característica del acero o tensión de limite elástico.
- f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.
- γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a resistencia ($\gamma_{M0}= 1,05$)

Comprobación a resistencia

La resistencia de cálculo del acero vendrá dada por:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1,05} = 261,90 \text{ N/mm}^2 \tag{5.1}$$

Comprobaremos a flexión si cumple el perfil:

$$\frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1; \frac{1.148,23 \cdot 10^6}{4.970.000 \cdot 261,90} = 0,88 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \text{CUMPLE} \tag{5.2}$$

Con el perfil anterior, un HEB-500, no cumpliríamos.

La sección está sometida a flexión y cortante. Se ha de comprobar si se puede despreciar la reducción del momento plástico resistido por la sección debido al esfuerzo cortante, según el artículo 6.2.8 del DB SE-A

La capacidad a cortante de la sección vendrá dada por:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} \tag{5.3}$$

Donde A_v para perfiles H cargados paralelamente al alma, la sección sometida a cortante viene dada por la expresión:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 25.410 - 2 \cdot 300 \cdot 29 + (15 + 2 \cdot 27) \cdot 29 = 10.011 \text{ mm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{10.011 \cdot 261,9}{\sqrt{3}} = 1.513.743,64 \text{ N} = 1.513,74 \text{ kN} \tag{5.4}$$

Si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección se empleará la fórmula:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \quad (5.5)$$

Vemos si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección:

$$V_{Ed} = 241,00 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 1.513,74 = 756,87 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.6)$$

De esta forma la comprobación a resistencia vendrá dada por:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \frac{228,53 \cdot 10^3}{25.410 \cdot 261,9} + \frac{1.148,23 \cdot 10^6}{4.970.000 \cdot 261,90} = 0,91 < 1 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.7)$$

Comprobación a esbeltez

Nos encontramos con un elemento comprimido, por lo que tenemos que la comprobación a esbeltez debe cumplir que $\lambda \leq 2$ en ambos planos.

Las longitudes de pandeo serán:

$$\begin{aligned} \text{Para el plano paralelo al plano del dibujo: } L_{k,y} &= \beta_y \cdot L = 0,7 \cdot 8640 = 6.048 \text{ mm} \\ \text{Para el plano perpendicular: } L_{k,z} &= \beta_z \cdot L = 0 \cdot 7740 = 0 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5.8)$$

La carga crítica viene dada por la expresión: (5.9)

$$N_{cr} = \left[\frac{\pi}{L_k} \right]^2 \cdot E \cdot I \quad (5.10)$$

Siendo la esbeltez reducida:

Para el plano paralelo a la estructura:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{6.048}{\pi \cdot 230} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0,3 < 2 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.11)$$

Para el plano perpendicular a la estructura:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{0}{\pi \cdot 71,7} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0 < 2 \quad \Rightarrow \text{CUMPLE} \quad (5.12)$$

Por lo tanto el HEB-550 cumple a esbeltez

Comprobación a pandeo

En este caso la resistencia de cálculo del acero vendrá dada por:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{275}{1,1} = 250 \text{ N/mm}^2 \quad (5.13)$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a pandeo ($\gamma_{M1} = 1,10$)

Determinamos la curva de pandeo que tenemos para cada plano de pandeo, teniendo en cuenta las dimensiones del perfil HEB-550 ($h = 550$ mm, $b = 300$ mm y $t = 15$)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{550}{300} = 1 < 1,2 \\ t = 15 < 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Curva de pandeo en el plano paralelo (eje y): a} \\ \text{Curva de pandeo en el plano perpendicular (eje z) = b} \end{array}$$

Con la esbeltez reducida y la tabla 6.3. del DB SE-A obtenemos los valores de los coeficientes de pandeo (χ) de la tabla 5.1.2-1.

Obteniendo:

$$\lambda_y = 0,3(\text{curva a}) \rightarrow \chi_y = 0,98$$

En el plano perpendicular a la estructura consideramos que no pandea por estar limitado por los paneles de cerramiento de hormigón prefabricado.

La comprobación a pandeo para el plano paralelo y perpendicular viene dada por la expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \quad (5.14)$$

El coeficiente k_y para secciones de clase 1 y 2 viene dado por la expresión de la tabla 6.9 del DB SE-A (tabla 5.1.2-2)

Que en nuestro caso será:

$$k_y = 1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1 + (0,3 - 0,2) \cdot \frac{228,53 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 25.410 \cdot 261,9} = 1,0035 \quad (5.15)$$

El coeficiente $C_{m,y}$ se obtiene de la tabla 6.10 (tabla 5.1.2-3) del coeficiente del momento equivalente.

En nuestro caso lo asimilaremos a momento debido a cargas lateral coplanarias teniendo un $C_{m,y} = 0,95$ estando del lado de la seguridad por ser de los más altos de la tabla.

De manera que la comprobación a pandeo en el plano paralelo a la estructura queda de la forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \quad (5.14)$$

$$\frac{228,53 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 25.410 \cdot 250} + 1,0035 \frac{0,95 \cdot 1.148,23 \cdot 10^6}{4.970.000 \cdot 250} = 0,91 < 1$$

Por lo tanto el perfil HEB-550 cumple a pandeo.

5.3. Pórticos de Sección Variable

5.3.1. Diagramas

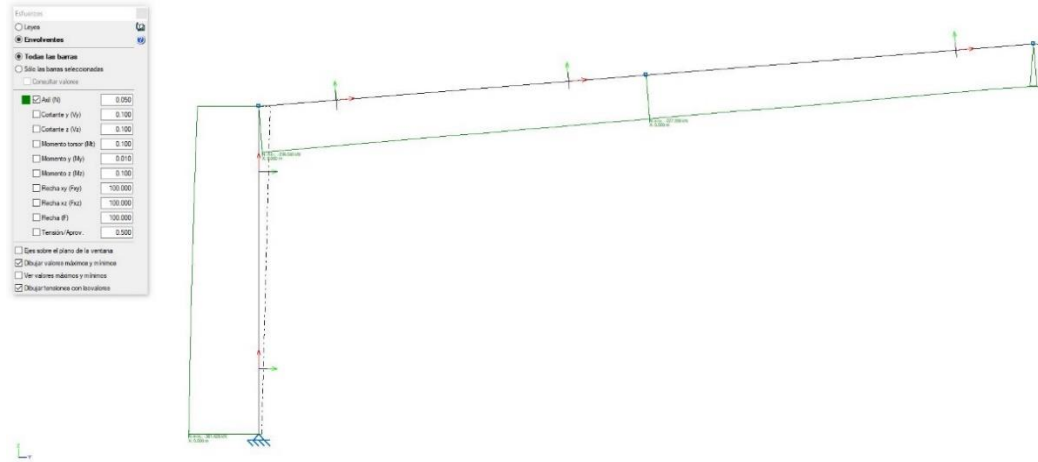


Figura 5.3.1-1 Diagrama axiles Pórticos de Sección Variable

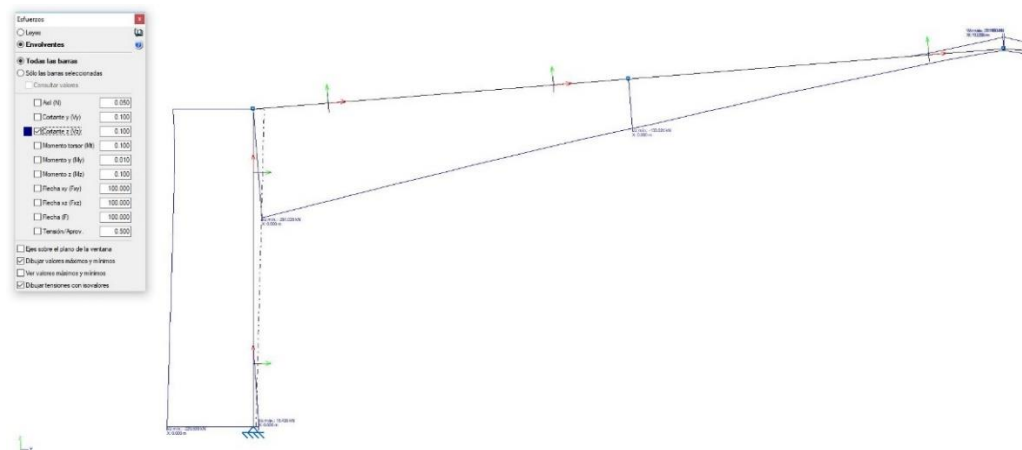


Figura 5.3.1-2 Diagrama cortantes Pórticos de Sección Variable

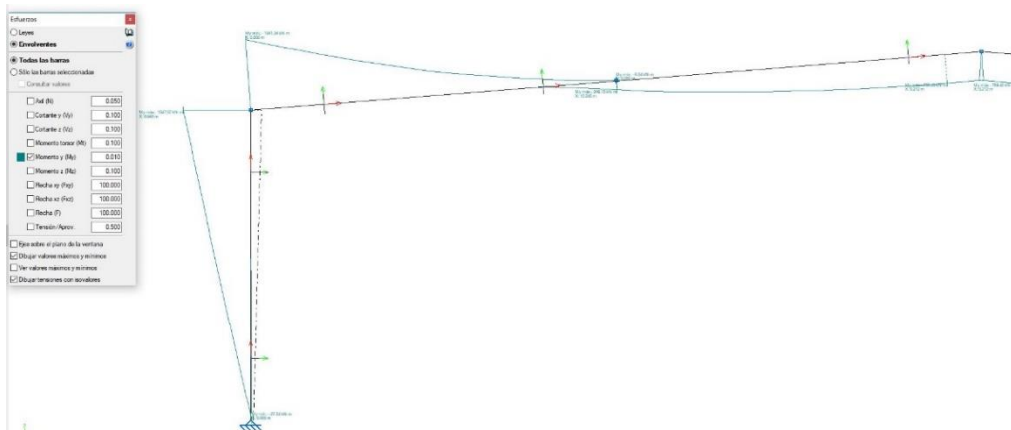


Figura 5.3.1-3 Diagrama momentos Pórticos de Sección Variable

A modo resumen presentamos la siguiente tabla de valores de la envolvente y gráficas.

ARTICULADO	AXIL (kN)		CORTANTE (kN)		MOMENTO (kN·m)	
BASE DEL PILAR	-261,220	29,800	-179,500	44,560	0,000	0,000
CABEZA DEL PILAR	-242,000	38,530	-163,000	4,430	-116,000	1.403,170
PRINCIPIO DEL CABIO	-182,580	1,750	-220,260	41,700	-1.509,610	133,120
CUMBRERA	-165,880	6,590	-7,000	27,100	589,400	34,000

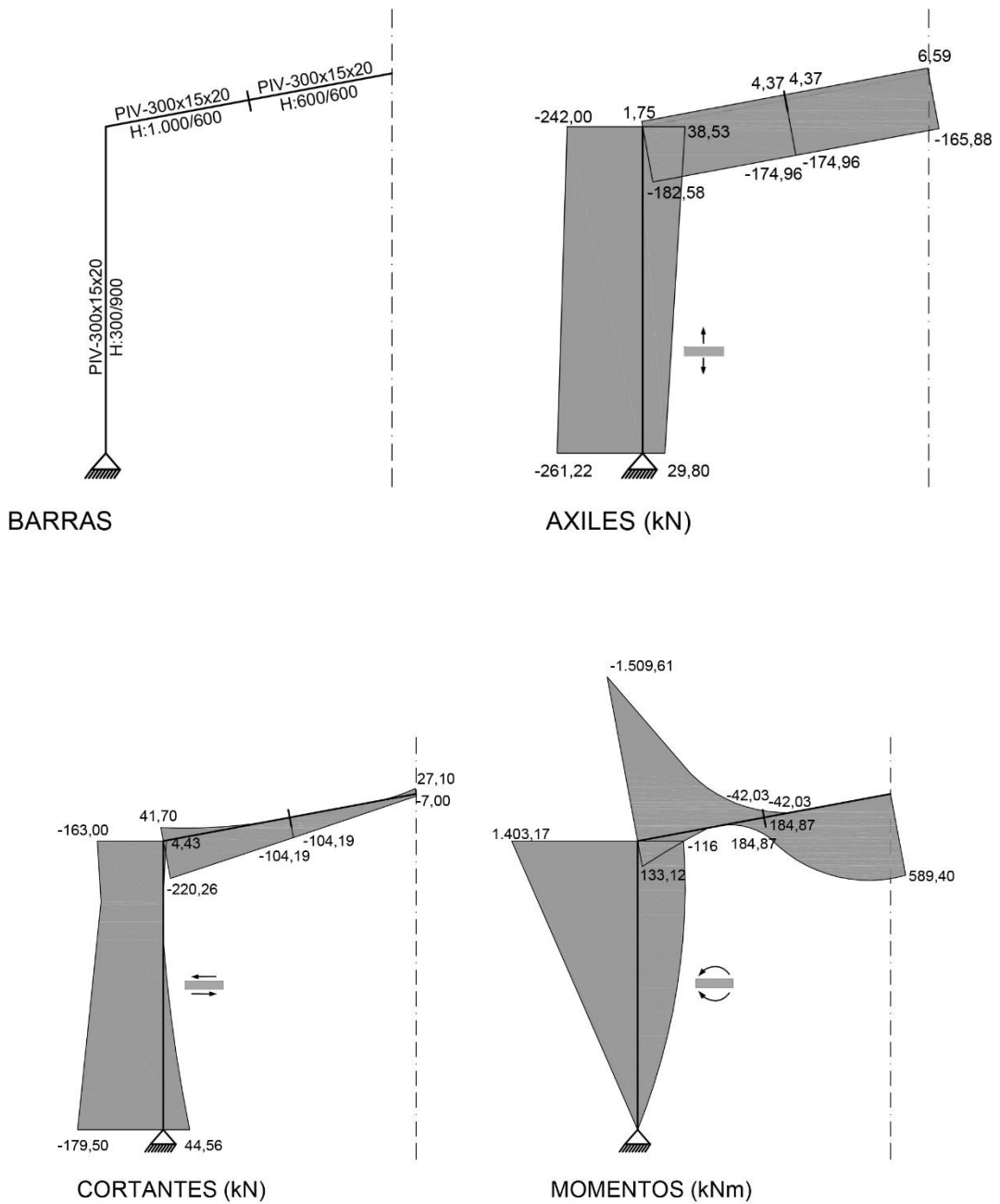


Figura 5.3.1-4 Resumen tipos perfiles y gráficas en Pórticos de Sección Variable

El diagrama de axiles es prácticamente parecido al caso de Pórticos Acartelados con una tensión en el pilar entorno a los 250 kN y 175 kN en los cabios de cubierta.

El diagrama de cortantes también es similar al de Pórticos Acartelados aumentando en el pilar a medida que llegamos a la base.

Lo más significativo de esta solución estructural es el diagrama de momentos, En el punto de apoyo el momento se hace cero, al ser articulado en vez de empotrado. El mayor momento se concentra en la cabeza del pilar, de aquí que le tengamos que proporcionar mayor anchura a la sección del perfil en este punto, para poder soportarlo. De igual manera el mayor momento del cabio lo tenemos en la unión con el pilar.

Respecto a los desplazamientos, la cumbrera en esta caso desciende más que en el resto de caso, 21 cm. En la gráfica de desplazamientos es el punto más desfavorable.

Figura 5.3.1-5 Desplazamiento cumbrera en Pórticos de Sección Variable

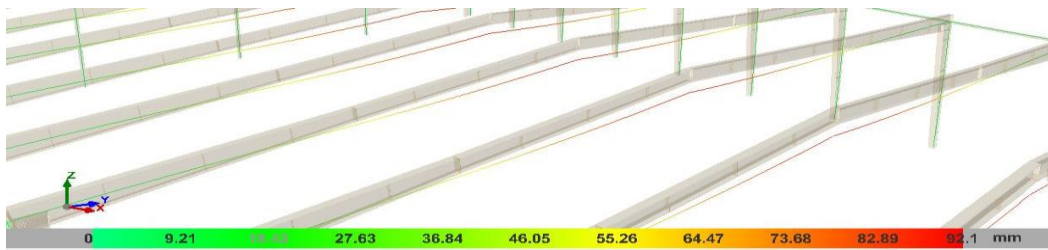
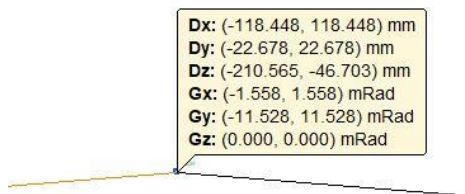


Figura 5.3.1-6 Deformada e isovalores en Pórticos de Sección Variable

5.3.2. Comprobación de los pilares

Comprobaremos los pilares de igual modo que en el caso anterior

Los diagramas de esfuerzos de los pilares son los siguientes.



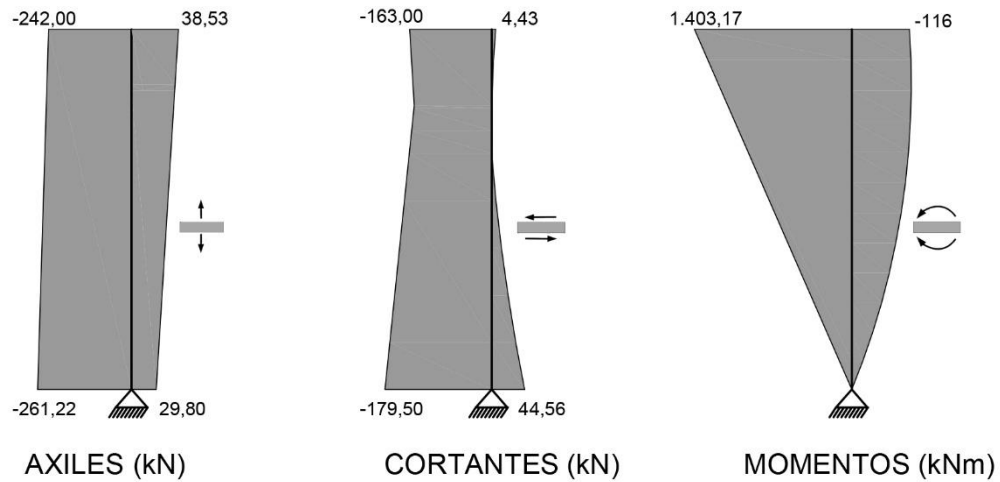


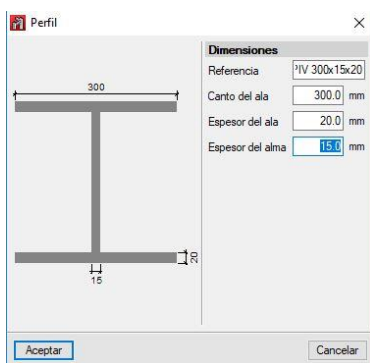
Figura 5.3.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en Pórticos de Sección Variable

Los esfuerzos, mayorados, obtenidos en la sección más desfavorable, en este caso la cabeza del pilar, antes del acartelamiento son:

$$N_{Ed} = 242,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 163,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{Ed} = 1.403,17 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$



El perfil que pusimos que cumplía era el perfil PIV (300x15x20). Este es un perfil creado por nosotros que tiene alas de anchura 300 mm y espesor 20 mm y un alma de longitud variable y anchura 15 mm. En la cabeza del pilar pusimos una longitud del perfil de 900 mm.

Calcularemos sus propiedades para poder realizar los mismos cálculos que en el caso anterior.

$$b=300 \text{ mm} ; h=900 \text{ mm} ; e_t=15 \text{ mm} ; e_w=20 \text{ mm}$$

Figura 5.3.2-2 PIV 300x15x20

$$A = 2 \cdot (e_w \cdot l_w) + (e_t \cdot l_t) = 2 \cdot (300 \cdot 20) + (15 \cdot 860) = 24.900 \text{ mm}^2 \quad (5.16)$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} + 2 \cdot (A_w \cdot d^2) = \frac{1,5 \cdot 86^3}{12} + 2 \cdot [(30 \cdot 2) \cdot 46^2] = 333.427 \text{ cm}^4 \quad (5.17)$$

$$W_y = \frac{I_y}{y_{max}} = \frac{333.427}{45} = 7.409,48 \text{ cm}^3 \quad (5.18)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{333.427}{249}} = 36,59 \text{ cm} \quad (5.19)$$

De igual manera que en el caso anterior consideramos que los paneles prefabricados arriostran los pilares en toda su longitud, en el plano perpendicular al papel. De manera que el coeficiente $\beta_{xy}=0$ o adoptando la nomenclatura del CTE $\beta_z=0$. En el plano paralelo a la estructura al ser el apoyo articulado, en este caso tenemos un $\beta_{xz}=1$ o $\beta_y=1$

Se dimensionara y comprobará la resistencia, esbeltez y pandeo, siendo:

- f_y : Resistencia característica del acero o tensión de límite elástico.
- f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.
- γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a resistencia ($\gamma_{M0} = 1,05$)

Comprobación a resistencia

La resistencia de cálculo del acero vendrá dada por:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1,05} = 261,90 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1)$$

Comprobaremos a flexión si cumple el perfil:

$$\frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1; \frac{1.403,17 \cdot 10^6}{7.409.480 \cdot 261,90} = 0,72 \leq 1 \quad \Rightarrow \text{ CUMPLE} \quad (5.2)$$

La sección está sometida a flexión y cortante. Se ha de comprobar si se puede despreciar la reducción del momento plástico resistido por la sección debido al esfuerzo cortante, según el artículo 6.2.8 del DB SE-A

La capacidad a cortante de la sección vendrá dada por:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (5.3)$$

Donde A_v para para este caso consideraremos la sección del alma:

$$A_v = 15 \cdot 860 = 12.900 \text{ mm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12.900 \cdot 261,9}{\sqrt{3}} = 1.950.583 \text{ N} = 1.950,58 \text{ kN} \quad (5.4)$$

Si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección se empleará la fórmula:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \quad (5.5)$$

Vemos si el cortante de cálculo no supera la mitad de la resistencia de cálculo de la sección:

$$V_{Ed} = 163 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 1.950,58 = 975,29 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{ CUMPLE} \quad (5.6)$$

De esta forma la comprobación a resistencia vendrá dada por:

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \frac{242 \cdot 10^3}{25.900 \cdot 261,9} + \frac{1.403,17 \cdot 10^6}{7.409.480 \cdot 261,90} = 0,7614 < 1 \quad \Rightarrow \text{ CUMPLE} \quad (5.7)$$

Comprobación a esbeltez

Nos encontramos con un elemento comprimido, por lo que tenemos que la comprobación a esbeltez debe cumplir que $\lambda \leq 2$ en ambos planos.

Las longitudes de pandeo serán:

Para el plano paralelo al plano del dibujo: $L_{k,y} = \beta_y \cdot L = 1 \cdot 8.640 = 8.640 \text{ mm}$
 Para el plano perpendicular: $L_{k,z} = \beta_z \cdot L = 0 \cdot 8.640 = 0 \text{ mm}$ (5.8)

(5.9)

La carga crítica viene dada por la expresión:

$$N_{cr} = \left[\frac{\pi}{L_k} \right]^2 \cdot E \cdot I \tag{5.10}$$

Siendo la esbeltez reducida:

Para el plano paralelo a la estructura:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{8.640}{\pi \cdot 365,9} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0,2719 < 2 \quad \Rightarrow \quad \text{CUMPLE} \tag{5.11}$$

Para el plano perpendicular a ala estructura:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_k}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{0}{\pi \cdot 71,7} \sqrt{\frac{275}{210.000}} = 0 < 2 \quad \Rightarrow \quad \text{CUMPLE} \tag{5.12}$$

Por lo tanto el PIV-300x15x20

Comprobación a pandeo

En este caso la resistencia de cálculo del acero vendrá dada por:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{275}{1,1} = 250 \text{ N/mm}^2 \tag{5.13}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad o Coeficiente de minoración de la resistencia característica del acero en la comprobación a pandeo ($\gamma_{M1} = 1,10$)

Determinamos la curva de pandeo que tenemos para cada plano de pandeo, teniendo en cuenta las dimensiones del perfil PIV-300x15x20 ($h = 900 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$ y $t = 15$)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{900}{300} = 3 > 1,2 \\ t = 15 < 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Curva de pandeo en el plano paralelo (eje y): a} \\ \text{Curva de pandeo en el plano perpendicular (eje z) = b} \end{array}$$

Con la esbeltez reducida y la tabla 6.3. (Tabla 5.1.2-1) Tabla del DB SE-A obtenemos lo valores de los coeficientes de pandeo (χ)

Obteniendo:

$$\lambda_y = 0,27(\text{curva a}) \rightarrow \chi_y = 0,98$$

En el plano perpendicular a la estructura consideramos que no pandea por estar limitado por los paneles de cerramiento de hormigón prefabricado.

La comprobación a pandeo para el plano paralelo y perpendicular viene dada por la expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \quad (5.14)$$

El coeficiente k_y para secciones de clase 1 y 2 viene dado por la expresión de la tabla 6.9 (Tabla 5.1.2-2) del DB SE-A

Que en nuestro caso será:

$$k_y = 1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{C,Rd}} = 1 + (0,27 - 0,2) \cdot \frac{242 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 24.900 \cdot 261,9} = 1,002 \quad (5.15)$$

El coeficiente $C_{m,y}$ se obtiene de la tabla 6.10 (Tabla 5.1.2-3) del coeficiente del momento equivalente:

En nuestro caso lo asimilaremos a momento debido a cargas lateral coplanarias teniendo un $C_{m,y} = 0,95$ estando del lado de la seguridad por ser de los más altos de la tabla.

De manera que la comprobación a pandeo en el plano paralelo a la estructura queda de la forma:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \frac{c_{m,y} \cdot M_{Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = \quad (5.14)$$

$$\frac{242 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 24.900 \cdot 250} + 1,002 \frac{0,95 \cdot 1.403,17 \cdot 10^6}{7.409.480 \cdot 250} = 0,76 < 1$$

Por lo tanto el perfil PIV-300x15x20 cumple a pandeo.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones

En este Trabajo de Fin de Grado se han calculado tres tipos de soluciones para la estructura de una nave de 40 m de luz aproximadamente. Las tipologías planteadas han sido con: Cerchas, Pórticos Acartelados y Pórticos de Sección Variable. A la vista del trabajo se realizado, a modo de resumen se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- Se ha calculado la estructura de la nave con diferentes hipótesis de viento, soplando desde diversas direcciones, y nieve, con carga alterna en cada uno de los faldones de cubierta. Hecho que sin un programa informático, nos hubiera llevado gran cantidad de tiempo.
- Hemos conocido y aplicado la Normativa Española, referida a las estructuras de acero, teniendo en cuenta sus acciones, combinaciones y límites de resistencia y aptitud al servicio que nos marca a la hora de diseñar una nave de estas características.
- En la tipología Cercha, hemos podido comprobar como las diagonales extremas sufren más esfuerzos, siendo necesario para ello aumentar la sección de dichas barras para soportar los esfuerzos.
- Se ha podido comprobar en la tipología de Pórticos Acartelados, como prolongando las cartelas podemos hacer que la estructura cumpla, sin necesidad de aumentar de sección todo el perfil de los cabios de cubierta.
- Con la tipología de nudos articulados, hemos observado como las gráficas de esfuerzos cambian, al cambiar el tipo de apoyo y como consecuencia, donde es necesario que la estructura tenga mayor sección para aguantar dichos esfuerzos.
- Analizando los esfuerzos e isovalores de tensiones, hemos aprendido donde los perfiles están menos solicitados, siendo este lugar el sitio óptimo para dividir la estructura en taller y posteriormente poderla montar en obra.
- La tipología y las reacciones en los apoyos influyen en la cimentación de la nave. Con Pórticos de Sección Variable al tener los apoyos articulados las zapatas han sido de dimensiones menores que en los casos anteriores.
- Hemos comprobado con cálculos tradicionales los perfiles de los pilares de los pórticos centrales de nuestra estructura y como estos se corresponden con los obtenidos en el programa informático.
- Se ve como estos programas informáticos basados en el cálculo matricial son necesarios, puesto que nos ahorran numerosos cálculos, pero también es necesario conocer los cálculos y “hacerlos a mano” para poder comprobar que los resultados que nos dan son ciertos.
- De las tres soluciones estudiadas, la mejor es la tipología de Cercha. Estructuralmente, debido a que tiene mayor cantidad de barras, sus perfiles están menos solicitados. Económicamente, los kilogramos de acero son menores (y por lo tanto el precio) que en las otras dos soluciones.

6.1. Trabajos futuros

Los trabajos que podrían continuar a partir de la presentación del presente trabajo, podrían destacar los siguientes:

- Estudio de otro tipo de soluciones para la misma geometría de la nave como podría ser la tipología de Hormigón Prefabricado.
- Estudio de estas mismas soluciones con otros programas informáticos, contrastando resultados con los planteados aquí y con la Normativa Española.
- Estudio exhaustivo de cada una de las tipologías, optimizando perfiles al máximo, haciendo despieces de la estructura para obtener el material en bruto, horas de taller, horas de montaje...
- Planteamiento con otro tipo de cerramiento o cubierta, de manera que los coeficientes de pandeo sean diferentes y su repercusión en la estructura.
- Análisis de las diferentes partes de la estructura con otros software como ANSYS, CATIA, SOLIDWORKS, FREECAD ...
- Estudio de las uniones atornilladas de los diferentes elementos con los diagramas de esfuerzos obtenidos en este trabajo.

7. MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO RESUMEN UDS LONG. ANCH. ALT. PARCIALES CANTIDAD PRECIO IMPORTE

7.1. Cerchas

CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

01.01	m3 EXCAVACIÓN ZANJA A MÁQUINA TERRENO COMPACTO C/ TRANS. Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras sobre camión y vertido en el interior de obra a una distancia menor de 150 m ida y vuelta de la zanja y con p.p. de medios auxiliares. ZAPATAS	22	3,20	3,20	0,85	191,49		
		4	3,00	3,00	0,80	28,80		
		10	2,30	2,30	0,65	34,39		
	ZUNCHOS	24	5,20	0,40	0,50	24,96		
		4	8,31	0,40	0,50	6,65		
		12	9,01	0,40	0,50	21,62		
							307,91	41,18
								12.679,73
	TOTAL CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO							12.679,73

CAPÍTULO 02 CIMENTACION

02.01	m3 HORMIGÓN LIMPIEZA HM-20/P/20/I V. GRÚA Hormigón HM-20/P/20/I, elaborado en central, para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C. ZAPATAS	22	3,20	3,20	0,10	22,53		
		4	3,00	3,00	0,10	3,60		
		10	2,30	2,30	0,10	5,29		
	ZUNCHOS	24	5,20	0,40	0,10	4,99		
		12	8,31	0,40	0,10	3,99		
							40,40	92,78
								3.748,31
02.02	m3 HORMIGÓN HA-25/P/30/IIa CIM. V. GRÚA Hormigón HA-25/P/30/IIa, elaborado en central, en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C. ZAPATAS	22	3,20	3,20	0,70	157,70		
		4	3,00	3,00	0,70	25,20		
		10	2,30	2,30	0,55	29,10		
	ZUNCHOS	24	5,20	0,40	0,40	19,97		
		12	8,31	0,40	0,40	15,96		
							247,93	106,63
								26.436,78
02.03	kg ACERO CORRUGADO B 500 S Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE-08 y CTE-SE-A. ZAPATAS	22	192,59			4.236,98		
	R12	10	85,93			859,30		
	R16	4	236,81			947,24		
	ZUNCHOS	24	5,78			138,72		
	R8	12	9,24			110,88		
	R12	24	23,43			562,32		
		12	27,74			332,88		
							7.188,32	1,42
								10.207,41
	TOTAL CAPÍTULO 02 CIMENTACION.....							40.392,50

CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS

03.01	u PLACA ANCLAJE S275 50x50x2cm Placa de anclaje de acero S275 en perfil plano, de dimensiones 50x50x2 cm. con cuatro garrotas de acero corrugado de 12 mm. de diámetro y 45 cm. de longitud total, soldadas, i/taladro central, colocada. Según NTE, CTE-DB-SE-A y EAE.							
-------	---	--	--	--	--	--	--	--

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONG.	ANCH.	ALT.	PARCIALES CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		36				36,00		
03.02	u ANCLAJE MECÁNICO HILTI HST M16x140 Anclaje mecánico diseñado para transmitir cargas medias y cargas de impacto al hormigón como material base. En primer lugar se realizará un taladro, con martillo a rotoperCUSión, de 115 mm. de profundidad y 16 mm. de diámetro en el elemento de hormigón de espesor mínimo 170 mm. A continuación se procederá a la correcta limpieza del taladro. Posteriormente se colocará la pieza a fijar y se introducirán los anclajes hasta la marca roja. Se aplicará el correcto par de apriete para que la fijación pueda entrar en carga según la ficha técnica del producto.					36,00	47,01	1.692,36
		216				216,00		
03.03	kg ACERO LAMINADO S275 JR Acero laminado S275JR, en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas, i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, montado y colocado, según NTE-EAS/EAV, CTE-DB-SE-A y EAE.					216,00	6,57	1.419,12
	HEB-300	1	22.247,63			22.247,63		
	HEB-280	1	3.564,83			3.564,83		
	HEB-200	1	5.898,49			5.898,49		
	HEB-140	1	6.541,73			6.541,73		
	UPN-160	1	33.892,35			33.892,35		
	IPE-200	1	1.832,34			1.832,34		
	R30	1	394,73			394,73		
	R24	1	252,63			252,63		
	R16	1	112,28			112,28		
03.04	kg ACERO PERFIL TUBULAR ESTRUCTURA Acero laminado S275 en perfiles para vigas, pilares y correas, con una tensión de rotura de 410 N/mm2, unidas entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico i/p.p. despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo totalmente montado, según CTE-DB-SE-A					74.737,01	2,14	159.937,20
	#140x6	1	1.881,40			1.881,40		
	#120x4	1	9.228,34			9.228,34		
						11.109,74	2,63	29.218,62
TOTAL CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS.....								192.267,30
CAPÍTULO 04 PINTURA								
04.01	m2 POLIURETANO SATINADO ALTA PROTECCIÓN Sistema protector antioxidante de acabado satinado, poliuretano de dos componentes de alta resistencia, previa chorreado al grado Sa 21/2 (ISO 8501-1:1998) y con superficie limpia, seca y libre de cualquier contaminación, aplicación de dos manos de la imprimación antioxidante epoximastic de dos componentes, "surface tolerant" de alto contenido en sólidos y dos manos de poliuretano, siguiendo las instrucciones de aplicación y preparación del soporte según se especifica en ficha técnica.							
	PLACAS	36	0,50	0,50	0,02	0,18		
	PERFILES							
	HEB-300	1	337,96			337,96		
	HEB-280	1	57,34			57,34		
	HEB-200	1	113,72			113,72		
	HEB-140	1	160,08			160,08		
	UPN-160	1	521,70			521,70		
	IPE-200	1	64,60			64,60		
	R30	1	6,71			6,71		
	R24	1	5,36			5,36		
	R16	1	3,57			3,57		
	TUBULAR							
	#140x6	1	41,40			41,40		
	#120x4	1	302,06			302,06		
						1.614,68	18,21	29.403,32
TOTAL CAPÍTULO 04 PINTURA.....								29.403,32
TOTAL CERCHA								274.742,85

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONG.	ANCH.	ALT.	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
--------	---------	-----	-------	-------	------	-----------	----------	--------	---------

7.2. Pórticos Acartelados

CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

01.01	m3 EXCAVACIÓN ZANJA A MÁQUINA TERRENO COMPACTO C/ TRANS. Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras sobre camión y vertido en el interior de obra a una distancia menor de 150 m ida y vuelta de la zanja y con p.p. de medios auxiliares. ZAPATAS	22	2,20	2,20	0,60	63,89			
		4	4,00	4,00	1,05	67,20			
		6	2,55	2,55	0,70	27,31			
	ZUNCHOS	4	5,75	0,40	0,50	4,60			
		20	8,10	0,40	0,50	32,40			
		4	13,16	0,40	0,50	10,53			
		4	15,31	0,40	0,50	12,25			
							218,18	41,18	8.984,65
	TOTAL CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO								8.984,65

CAPÍTULO 02 CIMENTACIONES

02.01	m3 HORMIGÓN LIMPIEZA HM-20/P/20/I V. GRÚA Hormigón HM-20/P/20/I, elaborado en central, para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C. ZAPATAS	22	2,20	2,20	0,10	10,65			
		4	4,00	4,00	0,10	6,40			
		6	2,55	2,55	0,10	3,90			
	ZUNCHOS	4	5,75	0,40	0,10	0,92			
		20	8,10	0,40	0,10	6,48			
		4	13,16	0,40	0,10	2,11			
		4	15,31	0,40	0,10	2,45			
							32,91	92,78	3.053,39
02.02	m3 HORMIGÓN HA-25/P/30/IIa CIM. V. GRÚA Hormigón HA-25/P/30/IIa, elaborado en central, en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C. ZAPATAS	22	1,65	1,65	0,40	23,96			
		4	4,00	4,00	0,95	60,80			
		6	2,55	2,55	0,60	23,41			
	ZUNCHOS	4	5,75	0,40	0,40	3,68			
		20	8,10	0,40	0,40	25,92			
		4	13,16	0,40	0,40	8,42			
		4	15,31	0,40	0,40	9,80			
							155,99	106,63	16.633,21
02.03	kg ACERO CORRUGADO B 500 S Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE-08 y CTE-SE-A. ZAPATAS	22	457,07			10.055,54			
	R12	6	124,43			746,58			
		4	457,07			1.828,28			
	ZUNCHOS	4	5,78			23,12			
	R8	20	7,50			150,00			
		4	13,86			55,44			
		4	15,59			62,36			
	R12	4	23,43			93,72			
		20	23,43			468,60			
		4	39,47			157,88			
		4	41,01			164,04			
							13.805,56	1,42	19.603,90

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONG.	ANCH.	ALT.	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
TOTAL CAPÍTULO 02 CIMENTACION.....								39.290,50	
CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS									
03.01	u PLACA ANCLAJE S275 50x50x2cm Placa de anclaje de acero S275 en perfil plano, de dimensiones 50x50x2 cm. con cuatro garrotas de acero corrugado de 12 mm. de diámetro y 45 cm. de longitud total, soldadas, i/taladro central, colocada. Según NTE, CTE-DB-SE-A y EAE.	32					32,00		
								32,00	47,01
									1.504,32
03.03	u ANCLAJE MECÁNICO HILTI HST M16x140 Anclaje mecánico diseñado para transmitir cargas medias y cargas de impacto al hormigón como material base. En primer lugar se realizará un taladro, con martillo a rotoperusión, de 115 mm. de profundidad y 16 mm. de diámetro en el elemento de hormigón de espesor mínimo 170 mm. A continuación se procederá a la correcta limpieza del taladro. Posteriormente se colocará la pieza a fijar y se introducirán los anclajes hasta la marca roja. Se aplicará el correcto par de apriete para que la fijación pueda entrar en carga según la ficha técnica del producto. Este anclaje se calcula según la normativa europea ETAG, en su anexo C o según el método de cálculo Hilti SOFA.	192					192,00		
								192,00	6,57
									1.261,44
03.04	kg ACERO LAMINADO S275 JR Acero laminado S275JR, en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas, i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, montado y colocado, según NTE-EAS/EAV, CTE-DB-SE-A y EAE.								
	PIV300X15X20 (300/900)	1	30.439,41				30.439,41		
	PIV300X15X20 (1000/600)	1	41.381,68				41.381,68		
	PIV300X15X20 (600)	1	36.060,07				36.060,07		
	HEB-700	1	8.312,51				8.312,51		
	HEB-400	1	3.540,22				3.540,22		
	HEB-220		4.170,43						
	HEB-140	1	5.002,49				5.002,49		
	IPE-240	1	2.513,84				2.513,84		
	R32	1	591,92				591,92		
	R24	1	332,84				332,84		
								128.174,98	2,14
									274.294,46
TOTAL CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS.....								277.060,22	
CAPÍTULO 04 PINTURAS									
04.01	m2 POLIURETANO SATINADO ALTA PROTECCIÓN Sistema protector antioxidante de acabado satinado, poliuretano de dos componentes de alta resistencia, previa chorreado al grado Sa 21/2 (ISO 8501-1:1998) y con superficie limpia, seca y libre de cualquier contaminación, aplicación de dos manos de la imprimación antioxidante epoximastic de dos componentes, "surface tolerant" de alto contenido en sólidos y dos manos de poliuretano, siguiendo las instrucciones de aplicación y preparación del soporte según se especifica en ficha técnica.								
	PLACAS	32	0,80	0,80	0,02		0,41		
	PIV3000X15X20 (300/900)	1	485,60				485,60		
	PIV300X15X20 (1000/600)	1	671,68				671,68		
	PIV3000X15X20 (600)	1	568,78				568,78		
	HEB-700	1	88,68				88,68		
	HEB-400	1	44,98				44,98		
	HEB-220	1	75,95				75,95		
	HEB-140	1	122,41				122,41		
	IPE-240	1	77,61				77,61		
	R32	1	9,43				9,43		
	R24	1	7,07				7,07		
								2.152,60	18,21
									39.198,85
TOTAL CAPÍTULO 04 PINTURA.....								39.198,85	
TOTAL PORTICOS ACARTELADOS.....								364.534,22	

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO RESUMEN UDS LONG. ANCH. ALT. PARCIALES CANTIDAD PRECIO IMPORTE

7.3. Pórticos de Sección Variable

CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

01.01	m3 EXCAVACIÓN ZANJA A MÁQUINA TERRENO COMPACTO C/ TRANS.							
	Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras sobre camión y vertido en el interior de obra a una distancia menor de 150 m ida y vuelta de la zanja y con p.p. de medios auxiliares.							
	ZAPATAS							
		22	2,20	2,20	0,60	63,89		
		4	4,00	4,00	1,05	67,20		
		6	2,55	2,55	0,70	27,31		
	ZUNCHOS							
		4	5,75	0,40	0,50	4,60		
		20	8,10	0,40	0,50	32,40		
		4	13,16	0,40	0,50	10,53		
		4	15,31	0,40	0,50	12,25		
							218,18	41,18
								8.984,65

TOTAL CAPÍTULO 01 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO 8.984,65

CAPÍTULO 02 CIMENTACION

02.01	m3 HORMIGÓN LIMPIEZA HM-20/P/20/I V. GRÚA							
	Hormigón HM-20/P/20/I, elaborado en central, para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C.							
	ZAPATAS							
		22	2,20	2,20	0,10	10,65		
		4	4,00	4,00	0,10	6,40		
		6	2,55	2,55	0,10	3,90		
	ZUNCHOS							
		4	5,75	0,40	0,10	0,92		
		20	8,10	0,40	0,10	6,48		
		4	13,16	0,40	0,10	2,11		
		4	15,31	0,40	0,10	2,45		
							32,91	92,78
								3.053,39

02.02	m3 HORMIGÓN HA-25/P/30/IIa CIM. V. GRÚA							
	Hormigón HA-25/P/30/IIa, elaborado en central, en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso vertido con grúa, vibrado y colocado. Según normas NTE-CSZ, EHE-08 y CTE-SE-C.							
	ZAPATAS							
		22	2,20	2,20	0,50	53,24		
		4	4,00	4,00	0,95	60,80		
		6	2,55	2,55	0,60	23,41		
	ZUNCHOS							
		4	5,75	0,40	0,40	3,68		
		20	8,10	0,40	0,40	25,92		
		4	13,16	0,40	0,40	8,42		
		4	15,31	0,40	0,40	9,80		
							185,27	106,63
								19.755,34

02.03	kg ACERO CORRUGADO B 500 S							
	Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE-08 y CTE-SE-A.							
	ZAPATAS							
	R12	22	457,07			10.055,54		
		6	124,43			746,58		
		4	457,07			1.828,28		
	ZUNCHOS							
	R8	4	5,78			23,12		
		20	7,50			150,00		
		4	13,86			55,44		
		4	15,59			62,36		
	R12	4	23,43			93,72		
		20	23,43			468,60		
		4	39,47			157,88		
		4	41,01			164,04		
							13.805,56	1,42
								19.603,90

TOTAL CAPÍTULO 02 CIMENTACION..... 42.412,63

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONG.	ANCH.	ALT.	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS									
03.01	u PLACA ANCLAJE S275 50x50x2cm								
	Placa de anclaje de acero S275 en perfil plano, de dimensiones 50x50x2 cm. con cuatro garrotas de acero corrugado de 12 mm. de diámetro y 45 cm. de longitud total, soldadas, i/taladro central, colocada. Según NTE, CTE-DB-SE-A y EAE.	32					32,00		
							32,00	47,01	1.504,32
03.03	u ANCLAJE MECÁNICO HILTI HST M16x140								
	Anclaje mecánico diseñado para transmitir cargas medias y cargas de impacto al hormigón como material base. En primer lugar se realizará un taladro, con martillo a rotoperusión, de 115 mm. de profundidad y 16 mm. de diámetro en el elemento de hormigón de espesor mínimo 170 mm. A continuación se procederá a la correcta limpieza del taladro. Posteriormente se colocará la pieza a fijar y se introducirán los anclajes hasta la marca roja. Se aplicará el correcto par de apriete para que la fijación pueda entrar en carga según la ficha técnica del producto. Este anclaje se calcula según la normativa europea ETAG, en su anexo C o según el método de cálculo Hilti SOFA.	192					192,00		
							192,00	6,57	1.261,44
03.04	kg ACERO LAMINADO S275 JR								
	Acero laminado S275JR, en perfiles laminados en caliente para vigas, pilares, zunchos y correas, i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, montado y colocado, según NTE-EAS/EAV, CTE-DB-SE-A y EAE.								
	PIV300X15X20 (300/900)	1	30.439,41				30.439,41		
	PIV300X15X20 (1000/600)	1	41.381,68				41.381,68		
	PIV300X15X20 (600)	1	36.060,07				36.060,07		
	HEB-700	1	8.312,51				8.312,51		
	HEB-400	1	3.540,22				3.540,22		
	HEB-220		4.170,43						
	HEB-140	1	5.002,49				5.002,49		
	IPE-240	1	2.513,84				2.513,84		
	R32	1	591,92				591,92		
	R24	1	332,84				332,84		
							128.174,98	2,14	274.294,46
TOTAL CAPÍTULO 03 ESTRUCTURAS.....									277.060,22
CAPÍTULO 04 PINTURA									
04.01	m2 POLIURETANO SATINADO ALTA PROTECCIÓN								
	Sistema protector antioxidante de acabado satinado, poliuretano de dos componentes de alta resistencia, previa chorreado al grado Sa 21/2 (ISO 8501-1:1998) y con superficie limpia, seca y libre de cualquier contaminación, aplicación de dos manos de la imprimación antioxidante epoximastic de dos componentes, "surface tolerant" de alto contenido en sólidos y dos manos de poliuretano, siguiendo las instrucciones de aplicación y preparación del soporte según se especifica en ficha técnica.								
	PLACAS	32	0,80	0,80	0,02		0,41		
	PIV3000X15X20 (300/900)	1	485,60				485,60		
	PIV300X15X20 (1000/600)	1	671,68				671,68		
	PIV3000X15X20 (600)	1	568,78				568,78		
	HEB-700	1	88,68				88,68		
	HEB-400	1	44,98				44,98		
	HEB-220	1	75,95				75,95		
	HEB-140	1	122,41				122,41		
	IPE-240	1	77,61				77,61		
	R32	1	9,43				9,43		
	R24	1	7,07				7,07		
							2.152,60	18,21	39.198,85
TOTAL CAPÍTULO 04 PINTURA.....									39.198,85
TOTAL PORTICOS SECCION VARIABLE									367.656,35

**8. LISTADO NO EXHAUSTIVO DE
COMPROBACIONES DE CYPE3D**

8.1. Cerchas

Comprobación E.L.U. pilar

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.47} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 149.10 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 265.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 17771.51 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 17771.51 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** ∞

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N_{cr,T} :** ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y :** 25170.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z :** 8563.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t :** 185.00 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w :** 1688000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad. **E :** 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G :** 81000 MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky} :** 5.418 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz} :** 0.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt} :** 0.000 m

i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_o** : 15.04 cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y** : 12.99 cm

i_z : 7.58 cm

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

Comprobación E.L.U. cordón superior

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 0.51 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 48.15 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 5182.43 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 5182.43 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 12988.27 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>1863.62</u> cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>1167.65</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>2132.99</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>0.00</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>81000</u> MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>2.730</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>1.365</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.000</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>7.93</u> cm

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>6.22</u> cm
	i_z : <u>4.92</u> cm
y_o, z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

Comprobación E.L.U. cordón inferior

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{1.27} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.	Clase : <u>1</u>
A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	A : <u>48.15</u> cm ²
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} : <u>816.98</u> kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{5215.69} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{816.98} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{1863.62} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1167.65} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{2132.99} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{2.721} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{5.443} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{7.93} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{6.22} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{4.92} \text{ cm}$$

y_o, **z_o**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Comprobación E.L.U. diagonal

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{1.14} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{18.00} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{381.10} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N}_{cr,y} : \underline{381.10} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N}_{cr,z} : \underline{1524.38} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N}_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\mathbf{I}_y : \underline{396.40} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$\mathbf{I}_z : \underline{396.40} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\mathbf{I}_t : \underline{638.85} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$\mathbf{I}_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$\mathbf{E} : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$\mathbf{G} : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\mathbf{L}_{ky} : \underline{4.643} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\mathbf{L}_{kz} : \underline{2.322} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\mathbf{L}_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$\mathbf{i}_o : \underline{6.64} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$\mathbf{i}_y : \underline{4.69} \text{ cm}$$

$$\mathbf{i}_z : \underline{4.69} \text{ cm}$$

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$\mathbf{y}_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{z}_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

8.2. Pórticos Acartelados

Comprobación E.L.U. pilar

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.29} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\text{A} : \underline{254.10} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\text{f}_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \underline{77457.59} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\text{N}_{cr,y} : \underline{77457.59} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\text{N}_{cr,z} : \underline{\infty}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\text{I}_y : \underline{136700.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$\text{I}_z : \underline{13080.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\text{I}_t : \underline{600.30} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$\text{I}_w : \underline{8856000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$\text{E} : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$\text{G} : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\text{L}_{ky} : \underline{6.048} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\text{L}_{kz} : \underline{0.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\text{L}_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_o** : 24.28 cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y** : 23.19 cm

i_z : 7.17 cm

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

Comprobación E.L.U. cabio

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 1.00 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 4

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

A_{ef} : 125.98 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 265.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 3316.74 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 3316.74 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 28212.97 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>67120.00</u> cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>2668.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>123.00</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>1884000.00</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>81000</u> MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>20.480</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>1.400</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.000</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>22.82</u> cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>22.38</u> cm
y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>4.46</u> cm
	y_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

8.3. Pórticos de Sección Variable

Comprobación E.L.U. pilar

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.77} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.	Clase : <u>1</u>
A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	A : <u>159.00</u> cm ²
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>265.00</u> MPa
N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} : <u>7151.33</u> kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{7151.33} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{61656.99} \text{ kN}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{25757.00} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{9007.31} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{189.25} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1765433.25} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{8.640} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.750} \text{ m}$$

i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{14.79} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.73} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.53} \text{ cm}$$

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Comprobación E.L.U. cabio tramo 1

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.94} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 204.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 265.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 6073.70 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 6073.70 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** 95337.73 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N_{cr,T} :** 33788.31 kN

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y :** 122912.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z :** 9015.75 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t :** 223.00 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w :** 7582245.75 cm⁶

E: Módulo de elasticidad. **E :** 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G :** 81000 MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky} :** 20.480 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz} :** 1.400 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt} :** 2.800 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_o :** 25.43 cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 24.55 cm

i_z : 6.65 cm

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

Comprobación E.L.U. cabio tramo 2

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 0.94 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 204.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 265.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 6073.70 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 6073.70 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 95337.73 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 33788.31 kN

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 122912.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 9015.75 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>223.00</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>7582245.75</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>81000</u> MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>20.480</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>1.400</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>2.800</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>25.43</u> cm

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>24.55</u> cm
y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>6.65</u> cm
	y_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado se han consultado las siguientes referencias:

- [1] Rodríguez Medina, F y Casado Pérez, A. (Ingeolid Proyectos, S.L.) (2016) *Proyecto de ejecución de nave de almacén distribuidor de bebidas con zona administrativa*. Terradillos (Salamanca).
- [2] Manuel Reyes, J. (2015). *Cype 3D 2016*. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia.
- [3] Flores Yepes, J.A. et al (2011). *Análisis de estructuras metálicas. Cálculo de aplicaciones reales con metal 3d*. Madrid: Antonio Madrid Vicente, Ediciones.
- [4] Muñoz Tejada, S. (2017). *Calculo rápido de estructuras*. España: Enchiridion Structurae.
- [5] Arroyo Portero J. C. et al (2009). *Números Gordos en el proyecto de estructuras*. España: Cinter divulgación técnica.
- [6] J. M. Gere (2002). *Timoshenko. Resistencia de Materiales*. España: Ediciones Paraninfo.
- [7] Lorenzana Iban, A. et al (2016). *Apuntes de la asignatura Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales*. Grado de Ingeniería Mecánica: Universidad de Valladolid.
- [8] Caño Sánchez, J.C. (2015). *Apuntes de la asignatura de Elasticidad y Resistencia de Materiales*. Grado de Ingeniería Mecánica: Universidad de Valladolid.
- [9] Foces Mediavilla, A. (2013). *Apuntes de la asignatura de Elasticidad y Resistencia de Materiales*. Grado de Ingeniería Mecánica: Universidad de Valladolid.
- [10] Pilar Alonso, M. (2015) *Apuntes de la asignatura Estructuras Metálicas*. Grado de Ingeniería Mecánica: Universidad de Valladolid.
- [11] López Aparicio, Manuel (2016). *Apuntes de la asignatura Soldadura*. Grado de Ingeniería Mecánica: Universidad de Valladolid.
- [12] Cype ingenieros. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción <http://programas.cype.es/> [Consulta: 14 de Octubre de 2018]
- [13] Código Técnico de la edificación, Ministerio de la vivienda. <https://www.codigotecnico.org/> [Consulta 15 de Octubre de 2018]
- [14] Catálogo Dislas. Universal en Tornillería y herramientas.
- [15] Catálogo técnico-comercial Pretersa Prenavisa.

10. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de figuras

Figura 2.2-1 Localización en catastro.....	13
Figura 2.2-2 Referencia catastral	14
Figura 2.2-3 Plano topográfico de parcela	15
Figura 2.4-1 Planta de distribución.....	19
Figura 2.5.3-1 Tornillo punta broca, DIN 7504-K.....	21
Figura 2.5.3-2 Tornillo cabeza hexagonal, DIN 933.....	22
Figura 2.5.3-3 Varilla roscada	22
Figura 2.5.3-4 Tuerca, DIN 934.....	23
Figura 2.5.3-5 Tuerca, DIN 980.....	23
Figura 2.5.3-6 Arandela plana, DIN125.....	23
Figura 2.5.3-7 Arandela ala ancha, DIN 9021	24
Figura 2.5.3-8 Arandela Grower, DIN 127.....	24
Figura 2.5.4-1 Soldadura MAG (Metal Active Gas).....	24
Figura 2.5.4-2 Soldadura SMAW (Shield Metal Arc Welding).....	25
Figura 2.5.5-1 Sección cerramiento prefabricado de hormigón	25
Figura 2.5.5-2 Alzado cerramiento de panel de hormigón prefabricado.	26
Figura 3.1.4-1 Criterio de signos	32
Figura 3.2-1 Pesos específicos aparentes de materiales de construcción	33
Figura 3.3.2-1 Distribución de fuerzas por áreas del viento	36
Figura 3.3.2-2 Mapa viento de CYPE según el DB SE-AE	37
Figura 3.3.4-1 Cuadro sobrecargas nieve según CYPE	39
Figura 3.3.4-2 Mapa sobrecarga de nieve de CYPE según el DB SE-AE	39
Figura 3.4.1-1 Mapa sísmico de la norma sismorresistente NCSE-02.....	40
Figura 4.1.1-1 Geometría inicial nave.	46
Figura 4.1.2-1 Cuadro características muro perimetral	47
Figura 4.1.3-1 Cuadro datos generales G. P.....	47
Figura 4.1.4-1 Edición de correas en el G.P.	48
Figura 4.1.4-2 Dimensionamiento correas G.P.	49
Figura 4.1.4-3 Elección de correa según peso.....	50
Figura 4.1.5-1 Opciones de exportación a CYPE3D	50
Figura 4.1.5-2 Cuadro aviso distribución cargas.....	51
Figura 4.1.5-3 Normativa para cálculos de CYPE3D	51
Figura 4.1.5-4 Hipótesis adicionales de CYPE3D	52
Figura 4.1.5-5 Geometría con cargas.....	52
Figura 4.2.2-1 Geometría exportada para tipología cercha.....	53
Figura 4.2.2-2 Pórtico central geometría del G.P.	54
Figura 4.2.2-3 Paños de cargas exportados por el G.P.	54
Figura 4.2.2-4 Vista 3D de la tipología cercha	55
Figura 4.2.2-5 Figura 4.2.2-6 Pórtico central de la tipología cercha.....	55
Figura 4.2.2-7 listado de capas y colores usados.	56
Figura 4.2.3-1 Tipos de nudos según CYPE3D	56
Figura 4.2.3-2 Empotramiento pilar	56
Figura 4.2.3-3 Configuración apoyos cercha.....	57
Figura 4.2.3-4 Articulación de Cruces de San Andrés	57
Figura 4.2.4-1 Vista 3D de los elementos tipología Cercha	58
Figura 4.2.5-1 Coeficientes de esbeltez	59
Figura 4.2.5-2 Cuadro de coeficientes de pandeo CYPE3D	59
Figura 4.2.5-3 Coeficientes β de barras de cercha	60
Figura 4.2.5-4 Coeficientes de pandeo cabios hastiales.....	60
Figura 4.2.5-5 Coeficientes de pandeo β de pilares.....	61

Figura 4.2.6-1 Flecha límite de cordones de cercha	62
Figura 4.2.7-1 Menú opciones cálculo CYPE3D	63
Figura 4.2.7-2 Resultado primero del cálculo cercha	63
Figura 4.2.7-3 Aprovechamiento resistencia diagonal interior	64
Figura 4.2.7-4 Aprovechamiento resistencia diagonal extrema	64
Figura 4.2.7-5 Comprobaciones E.L.U. de pilares de la cercha.....	64
Figura 4.2.7-6 Opciones de tipos de perfiles.....	64
Figura 4.2.7-7 Resultado final del cálculo cercha.....	65
Figura 4.2.7-8 Aprovechamiento resistencia pilares tipología cercha	65
Figura 4.2.7-9 Comprobación E.L.U. pilares tipología cercha.....	66
Figura 4.2.7-10 Aprovechamiento resistencia diagonales tipología cercha	66
Figura 4.2.7-11 Vista 3D tipología Cercha	67
Figura 4.2.7-12 Pórtico final tipología Cercha	68
Figura 4.2.8-1 Cuadro dimensionamiento cimentación CYPE3D.....	69
Figura 4.2.8-2 Zapata pórtico central tipología cercha.....	69
Figura 4.3-1 Geometría con cargas.....	70
Figura 4.3.1-1 Geometría inicial tipología Pórticos Acartelados.....	71
Figura 4.3.1-2 Paños de cargas en tipología Pórticos Acartelados.....	71
Figura 4.3.1-3 Distribución de cargas tipología Pórticos Acartelados	72
Figura 4.3.1-4 Cuadro de gestión de capas	72
Figura 4.3.3-1 Cuadro de definición de cartelas.....	73
Figura 4.3.3-2 Vista 3D de los elementos tipología Pórticos Acartelados.....	74
Figura 4.3.6-1 Resultado primero del cálculo Pórticos Acartelados.....	75
Figura 4.3.6-2 Aprovechamiento de resistencia cabios centrales de Pórticos Acartelados	76
Figura 4.3.6-3 Esfuerzos en cabios de Pórticos Acartelados.....	76
Figura 4.3.6-4 Aprovechamiento de resistencia cabios después de modificación	76
Figura 4.3.6-5 Esfuerzos en cabios después de modificación	77
Figura 4.3.6-6 Pilares válidos para pórticos hastiales	77
Figura 4.3.6-7 Vista 3d Pórticos Acartelados	78
Figura 4.3.6-8 Pórtico final tipología Pórticos Acartelados.....	79
Figura 4.3.7-1 Cimentación tipología Pórticos Acartelados.....	80
Figura 4.3.7-2 Momentos en apoyos de Pórticos Acartelados.....	80
Figura 4.4.1-1 Detalle nudo articulado	81
Figura 4.4.2-1 Cuadro exportación a CYPE 3D	81
Figura 4.4.2-2 Geometría inicial tipología Pórticos de Sección Variable.....	82
Figura 4.4.3-1 Apoyos de Pórticos de Sección Variable	82
Figura 4.4.4-1 Creación de perfiles PIV	83
Figura 4.4.4-2 PIV 300x15x20.....	83
Figura 4.4.4-3 Perfil de cabio de cubierta.....	84
Figura 4.4.4-4 Vista 3D tipología Pórtico de Sección Variable.....	84
Figura 4.4.6-1 Menú pandeo lateral CYPE 3D.....	87
Figura 4.4.6-2 Pandeo lateral en cabios de cubierta.....	87
Figura 4.4.6-3 Detalle arriostamiento cabios con correas.....	87
Figura 4.4.8-1 Resultado primero del cálculo Pórticos de Sección Variable.....	88
Figura 4.4.8-2 E.L.U. del primer tramo de cabios de cubierta.....	88
Figura 4.4.8-3 Pilares de esquina.....	89
Figura 4.4.8-4 Deformada según la hipótesis V2 (90°)	89
Figura 4.4.8-5 Resultado de final perfiles tipología Pórticos de Sección Variable	90
Figura 4.4.8-6 Aprovechamiento resistencia pilares esquina.....	90
Figura 4.4.8-7 Render final tipología Pórticos de Sección Variable	91

Figura 4.4.8-8 Pórtico final tipología Pórticos de Sección Variable	92
Figura 4.4.9-1 Zapata Pórticos de Sección Variable	93
Figura 4.5.2-1 Listado informe CYPE 3D	95
Figura 4.5.4-1 3D de E.L.U. tipología cercha	97
Figura 4.5.4-2 Graficas en pilar de cercha.	98
Figura 4.5.4-3 3D de E.L.U. tipología Pórticos Acartelados	99
Figura 4.5.4-4 Graficas en pilar de Pórticos Acartelados	100
Figura 4.5.4-5 3D de E.L.U. tipología Pórticos de Sección Variable	101
Figura 4.5.4-6 Graficas en pilar de Pórticos de Sección Variable	102
Figura 5.1.1-1 Diagrama axiles Cercha	104
Figura 5.1.1-2 Diagramas cortantes Cercha	104
Figura 5.1.1-3 Diagramas momentos Cercha	105
Figura 5.1.1-4 Tabla esfuerzos Cercha	105
Figura 5.1.1-5 Resumen tipos perfiles y gráficas en cercha	106
Figura 5.1.1-6 Desplazamiento cumbrera en Cercha.....	106
Figura 5.1.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en cerchas	107
Figura 5.1.2-2 Características mecánicas del perfil HEB-300.....	107
Figura 5.2.1-1 Diagrama axiles Pórticos Acartelados	113
Figura 5.2.1-2 Diagrama cortantes Pórticos Acartelados.....	113
Figura 5.2.1-3 Diagrama momentos Pórticos Acartelados.....	113
Figura 5.2.1-4 Tabla esfuerzos Pórticos Acartelados.....	114
Figura 5.2.1-5 Resumen tipos perfiles y gráficas en Pórticos Acartelados	114
Figura 5.2.1-6 Desplazamiento cumbrera en Pórticos Acartelados	115
Figura 5.2.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en Pórticos Acartelados.....	115
Figura 5.2.2-2 Características mecánicas del perfil HEB-550.....	116
Figura 5.3.1-1 Diagrama axiles Pórticos de Sección Variable	119
Figura 5.3.1-2 Diagrama cortantes Pórticos de Sección Variable.....	119
Figura 5.3.1-3 Diagrama momentos Pórticos de Sección Variable.....	119
Figura 5.3.1-4 Resumen tipos perfiles y gráficas en Pórticos de Sección Variable	120
Figura 5.3.1-5 Desplazamiento cumbrera en Pórticos de Sección Variable	121
Figura 5.3.1-6 Deformada e isovalores en Pórticos de Sección Variable	121
Figura 5.3.2-1 Gráficas de esfuerzos de pilares en Pórticos de Sección Variable	122
Figura 5.3.2-2 PIV 300x15x20.....	122
Figura 11-1 Cerchas antes de ser pintadas	162
Figura 11-2 Pilares antes de ser pintados.....	162
Figura 11-3 Montaje de la cubierta.....	163
Figura 11-4 Montaje de la cubierta.....	163
Figura 11-5 Detalle unión cercha	164
Figura 11-6 Detalle pilares	164
Figura 11-7 Conjunto de cerchas	164
Figura 11-8 Vista exterior	164
Figura 11-9 Nave construida	165

10.1. Índice de tablas

Tabla 2.3.1-1 Cumplimiento de planeamiento.....	16
Tabla 2.4-1 Cuadro de superficies útiles.....	19
Tabla 2.4-2 Cuadro de superficies.....	19
Tabla 2.5.1-1 Tipos de acero corrugado.....	20
Tabla 2.5.2-1 Características mecánicas de los aceros.....	21
Tabla 2.5.3-1 Característica mecánicas de los tornillos, tuercas y arandelas.....	21
Tabla 2.5.6-1 Características panel de cubierta.....	26
Tabla 2.5.6-2 Cargas máximas panel de cubierta biapoyado.....	27
Tabla 3.2.1-1 Peso de cubierta.....	34
Tabla 3.3.1-1 Valores característicos de sobrecargas de uso.....	34
Tabla 3.3.2-1 Tabla D3 del DB SE-AE.....	36
Tabla 3.3.3-1 Incremento de temperatura debido a la radiación solar.....	37
Tabla 3.3.4-1 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas.....	38
Tabla 3.5.1-1 Coeficientes parciales de seguridad γ_Q para las acciones.....	42
Tabla 3.5.1-2 Tabla de coeficientes de simultaneidad ψ	43
Tabla 4.2.4-1 Perfiles iniciales de la tipología cercha.....	57
Tabla 4.2.7-1 Perfiles finales tipología cercha.....	66
Tabla 4.3.3-1 Perfiles iniciales tipología Pórticos Acartelados.....	74
Tabla 4.3.6-1 Resultado de final perfiles tipología Pórticos Acartelados.....	77
Tabla 4.4.4-1 Perfiles iniciales tipología Pórtico de Sección Variable.....	84
Tabla 4.4.6-1 Coeficientes de momentos equivalentes.....	86
Tabla 4.5.1-1 Comparativa de perfiles entre tipologías.....	94
Tabla 5.1.2-1 Valores de coeficientes de pandeo.....	110
Tabla 5.1.2-2 Coeficientes de interacción.....	111
Tabla 5.1.2-3 Coeficientes de momentos equivalentes.....	112

11. FOTOGRAFIAS



Figura 11-1 Cerchas antes de ser pintadas



Figura 11-2 Pilares antes de ser pintados



Figura 11-3 Montaje de la cubierta



Figura 11-4 Montaje de la cubierta



Figura 11-6 Detalle pilares



Figura 11-5 Detalle unión cercha



Figura 11-7 Conjunto de cerchas



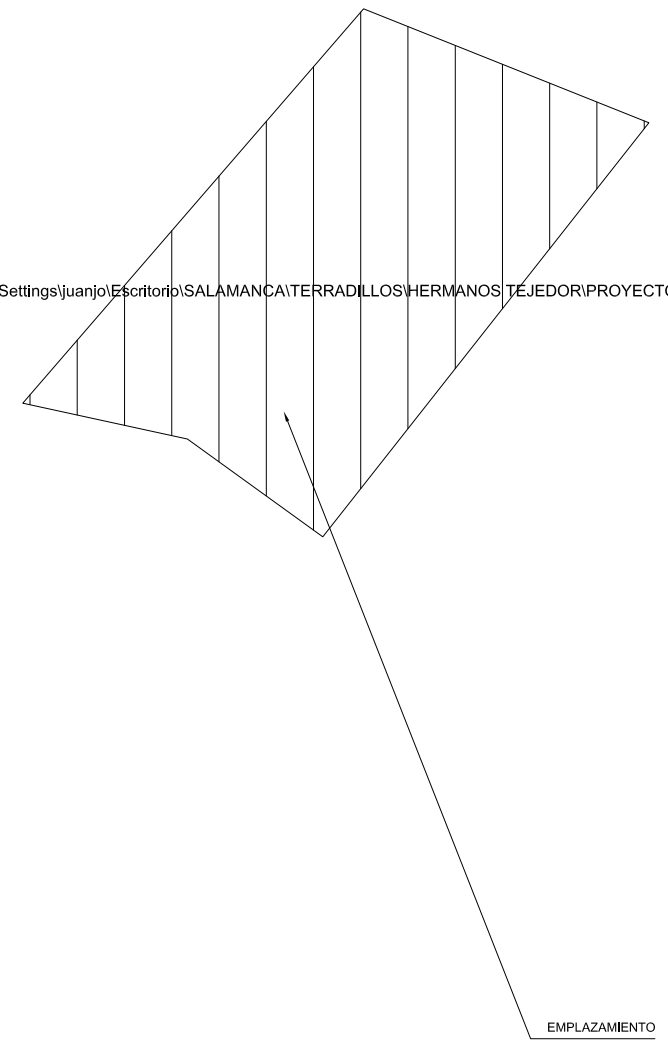
Figura 11-8 Vista exterior



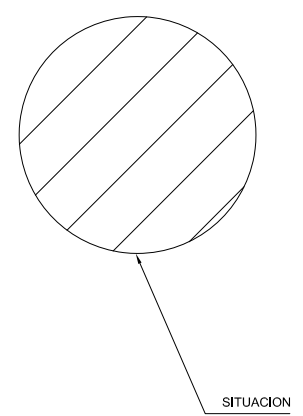
Figura 11-9 Nave construida

12. PLANOS

C:\Documents and Settings\juanjo\Escritorio\SALAMANCA\TERRADILLOS\HERMANOS TEJEDOR\PROYECTO\emplazamiento.jpg



C:\Documents and Settings\juanjo\Escritorio\SALAMANCA\TERRADILLOS\HERMANOS TEJEDOR\PROYECTO\situacion.jpg



PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS

O DE PERFILES DE SECCIÓN VARIABLE

FEBRERO DE 2019

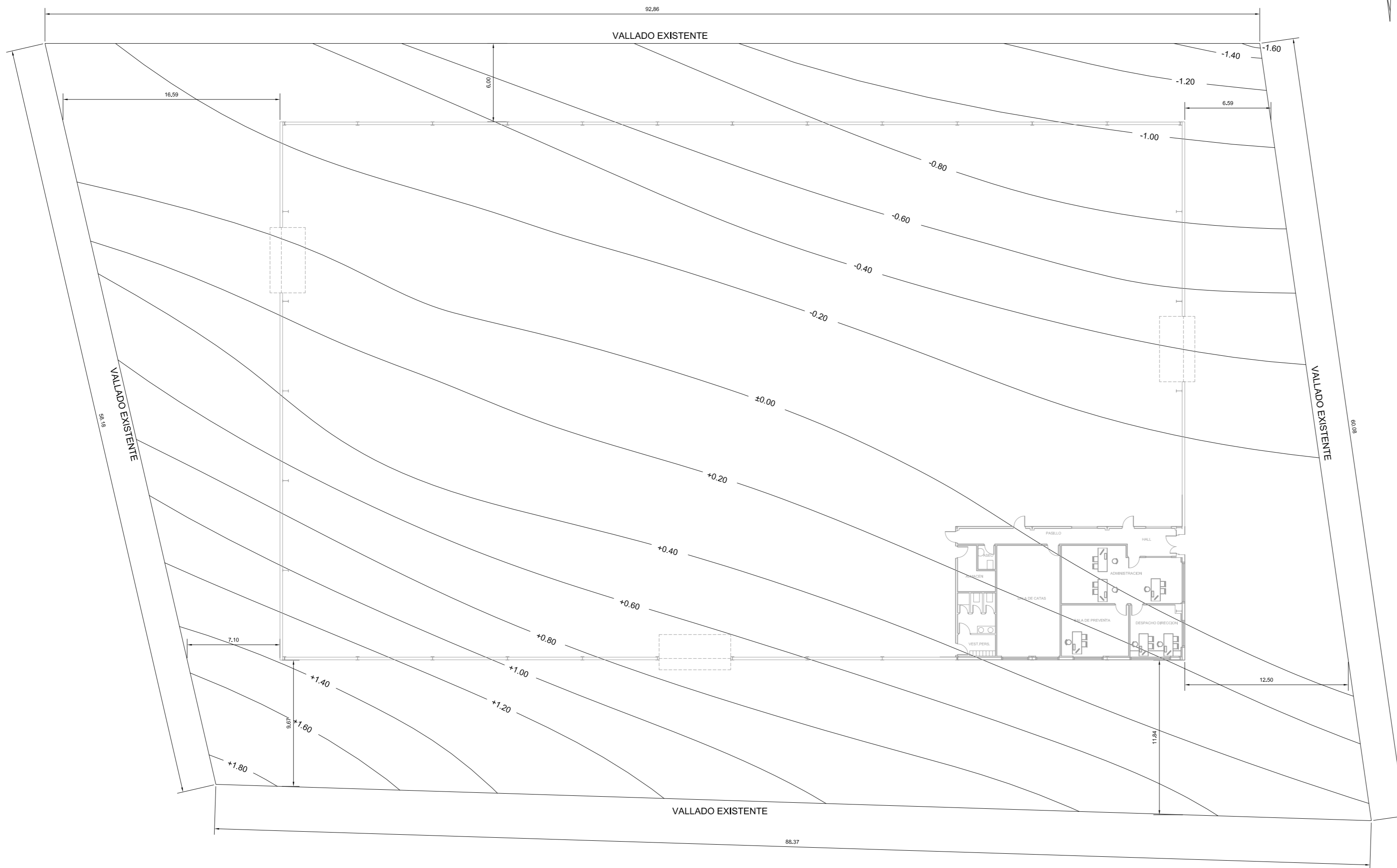
1361

OBSERVACIONES

SITUACION Y EMPLAZAMIENTO

E: s/n

TUTOR I D. Antón Lorenzana Iban
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



CARRETERA AUTONOMICA C-510

SUP. PARCELA: 5,247,00 m2
 SUP. OCUPADA: 2.848,11 m2
 SUP. EDIFICADA: 2.848,11 m2
 SUP. A URBANIZAR: 2.398,89 m2

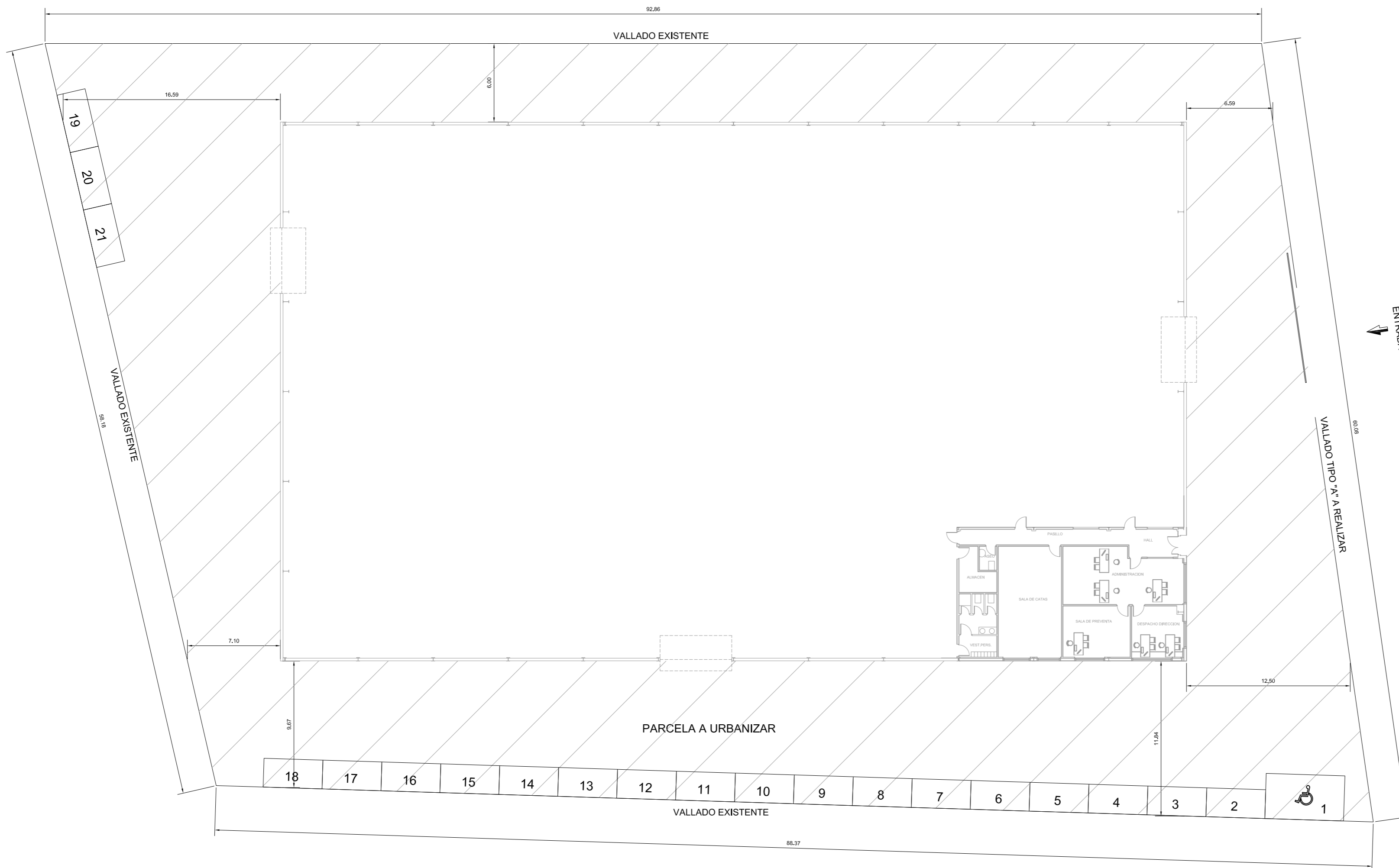
PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN
 FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS
 O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019

TOPOGRAFICO
 TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez

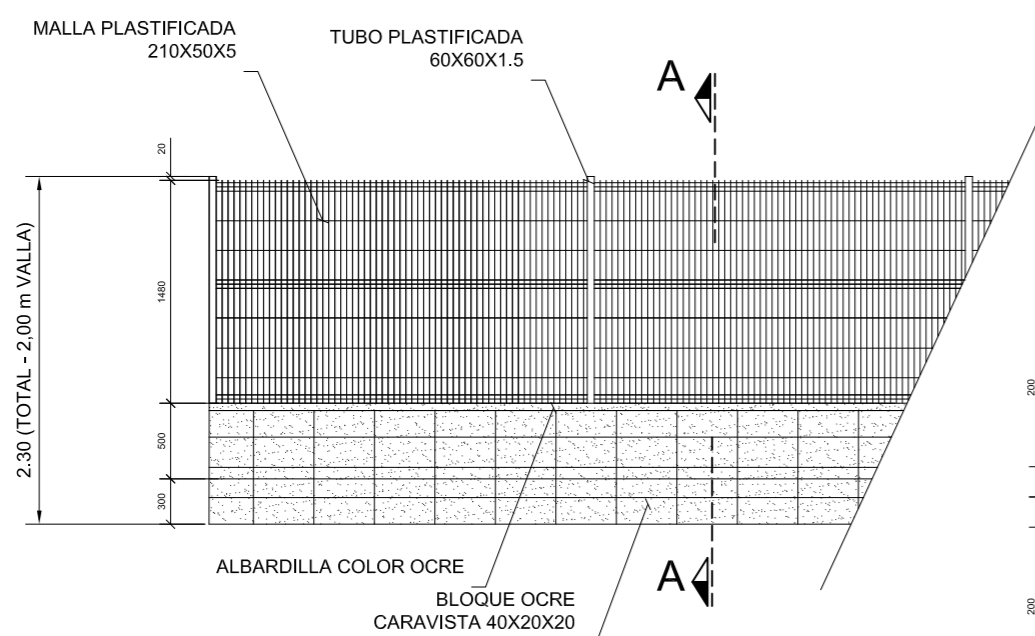
1361 OBSERVACIONES
 E: 1/250

02

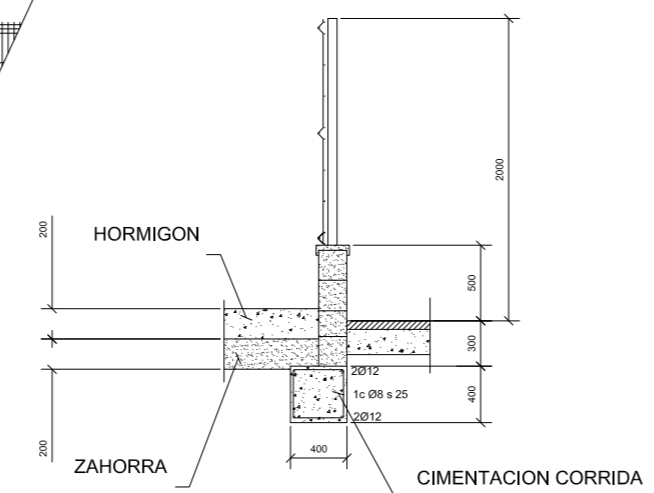




CARRETERA AUTONOMICA C-510



DETALLE VALLA TIPO "A"
Escala: 1/50



SECCION A-A
Escala: 1/50

SUP. PARCELA: 5,247,00 m2
 SUP. OCUPADA: 2.848,11 m2
 SUP. EDIFICADA: 2.848,11 m2
 SUP. A URBANIZAR: 2.398,89 m2

PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019

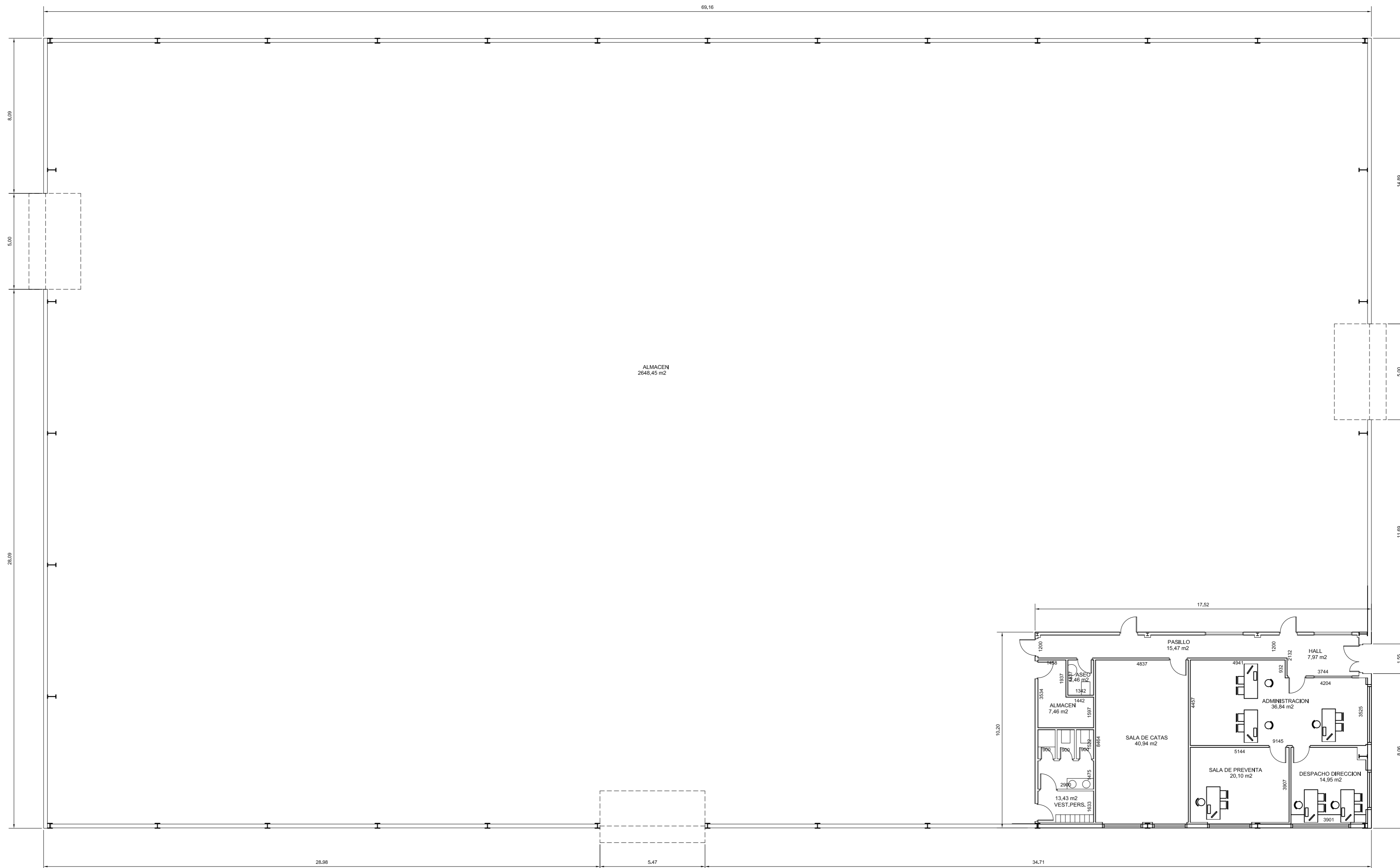
URBANIZACION PARCELA

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez

1361

E: 1/250

OBSERVACIONES



SUP. PARCELA: 5.247,00 m2
 SUP. OCUPADA: 2.848,11 m2
 SUP. EDIFICADA: 2.848,11 m2
 SUP. A URBANIZAR: 2.398,89 m2

PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN
 FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS
 O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019

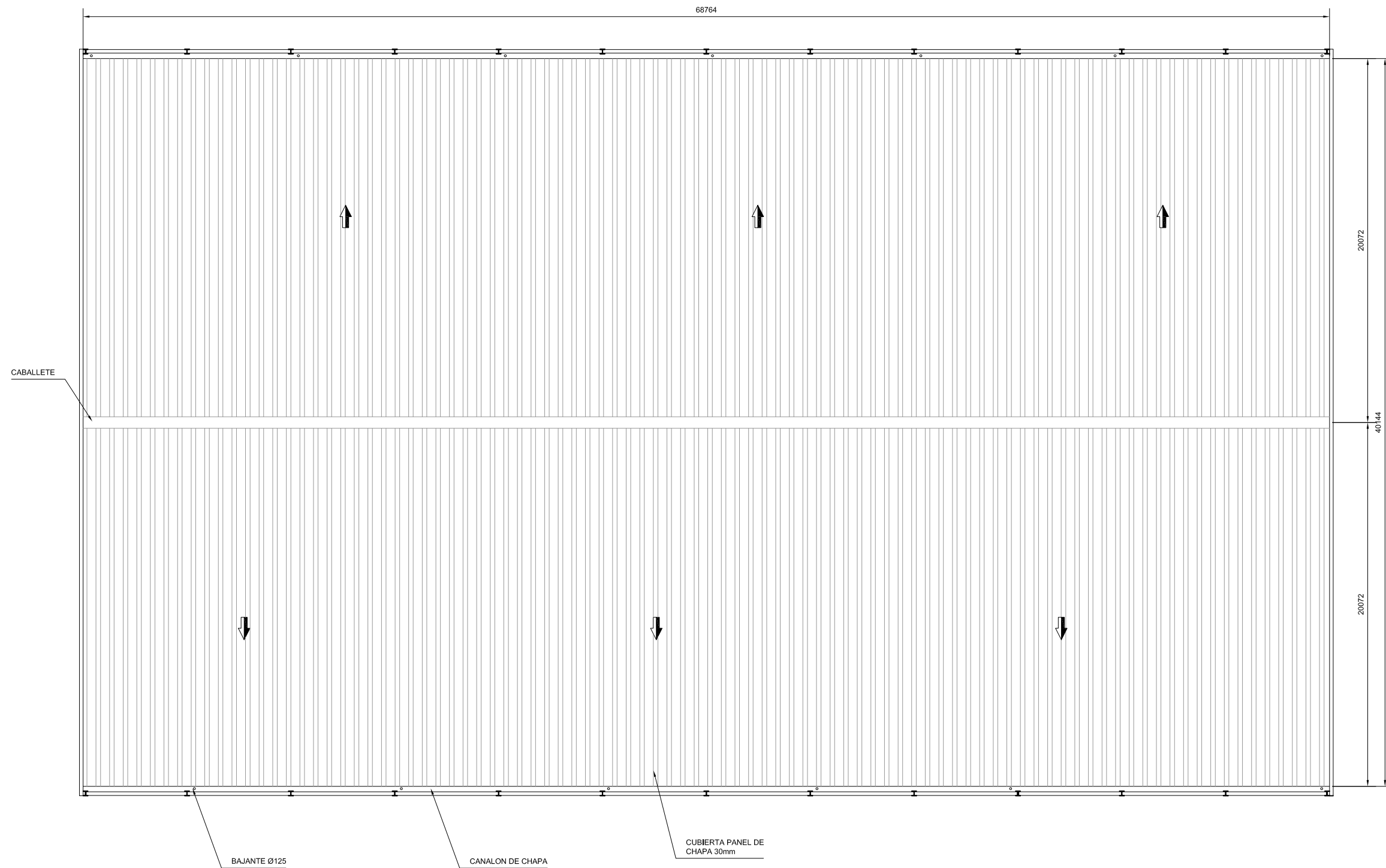
PLANTA DE DISTRIBUCION

1361

OBSERVACIONES

E: 1/150

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Ibañ
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN
 FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS
 O DE PERFILES DE SECCIÓN VARIABLE

FEBRERO DE 2019

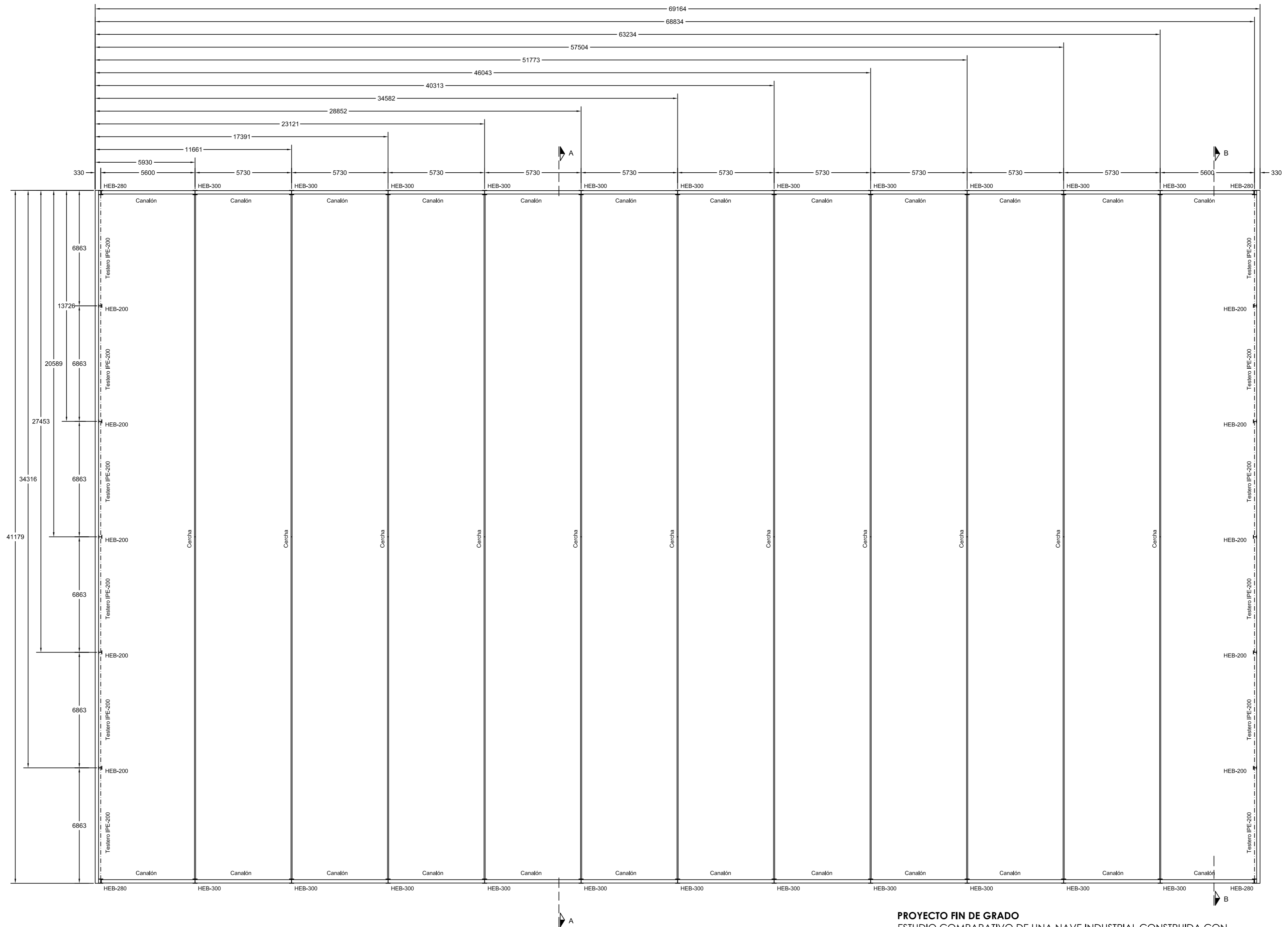
1361

OBSERVACIONES

PLANTA DE CUBIERTAS

E: 1/250

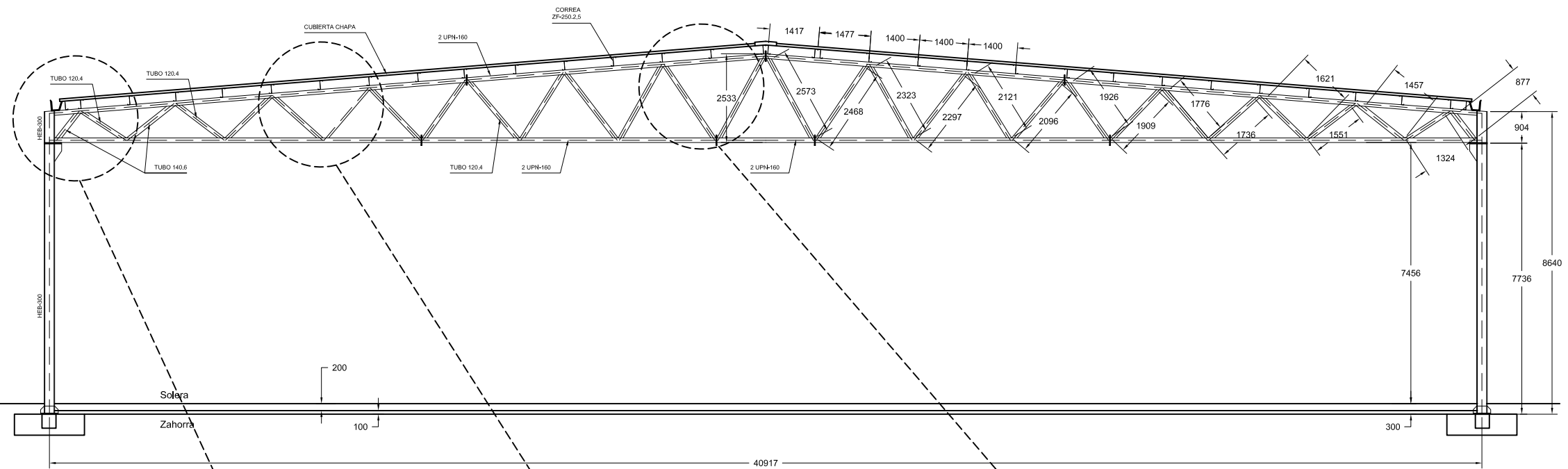
TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



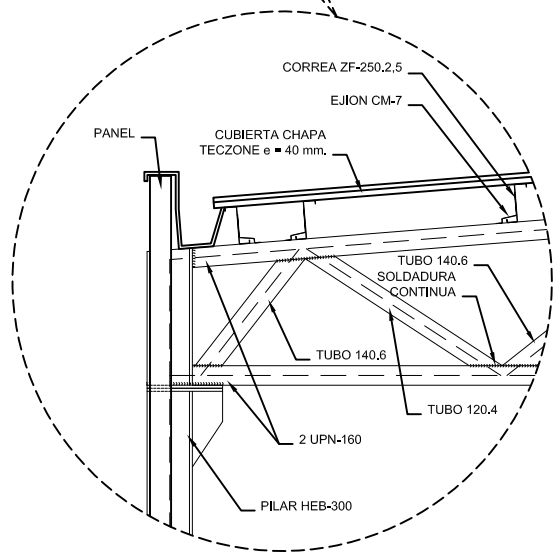
PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON
 CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS
 FEBRERO DE 2019 1361 OBSERVACIONES
 CERCHA
 PLANTA ESTRUCTURA NAVE E: 1/150

TUTOR I D. Antón Lorenzana Ibañ
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez

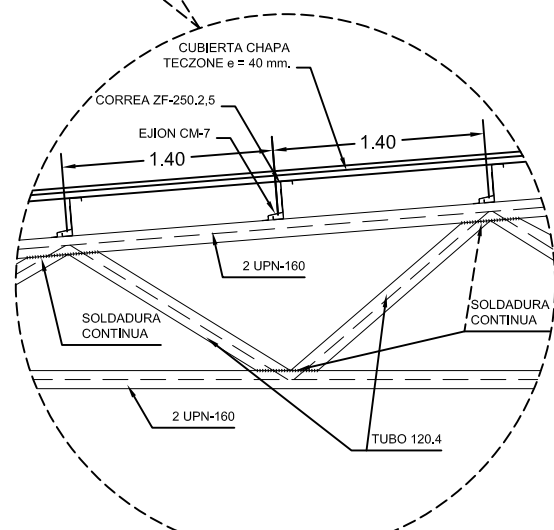




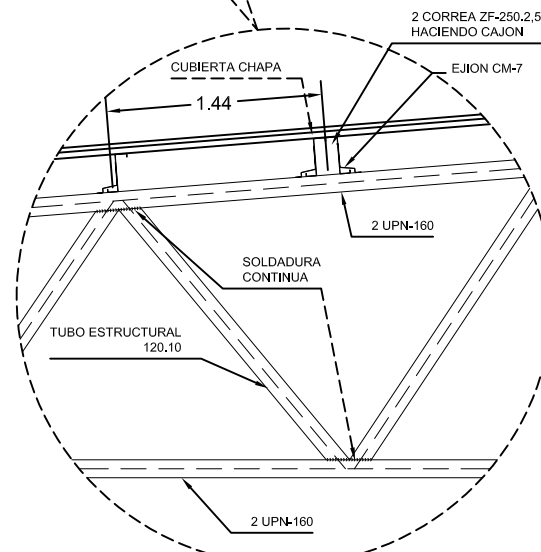
SECCION A-A
Escala: 1/150



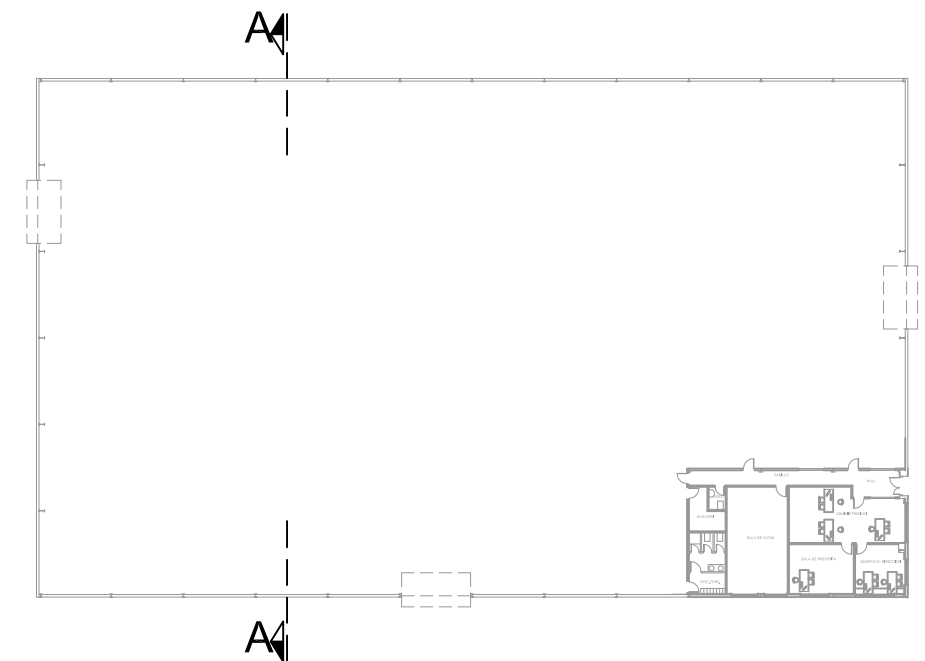
DETALLE ALZADO
Escala: 1/50



DETALLE
Escala: 1/50



DETALLE
Escala: 1/50



PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS

FEBRERO DE 2019

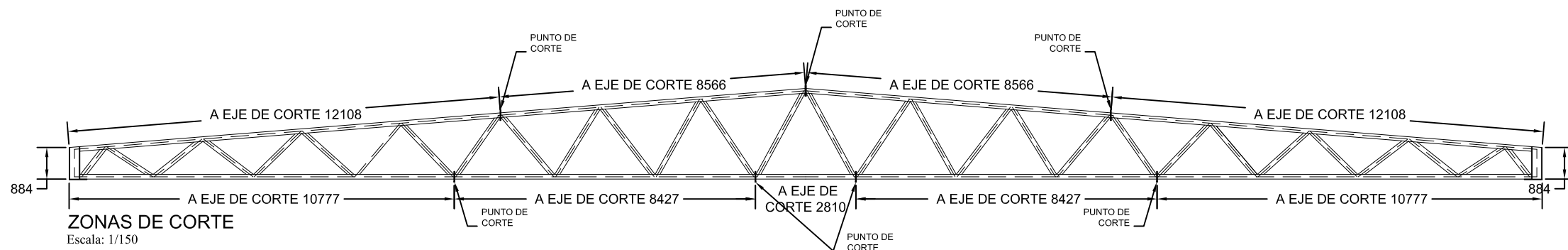
1361

OBSERVACIONES

CERCHA
PORTICO CENTRAL

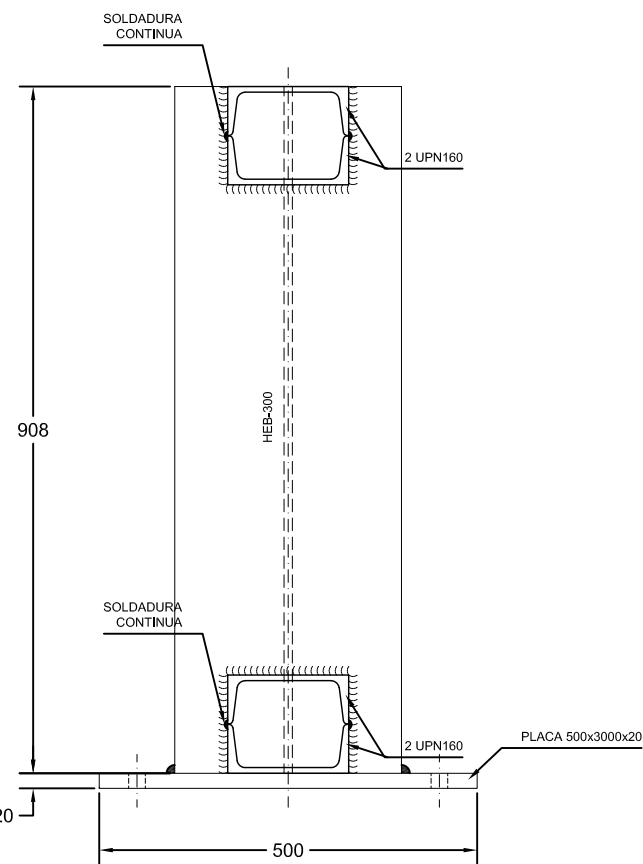
E: 1/150

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



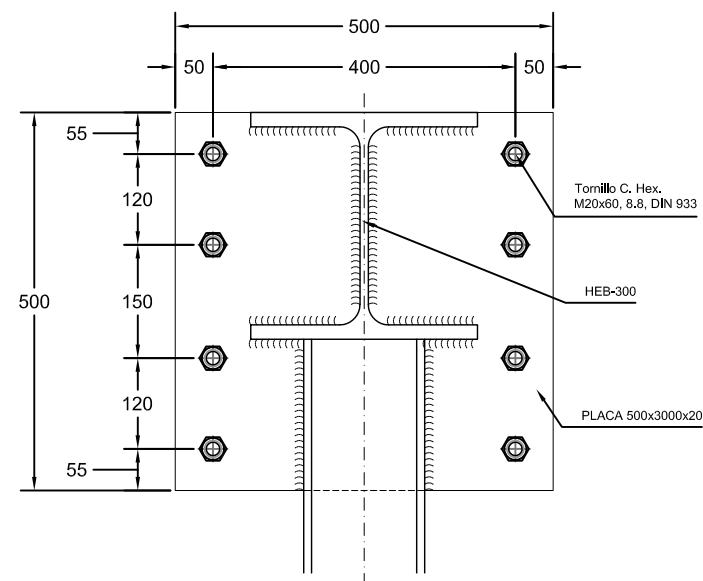
ZONAS DE CORTE

Escala: 1/150



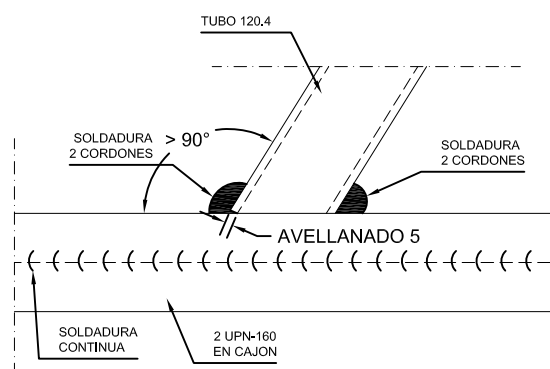
ALZADO DETALLE CABEZA CERCHA

Escala: 1/10



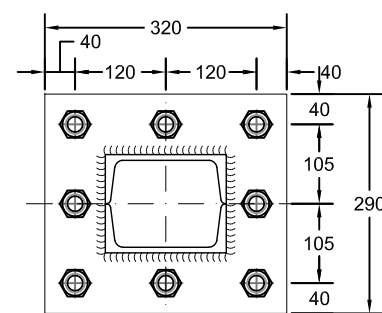
PLANTA DETALLE CABEZA CERCHA

Escala: 1/10



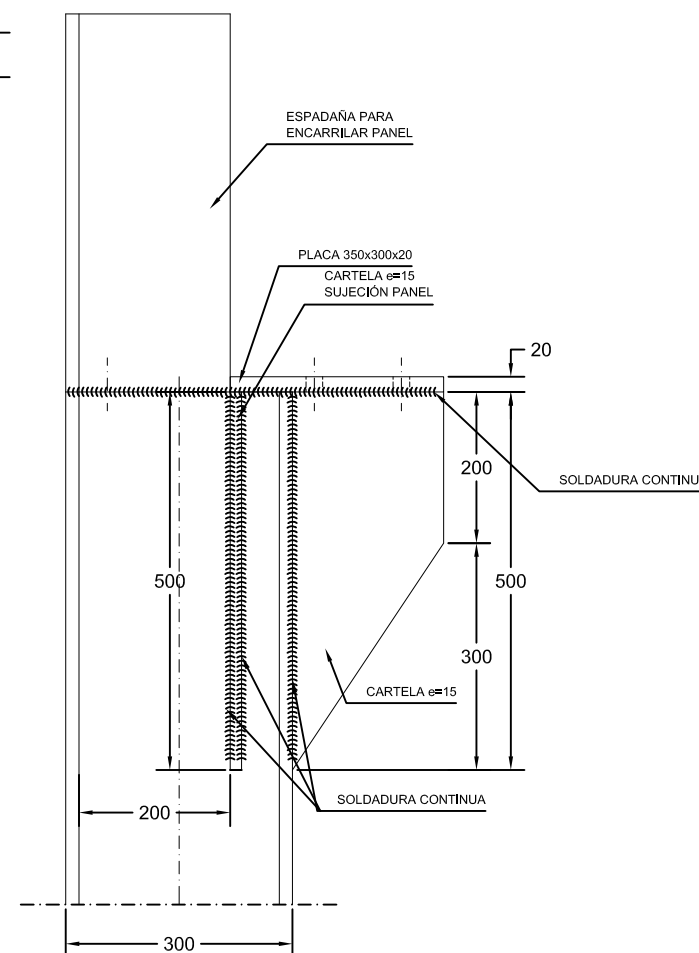
DETALLE SOLDADURA CERCHA

Escala: 1/10



DETALLE PLACA ZONA CORTE

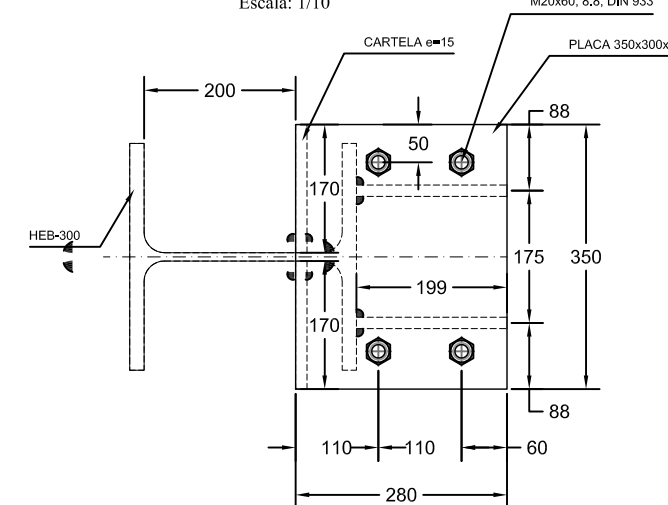
Escala: 1/10



ALZADO DETALLE CABEZA PILAR

Escala: 1/10

Tomillo C. Hex. M20x60, 8.8, DIN 933



PLANTA DETALLE CABEZA PILAR

Escala: 1/10

PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS

FEBRERO DE 2019

1361

OBSERVACIONES

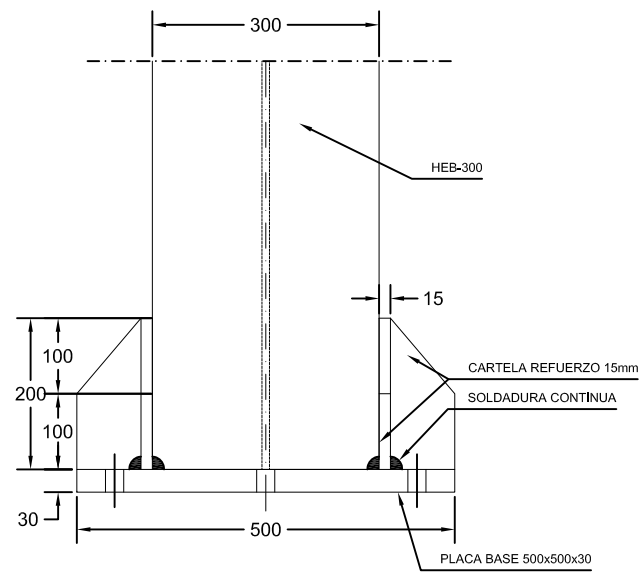
CERCHA

PUNTOS DE CORTE Y DETALLES

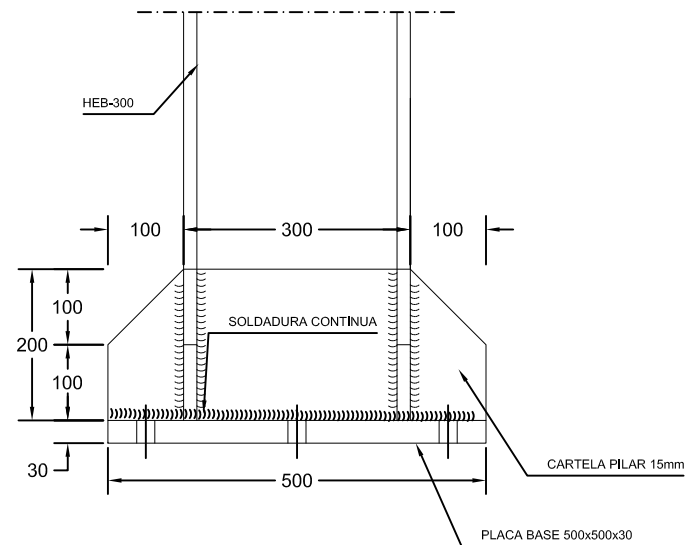
E: 1/150 ; 1/10

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez

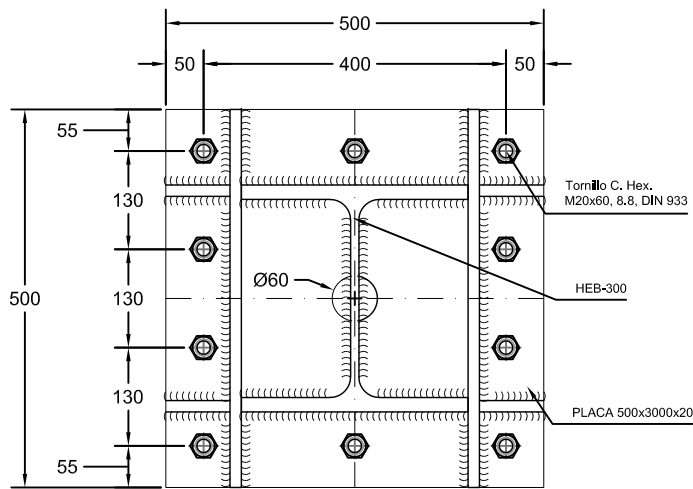
09



ALZADO DETALLE APOYO PILAR
Escala: 1/10

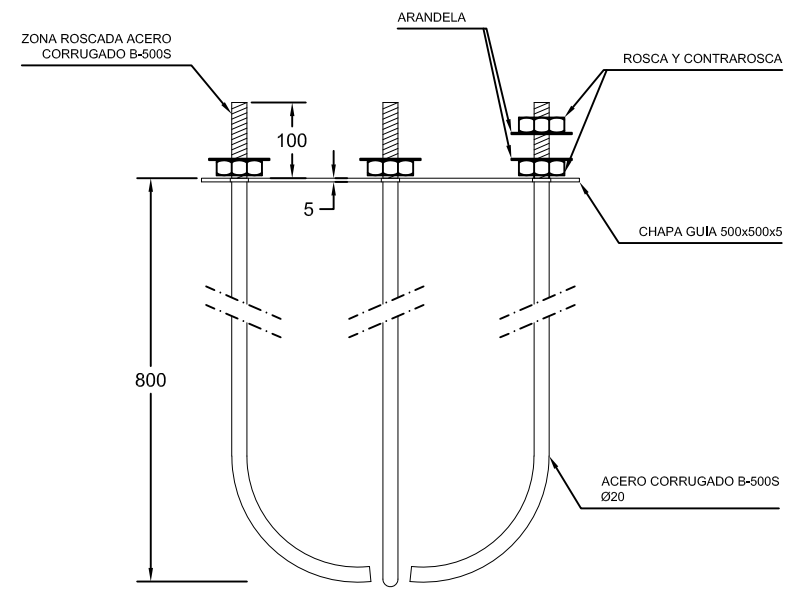


PERFIL DETALLE APOYO PILAR
Escala: 1/10

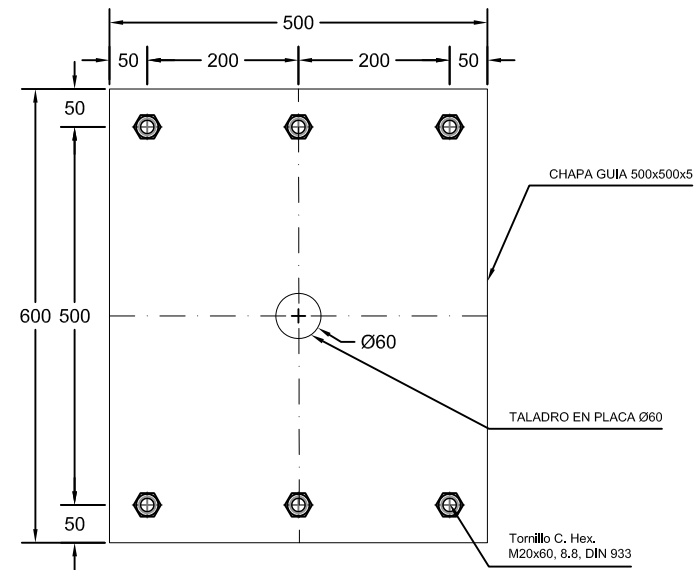


PLANTA DETALLE APOYO PILAR
Escala: 1/10

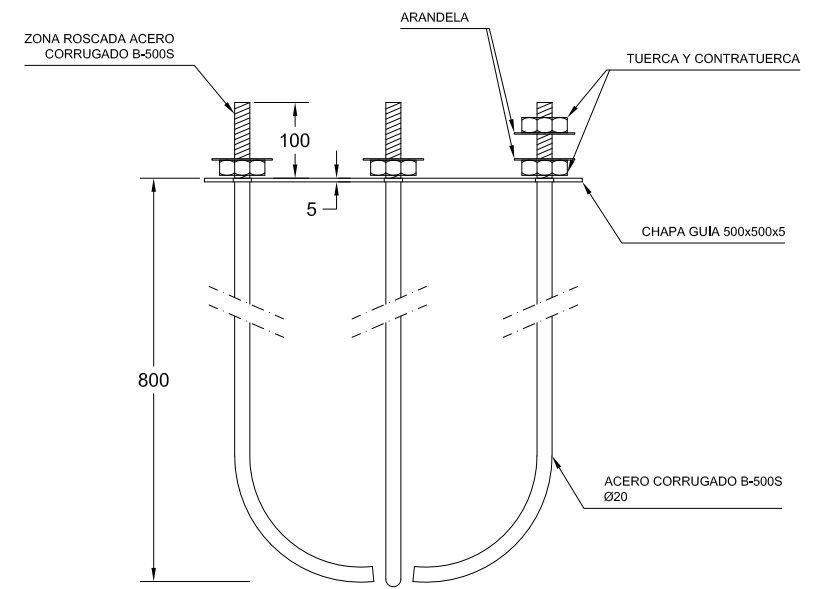
NOTA: TODAS LAS PLACAS DE CIMENTACION
TENDRAN UN AGUJERO DE Ø60



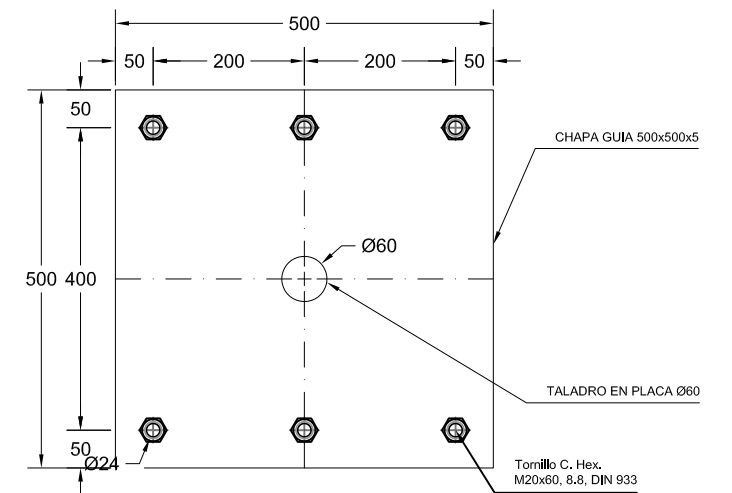
ALZADO DETALLE PLACA CIMENTACION
Escala: 1/10



PLANTA DETALLE PLACA CIMENTACION
PILARES IPE-450
Escala: 1/10



ALZADO DETALLE PLACA CIMENTACION
Escala: 1/10



PLANTA DETALLE PLACA CIMENTACION
PILARES HEB-260
Escala: 1/10

PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON
CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS

FEBRERO DE 2019

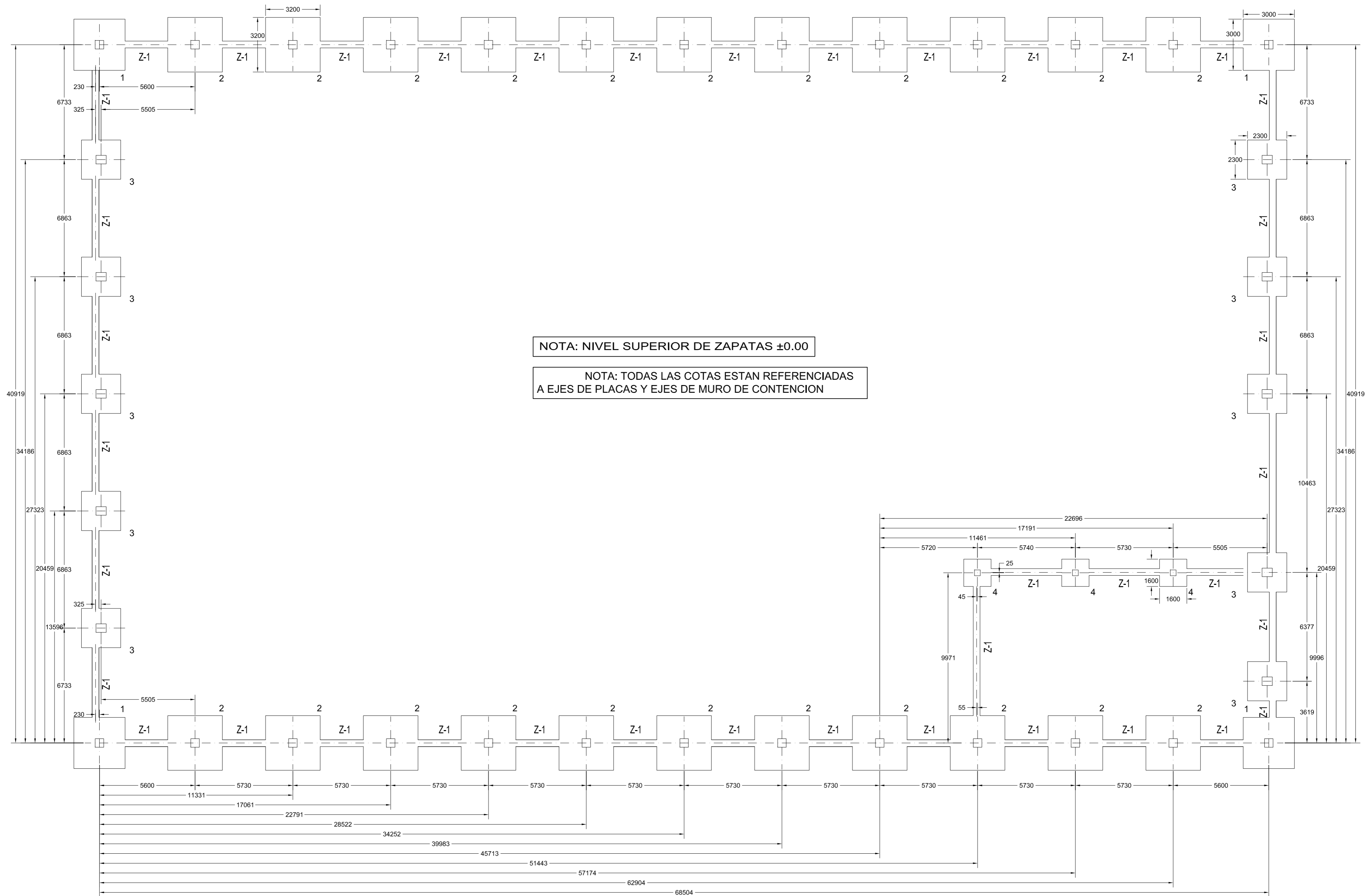
1361

OBSERVACIONES

CERCHA
DETALLES PLACAS DE CIMENTACION

E: 1/10

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Iban
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



NOTA: NIVEL SUPERIOR DE ZAPATAS ±0.00

NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN REFERENCIADAS A EJES DE PLACAS Y EJES DE MURO DE CONTENCION

CIMENTACION
 * HORMIGON * : HA-25/20
 * HGÓN. LIMPIEZA : HL-15/P/30
 * ACERO * : B500S

TENSIÓN ADMISIBLE DEL TERRENO : ≤ 0.2 MPa

CUADRO DE CARACTERISTICAS SEGUN EHE								
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.				
				γ_c	γ_s	γ_m	γ_{Rd}	γ_{Rt}
HORMIGON	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20IIa	NORMAL	1.50			1.50	1.60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL		1.15			

PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS

FEBRERO DE 2019

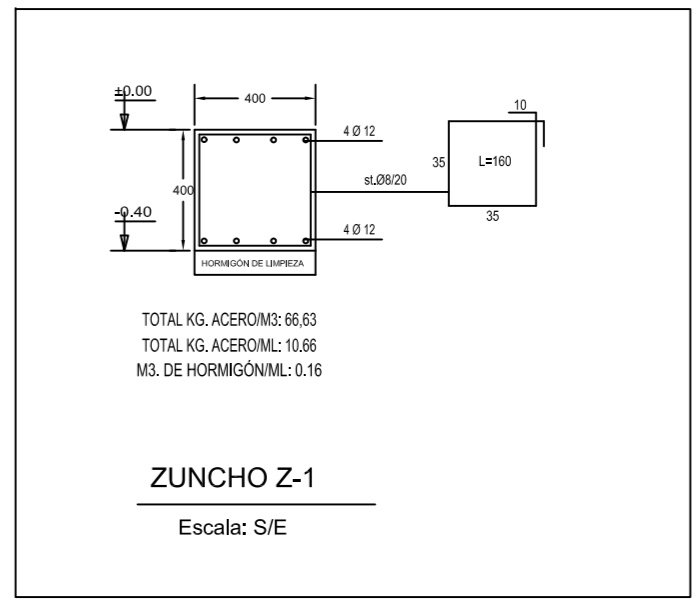
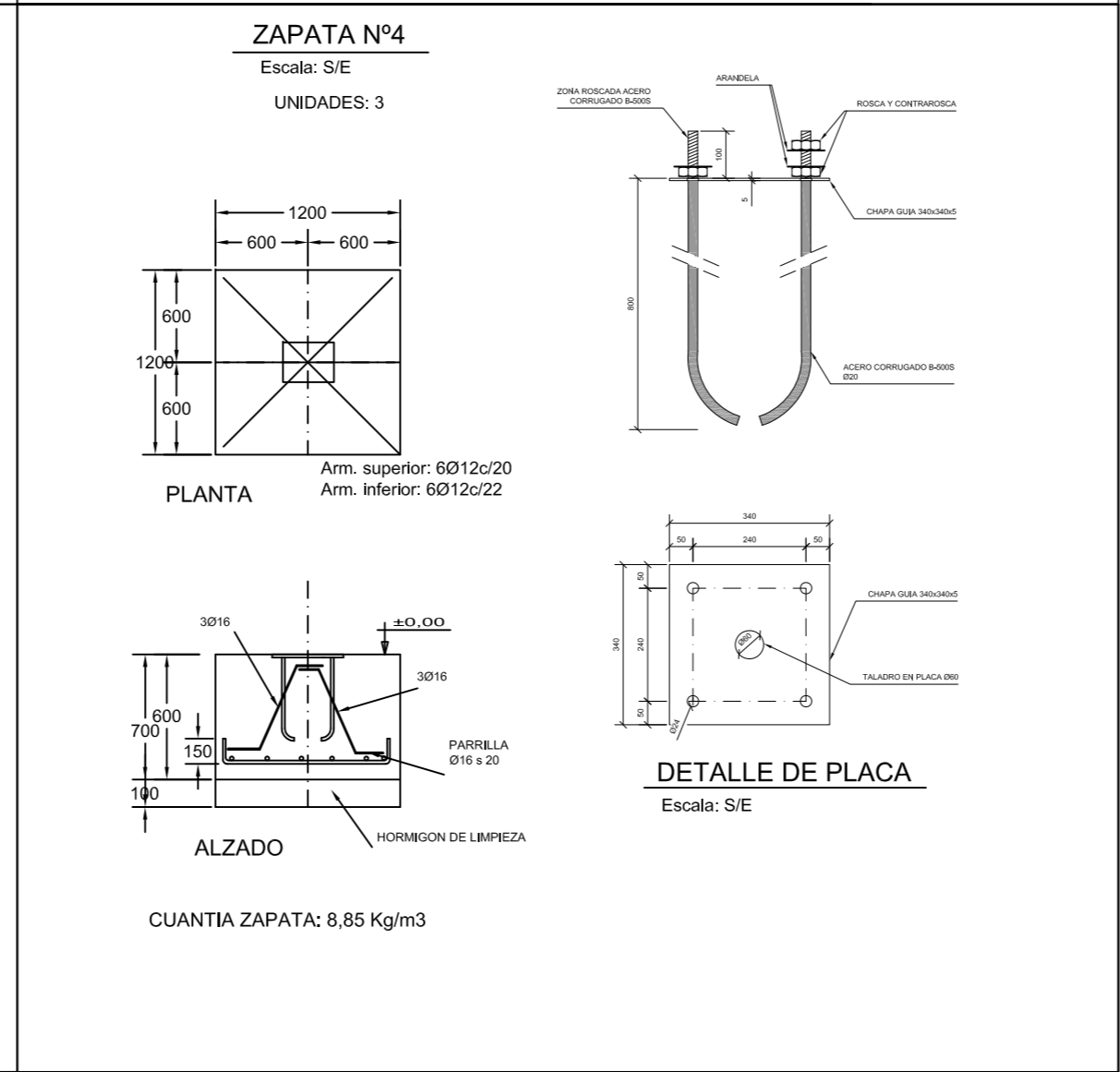
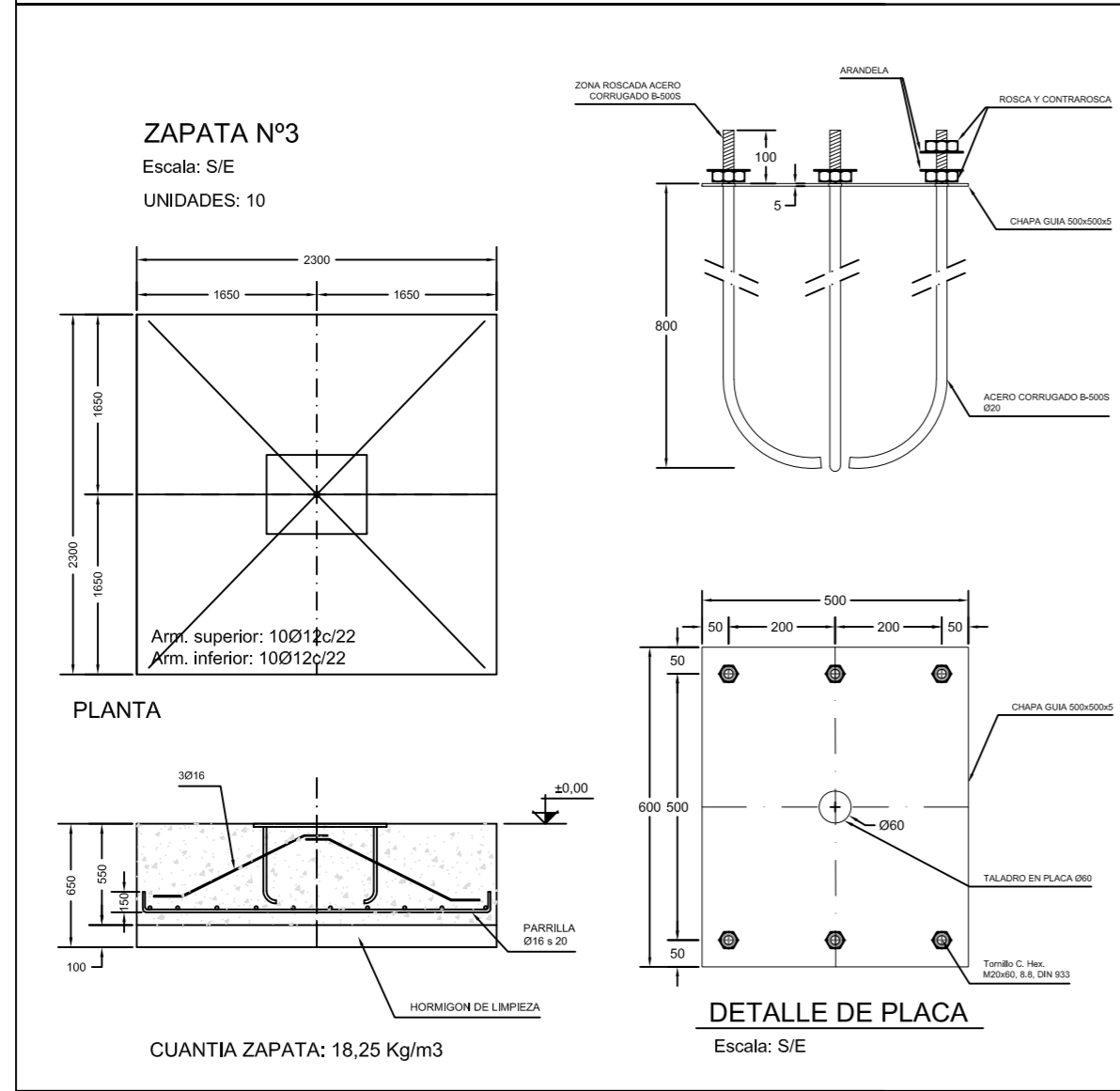
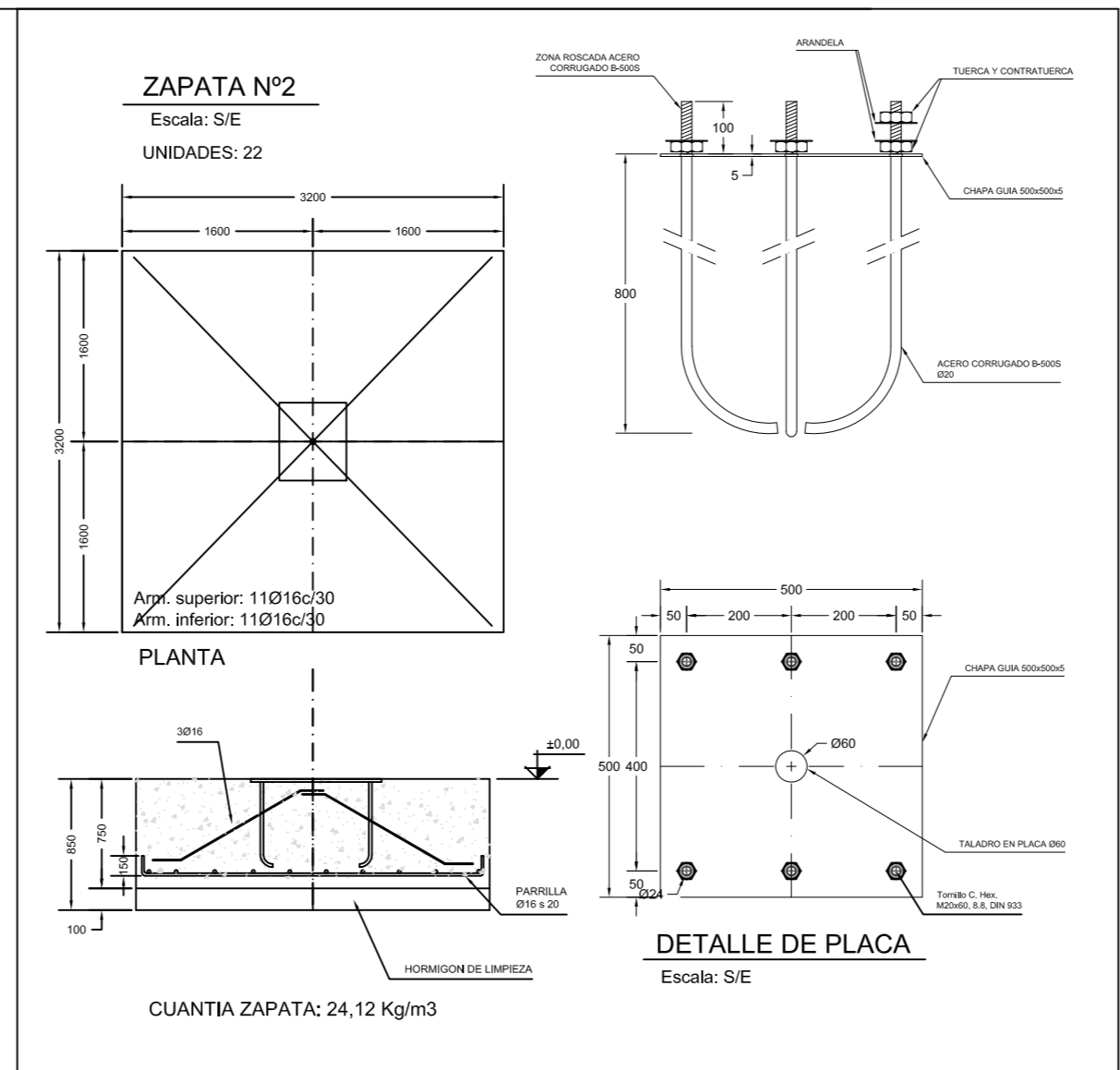
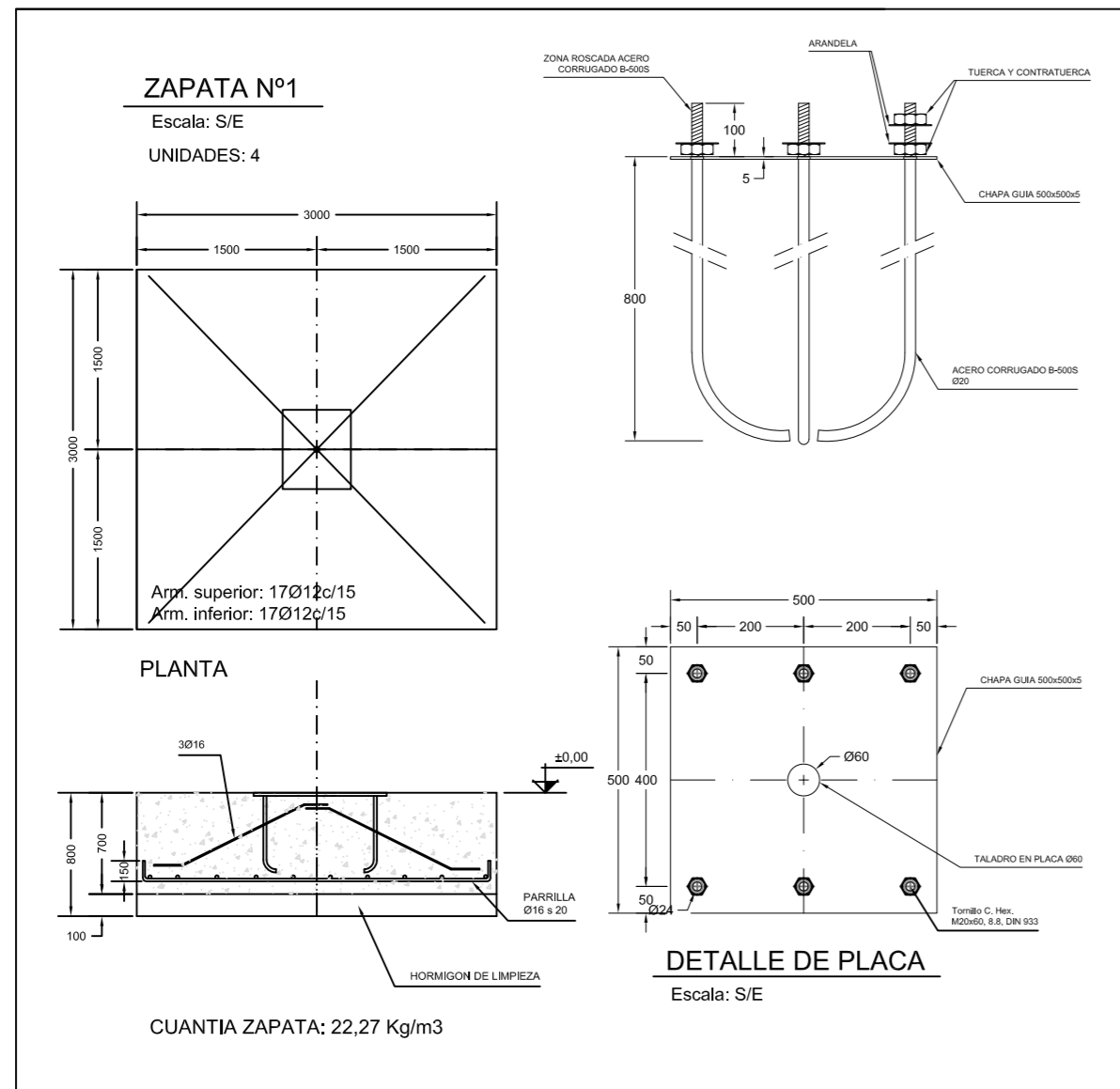
1361

OBSERVACIONES

CERCHA
 PLANTA CIMENTACION

E: 1/150

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Ibañ
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



NOTA: NIVEL SUPERIOR DE ZAPATAS ±0,00

NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN REFERENCIADAS A EJES DE PLACAS Y EJES DE MURO DE CONTENCIÓN

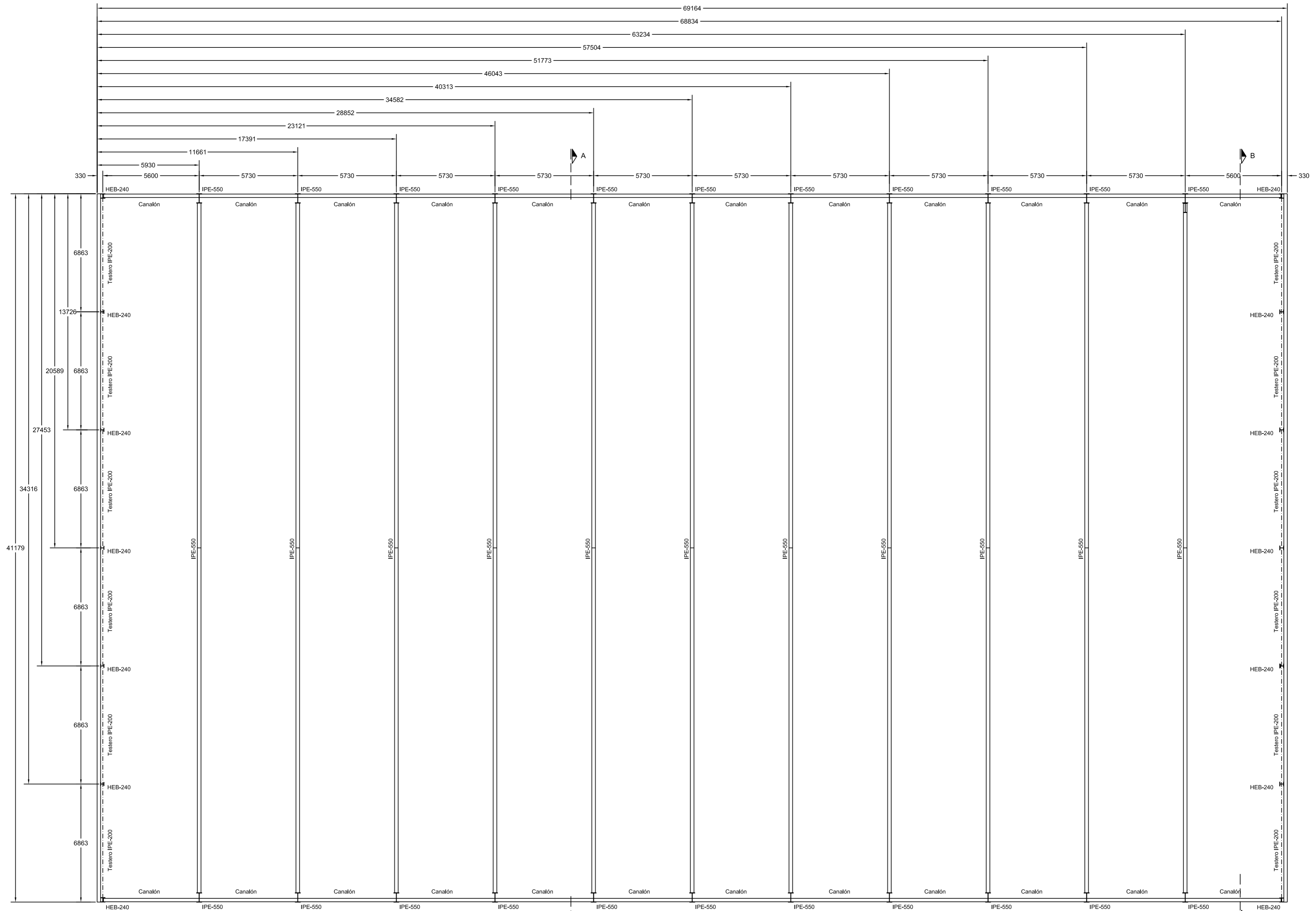
CIMENTACIÓN
* HORMIGÓN : HA-25/20
* H.GÓN. LIMPIEZA : HL-15/P/30
* ACERO : B500S

TENSIÓN ADMISIBLE DEL TERRENO : <=0,2 MPa

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS SEGUN EHE						
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.		
				γ _c	γ _s	γ _m
HORMIGON	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20/1/a	NORMAL	1.50		1.50 1.60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL	1.15		

PROYECTO FIN DE GRADO
ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA NAVE INDUSTRIAL CONSTRUIDA CON CERCHAS, PORTICOS EMPOTRADOS Y PORTICOS ARTICULADOS
FEBRERO DE 2019 1361 OBSERVACIONES
CERCHA
DETALLES DE CIMENTACION E: s/n

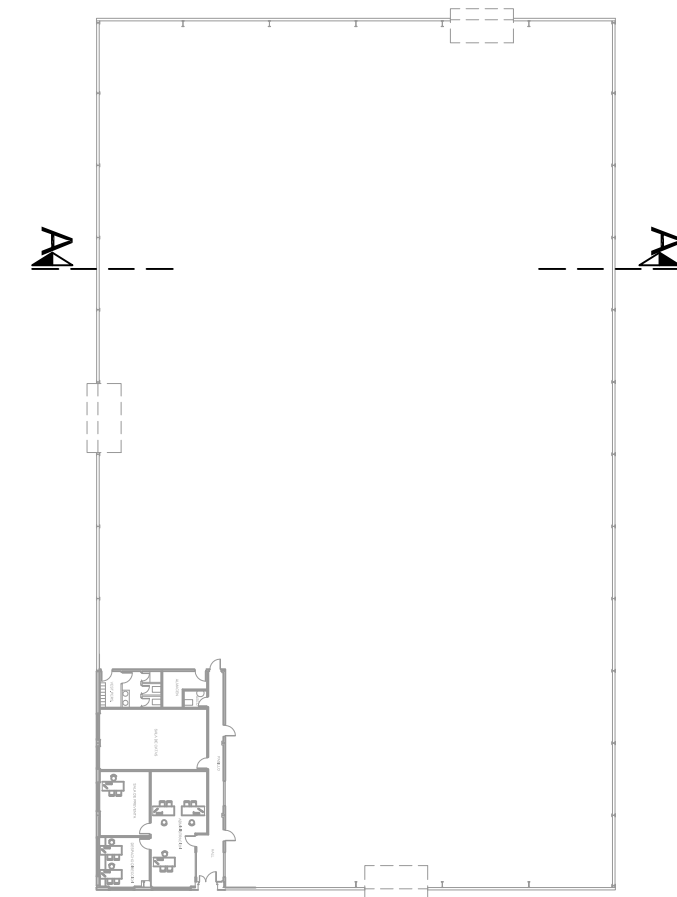
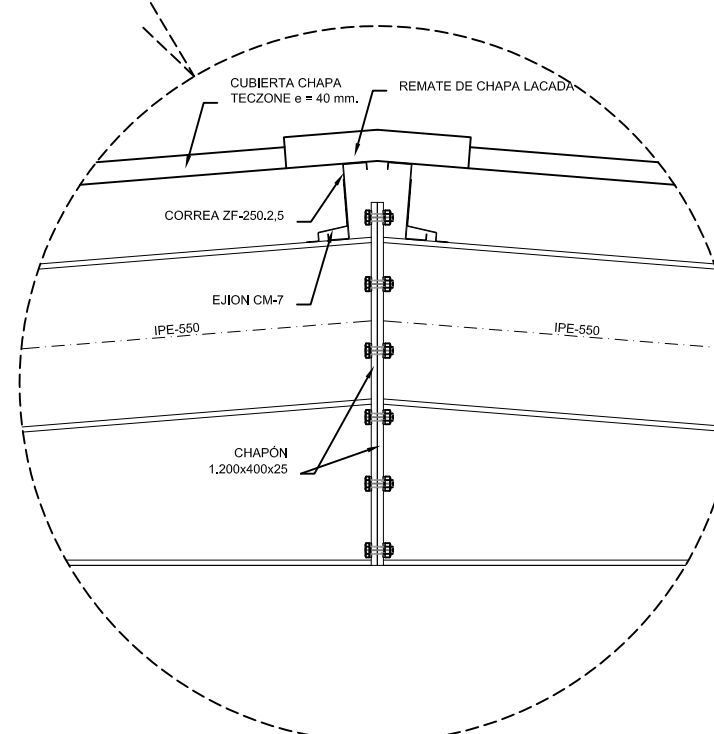
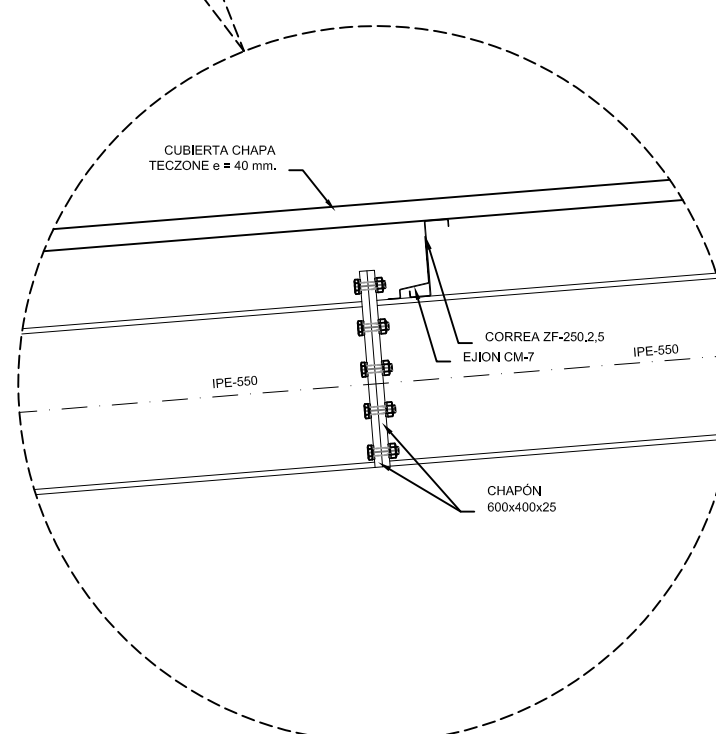
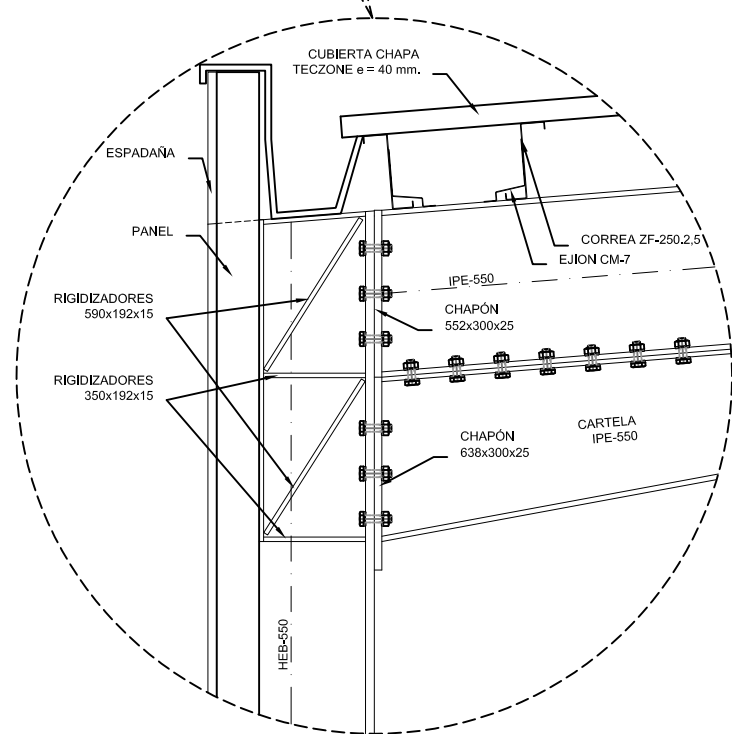
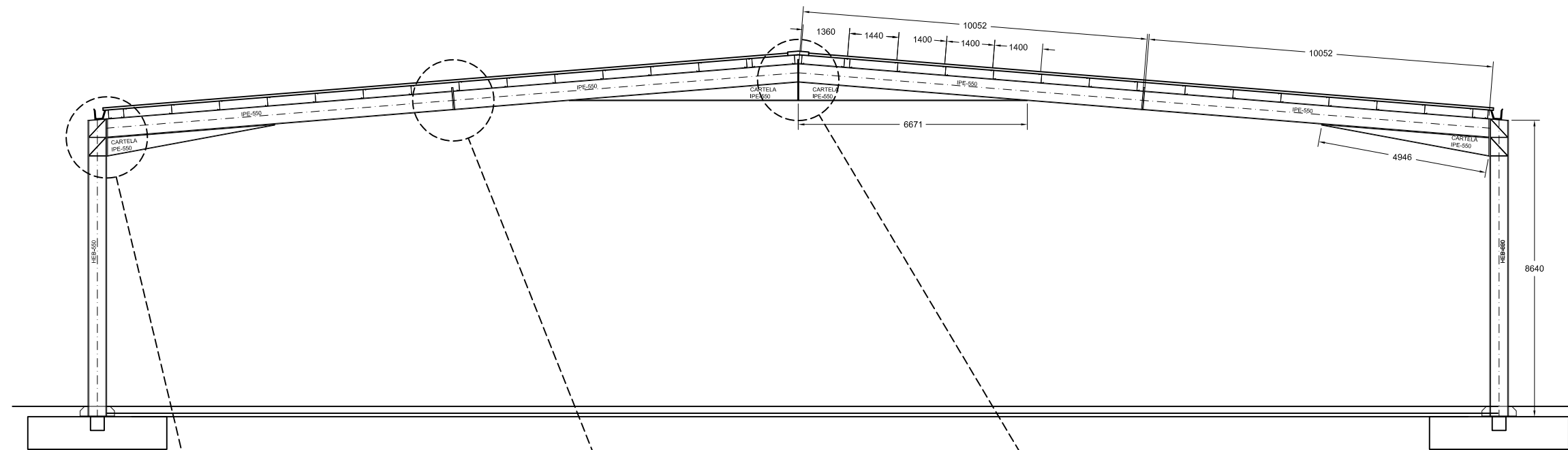
TUTOR I D. Antón Lorenzana Iban
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN
 FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS
 O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019
 PORTICOS EMPOTRADOS
 PLANTA ESTRUCTURA NAVE

1361 OBSERVACIONES
 E: 1/150

TUTOR I D. Antón Lorenzana Iban
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCIÓN VARIABLE

FEBRERO DE 2019

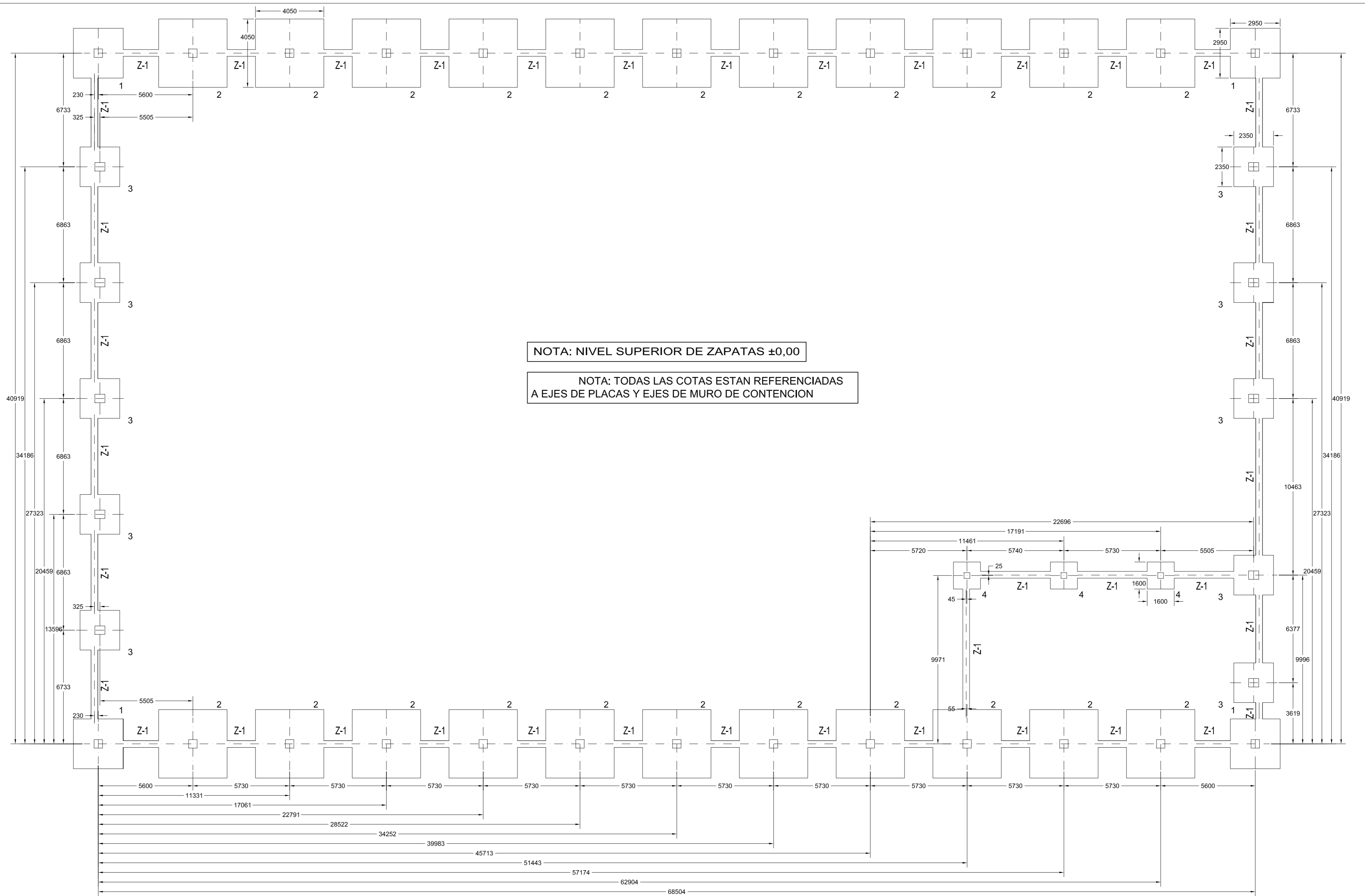
1361

OBSERVACIONES

PORTICOS EMPOTRADOS Y ACARTELADOS
SECCION A-A

E: 1/150

TUTOR | D. Antolín Lorenzana Iban
AUTOR | D. Rubén Valverde Pérez



CIMENTACIÓN
 * HORMIGÓN : HA-25/20
 * HGO. LIMPIEZA : HL-150/P/30
 * ACERO : B500S

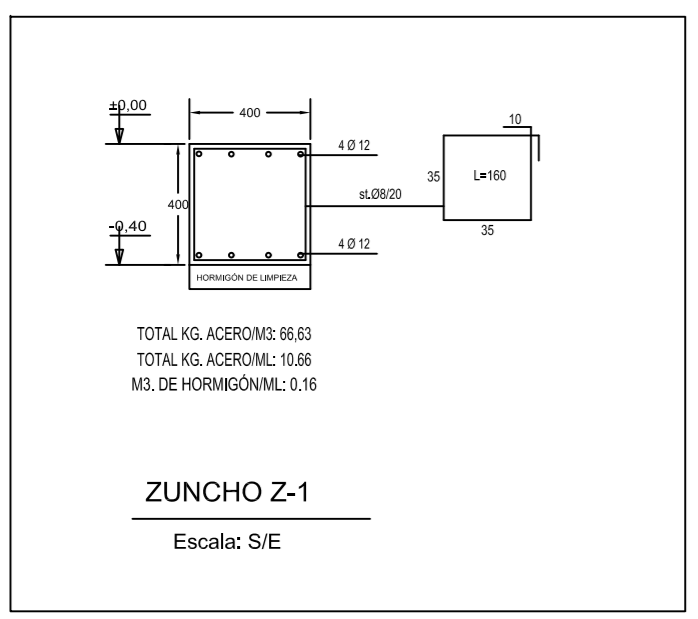
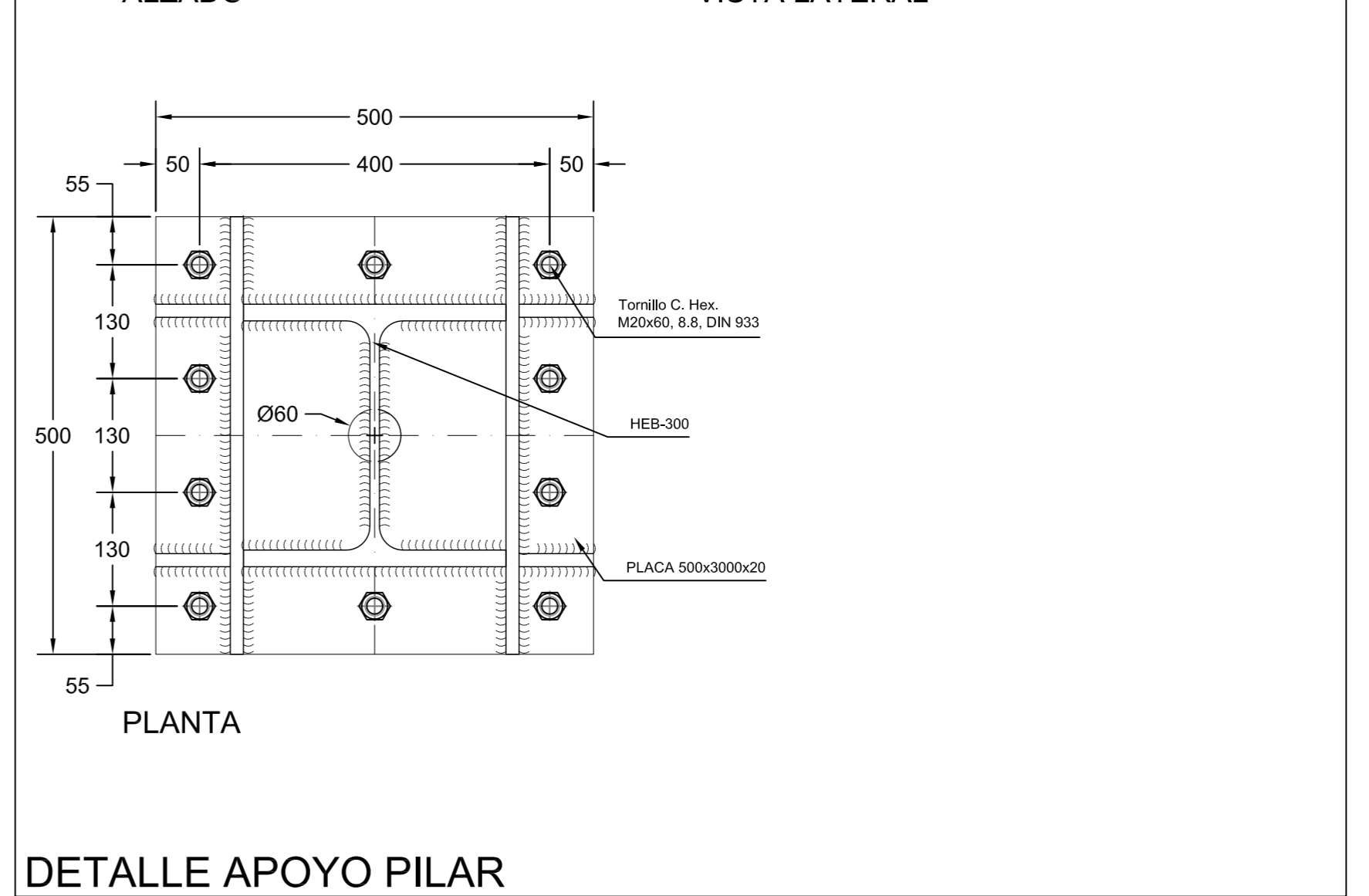
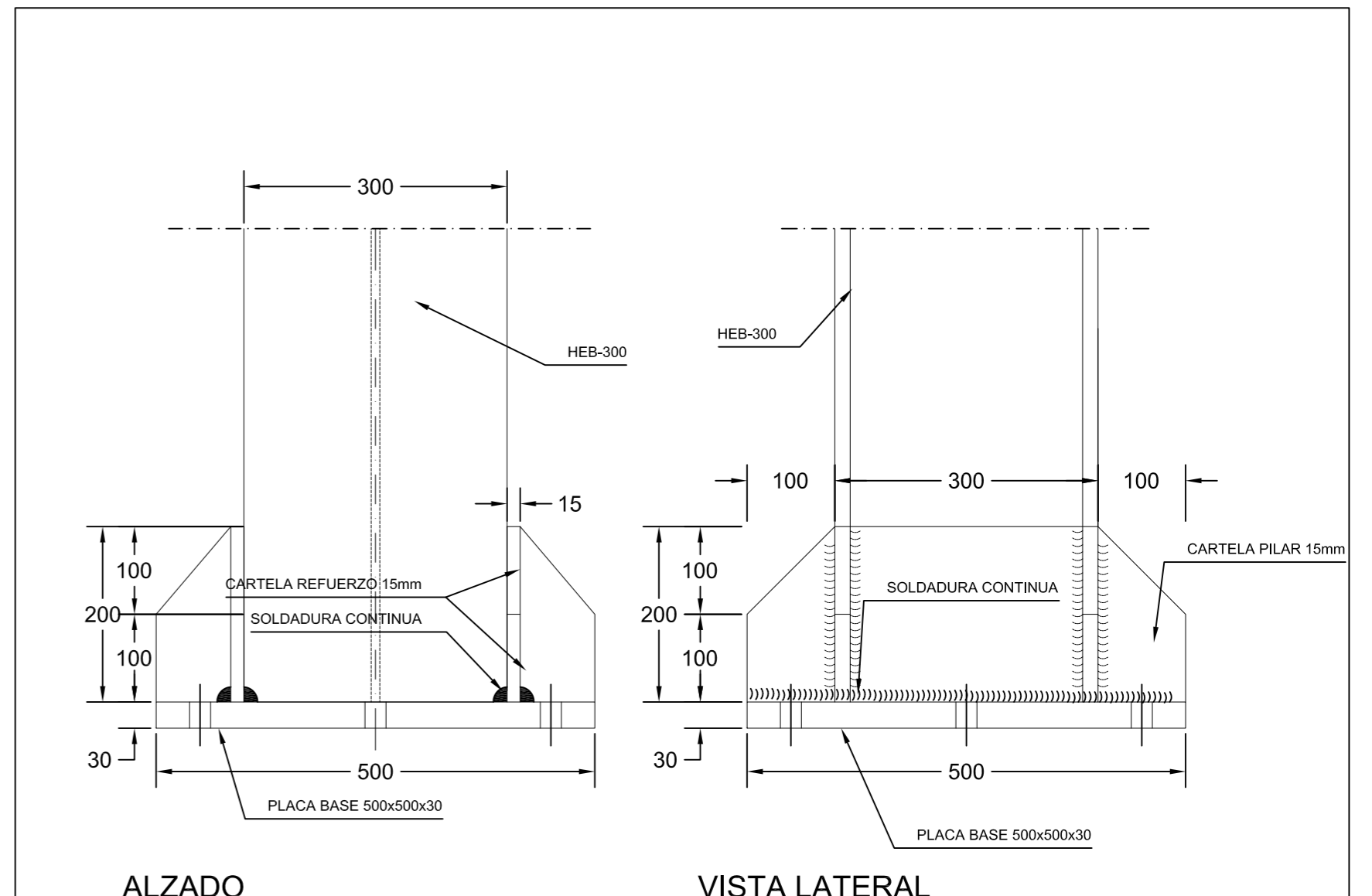
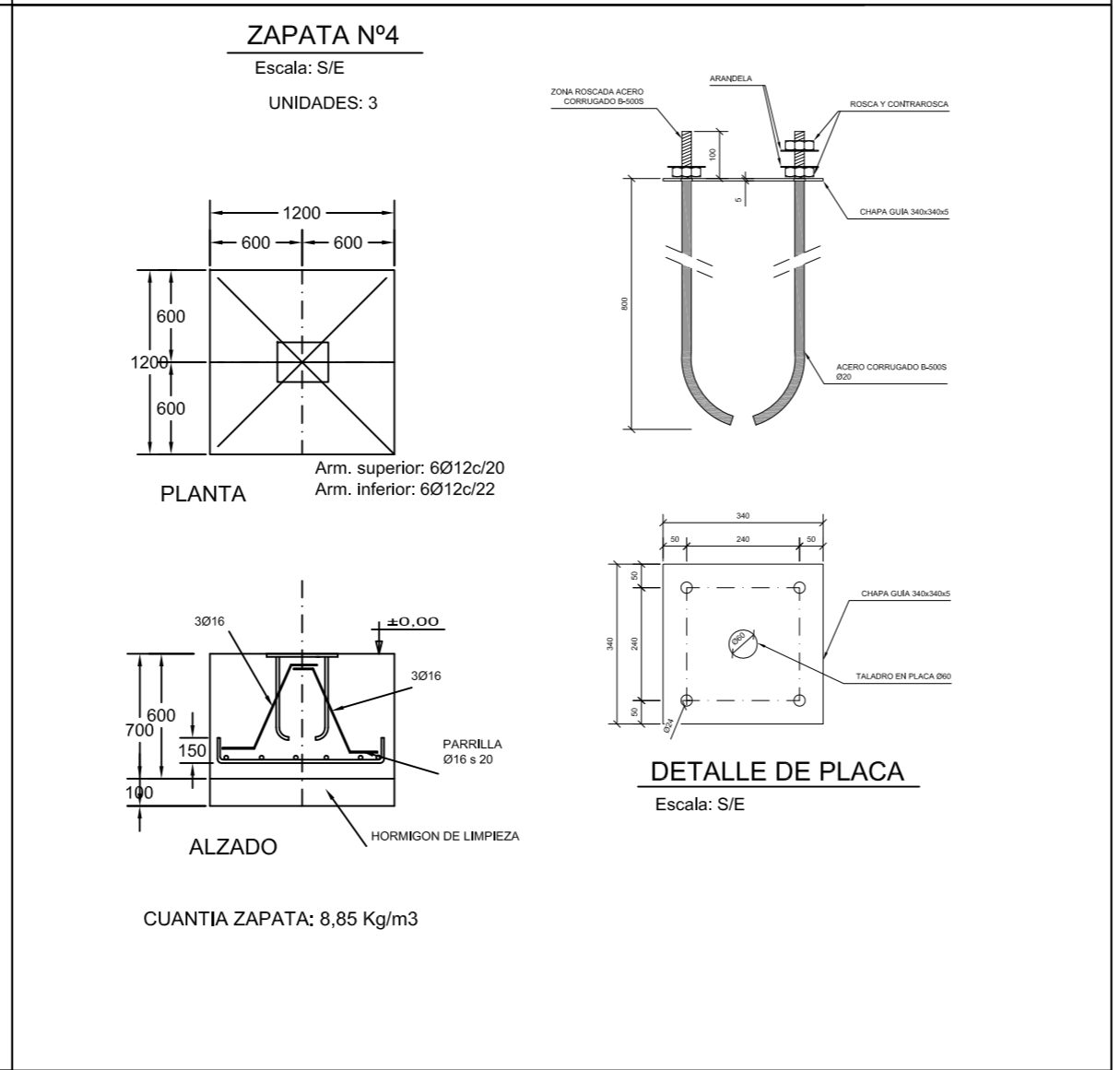
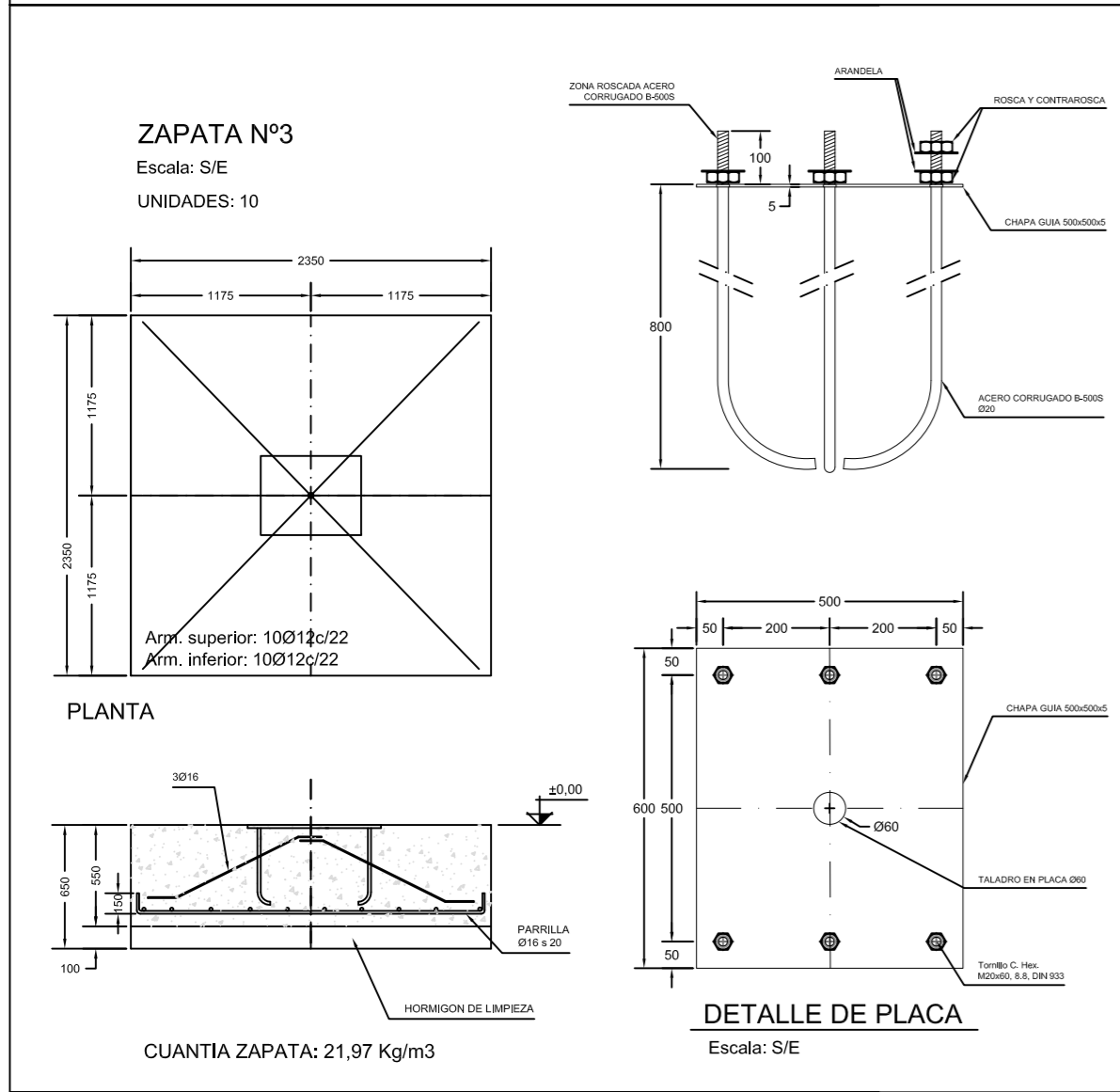
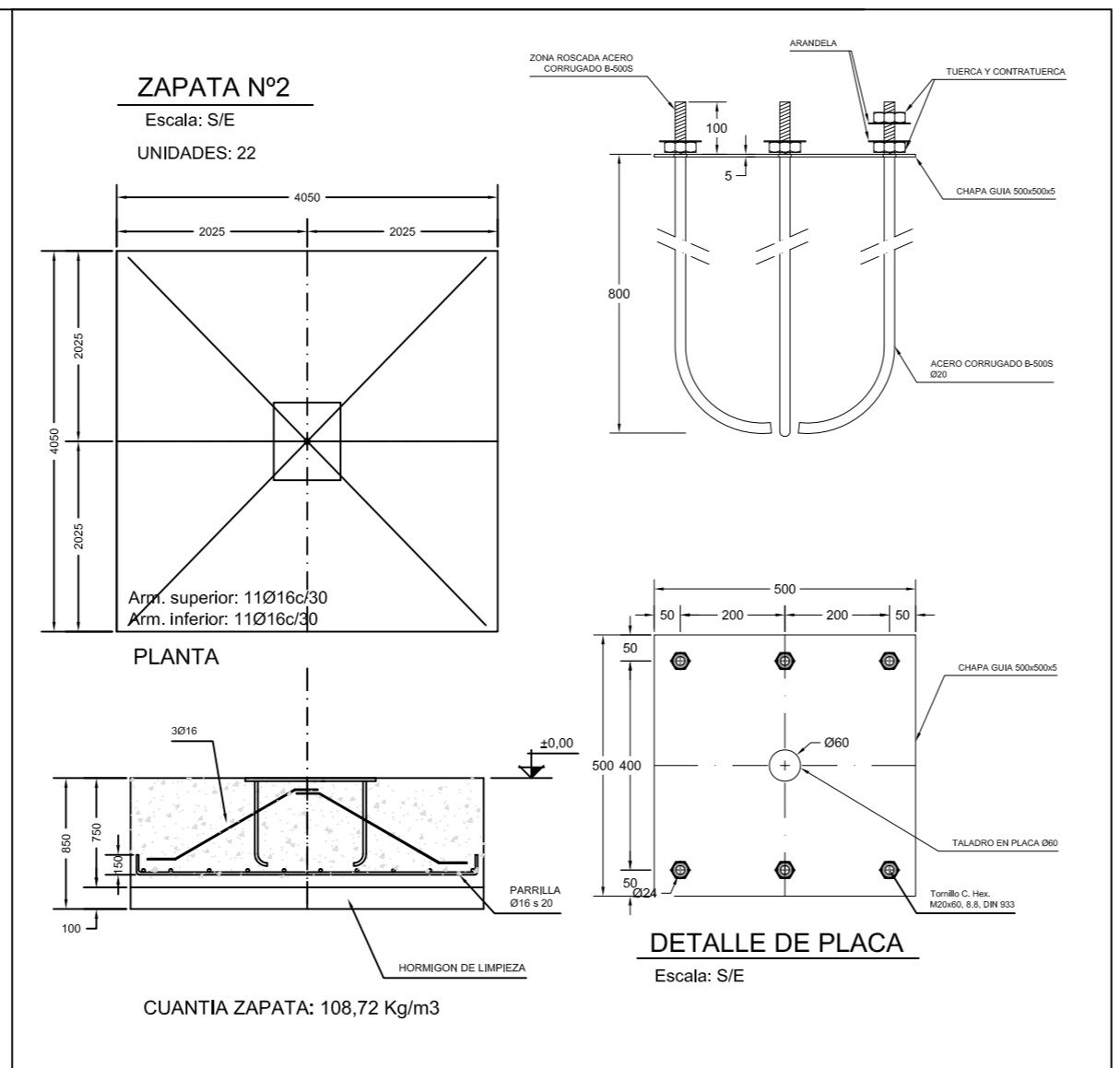
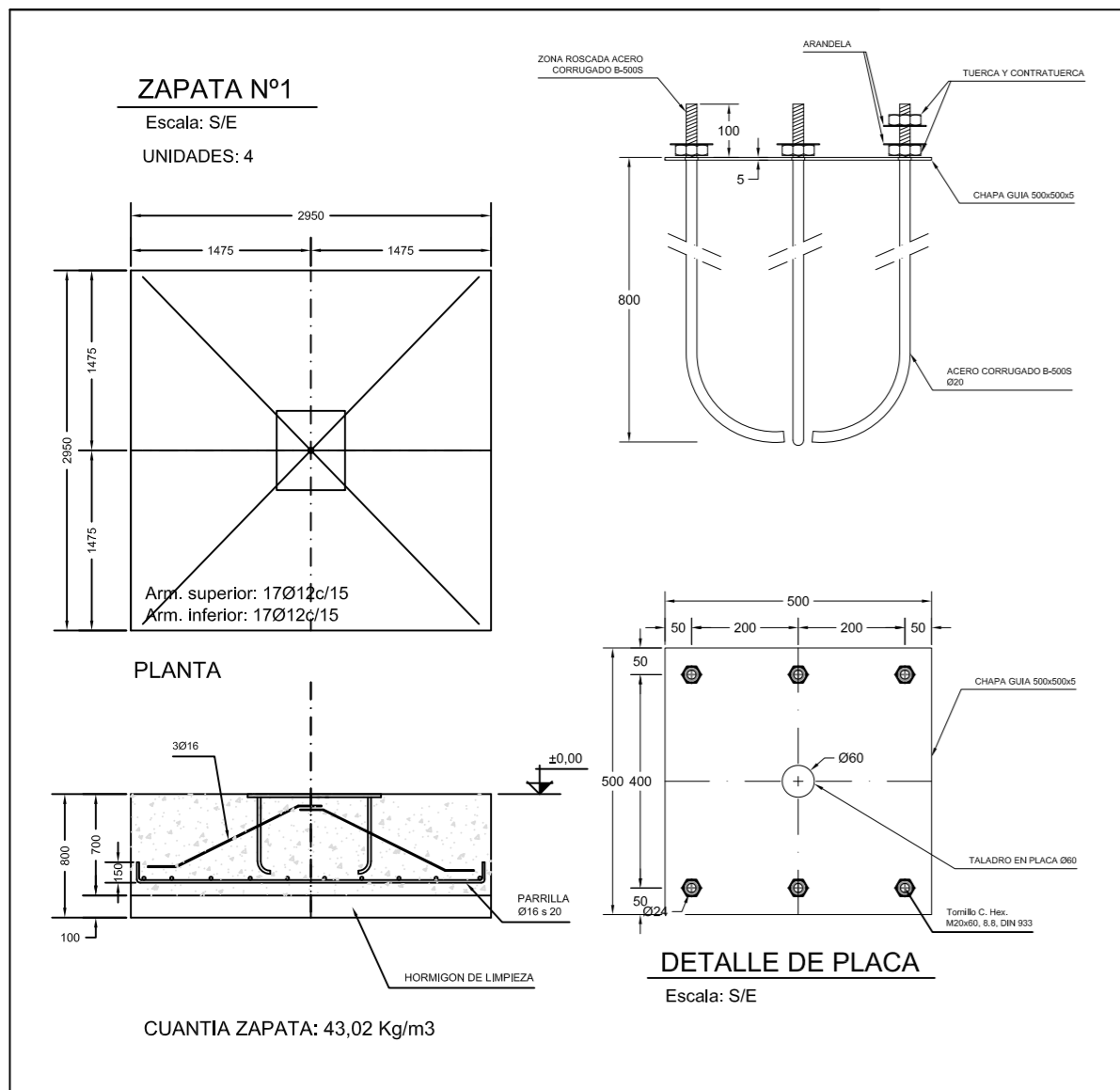
TENSIÓN ADMISIBLE DEL TERRENO : $\leq 0,2 \text{ MPa}$

CUADRO DE CARACTERISTICAS SEGUN EHE								
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.				
				γ_c	γ_s	γ_m	γ_{Rd}	γ_{Rt}
HORMIGON	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20/IIa	NORMAL	1.50			1.50	1.60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL		1.15			

PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019
 PORTICOS EMPOTRADOS Y ACARTELADOS
 PLANTA CIMENTACION

1361 OBSERVACIONES
 E: 1/150

TUTOR I D. Antolín Lorenzana Ibañ
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



NOTA: NIVEL SUPERIOR DE ZAPATAS ±0.00

NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN REFERENCIADAS A EJES DE PLACAS Y EJES DE MURO DE CONTENCIÓN

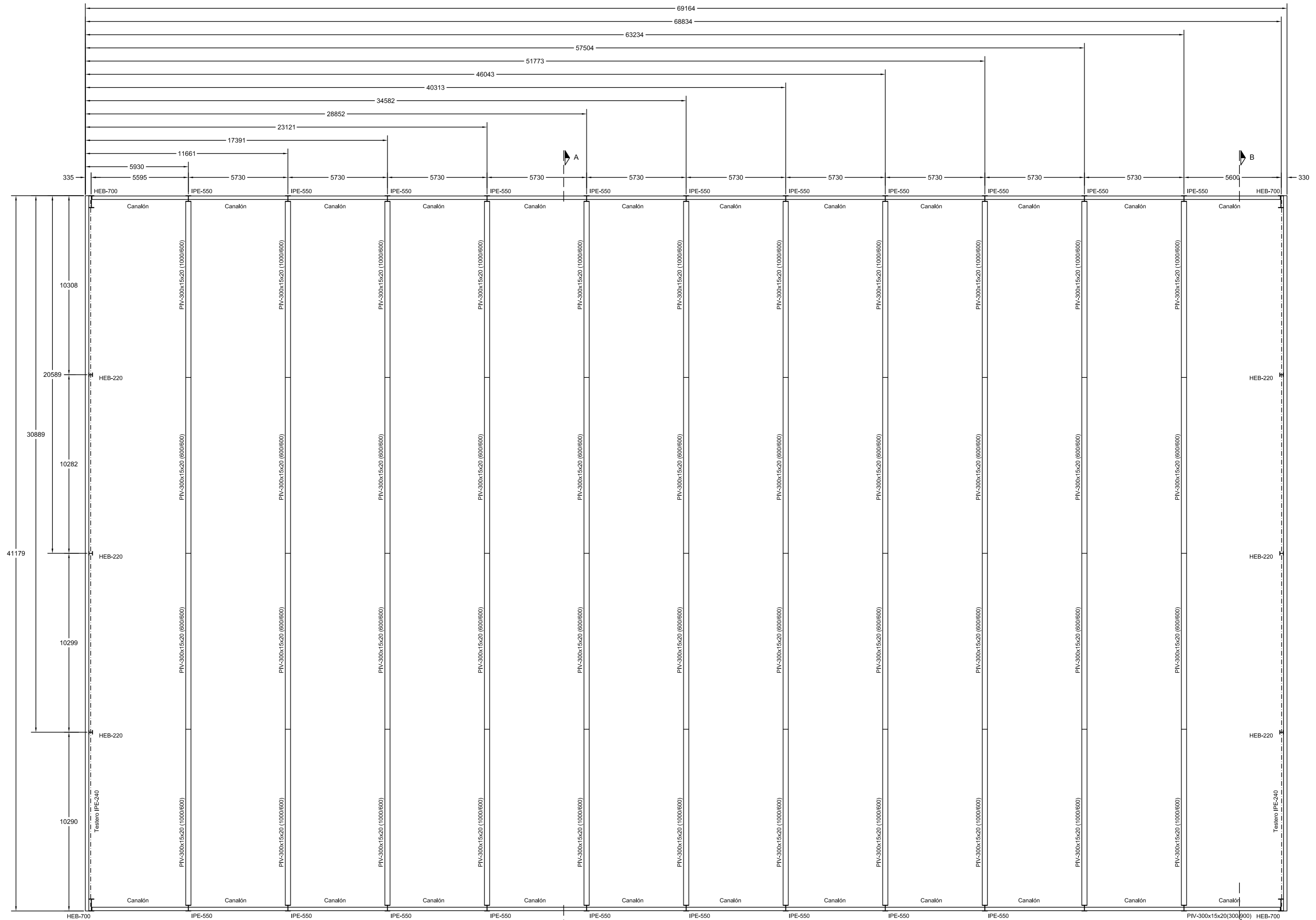
CUADRO DE CARACTERISTICAS SEGUN EHE								
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.				
				γ _c	γ _m	γ _s	γ _p	γ _d
HORMIGON	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20/11a	NORMAL	1.50			1.50	1.60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL		1.15			

TENSION ADMISIBLE DEL TERRENO : <=0,2 MPa

PROYECTO FIN DE GRADO
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
FEBRERO DE 2019
PORTICOS EMPOTRADOS Y ACARTELADOS
DETALLES DE CIMENTACION

1361 OBSERVACIONES
E: s/n

TUTOR I D. Antón Lorenzana Ibañ
AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez

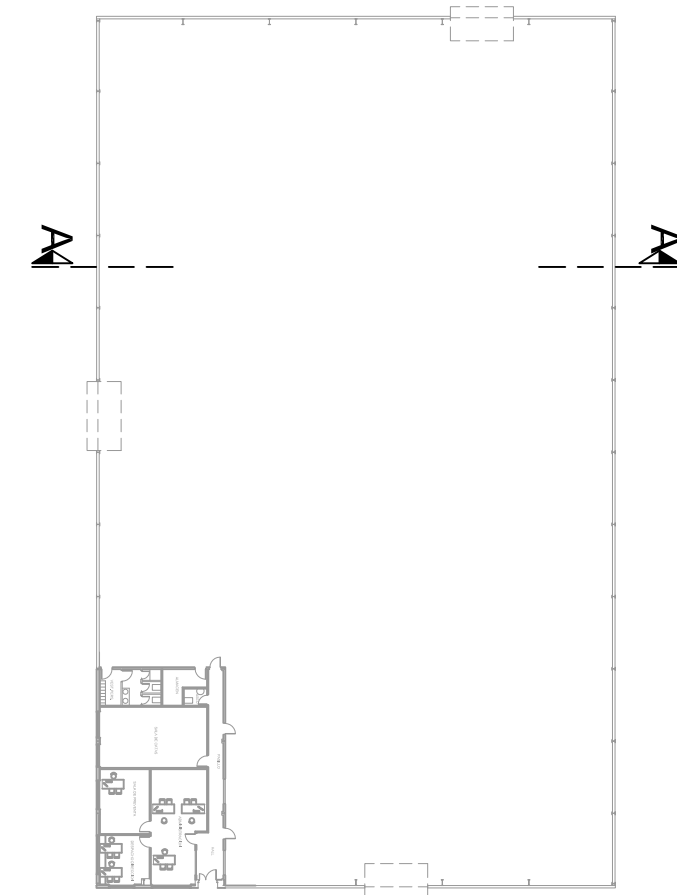
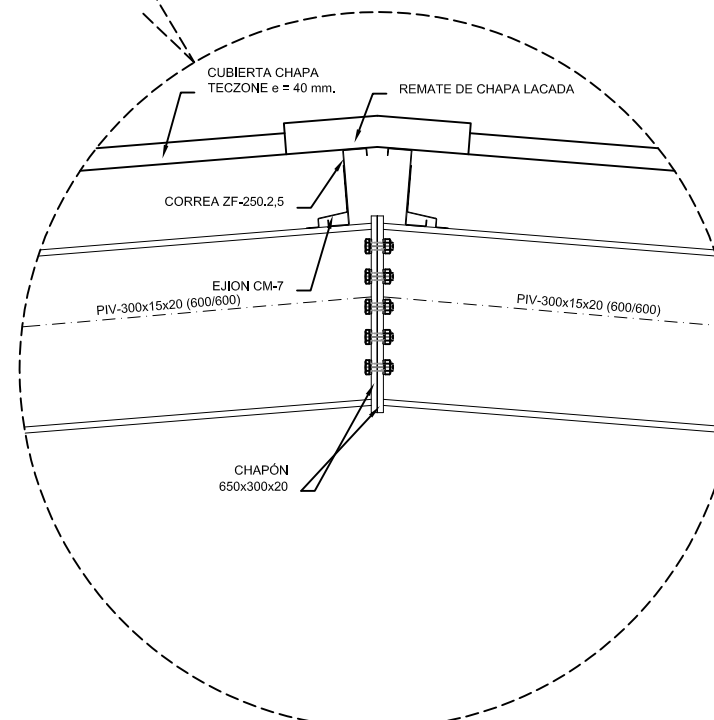
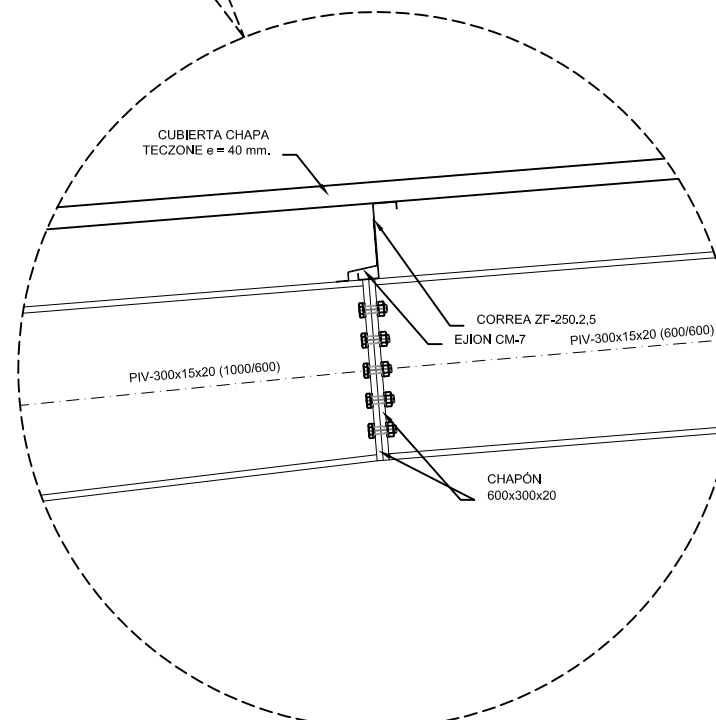
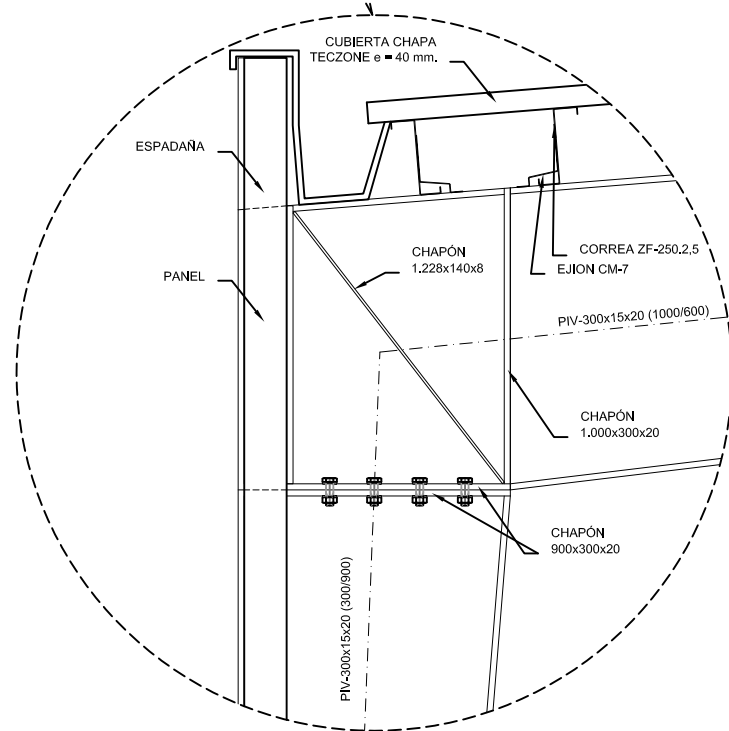
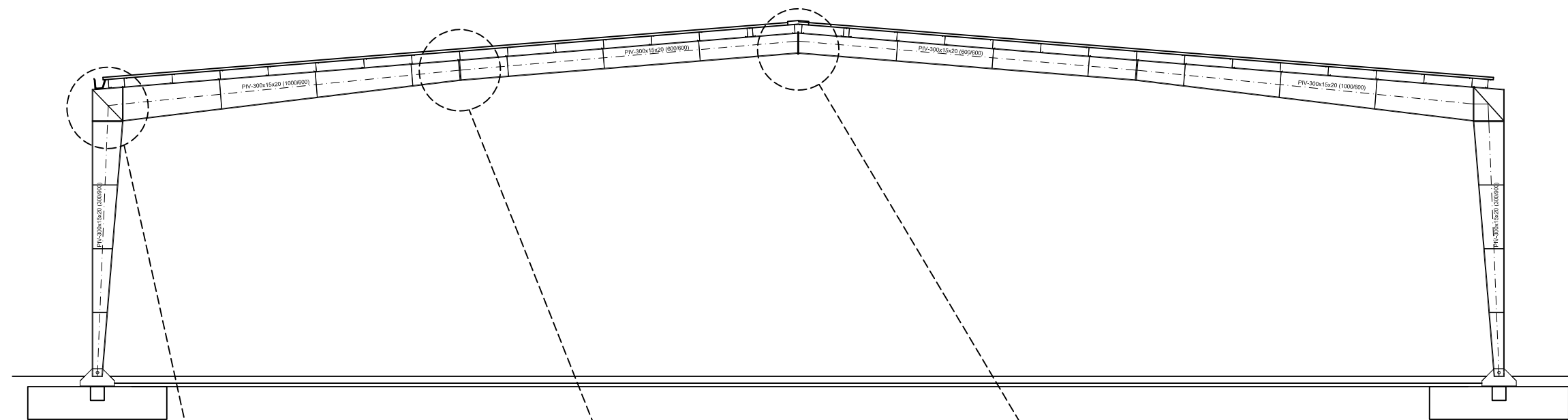


PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN
 FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS
 O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019
 PORTICOS DE SECCION VARIABLE ARTICULADOS
 PLANTA ESTRUCTURA NAVE

1361 OBSERVACIONES
 E: 1/150

TUTOR I D. Antón Lorenzana Ibañ
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez





PROYECTO FIN DE GRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE

FEBRERO DE 2019

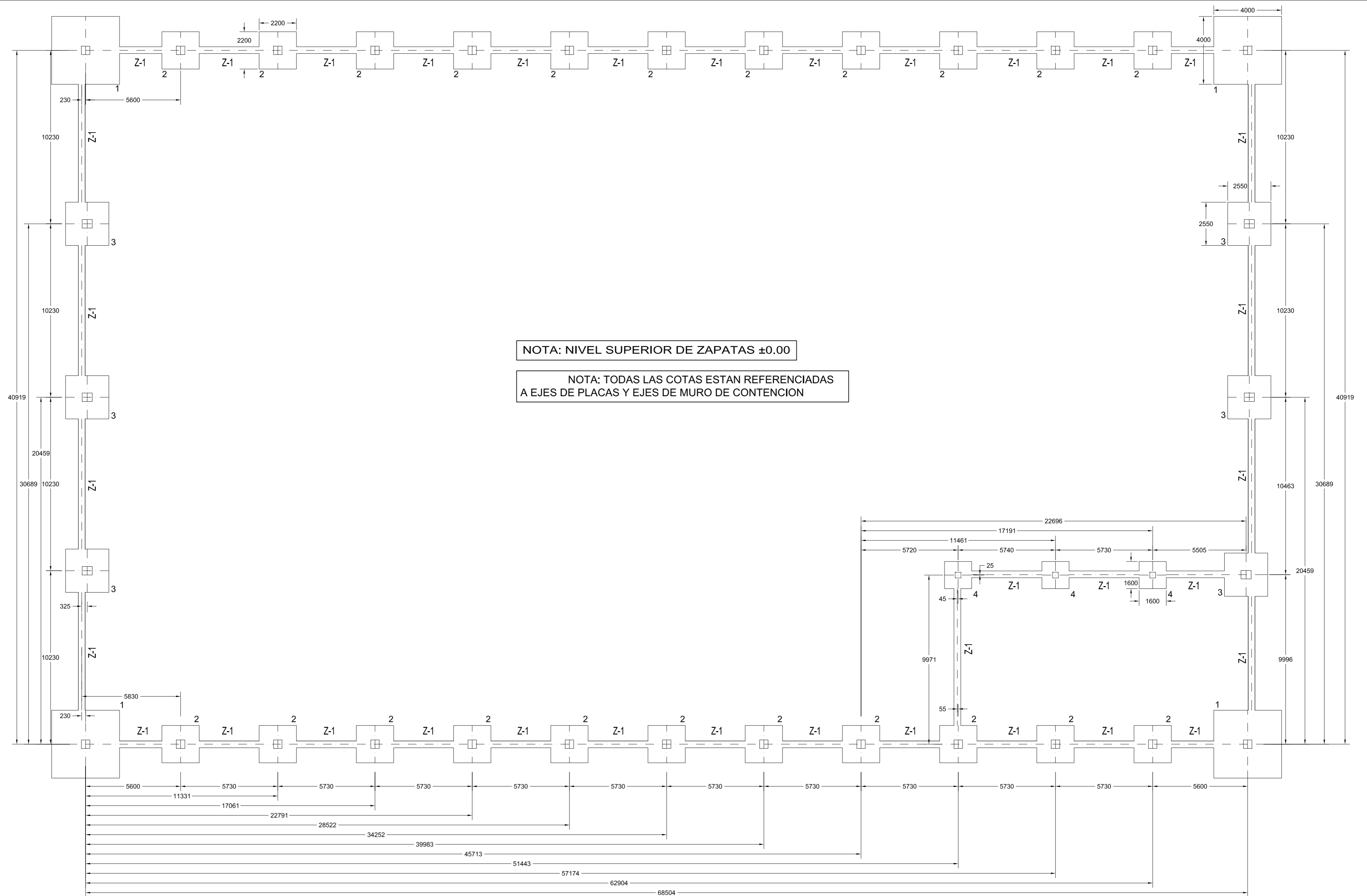
1361

OBSERVACIONES

PORTICOS DE SECCION VARIABLE ARTICULADOS
SECCION A-A

E: 1/150

TUTOR | D. Antolín Lorenzana Iban
AUTOR | D. Rubén Valverde Pérez



CIMENTACIÓN
 * HORMIGÓN : HA-25/20
 * HGO. LIMPIEZA : HL-15/P/30
 * ACERO : B500S

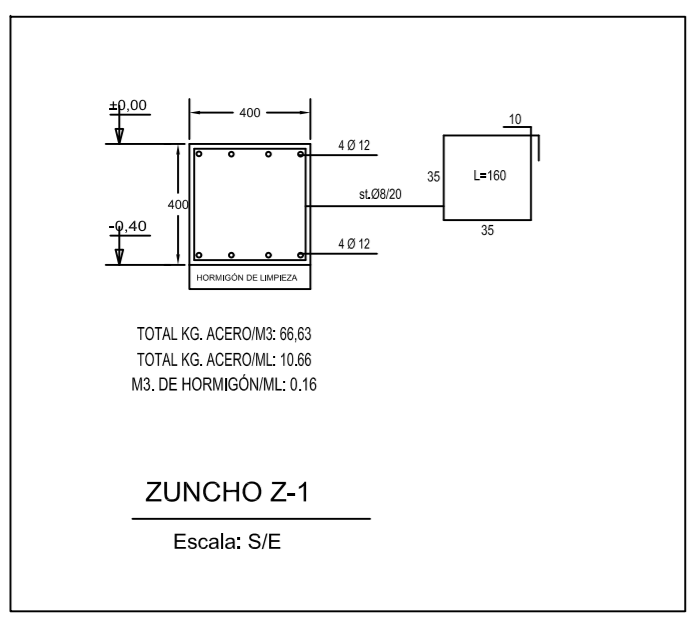
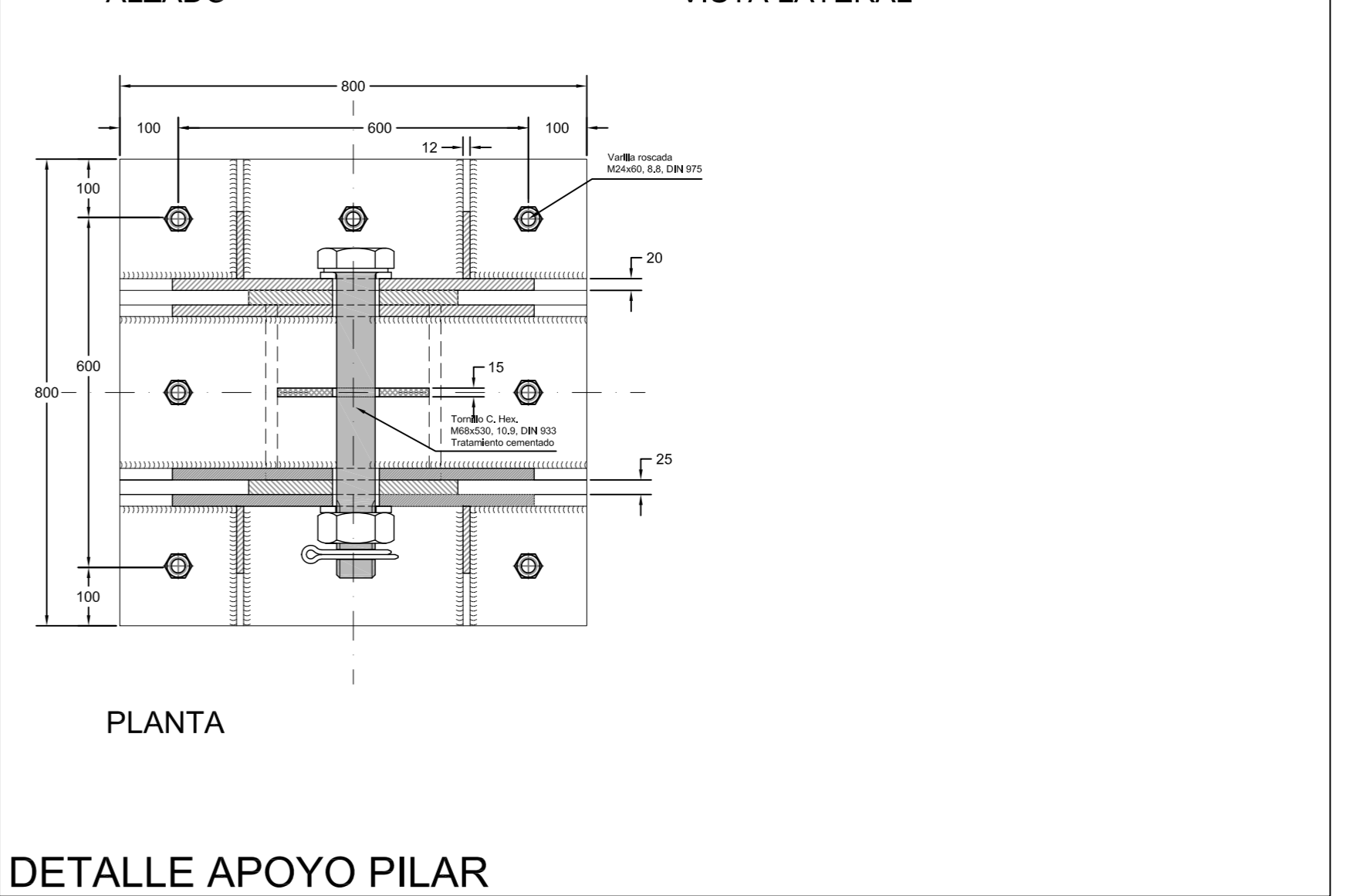
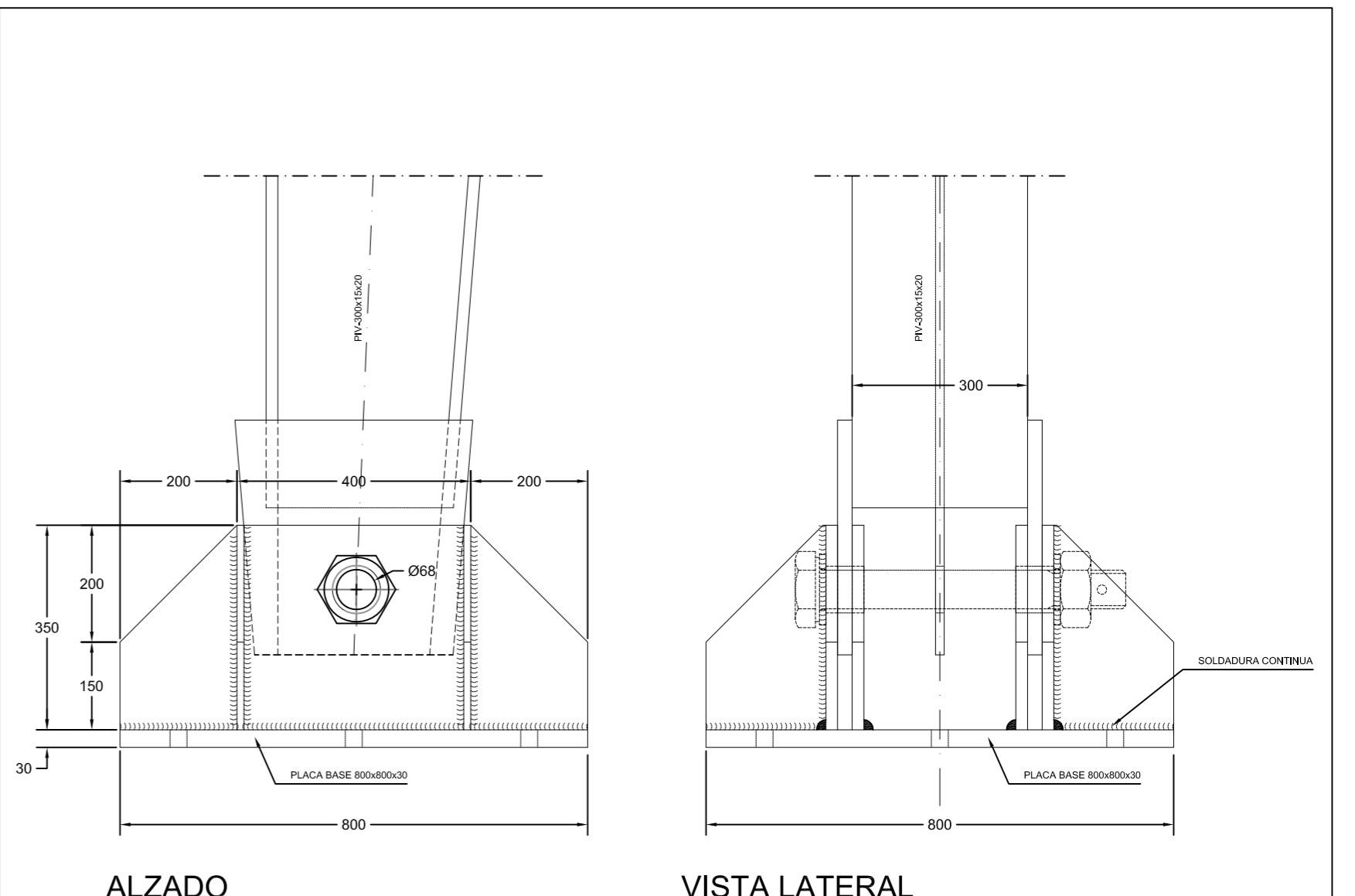
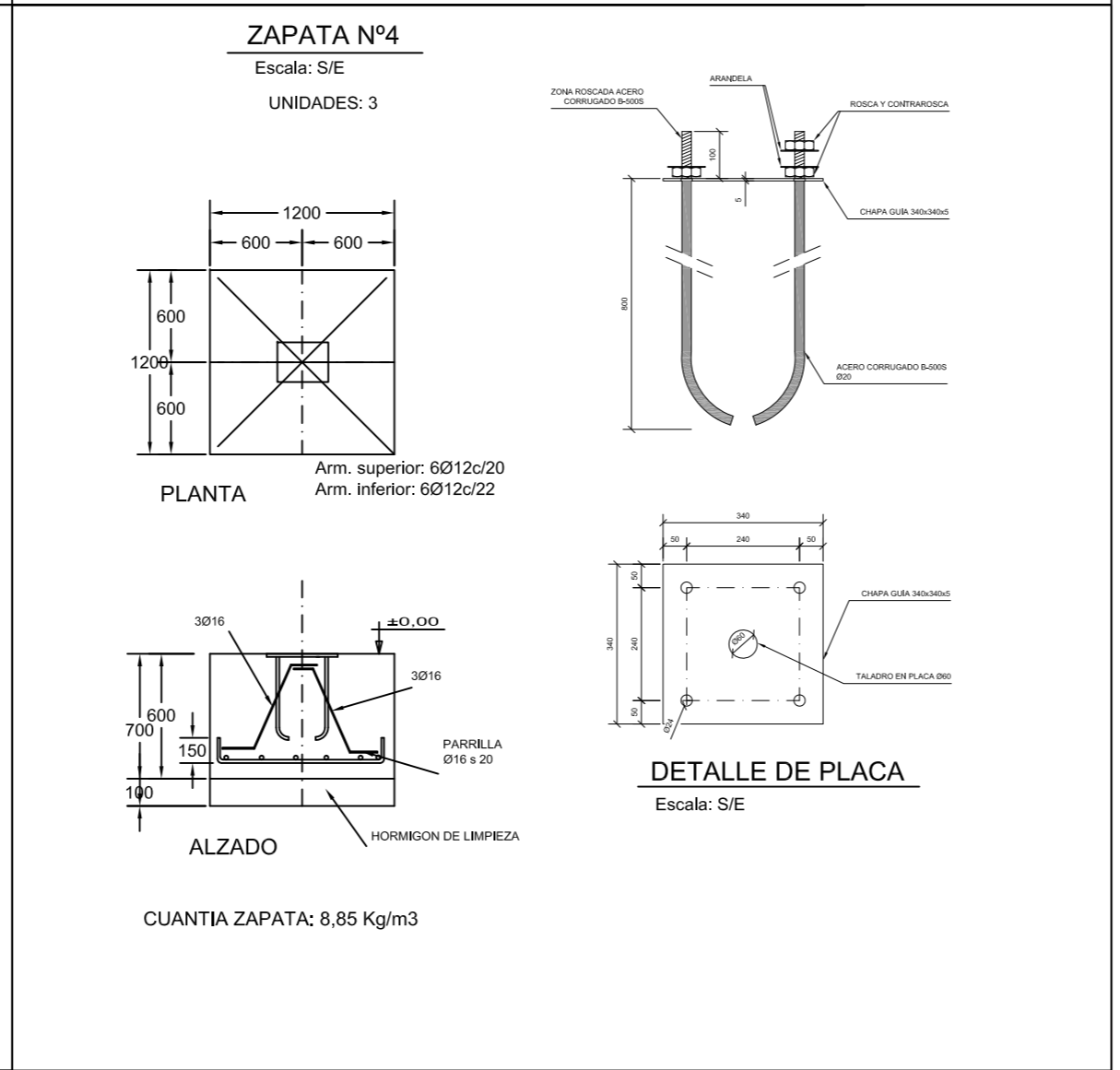
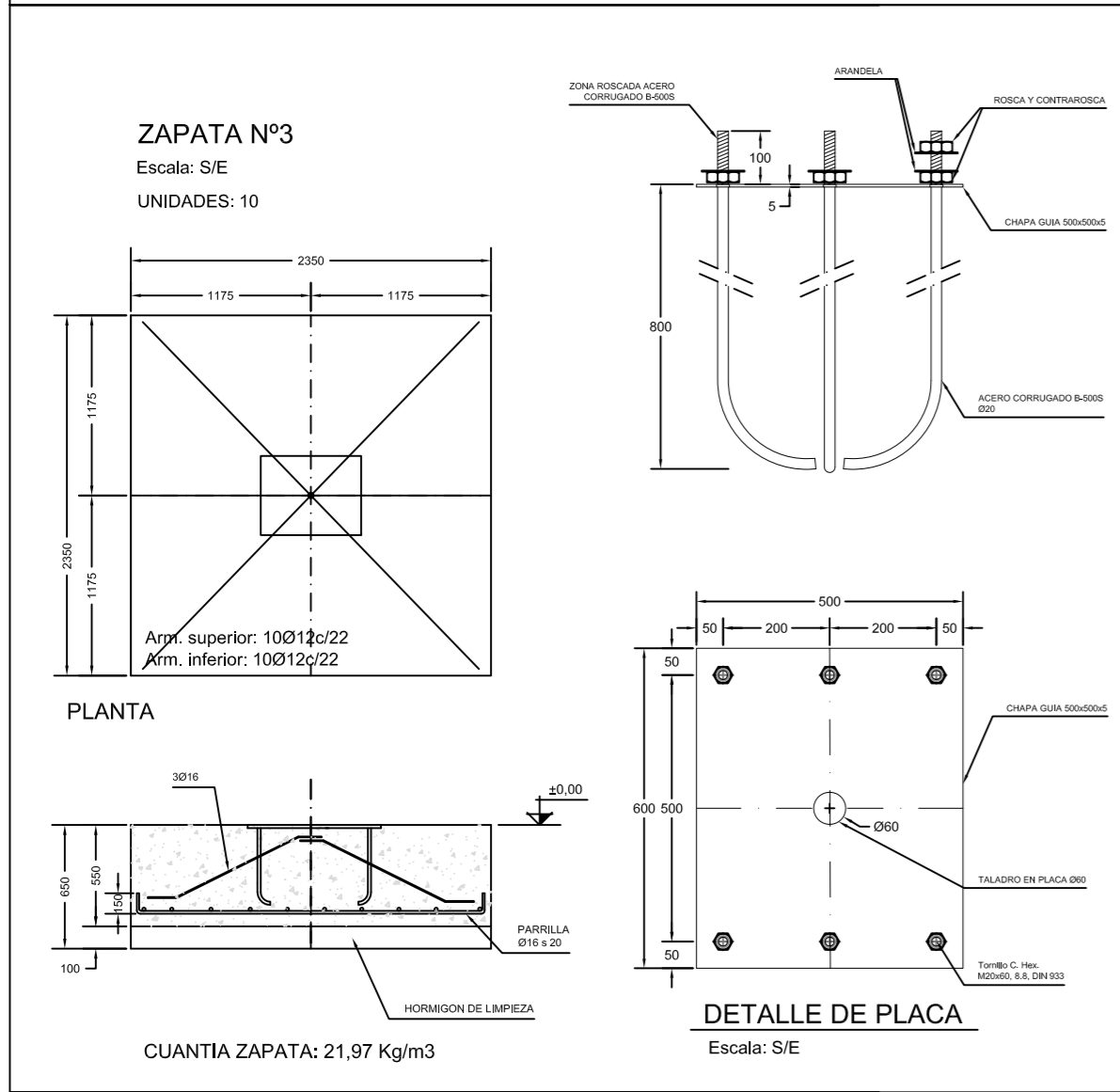
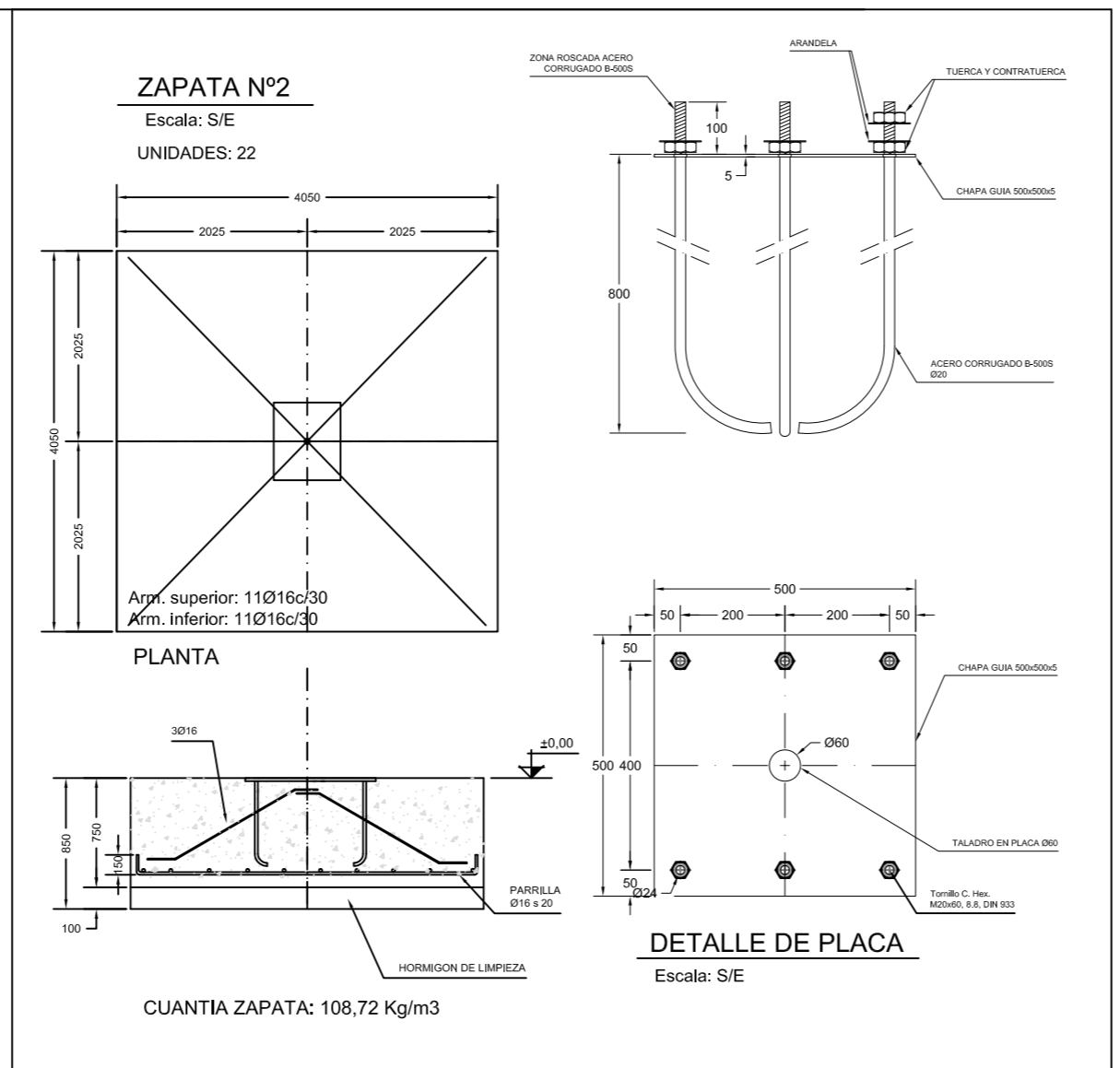
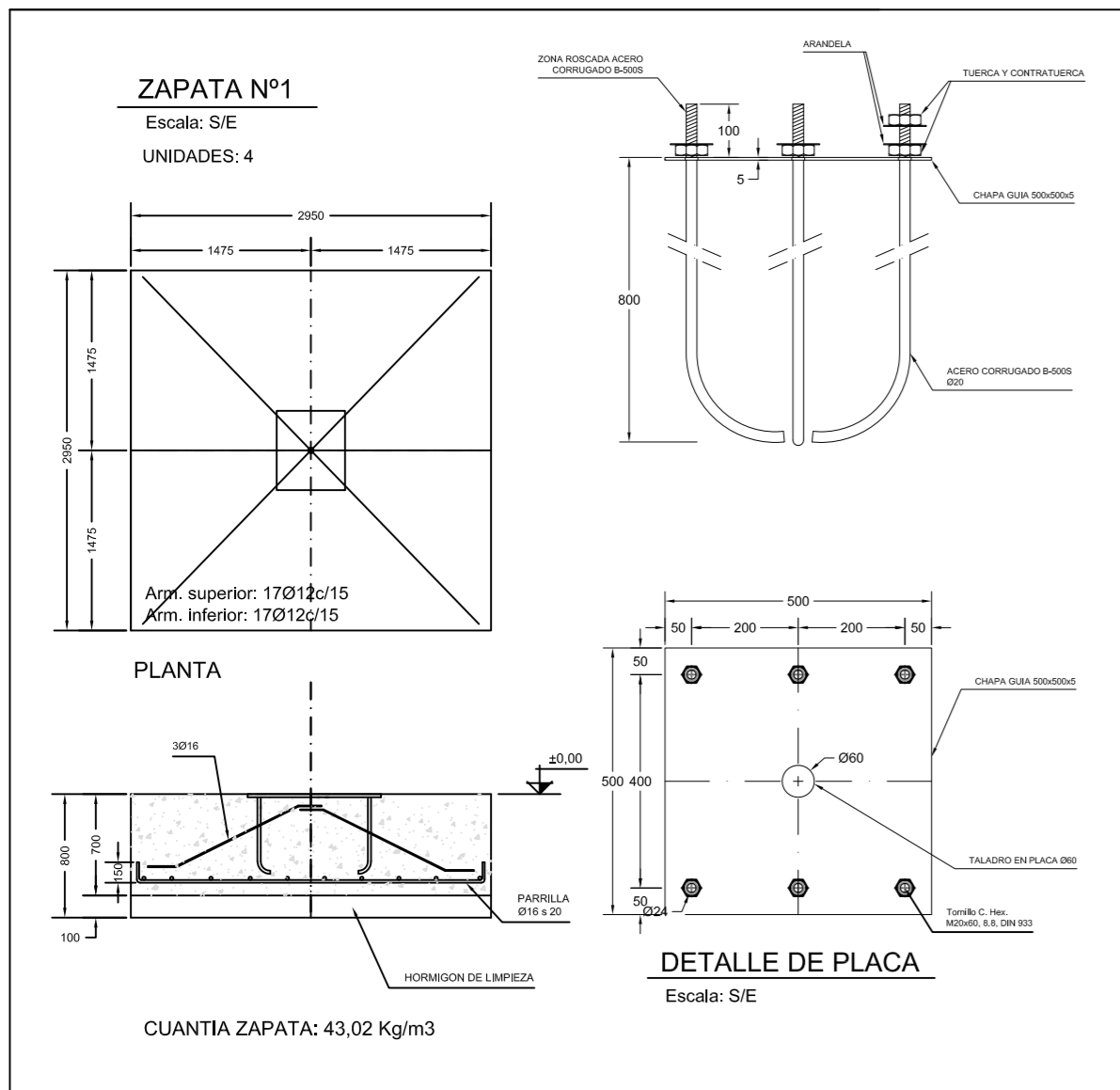
TENSIÓN ADMISIBLE DEL TERRENO : $\leq 0,2$ Mpa

CUADRO DE CARACTERISTICAS SEGUN EHE								
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.				
				γ_c	γ_s	γ_m	γ_{Rd}	γ_{Rt}
HORMIGON	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20/IIa	NORMAL	1.50			1.50	1.60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL		1.15			

PROYECTO FIN DE GRADO
 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA METALICA DE UNA NAVE INDUSTRIAL DE GRAN LUZ EN FUNCION DE LA TIPOLOGIA DEL PORTICO CENTRAL: CERCHA, DE NUDOS ACARTELADOS O DE PERFILES DE SECCION VARIABLE
 FEBRERO DE 2019
 PORTICOS DE SECCION VARIABLE ARTICULADOS
 PLANTA CIMENTACION

1361 OBSERVACIONES
 E: 1/150

TUTOR I D. Antón Lorenzana Iban
 AUTOR I D. Rubén Valverde Pérez



NOTA: NIVEL SUPERIOR DE ZAPATAS ±0.00

NOTA: TODAS LAS COTAS ESTAN REFERENCIADAS A EJES DE PLACAS Y EJES DE MURO DE CONTENCIÓN

CUADRO DE CARACTERISTICAS SEGUN EHE								
ELEMENTO	LOCALIZACION	ESPECIFICACION DEL ELEMENTO	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD EN E.L.U.				
				γ _c	γ _m	γ _s	γ _p	γ _d
HORMIGÓN	CIMENTACION	HA-25 /PLASTICA/20/1la	NORMAL	1,50			1,50	1,60
ACERO DE ARMADURAS	CIMENTACION	B 500 S	NORMAL		1,15			

TENSION ADMISIBLE DEL TERRENO : <= 0,2 MPa