



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

TÍTULO: PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA
EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE
2500 M2 DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024.
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE
CALCULO.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Abellán Marín, José Manuel

Tutor/a: Hospitaler Pérez, Antonio

Cotutor/a: Ibáñez Usach, Carmen

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y ayudado a lo largo de este proceso.

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores, Carmen Ibáñez Usach y Antonio Hospitaler Pérez, su valiosa orientación, apoyo constante y paciencia durante todas las etapas de este trabajo. Sus conocimientos y su compromiso han sido fundamentales para la culminación de este proyecto y siempre estaré agradecido por su dedicación.

A los profesores de la especialidad, quienes con su vocación y entrega me han brindado una formación académica de gran calidad y han mostrado siempre una gran disposición por ayudarme en todo lo necesario.

También quiero agradecer a David Leonardo Peña Mansilla y Juan José Pagán Martínez la gran ayuda prestada y la absoluta disposición en facilitarme los medios y conocimientos necesarios para la realización de este trabajo.

A los grandes amigos con quienes he compartido estos intensos años de nuestra etapa universitaria. Y, sobre todo, a mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso. Gracias a ellos he tenido la motivación y la fuerza necesaria.

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo estudiar diversas alternativas al proyecto de estructuras metálicas en situación accidental de incendio para cumplir con los requerimientos de la próxima versión del nuevo Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI). Esta nueva versión del RSCIEI, que próximamente será de aplicación en España, incrementa el tiempo de resistencia al fuego exigido a estructuras metálicas de uso industrial. Las estrategias de diseño que tradicionalmente han funcionado posiblemente no podrán garantizar las nuevas exigencias.

A través del estudio de la viabilidad técnica y económica de diferentes opciones para el cálculo de la resistencia al fuego de estructuras metálicas de uso industrial, se pretende proponer un nuevo enfoque que permita adaptar el diseño convencional al posible cambio legislativo que regula este tipo de establecimientos.

El presente trabajo se limita al análisis de naves a base de pórticos rígidos a dos aguas, una de las tipologías clásicas de estructuras de acero para uso industrial. En concreto, el edificio objeto de este análisis está constituido por dos naves adosadas con estructura compartida y pertenecientes al mismo establecimiento industrial. Ambas se proyectan a base de pórticos rígidos a dos aguas y presentan la misma geometría: una luz de 25 m, una profundidad de 50 m y una altura de cumbrera de 9,25 m.

Las normativas aplicadas en el desarrollo del trabajo son las vigentes en el territorio español para el ámbito de la construcción de edificios industriales. Estas son el Código Técnico de la Edificación, el Código Estructural y el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. Además, se hará uso de otras normas y documentos relacionados como la British Standard 5950 y el "Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions", una guía de uso extendido en Reino Unido.

Se empleará el programa CYPE ingenieros, concretamente los módulos de Generador de Pórticos para definir las acciones, y Cype 3D para efectuar el diseño completo de la nave industrial en situación accidental de incendio en el dominio de la temperatura y la resistencia. Por último, se empleará el software SAFIR para estudiar el comportamiento de la estructura en el dominio del tiempo.

Palabras clave: CYPE, SAFIR, RSCIEI, estructura metálica, resistencia al fuego.

ABSTRACT

This Master's Thesis aims to study various alternatives for the design of steel structures under accidental fire conditions in order to comply with the requirements of the upcoming version of the new “Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales” (RSCIEI). This new version of the RSCIEI, which will soon be applicable in Spain, increases the required fire resistance time for industrial steel structures. The design strategies that have traditionally worked may not be able to meet the new requirements.

Through the study of the technical and economic feasibility of different options for calculating the fire resistance of industrial steel structures, this thesis aims to propose a new approach that allows conventional design to adapt to the potential legislative change regulating these types of establishments.

This work is limited to the analysis of warehouses based on rigid two-span frames, one of the classic types of steel structures for industrial use. Specifically, the building subject to this analysis consists of two adjoining warehouses with a shared structure belonging to the same industrial establishment. Both are designed with rigid two-span frames and have the same geometry: a span of 25 meters, a depth of 50 meters, and a ridge height of 9,25 meters.

The regulations applied in this project are those relevant to construction in Spain, including the “Código Técnico de la Edificación”, the “Código Estructural”, and the “Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales”. Additionally, other standards and related documents will be used, such as the British Standard 5950 and the Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions, a widely used guide in the United Kingdom.

The “CYPE Ingenieros” program will be used, specifically the “Generador de Pórticos”, to define the actions, and Cype 3D to carry out the complete design of the industrial building under the accidental fire load in the domains of temperature and resistance. Finally, the SAFIR software will be used to study the behaviour of the structure in the time domain.

Keywords: CYPE, SAFIR, RSCIEI, metal structure, fire resistance.

RESUM

Este Treball fi de màster té com a objectiu estudiar diverses alternatives al projecte d'estructures metàl·liques en situació accidental d'incendi per a complir amb els requeriments de la pròxima versió del "Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales" (RSCIEI). Esta nova versió del RSCIEI, que pròximament serà aplicable a Espanya, incrementa el temps de resistència al foc exigít a estructures metàl·liques d'ús industrial. Les estratègies de disseny que tradicionalment han funcionat possiblement no podran garantir les noves exigències.

A través de l'estudi de la viabilitat tècnica i econòmica de diferents opcions per al càlcul de la resistència al foc d'estructures metàl·liques d'ús industrial, es pretén proposar un nou enfocament que permeti adaptar el disseny convencional al possible canvi legislatiu que regula este tipus d'establiments.

El present treball es limita a l'anàlisi de naus a base de pòrtics rígids de dos aiguavessos, una de les tipologies clàssiques d'estructures d'acer per a ús industrial. En concret l'edifici objecte d'esta anàlisi està constituït per dos naus adossades amb estructura compartida i pertanyents al mateix establiment industrial. Ambdues es projecten a base de pòrtics rígids de dos aiguavessos i presenten la mateixa geometria: una llum de 25 m, una profunditat de 50 m i una altura de carener de 9,25 m.

Les normatives aplicades en el desenvolupament del treball són la vigents en el territori espanyol per a l'àmbit de la construcció d'edificis industrials. Estes són el "Código Técnico de la Edificación", "Código Estructural" i el "Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales". A més, es farà ús d'altres normes i documents relacionats com la "British Standard 5950" i el "Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions", una guia d'ús estés al Regne Unit.

S'emprarà el programa "CYPE ingenieros", concretament els mòduls de "Generador de pórticos" per a definir les accions, i Cype 3D per a efectuar el disseny complet de la nau industrial en situació accidental d'incendi en el domini de la temperatura i la resistència. Finalment, s'emprarà el programari SAFIR per a estudiar el comportament de l'estructura en el domini del temps.

Paraules clau: CYPE, SAFIR, RSCIEI, estructura metàl·lica, resistència al foc.

ÍNDICE GENERAL

Documento I: Memoria Descriptiva

Documento II: Anexo de Cálculo

Documento III: Anexo de Nomenclatura

Documento IV: Anexo de SAFIR

Documento V: Presupuesto

Documento VI: Planos



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

MEMORIA DESCRIPTIVA

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Objeto del proyecto	3
1.2	Marco normativo	3
1.3	Antecedentes	3
1.4	Fases de un incendio.....	4
1.5	Modelos de incendio	6
1.6	Dominios de comprobación.....	9
1.7	Alcance.....	11
1.8	Contribución del trabajo con los ODS.....	11
2	EDIFICIO DE REFERENCIA.....	13
2.1	Ubicación	13
2.2	Descripción	13
2.2.1	Pórticos de fachada	14
2.2.2	Pórticos interiores.....	15
2.2.3	Fachadas laterales	15
2.2.4	Cubierta	15
2.2.5	Placas de anclaje.....	16
2.2.6	Cimentación.....	17
2.2.7	Correas y cerramientos.....	19
3	ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	20
3.1	Cálculo elástico en el dominio de la temperatura	20
3.1.1	Resultados	20
3.2	Cálculo elástico en el dominio de la resistencia	22
3.2.1	Resultados	22
3.3	Cálculo en dominio plástico	23
3.3.1	Metodología	24
3.3.2	Mecanismo de colapso en pórticos simétricos de un vano.....	25
3.3.3	Cargas consideradas en la situación de colapso.....	26
3.3.4	Modelo matemático del colapso en pórticos simétricos de un vano.....	27
3.3.5	Modelo matemático del colapso en pórticos simétricos de varios vanos.....	30
3.3.6	Estabilidad longitudinal	31
3.3.7	Resultados	32
3.4	Cálculo en el dominio del tiempo	34
3.4.1	Introducción a SAFIR.....	34
3.4.2	Análisis térmico	36

3.4.3	Análisis mecánico	42
3.4.4	Resultados	45
4	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	48
5	CONCLUSIÓN	50
6	BIBLIOGRAFÍA	51

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto del proyecto

El presente documento ha sido desarrollado como parte del Trabajo Final del Máster Universitario en Ingeniería Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universitat Politècnica de València. El objetivo principal del mismo es estudiar nuevas alternativas al diseño convencional de edificios industriales con estructura metálica bajo la acción accidental de incendio, para adaptarse al posible cambio legislativo en materia de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.

1.2 Marco normativo

La normativa aplicable a este proyecto abarca tanto la legislación vigente en el ámbito de la construcción en España como las directrices y normativas europeas pertinentes.

- Código Técnico de la Edificación (CTE): Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006.
 - Documento Básico Seguridad Estructural (DB-SE).
 - Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la Edificación (DB SE-AE).
 - Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos (DB SE-C).
 - Documento Básico Seguridad Estructural Acero (DB SE-A).
 - Documento Básico Seguridad en caso de Incendio (DB-SI).
- Código Estructural (CE): Real Decreto 470/2021, de 29 de junio de 2021.
 - Título 3. Estructuras de acero.
 - Anejo 22. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificación.
 - Anejo 23. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas a fuego.
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI): Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre de 2004.
 - Anexo I. Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios.
 - Anexo II. Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco
- UNE-EN 1991-1-2: Acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego.
- UNE-EN 1993-1-1: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios.
- UNE-EN 1993-1-2: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.

1.3 Antecedentes

El cambio legislativo que ha motivado la realización de este proyecto tiene su origen en el borrador del real decreto que pretende renovar el actual Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI). Un aspecto de este borrador que está generando gran controversia es el aumento del tiempo requerido de resistencia a fuego en los elementos estructurales portantes de establecimientos designados como tipo C, es decir, aquellos que ocupan totalmente uno o varios edificios y que están a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo perteneciente a otro establecimiento. Este cambio afecta a edificios con una única planta

sobre rasante con cubierta ligera, entendiéndose como cubierta ligera aquella cuyo peso propio es inferior a 100 kg/m². El actual reglamento dispone que, siempre y cuando la superficie total del sector de incendios esté protegida por una instalación de rociadores automáticos de agua y un sistema de evacuación de humos, los valores mínimos de resistencia al fuego corresponden a los dispuestos en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Resistencia al fuego exigida por el actual RSCIEI (Anexo II apartado 4.3) para elementos estructurales portantes de edificios de una sola planta con cubierta ligera [11].

Nivel de riesgo intrínseco	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Riesgo bajo	R 60	NO SE EXIGE	NO SE EXIGE
Riesgo medio	R 90	R 15	NO SE EXIGE
Riesgo alto	NO ADMITIDO	R 30	R 15

Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 1.2, el borrador del nuevo reglamento no dispone los mismos límites bajo las mismas consideraciones anteriormente mencionadas y aumenta la resistencia mínima exigida a 30 minutos.

Tabla 1.2. Resistencia al fuego exigida por el nuevo RSCIEI (Sección 5 apartado 1.3.2) para elementos estructurales portantes de edificios de una sola planta con cubierta ligera [12].

Nivel de riesgo intrínseco	Tipo A _H	Tipo B	Tipo C
Riesgo bajo	R 60	R 30	R 30
Riesgo medio	R 90	R 30	R 30
Riesgo alto	R 120	R 30	R 30

Es importante resaltar que el nuevo reglamento impone la misma resistencia al fuego independientemente del nivel de riesgo intrínseco del sector de incendio considerado, incluso con independencia de si el establecimiento considerado es tipo B, que se define como aquel que ocupa totalmente un edificio, con estructura portante y cerramiento independiente, que es adyacente a otros edificios pertenecientes a otros establecimientos o se encuentra a una distancia igual o inferior a tres metros de estos.

Este posible cambio en la normativa afecta negativamente a las estructuras metálicas dado que el acero, a pesar de su incombustibilidad, presenta un mal comportamiento en caso de incendio a causa de su alta difusividad térmica que provoca un rápido aumento de temperaturas y la consiguiente reducción de propiedades mecánicas. Todo esto perjudicará la competitividad que tiene este tipo de estructuras en el mercado ya que supondrá un uso más restrictivo de protecciones pasivas, aumentado su coste y tiempo de ejecución, quedándose así rezagadas respecto a uno de sus principales competidores: las estructuras con elementos prefabricados de hormigón.

1.4 Fases de un incendio

La evolución de un incendio, que no es sofocado por la actuación de los equipos de protección activa, está caracterizada por seis fases: incipiente, de crecimiento o pre-flashover, flashover, de desarrollo total o post-flashover, de decaimiento y de extinción.

En la Figura 1.1 se presenta un ejemplo de la curva de un incendio natural donde se ilustran las distintas fases.

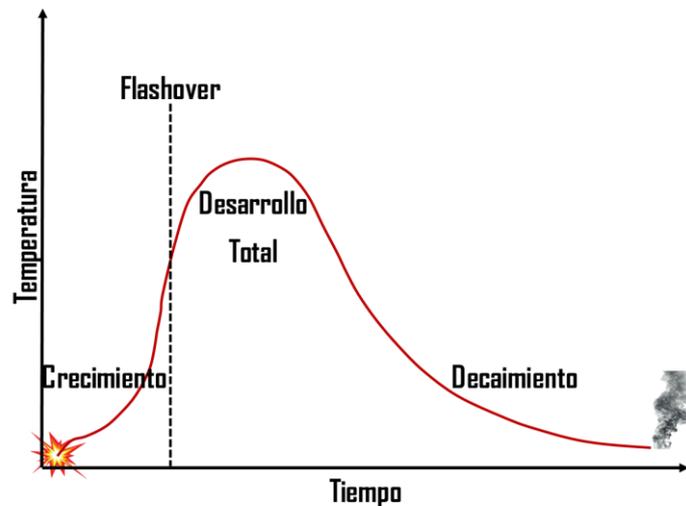


Figura 1.1. Fases de un incendio.

- En la **fase incipiente** se produce el calentamiento del material combustible sin alcanzarse su ignición. Esta etapa inicial se puede detectar con sistemas que sean capaces de reconocer puntos de temperaturas anormalmente altas como las cámaras termográficas.
- Cuando se produce la ignición del material combustible se inicia la **fase de crecimiento**. Al principio el incendio se encuentra localizado en el sector donde se ha iniciado, produciéndose una acumulación de humos procedentes del proceso de combustión. De esta forma, en el sector se pueden diferenciar dos capas, una en la parte superior conformada por gases calientes, junto a otra, relativamente fría y sin la presencia de humos, en la parte inferior.

Conforme se desarrolla el incendio la capa de gases calientes va aumentando de espesor y descendiendo. Cuando esta alcanza la posición de las aberturas del cerramiento que sectorizan el sector se puede producir la propagación del incendio hacia otros recintos del establecimiento.

- La radiación emitida por las llamas y la capa de gases calientes desencadena el **flashover**, donde se produce la ignición súbita del resto de material combustible no incendiado en el sector. Habitualmente este punto crítico se alcanza cuando la capa caliente se encuentra a una temperatura de aproximadamente 600°C y tras su aparición la totalidad del sector queda envuelta en llamas y humo.
- Tras el flashover el incendio entra en su **fase de desarrollo total** donde se alcanza la máxima tasa de liberación de calor (RHR por sus siglas en inglés), permaneciendo esta constante durante toda la etapa. En esta fase únicamente se diferencia una zona en el sector compuesta por llamas y humos donde se pueden alcanzar temperaturas superiores a 1000°C.

El oxígeno presente en el sector se consume rápidamente y la combustión necesita un suministro adicional de oxígeno para continuar. Este suministro es proporcionado por la corriente de aire fresco que entra a través de las aberturas. Si las aberturas no son lo suficientemente grandes el desarrollo del incendio se ve limitado, por tanto, la disponibilidad de oxígeno determina si el incendio está controlado por ventilación o por combustible. En condiciones típicas el fuego está controlado predominantemente por la ventilación, lo que implica que la tasa de liberación de calor está influenciada por el número, tamaño y geometría de las aberturas.

Hay que tener en cuenta que las ventanas de vidrio suelen fracturarse y quedar completamente abiertas debido al rápido incremento de temperatura durante el flashover. De esta forma, las llamas suelen propagarse hacia el exterior, donde hay disponibilidad de oxígeno, aumentando las posibilidades de que el incendio se extienda a otros sectores del establecimiento.

Es importante tener en cuenta que en esta etapa se produce el mayor daño estructural, por lo que muchos modelos simplificados de incendio se basan principalmente en ella.

- Después de la fase en la que el incendio se comporta aproximadamente de manera estacionaria, la tasa de liberación de calor se reduce debido al consumo del material combustible. El Eurocódigo 1 parte 1-2 dispone en su modelo que se puede considerar que esta **fase de decaimiento** comienza cuando el 70% de la carga total de fuego se ha consumido.
- La **fase de extinción** se alcanza cuando se ha consumido todo el material combustible.

La curva RHR en función del tiempo, véase la Figura 1.2, es una representación simplificada de un incendio natural donde se pueden identificar tres fases: creciente, que representa el crecimiento del fuego y tiene forma cuadrática; estacionaria, que representa el fuego totalmente desarrollado y es constante; y decreciente, que corresponde a la fase de decaimiento del incendio y es lineal.

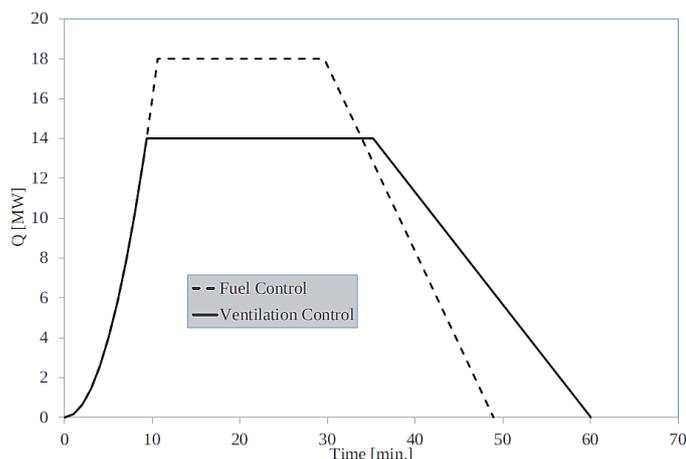


Figura 1.2. Ejemplo de curva RHR [22].

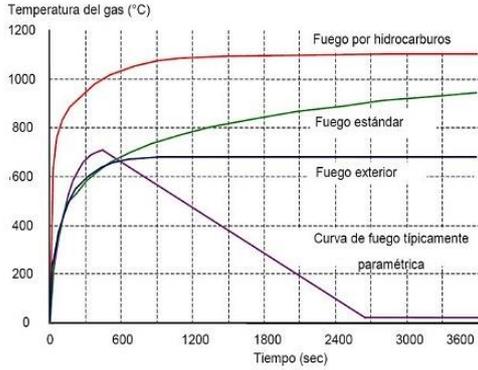
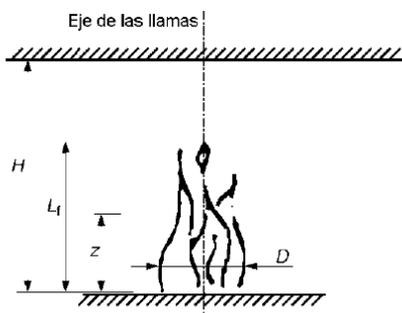
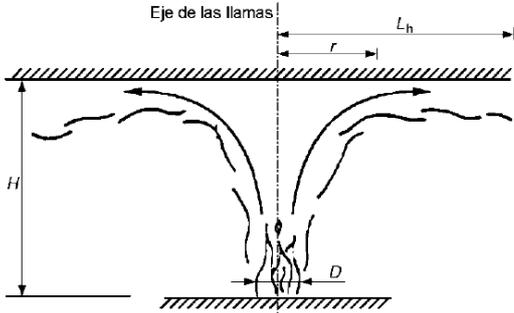
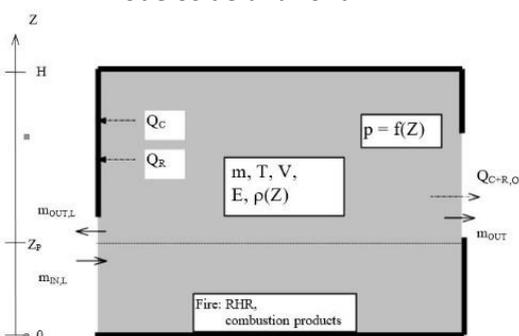
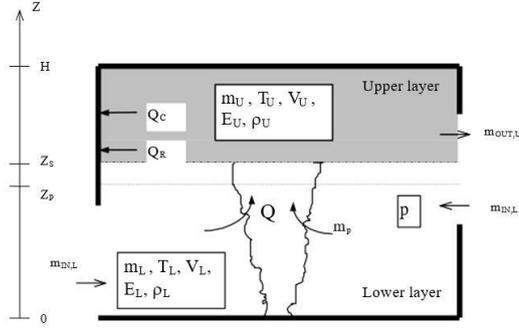
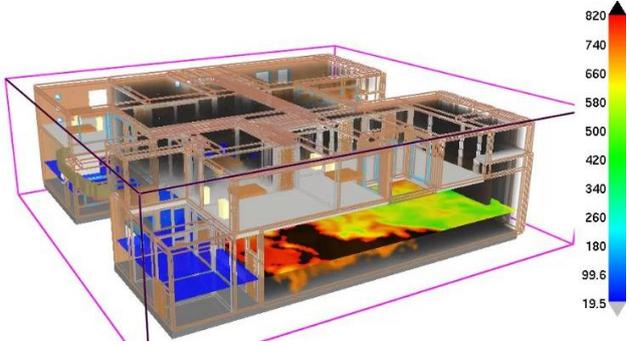
1.5 Modelos de incendio

En el diseño de estructuras expuestas al fuego se diferencian dos enfoques, el enfoque prescriptivo y el enfoque prestacional. El enfoque prescriptivo utiliza fuegos nominales para generar las acciones térmicas. El enfoque prestacional obtiene las acciones térmicas basándose en fuegos naturales con un campo de aplicación limitado y fundamentados en parámetros físicos específicos.

En la Tabla 1.3 se presenta una vista general de los modelos de incendio comúnmente utilizados para ambos enfoques de diseño.

Tabla 1.3. Modelos de incendio.

Modelos de incendio	
INCENDIO NOMINAL	<p>Curvas nominales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curva normalizada tiempo-temperatura (ISO-834) • Curva de fuego exterior • Curva de fuego por hidrocarburos

INCENDIO NATURAL	<p>Curvas paramétricas:</p>  <p>The graph shows gas temperature in °C on the y-axis (0 to 1200) and time in seconds on the x-axis (0 to 3600). Four curves are shown: 'Fuego por hidrocarburos' (red, highest peak at ~1100°C), 'Fuego estándar' (green, peak at ~900°C), 'Fuego exterior' (purple, peak at ~700°C), and 'Curva de fuego típicamente paramétrica' (blue, lowest peak at ~600°C).</p>	
	<p>Fuego localizado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heskestad  <p>The diagram shows a fire source of diameter D on a floor. The flame height is L_f. The vertical axis is z and the horizontal axis is x. The fire is centered on the 'Eje de las llamas' (axis of flames).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hasemi  <p>The diagram shows a fire source of diameter D on a floor. The flame height is L_f. The horizontal spread of the fire is L_h. The vertical axis is z and the horizontal axis is x. The fire is centered on the 'Eje de las llamas'.</p>
	<p>Modelos de zona:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos de una zona  <p>The diagram shows a vertical cross-section of a fire compartment. The vertical axis is z from 0 to H. The fire is at the bottom. The upper zone contains fire: RHR, combustion products. The lower zone contains air. Parameters include Q_c, Q_r, $m_{OUT,L}$, m_{OUT}, $Q_{C+R,O}$, $m_{IN,L}$, m, T, V, E, $\rho(Z)$, and $p = f(Z)$.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de dos zonas  <p>The diagram shows a vertical cross-section of a fire compartment divided into two zones. The vertical axis is z from 0 to H. The upper zone is labeled 'Upper layer' and contains parameters $m_U, T_U, V_U, E_U, \rho_U$. The lower zone is labeled 'Lower layer' and contains parameters $m_L, T_L, V_L, E_L, \rho_L$. The fire is at the bottom. Mass flow rates $m_{IN,L}$, m_p, $m_{OUT,U}$, and $m_{IN,U}$ are indicated. Heat fluxes Q_c and Q_r are also shown.</p>
	<p>Modelos informáticos de dinámica de fluidos:</p>  <p>The image shows a 3D CFD simulation of a fire in a building. A color scale on the right indicates temperature in °C, ranging from 19.5 (blue) to 820 (red). The fire is shown as a bright orange/red area at the bottom of the building.</p>	

Las **curvas nominales tiempo-temperatura** representan el incendio mediante una expresión exponencial o logarítmica que relaciona la temperatura del gas en el interior del recinto con el tiempo. Estas curvas modelan incendios totalmente desarrollados (post-flashover), sin embargo, al ser monótonas crecientes no consideran las fases de decaimiento y extinción. Además, no contemplan en su formulación ningún otro parámetro y asumen que la temperatura es uniforme en todo el recinto.

Las **curvas paramétricas** proporcionan un método sencillo para considerar las fases de decaimiento y extinción del incendio. Al igual que las curvas nominales, estas consideran que la temperatura es uniforme en todo el recinto, por tanto, su uso se restringe a fuegos post-flashover. Sin embargo, su formulación no se basa únicamente en el tiempo, los principales parámetros que influyen en el modelo corresponden al tamaño del recinto, la carga de fuego, las condiciones de ventilación y las propiedades térmicas de la envolvente del sector de incendio, tales como la conductividad térmica y el calor específico.

Estas curvas incluyen una fase de calentamiento representada por una curva exponencial que asciende hasta alcanzar la temperatura máxima. Posteriormente, sigue una fase de enfriamiento en la que la temperatura disminuye de manera lineal hasta estabilizarse en la temperatura residual, que suele corresponder a la temperatura ambiente.

Para modelar incendios que no están completamente desarrollados, los modelos más utilizados son los de fuego localizado de Heskestad y Hasemi. El **modelo de Heskestad** se aplica cuando las llamas no alcanzan el techo, mientras que el **modelo de Hasemi** se utiliza cuando las llamas sí lo alcanzan. Los datos de entrada necesarios incluyen el diámetro del fuego, la tasa de liberación de calor y la distancia entre el foco del incendio y el techo.

Otros modelos ampliamente utilizados en la simulación de incendios son los de zonas. El más simple de estos es el **modelo de una zona**, que se aplica en incendios completamente desarrollados y asume una temperatura uniforme dentro del recinto. En cambio, el **modelo de dos zonas** es útil en situaciones pre-flashover, especialmente durante la fase de crecimiento del incendio. En este modelo se considera una estratificación del incendio dentro del recinto, dividiéndose en dos zonas claramente diferenciadas: una zona superior caliente, que contiene la mayor parte del calor y los gases generados en la combustión, y una zona inferior fría. El penacho de humo y productos de la combustión alimentan la zona caliente justo encima del fuego.

Los datos de entrada en este caso son la geometría del recinto, las propiedades térmicas de los cerramientos y sus aberturas (ventilación), la carga de fuego y cualquier otro parámetro necesario para realizar el balance de masa y energía con los que se determina la temperatura y tamaño de cada zona.

Finalmente, puede utilizarse **modelos informáticos de dinámica de fluidos** para resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales parciales obtenidas de los principios físicos de la conservación de masa, la segunda ley de Newton y la primera ley de la termodinámica. De esta forma se obtienen las variables termodinámicas y aerodinámicas para todos los puntos del sector.

En la Tabla 1.4 se resumen las características principales de los distintos modelos de incendio explicados, ordenados de menor a mayor complejidad.

Tabla 1.4. Propiedades principales de los modelos de incendio [15].

Modelo	Curvas nominales	Curvas paramétricas	Fuego localizado	Modelo de zonas		CFD
				Una zona	Dos zonas	
Fase del incendio	Post-flashover		Pre-flashover	Post-flashover	Pre-flashover	Cualquiera
Distribución de temperaturas	Uniforme en el recinto		No uniforme a lo largo de la llama	Uniforme en el recinto	Uniforme en cada capa	Función de la posición y le tiempo
Datos del modelo	-	- Tamaño del recinto - Carga de fuego - Ventilación - Propiedades térmicas de la envolvente del recinto	- Altura del recinto - Tasa de liberación de calor - Distancia foco-techo - Diámetro fuego	- Tamaño del recinto - Carga de fuego - Ventilación - Propiedades térmicas de la envolvente del recinto - Otros datos para el balance de masas y energía	-	- Datos detallados relativos a la geometría del recinto, materiales ventilación, etc.
Normativa	UNE-EN 1991-1-2 Capítulo 3.2	UNE-EN 1991-1-2 Anejo A	UNE-EN 1991-1-2 Anejo C	UNE-EN 1991-1-2 Anejo D	UNE-EN 1991-1-2 Anejo D	UNE-EN 1991-1-2 Anejo D

En este proyecto se hace uso de la curva normalizada tiempo-temperatura (ISO-834) para modelar la acción térmica del incendio. Esta está representada en la Figura 1.3 y definida en la Ecuación 1.1.

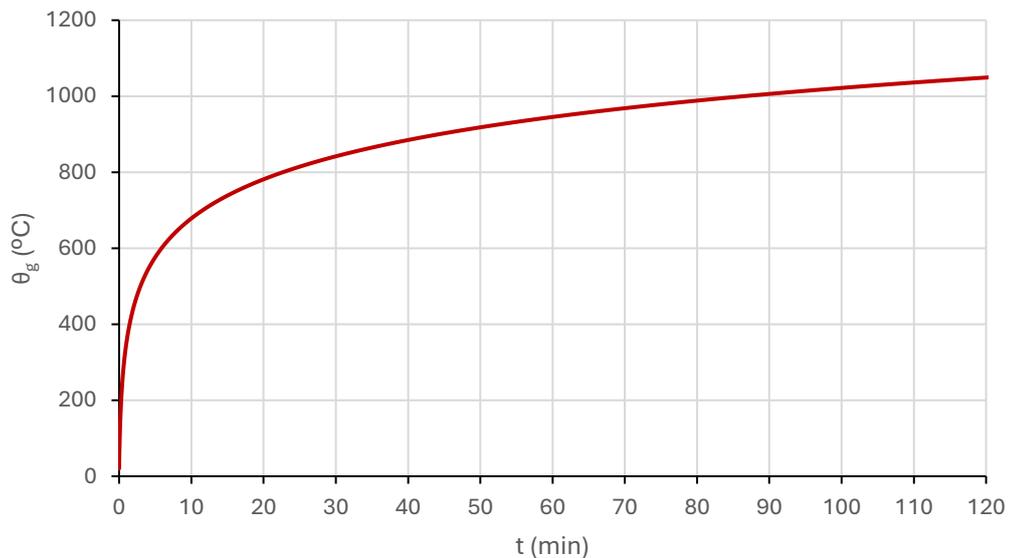


Figura 1.3. Curva normalizada tiempo-temperatura.

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

- θ_g : temperatura del gas en la proximidad de elemento (°C).
- t: tiempo en minutos (min).

1.6 Dominios de comprobación

En el cálculo de estructuras metálicas a fuego existen tres dominios de comprobación: resistencia, temperatura y tiempo.

La comprobación en el dominio de la resistencia coincide con la filosofía que se aplica en el cálculo a temperatura ambiente, es decir, se debe comprobar que el valor de cálculo del efecto de las

acciones ($E_{fi,d,t}$) es inferior al valor de cálculo de la resistencia correspondiente del elemento de acero ($R_{fi,d,t}$), ambos obtenidos para el dimensionamiento en situación de incendio, véase Figura 1.4. Esta comprobación se debe verificar para todo instante de tiempo comprendido entre el instante inicial y el tiempo de resistencia a fuego mínimo impuesto por la normativa de aplicación.

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} = E_{fi,d} \quad \text{Ec. 1.2}$$

La UNE-EN 1991-1-2, en su artículo 4.3.2, permite tomar la simplificación de que los efectos de las acciones pueden determinarse únicamente para el instante inicial y pueden considerarse constante durante toda la exposición al fuego.

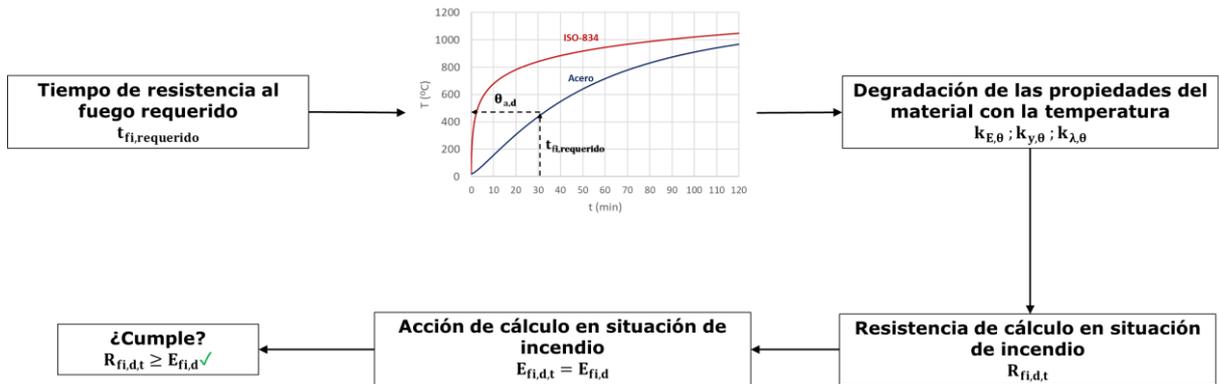


Figura 1.4. Comprobación en el dominio de la Resistencia.

Por otro lado, la comprobación en el dominio de la temperatura implica verificar que la temperatura alcanzada por el elemento de acero ($\theta_{a,d}$) durante el tiempo mínimo de resistencia requerido por la normativa sea inferior a su temperatura crítica ($\theta_{cr,a}$), véase Figura 1.5. Esta temperatura crítica es aquella en la que se prevé el fallo del elemento estructural, considerando una distribución uniforme de la temperatura en la sección.

$$\theta_{a,cr} \geq \theta_{a,d} \quad \text{Ec. 1.3}$$

En estructuras metálicas se emplea habitualmente este método de comprobación, que limita la temperatura máxima que el elemento de acero puede alcanzar en base a su grado de utilización en fuego.

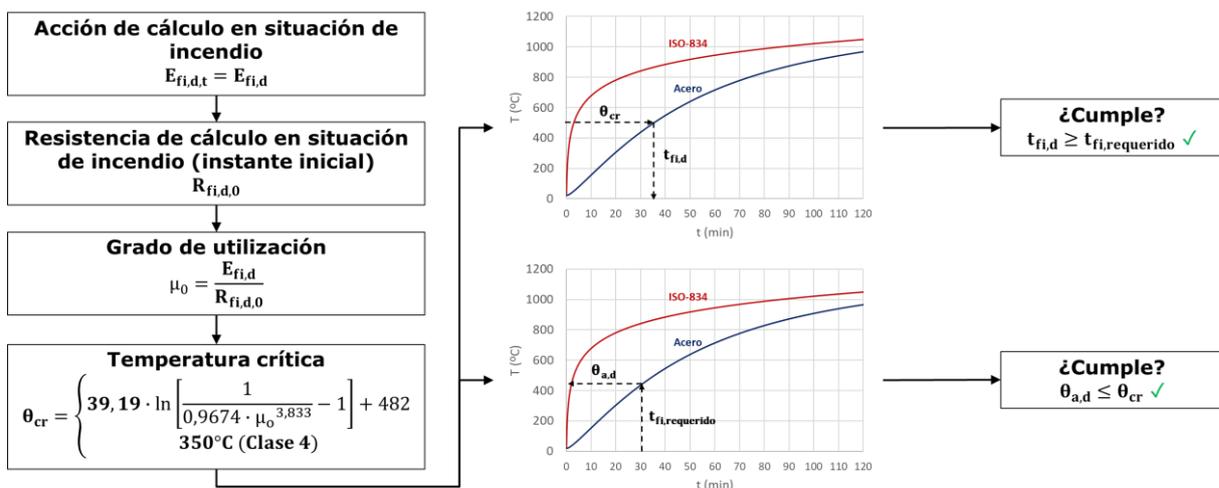


Figura 1.5. Comprobación en el dominio de la Temperatura.

Por último, la verificación en términos de tiempo requiere comprobar que el valor de cálculo de resistencia a fuego ($t_{fi,d}$) es superior al tiempo exigido por la normativa ($t_{fi,requ}$).

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requerido} \quad \text{Ec. 1.4}$$

1.7 Alcance

El alcance de este Trabajo Final de Máster se limita al cálculo estructural a temperatura ambiente del edificio industrial de referencia, utilizando el software comercial Cype3D. También se incluye el cálculo estructural bajo la situación accidental de incendio considerando los tres dominios de comprobación con un enfoque prescriptivo y haciendo uso de la curva normalizada tiempo-temperatura. En resumen, este trabajo contempla:

- Cálculo completo del edificio de referencia en el dominio de la temperatura con el software Cype3D.
- Cálculo del pórtico crítico del edificio de referencia en el dominio de la resistencia, de acuerdo con el Código Estructural y el Código Técnico de la Edificación e incorporando el enfoque de comprobación del documento *Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions ([17])*.
- Cálculo del pórtico crítico del edificio de referencia en el dominio del tiempo utilizando el software SAFIR.

Queda fuera de este proyecto el diseño de las instalaciones de protección activa, la sectorización y evacuación del edificio y el cálculo a temperatura elevada de las uniones.

1.8 Contribución del trabajo con los ODS

El 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se reúne y crea la conocida Agenda 2030 para fomentar un desarrollo sostenible. En esta reunión se proponen los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) agrupados en la Figura 1.6.



Figura 1.6. Objetivos de desarrollo sostenible [30].

Es importante que cualquier proyecto actual tenga en cuenta estos objetivos y trate, en la medida de lo posible, de contribuir en el cumplimiento de los mismos. En particular, este Trabajo Final de Máster pretende cooperar con los siguientes objetivos:

- **ODS 9: “Construir Infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación ([30])”.** El objetivo principal de este proyecto es la búsqueda de soluciones más seguras y eficientes en el diseño de estructuras metálicas bajo la situación accidental de incendio. De esta forma se contribuye de manera directa con la construcción de infraestructuras más resilientes y se fomenta el uso de software y métodos de cálculo innovadores desarrollados por diversas instituciones.
- **ODS 11: “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles ([30])”.** Las estructuras metálicas están presentes en muchos entornos urbanos. Buscar alternativas para mejorar su capacidad de resistir la acción del fuego contribuye directamente a mejorar la seguridad de las ciudades.
- **ODS 12: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles ([30])”.** Encontrar nuevas alternativas de cálculo puede permitir un uso más eficiente de los materiales, reduciéndose así su consumo y las emisiones de CO₂ y otros contaminantes generados en su producción.

2 EDIFICIO DE REFERENCIA

Para llevar a cabo el estudio de alternativas de diseño se utiliza como punto de partida el edificio descrito en este apartado, en el que se lleva a cabo una actividad industrial genérica. En la práctica es importante tener un conocimiento exhaustivo de la actividad económica que se va a desarrollar en un edificio industrial para adecuar así su diseño. Sin embargo, en el contexto de este proyecto y dado el carácter investigador de una parte del mismo, basta con estipular que la actividad a desarrollar en el edificio es industrial para que este quede bajo el marco normativo del RSCIEI en materia de protección contra incendios.

2.1 Ubicación

A la hora de definir la ubicación geográfica más adecuada para una actividad económica intervienen numerosos aspectos como la proximidad de los clientes y proveedores, conectividad de transporte, calidad de la infraestructura de servicios, regulaciones locales o coste del terreno, entre otros. Sin embargo, como ya se ha comentado, este proyecto se enmarca en un contexto teórico donde la ubicación afecta principalmente a la definición de las acciones variables de viento y nieve. Con el fin de definir estas acciones, el edificio industrial se ha ubicado en el Polígono Industrial Fuente del Jarro, una de las seis áreas industriales avanzadas de la Comunitat Valenciana, la máxima categoría reconocida en la Ley 14/2018, de 5 de junio, de gestión, modernización y promoción de las áreas industriales de la Comunitat Valenciana. En la Figura 2.1 se muestra la ubicación del polígono con respecto al área urbana de la ciudad de Valencia y las carreteras cercanas.



Figura 2.1. Ubicación área industrial Fuente del Jarro (Instituto Geográfico Nacional).

2.2 Descripción

En la Figura 2.2 puede apreciarse una vista 3D de la estructura del edificio industrial de referencia. El edificio está compuesto por dos naves adosadas constituidas por once pórticos a dos aguas equidistantes entre sí 5 m, lo que resulta en una profundidad total de 50 m. Dado que la profundidad del edificio supera los 40 m, se ha dividido en dos secciones mediante juntas con colisos en la alineación F, tanto en las correas como en las vigas perimetrales. De esta forma, se evitan los problemas asociados a las tensiones producidas por las dilataciones térmicas.

La geometría transversal de ambas naves es idéntica, con una luz de 25 m, una pendiente en cubierta del 10% y una altura de cabeza de pilar de 8 m, proporcionando una superficie total de 2500 m².

La estructura dispone de vigas contraviento tipo Pratt en la cubierta, complementadas con arriostramientos de cruz de San Andrés en las fachadas laterales y dos vigas perimetrales, una en cabeza del pilar y otra situada a 5,44 m sobre el suelo.

Los pórticos de fachada, arriostrados en su plano con un sistema de cruces de San Andrés, tienen tres pilares intermedios separados entre sí 6,25 m y un arriostramiento a la altura de la segunda viga perimetral.

Por último, la cimentación se resuelve mediante un sistema de zapatas aisladas interconectadas adecuadamente con vigas de atado. La conexión entre la estructura metálica y las zapatas de la cimentación se materializa con la colocación de las pertinentes placas de anclaje.

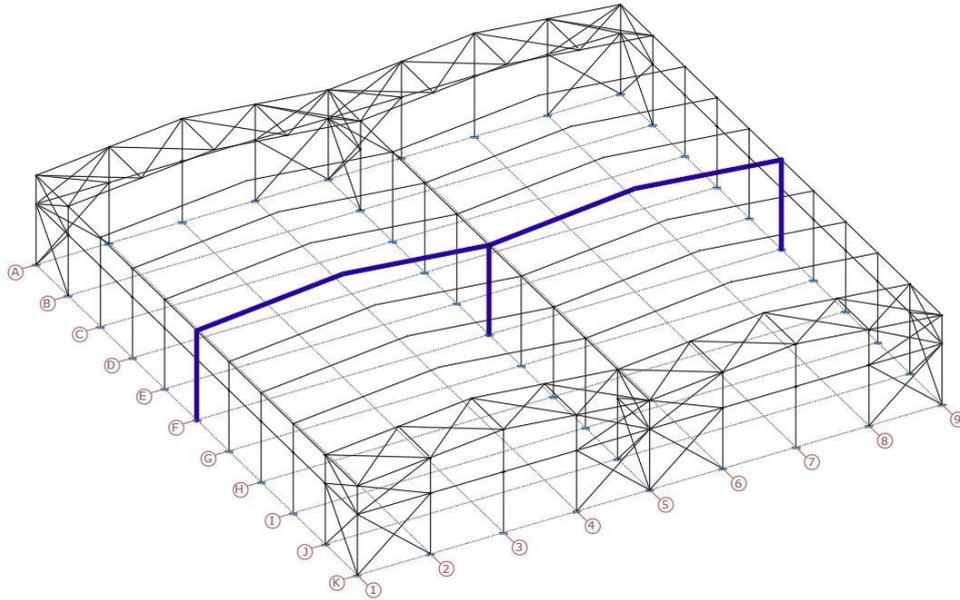


Figura 2.2. Edificio de referencia.

2.2.1 Pórticos de fachada

Los pórticos de fachada están conformados por dos pilares extremos de tipo IPE240 y un pilar interior compartido de tipo IPE400, todos posicionados de forma que el alma de los perfiles quede paralela al plano del pórtico. Los pilares interiores restantes están resueltos con secciones IPE240, pero giradas 90° en comparación con la disposición anterior, como se muestra en la Figura 2.3. Las jácenas se han solucionado con perfiles IPE160.

Además, el pórtico está arriostrado en su plano mediante un montante de tipo SHS100x4.0 y dos cuadros de arriostramiento, el de menor tamaño resuelto con perfiles tipo L75x75x4 y el de mayor tamaño con tipo L90x90x6. Hay que destacar que el acero empleado para los perfiles laminados en caliente es el S275JR.

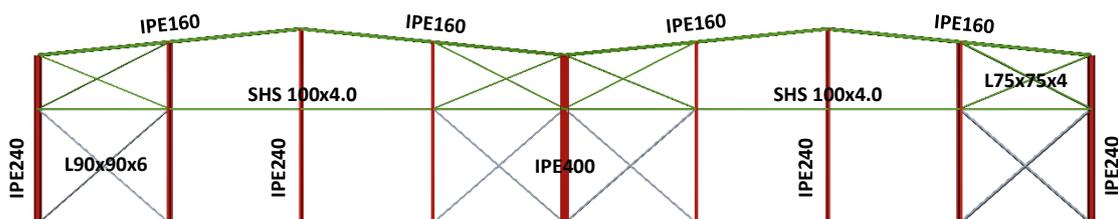


Figura 2.3. Pórtico de fachada (alineación A y K).

2.2.2 Pórticos interiores

Los pórticos interiores de la estructura están constituidos por perfiles IPE400 tanto en los pilares como en las jácenas, como se ilustra en la Figura 2.4. Las jácenas disponen de cartelas inferiores de 2 metros de longitud.

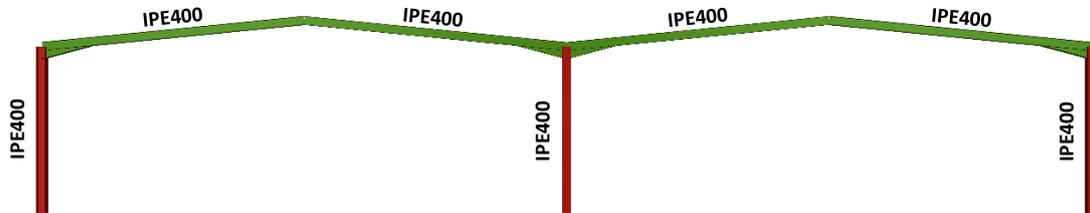


Figura 2.4. Pórtico interior (alineación B a J).

2.2.3 Fachadas laterales

Se identifican dos tipologías de fachada lateral. La primera, ubicada en las alineaciones exteriores, incluye una viga perimetral situada a 8 m de altura que conecta las cabezas de los pilares y otra a 5,44 m sobre el suelo, ambas resueltas con perfiles IPE120. Además, presenta un arriostramiento formado por montantes de tipo SHS90x4.0 y cruces de San Andrés con perfiles tipo L60x60x4 para el cuadro de arriostramiento de menor tamaño y tipo L75x75x4 para el de mayor tamaño, véase Figura 2.5.

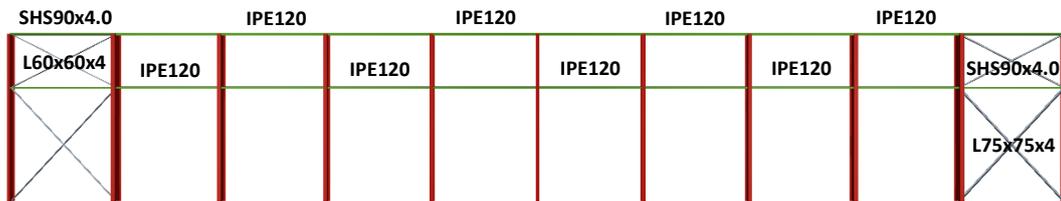


Figura 2.5. Fachada lateral exterior (alineación 1 y 9).

La segunda tipología, dispuesta en la alineación interior, presenta una composición muy parecida a la anterior, con la única diferencia de que la viga perimetral inferior no se extiende a toda la fachada, de esta forma no se obstaculiza el movimiento entre ambas naves.

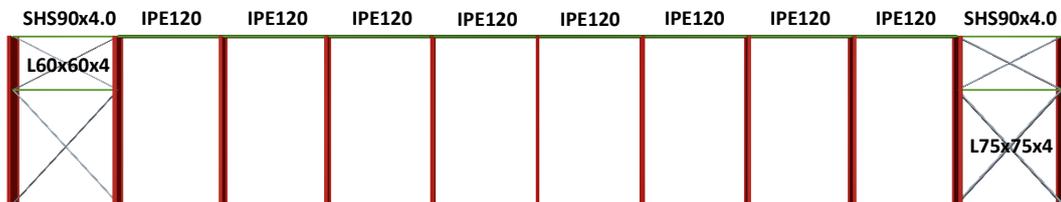


Figura 2.6. Fachada lateral interior (alineación 5).

2.2.4 Cubierta

En la cubierta se disponen dos vigas contraviento tipo Pratt resueltas con montantes SHS90x4.0 y tirantes L80x80x5, como se muestra en la Figura 2.7.

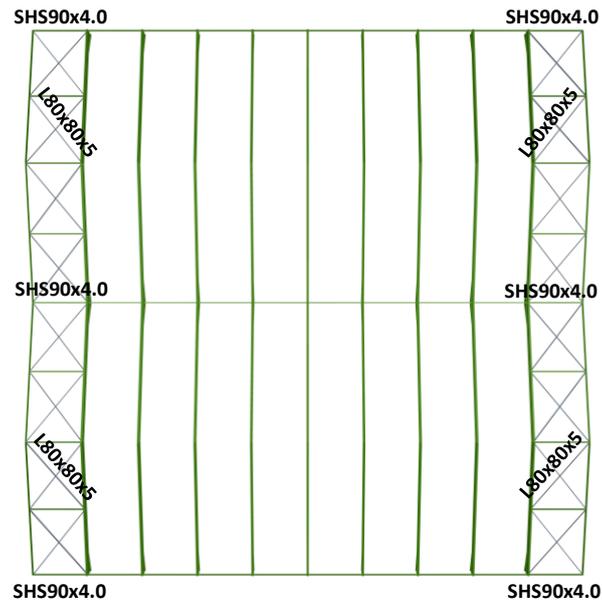


Figura 2.7. Cubierta.

2.2.5 Placas de anclaje

Las placas de anclaje constan de una placa base y cartelas de refuerzo fabricadas en acero laminado S275JR junto con pernos de anclaje roscados de acero corrugado B500S. Estos pernos están dispuestos con patilla a 90° para reducir la longitud de anclaje.

En la estructura se disponen tres tipos de placas de anclaje, sus dimensiones se detallan en la Tabla 2.1 y están representadas en la Figura 2.8.

Tabla 2.1. Dimensiones placas de anclaje.

Tipo	Dimensiones placa base (mm)	Número y diámetro de pernos	Longitud pernos (mm)	Dimensiones refuerzos (mm)
T1	450x650x22	6Ø20	550	Y: 2(650x150x7)
T2	350x450x22	6Ø20	350	Y: 2(450x100x7)
T3	350x450x22	4Ø20	300	Y: 1(210x100x7)

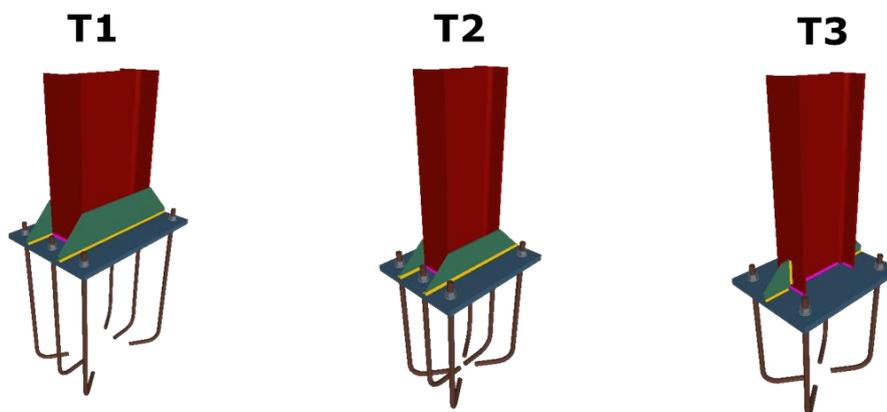


Figura 2.8. Tipos de placas de anclaje.

La distribución y disposición de las placas de anclaje queda recogida en la Figura 2.9.

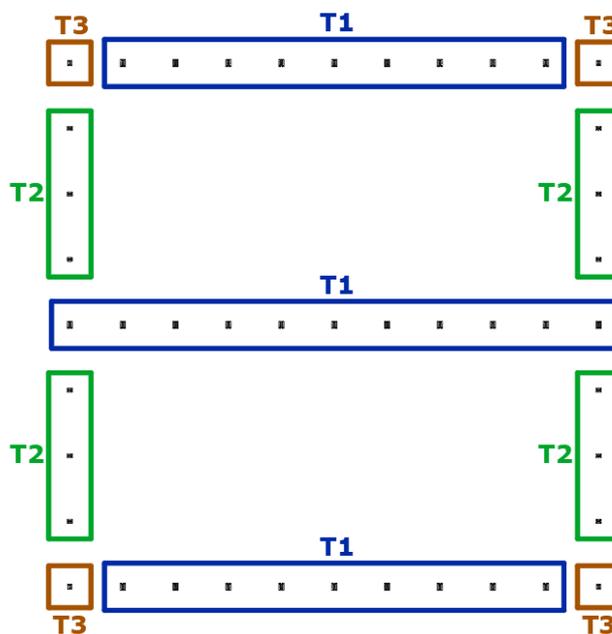


Figura 2.9. Sistema de placas de anclaje.

2.2.6 Cimentación

La cimentación se resuelve utilizando un sistema de zapatas aisladas conectadas mediante vigas de atado. Se emplea hormigón HA-25/F/20/XC2 y acero B500S para las barras de refuerzo, que deben tener un recubrimiento de 80 mm con respecto las caras laterales y de 35 mm con respecto a las caras superior e inferior. Antes de colocar los armados de las zapatas y las vigas de atado se aplica una capa inferior de hormigón de limpieza HL-150/F/20 de 10 cm de espesor.

En el cálculo se ha asumido que la tensión admisible del terreno es de 0,2 MPa para situaciones persistentes o transitorias y de 0,3 MPa para situaciones accidentales.

La solución adoptada se ha obtenido tomando como criterio de diseño que el canto de las zapatas se debe encontrar en el rango de 40-90 cm. Se han dispuesto cuatro tipos de zapatas cuyas características se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Características de las zapatas aisladas y vigas de atado.

Tipo	Dimensiones (cm)	Armadura inferior X	Armadura superior X	Armadura inferior Y	Armadura superior Y
Z1	150x300x90	11Ø20c/27	11Ø20c/27	9Ø16c/16	9Ø16c/16
Z2	180x255x55	9Ø16c/29	9Ø16c/29	11Ø12c/16	11Ø12c/16
Z3	255x255x45	13Ø12c/19	13Ø12c/19	13Ø12c/19	13Ø12c/19
Z4	225x345x70	15Ø16c/23	15Ø16c/23	10Ø16c/22	10Ø16c/22
Tipo	Dimensiones (cm)	Armadura superior	Armadura inferior	Estribos	
VA	40x40	2Ø12	2Ø12	Ø8c/25	

Como se puede apreciar, en el diseño de las zapatas aisladas se han considerado las situaciones que generan tracción en su cara superior. Por este motivo, el software Cype3D dispone en esta cara el

mismo emparrillado que en la cara inferior. Sin embargo, se podría obviar su colocación para facilitar la ejecución y reducir los costes.

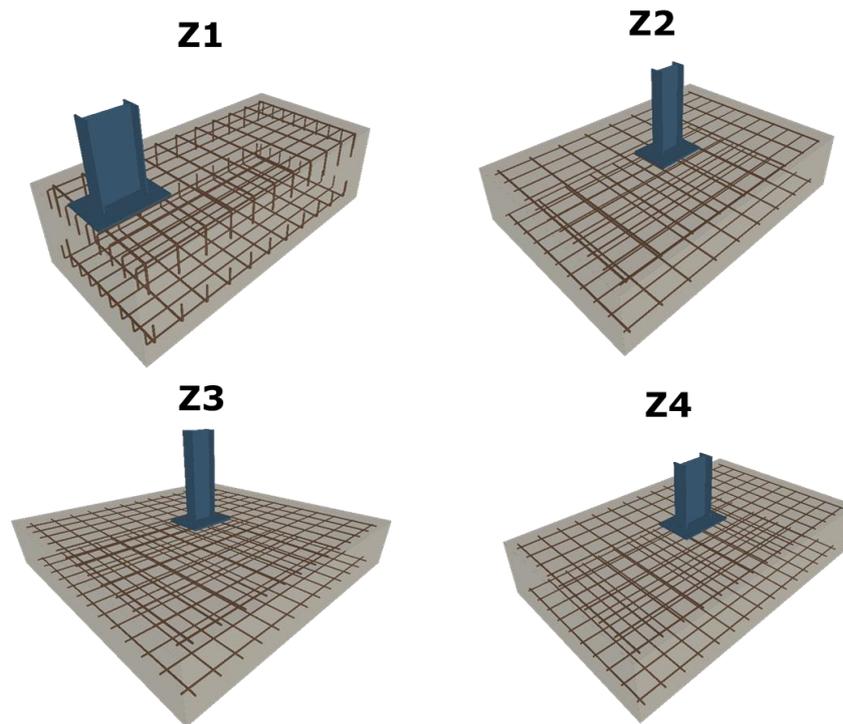


Figura 2.10. Tipos de zapatas.

La distribución y disposición de las zapatas se ilustra en la Figura 2.11. Como se puede observar, las zapatas tipo Z1 son rectangulares y excéntricas hacia fuera, mientras que las zapatas tipo Z2 y Z4 son rectangulares y están centradas. Por su parte, las zapatas tipo Z3 son cuadradas y también están centradas. Todas las zapatas están conectadas mediante vigas de atado con una sección de 40x40 cm², lo que proporciona rigidez y estabilidad al conjunto.

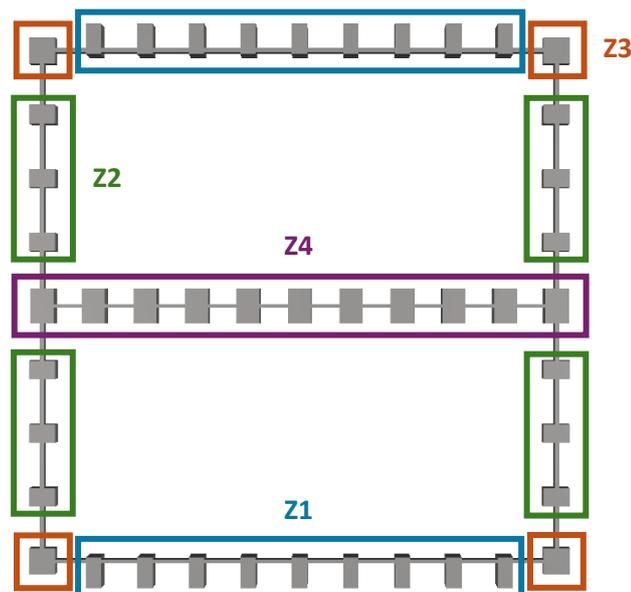


Figura 2.11. Cimentación.

2.2.7 Correas y cerramientos

El cerramiento utilizado en la cubierta y en las fachadas es panel tipo sándwich con un peso estimado en el cálculo estructural de 0,15 kN/m². Para transmitir las cargas actuantes y el peso de los cerramientos a la estructura se emplean secciones conformadas en frío CF-160x2.5 de acero S235JR. En la cubierta se colocan 28 correas, separadas 1,99 m entre sí, mientras que en cada fachada se instalan 7 correas, con una separación de 1,28 m.

En la parte izquierda de la Figura 2.12 se muestra el sistema de unión estándar entre las correas y la estructura portante, y a la derecha la unión con agujero tipo coliso que se utiliza para materializar la junta de dilatación en las correas.

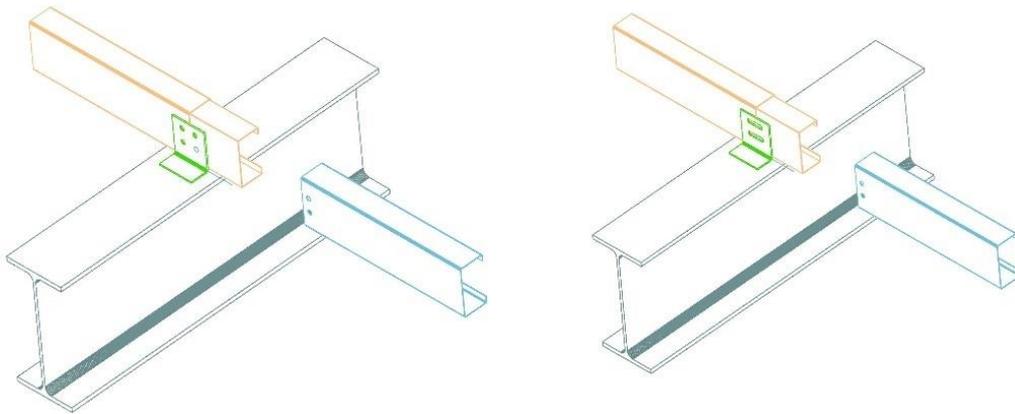


Figura 2.12. Unión jácena-correa [23].

3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo se recogen los resultados finales obtenidos en cada una de las alternativas de diseño estudiadas. El proceso para obtener estos resultados está explicado de manera detallada en el anexo de cálculo correspondiente.

3.1 Cálculo elástico en el dominio de la temperatura

3.1.1 Resultados

El edificio industrial objeto de este proyecto ha sido diseñado en situación de incendio utilizando el software Cype3D con el objetivo de cumplir la resistencia mínima de 30 minutos establecida por el nuevo RSCIEI. Para lograr esto se ha optado por aplicar protección pasiva a los elementos, en lugar de aumentar las secciones de los perfiles utilizados en el diseño a temperatura ambiente. Por tanto, las secciones dispuestas en cada uno de los elementos son las indicadas en el segundo capítulo de este documento.

Las temperaturas críticas obtenidas en cada uno de los elementos estructurales de la nave industrial se recogen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Temperaturas críticas obtenidas en Cype3D.

ELEMENTO	SECCIÓN	θ_{crit} (°C)
PÓRTICO DE FACHADA		
Jácena	IPE160	676°C
Pilar exterior	IPE240	668°C
Pilar interior	IPE240	582°C
Pilar interior compartido	IPE400	700°C
PÓRTICO INTERIOR		
Jácena	IPE400	350°C
Pilar exterior	IPE400	590°C
Pilar interior	IPE400	664°C
VIGA CONTRAVIENTO		
Montante	SHS90x4.0	594°C
Tirante	L80x80x5	350°C
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA FRONTAL		
Montante	SHS100x4.0	700°C
Tirante mayor	L90x90x6	350°C
Tirante menor	L75x75x4	350°C
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA LATERAL		
Viga perimetral	IPE120	700°C
Montante	SHS90x4.0	700°C
Tirante mayor	L75x75x4	350°C
Tirante menor	L60x60x4	350°C
CORREAS		
Cubierta	CF160x2.5	350°C
Fachada lateral	CF160x2.5	-
Fachada frontal	CF160x2.5	-
(-): En las fachadas se ha considerado que las correas no tienen función de arriostramiento, por tanto, son elementos secundarios que no requieren de protección		

Conocida la temperatura crítica de cada elemento, la resistencia del mismo corresponde al tiempo necesario para que su sección alcance esta temperatura estando expuesta a la curva normalizada ISO-834 bajo las combinaciones de acciones correspondiente. Para conseguir la resistencia necesaria el software permite utilizar una gama limitada de protecciones pasivas recogidas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Protecciones pasivas en Cype3D.

PROTECCIÓN	CONDUCTIVIDAD (W/m·K)	DENSIDAD (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO (J/kg·K)
Placa de fibrosilicato de calcio	0,175	750	1200
Placa de fibrocemento	0,150	800	1200
Placa de cartón yeso	0,200	800	1700
Placa de vermiculita-perlita con cemento	0,200	800	1200
Panel rígido de lana de roca	0,200	175	1200
Proyectado de fibras minerales	0,120	300	1200
Mortero de vermiculita-perlita con cemento (baja densidad)	0,120	350	1200
Mortero de vermiculita-perlita con cemento (alta densidad)	0,120	550	1100
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	0,120	650	1100
Lana mineral o de roca	0,200	150	1200
Pintura intumescente	0,010	0	0

De estas alternativas la más utilizada por su acabado estético es la pintura intumescente. Sin embargo, los rociados con mortero también se usan ampliamente por su rápida aplicación en obra. En la Tabla 3.3 se recogen los espesores mínimos obtenidos para conseguir la resistencia de 30 minutos con estas dos alternativas.

Tabla 3.3. Espesores mínimos de protección obtenidos en Cype3D para R30.

ELEMENTO	θ_{crit} (°C)	Pintura intumescente (mm)	Mortero de vermiculita-perlita (mm)
PÓRTICO DE FACHADA			
Jácena	676°C	0,6	10
Pilar exterior	668°C	0,6	10
Pilar interior	582°C	0,8	10
Pilar interior compartido	700°C	0,4	10
PÓRTICO INTERIOR			
Jácena	350°C	1,2	15
Pilar exterior	590°C	0,6	10
Pilar interior	664°C	0,4	10
VIGA CONTRAVIENTO			
Montante	594°C	0,8	10
Tirante	350°C	2,6	20
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA FRONTAL			
Montante	700°C	0,6	10
Tirante mayor	350°C	2,2	20
Tirante menor	350°C	3,2	25

ARRIOSTRAMIENTO FACHADA LATERAL			
Viga perimetral	700°C	0,8	10
Montante	700°C	0,6	10
Tirante mayor	350°C	3,2	25
Tirante menor	350°C	3,2	25
CORREAS			
Cubierta	350°C	*	25
(*) No es posible obtener un espesor de pintura intumescente que permita satisfacer la resistencia al fuego indicada			

Si se desea utilizar otro tipo de protección pasiva se pueden emplear los resultados de las temperaturas críticas calculadas con el software y, en una hoja de cálculo, obtener la evolución de la temperatura de la sección estudiada según lo dispuesto en el CTE o el CE. Este procedimiento se detalla en el anexo de cálculo.

En la Tabla 3.4 se recogen los espesores mínimos requeridos para el pórtico interior de la nave industrial, protegido con IGNIPLASTER, un producto del fabricante español Promat. Este recubrimiento proyectable está compuesto de ligantes hidráulicos inorgánicos, áridos ligeros (perlita y vermiculita) y aditivos especiales.

Tabla 3.4. Espesores mínimos de protección IGNIPLASTER para el pórtico interior (R30) – dominio de la temperatura.

ELEMENTO	SECCIÓN	θ_{crit} (°C)	ESESOR IGNIPLASTER	t (min)
PÓRTICO INTERIOR				
Jácena	IPE400	350°C	13 mm	31,93
Pilar exterior	IPE400	590°C	6 mm	32,63
Pilar interior	IPE400	664°C	5 mm	31,74

Es importante destacar que el fabricante recomienda aplicar el producto en espesores que van desde 10 hasta 73 mm. Por tanto, ambos pilares deben protegerse con un espesor mínimo de 10 mm.

Por último, hay que tener en cuenta que los materiales que conforman las placas de anclaje no ven reducidas sus propiedades por la acción del fuego, ya que toda la unión está embebida en la solera. Obviamente el incendio tampoco afecta a los materiales de la cimentación. Por tanto, las placas de anclaje y las zapatas son exactamente las mismas a las descritas en los subcapítulos 2.2.5 y 2.2.6 de este documento.

3.2 Cálculo elástico en el dominio de la resistencia

3.2.1 Resultados

Para realizar el cálculo en este dominio se ha implementado lo establecido en el CE y el CTE en una hoja de cálculo, el procedimiento completo se describe en el capítulo correspondiente del anexo de cálculo. Esta metodología, al igual que en el resto de los enfoques estudiados en este capítulo, se ha aplicado únicamente al pórtico interior de la nave industrial. Se ha obtenido como resultado que aplicar el espesor mínimo de 10 mm de protección IGNIPLASTER a todos los elementos del pórtico es suficiente para alcanzar la resistencia requerida de 30 minutos.

Tabla 3.5. Espesores de protección IGNIPLASTER para el pórtico interior (R30) – dominio de la resistencia.

ELEMENTO	SECCIÓN	ESPESOR IGNIPLASTER
PÓRTICO INTERIOR		
Jácena	IPE400	10 mm
Pilar exterior	IPE400	10 mm
Pilar interior	IPE400	10 mm

Destaca de manera significativa que, en el caso de la jácena, el cálculo en el dominio de la temperatura requiere un espesor mayor de protección que el cálculo en el dominio de la resistencia. Esto resulta llamativo dado que ambas metodologías están aceptadas y desarrolladas en la normativa de referencia y deberían arrojar resultados muy similares. Esto puede explicarse de dos maneras. La primera es que en Cype3D no es posible configurar el tipo de exposición de las barras, es decir, el programa asume que todas las barras están expuestas en sus cuatro caras. Como resultado, se obtiene una temperatura mayor en comparación con los cálculos realizados en el dominio de la resistencia donde si se considera una exposición al fuego en solo tres caras. La segunda explicación, más probable, es que Cype3D está clasificando incorrectamente la sección de la viga como clase 4, lo que conlleva a una temperatura crítica de 350°C. En el segundo capítulo del anexo de cálculo se demuestra que una sección IPE400 se clasifica únicamente como clase 4 si trabaja exclusivamente a compresión, este no es el caso, o si trabaja a flexo-compresión con axiles superiores a 1822 kN, valor muy superior a los axiles a los que está sometida la jácena en las distintas combinaciones de cálculo. Por tanto, la clasificación de clase 4 que considera Cype3D en la comprobación a flexión simple es errónea.

3.3 Cálculo en dominio plástico

En los métodos de análisis global de la estructura en régimen elástico se entiende que la estructura completa falla cuando, en un punto de alguna de sus secciones, se alcanza el valor de límite elástico del acero o, si los fenómenos de abolladura local lo permiten, cuando se alcanza el momento resistente plástico de la sección, que se define como aquel que es capaz de plastificar todas fibras de la misma.

Sin embargo, cuando se realiza un análisis global de la estructura en régimen plástico, se dispone de una reserva de resistencia que corresponde a la aparición de zonas donde el material alcanza la fluencia y se comportan como una rótula plástica, de modo que la estructura puede soportar una mayor carga. Este incremento de resistencia de la estructura aumenta con su grado de hiperestaticidad, ya que esto permite la aparición de un mayor número de rótulas plásticas hasta la generación de un mecanismo de colapso.

La aplicación de este enfoque de diseño solo tiene sentido cuando se está estudiando una situación de dimensionamiento extraordinaria, donde aparecen acciones accidentales como la del incendio o el sismo, ya que la estructura queda afectada de manera permanente.

En aras de utilizar un método de cálculo que siga este enfoque y que esté contrastado y sea fácil de implementar en el diseño convencional de estructuras metálicas de una única planta, se van a emplear las recomendaciones y algunos de los modelos matemáticos desarrollado en el escrito titulado *Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions ([17])*, elaborado por el Dr. Ian Simms y el Sr. Gerald Newman, del Steel Construction Institute. Cabe destacar que este documento se enmarca como una guía no obligatoria, pero de aplicación general en todo Reino Unido para el estudio de edificios aporricados de una única planta en situación de incendio.

3.3.1 Metodología

En términos generales, la normativa de obligado cumplimiento en Reino Unido recoge, en el denominado *Approved Document B* ([18]), el porcentaje mínimo de superficie que debe protegerse en los cerramientos situados cerca de los lindes de la parcela y el tiempo mínimo de resistencia al fuego que estos deben tener. Esta información se puede obtener de forma tabulada para edificios de una única planta a través de su altura y uso, la distancia al linde más cercano y la existencia o no de sistema de rociadores automáticos. Además, los elementos estructurales que soportan estos cerramientos deben disponer como mínimo de la misma resistencia al fuego para garantizar su estabilidad durante el tiempo requerido.

Se trata de una filosofía de diseño que presenta diferencias con la desarrollada en la normativa española, sin embargo, persiguen el mismo objetivo, evitar que el incendio desarrollado pueda propagarse a otros establecimientos industriales cercanos. El propósito de la guía técnica tomada como referencia es evitar la necesidad de tener que proteger los elementos principales que sustentan a la cubierta, es decir, las jácenas (o vigas) y las correas. De este modo, únicamente deben cumplir la resistencia al fuego requerida los pilares que soportan los cerramientos de compartimentación.

Para lograr este fin, es necesario diseñar las bases de los pilares exteriores de los pórticos interiores para que soporten los esfuerzos generados en el colapso de la cubierta. En la guía se pueden encontrar diferentes modelos matemáticos para obtener estos esfuerzos críticos producidos durante el colapso. Los pilares interiores en pórticos de varios vanos, al no sustentar cerramientos cuya pérdida de estabilidad pueda propagar el incendio a otros establecimientos, en un principio no deben tener protección ni bases resistentes.

También hay que tener en cuenta que al colapsar la estructura de cubierta se ejerce una fuerza horizontal, fuera del plano, sobre la estructura que soporta los cerramientos de fachada frontal, es decir, los pórticos de fachada. Sin embargo, la magnitud de esta fuerza por norma general es reducida, y dado que se va a repartir entre varios pilares, se considera que estos soportan el colapso siempre y cuando sus bases se diseñen para resistir al menos el 10% del momento plástico de los propios pilares. Los momentos que actúan sobre los pilares de fachada se suponen causado por una fuerza horizontal que tira hacia el interior del edificio por su parte superior, al igual que ocurre en los pilares de los pórticos interiores.

Lo que se busca con este proyecto es aplicar esta misma filosofía a la normativa española y, para ello, se hará uso de los modelos de colapsos desarrollados en esta guía. El procedimiento de diseño es el siguiente:

1. Calcular las acciones consideradas en situación de incendio.
2. Calcular los esfuerzos en las bases de los pilares provocados por el colapso de la cubierta.
3. Comprobar la resistencia de los pilares.
4. Comprobar la resistencia de las bases de los pilares, es decir, de las placas de anclaje y la cimentación.
5. Comprobar la estabilidad longitudinal del edificio.
6. Proteger los pilares para que cumplan el tiempo requerido en la normativa.

Es importante resaltar que para hacer uso de esta metodología de diseño es necesario comprobar que pueden generarse rótulas plásticas con capacidad de rotación en las vigas del pórtico, por tanto, es imprescindible que las secciones que componen dichas vigas sean capaces de alcanzar su momento resistente plástico y que no se vean afectadas por los fenómenos de abolladura local que

limitan su capacidad de rotación. Para comprobar esta condición es indispensable reclasificar las secciones de estudio bajo la acción del fuego y verificar que se comportan como secciones clase 1, que el propio Eurocódigo 3 define como aquellas que pueden desarrollar rótulas plásticas con la capacidad de rotación requerida para un análisis global plástico sin reducción de la resistencia de la sección.

Por último, en la guía se hace una alusión a como diseñar los compartimentos interiores de sectorización. En esta se indica que, cuando las paredes interiores son paralelas a los pórticos, se considera que la estructura fría de un lado del cerramiento puede sostenerlo aunque la parte afectada por el fuego en otro lado este en estado de colapso. Por tanto, cuando el cerramiento sea paralelo al plano de los pórticos, las bases de los pilares interiores que lo sostienen no requerirán ninguna fijación especial, pero los pilares deberán estar debidamente protegidos contra el fuego.

Sin embargo, cuando las paredes de compartimentación son perpendiculares a los pórticos, el colapso de la estructura de cubierta puede afectar a su estabilidad. Esto puede evitarse colocando un puntal en la línea de la pared de compartimentación, el cual debe estar diseñado para proporcionar estabilidad a la misma en el estado límite convencional y comprobarse para una carga axial de la viga en el estado límite de incendio. La conexión en dirección vertical entre la parte superior del puntal y la viga debe ser tal que permita deformaciones en condiciones normales de servicio sin que se transmitan fuerzas de compresión al puntal, el cual debe diseñarse para soportar la carga de la mitad de la luz de las vigas en situación de incendio. Además, debe estar protegido, por ejemplo, construyendo el puntal embebido en la pared de compartimentación.

3.3.2 Mecanismo de colapso en pórticos simétricos de un vano

En las etapas iniciales del incendio las jácenas del pórtico comienzan a calentarse y aumenta su temperatura, esto le induce una dilatación longitudinal que tiende a provocar una leve desviación hacia el exterior de los aleros y hacia arriba del vértice superior de cumbrera. Al estar esta dilatación parcialmente restringida en las uniones rígidas que componen el pórtico se generan unos esfuerzos internos de flexión, como se muestra en la Figura 3.1.

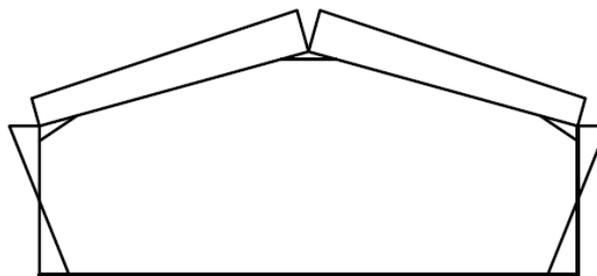


Figura 3.1. Distribución de momentos flectores inducidos por la dilatación térmica [17].

En los pilares ocurre exactamente lo mismo, sin embargo, al disponer de sistemas de protección pasiva a lo largo de toda su longitud, su calentamiento es mucho más lento.

A este aumento de los esfuerzos se añade la reducción de las propiedades mecánicas del acero provocada por el incremento de temperatura. De esta forma, la capacidad resistente de las jácenas se reduce y se generan, siempre que lo permitan los fenómenos de abolladura local, rótulas plásticas en ciertas secciones de estas barras. Las posibles localizaciones de estas rótulas plásticas corresponden a, como se muestra en Figura 3.2, las secciones de los extremos de las cartelas, dado que son los puntos de la jácena con los mayores esfuerzos pero que ya no cuentan con los refuerzos de área e inercia.

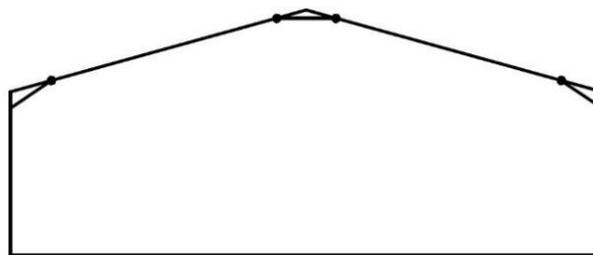


Figura 3.2. Localización probable de las rótulas plásticas [17].

Se debe tener en cuenta que, al disponer los pilares de protección pasiva, es probable que no se alcancen rótulas plásticas en toda su longitud antes de que se produzca el colapso de la cubierta. Sin embargo, es importante que a la hora de realizar su diseño se introduzca un coeficiente de seguridad para evitar que esto suceda.

Con la formación de las rótulas plásticas las jácenas comienzan a desplomarse, induciendo un empuje en las cabezas de los pilares que provoca un momento opuesto al generado por la expansión térmica, es decir, hacia el interior del pteo. En una primera fase, las jácenas todavía pueden sostenerse en una posición aproximadamente horizontal y los pilares siguen en posición vertical, véase Figura 3.3. Es relevante tener en cuenta que se pueden producir fenómenos de inestabilidad laterotorsional producidos por la pérdida de resistencia de las correas, esto puede provocar que la viga siga descendiendo con el alma en posición horizontal.

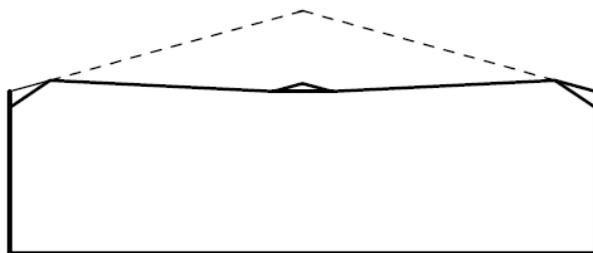


Figura 3.3. Mecanismo de colapso del pteo interior [17].

A medida que las vigas siguen perdiendo resistencia se desploman por debajo del nivel del alero, produciendo una desviación en la verticalidad de los pilares, hasta que finalmente se produce el colapso completo. Es en esta etapa donde se produce los mayores esfuerzos sobre los pilares y sobre la cual se basa el modelo matemático desarrollado en esta guía para obtener los esfuerzos que deben resistir los pilares de los pteos interiores y sus bases.

3.3.3 Cargas consideradas en la situación de colapso

En la guía utilizada se recomienda despreciar, en situación de incendio, las acciones generadas en la estructura por el viento y la nieve. Esta recomendación se fundamenta en la directriz del Eurocódigo 3, sección 4.3.1, que aboga por emplear el valor cuasipermanente de las cargas variables para la combinatoria de cargas en situación accidental bajo exposición al fuego. Dado que el valor cuasipermanente de las acciones del viento, nieve y sobrecarga de uso (en cubierta accesiblemente únicamente para mantenimiento) es nulo, tan solo se debe considerar la acción de las cargas permanentes.

Como los modelos matemáticos que se desarrollan en esta guía utilizan esta recomendación, exclusivamente se deben considerar las siguientes acciones para calcular los esfuerzos transmitidos a los pilares durante el colapso de la cubierta:

- Peso cerramiento de cubierta: 0,150 kN/m².
- Peso cerramiento de fachada: 0,150 kN/m².
- Peso correas de cubierta: 0,030 kN/m² (CF 160x2.5 separados 1,99 m).
- Peso cubiertas de fachada: 0,050 kN/m² (CF 160x2.5 separados 1,28 m).
- Peso de la instalación fotovoltaica en cubierta: 0,150 kN/m².
- Peso vigas: 0,133 kN/m² (IPE400 con crujía de 5 m).

También se debe tener en cuenta que, en un incendio con la intensidad suficiente como para producir el colapso de la estructura de cubierta, se puede considerar que parte de los cerramientos se habrán degradado por la acción del fuego. Dado que el modelo de cálculo utilizado considera que los esfuerzos máximos sobre los pilares ocurren en los instantes anteriores al colapso final de la cubierta, es posible reducir parte del peso de estos cerramientos en función de su naturaleza.

En la Figura 3.4 se recoge una estimación del porcentaje del peso de los cerramientos que puede considerarse en el momento del colapso. Sin embargo, dado que en este caso se hace uso de paneles tipo sándwich, donde su peso corresponde mayoritariamente a las chapas metálicas que no se degradan, no es posible reducir el peso de los cerramientos.

Inner Lining		Insulation		Outer Covering	
Mineral insulation board	100%	Glass or mineral fibre	100%	Steel	100%
		Thermoplastic foams	0%	Aluminium	100%
		Thermosetting foams	70%	Fibre cement	100%
Plaster board	0%	Bonded thermoplastic foams	0%	Steel	100%
		Glass or mineral fibre	0%	Aluminium	10%
		Unbonded foams	0%	Fibre cement	10%
Plaster board	50%	Bonded thermosetting foams	50%	Steel	100%
				Aluminium	50%
				Fibre cement	50%
Steel	100%	Glass or mineral fibre	100%	Steel	100%
		Thermoplastic foams	0%	Aluminium	100%
		Thermosetting foams	70%	Fibre cement	70%
Steel	100%	Fibre insulating board	70%	Steel	100%
				Aluminium	100%
				Fibre cement	100%

Figura 3.4. Porcentaje del peso de los sistemas de cerramiento que permanece en el momento del colapso de las vigas [17].

3.3.4 Modelo matemático del colapso en pórticos simétricos de un vano

En este punto se presenta el modelo matemático desarrollado en la guía técnica que se ha tomado como referencia y que se puede encontrar en el Anexo A del documento *Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions* ([17]). En este modelo matemático, desarrollado para obtener los esfuerzos máximos generados en las bases de los pilares en el proceso de colapso, se asume que la situación crítica se produce cuando las jácenas descienden por debajo del nivel de los aleros y actúan como una catenaria tirando de los pilares hacia dentro por su parte superior, véase Figura 3.5.

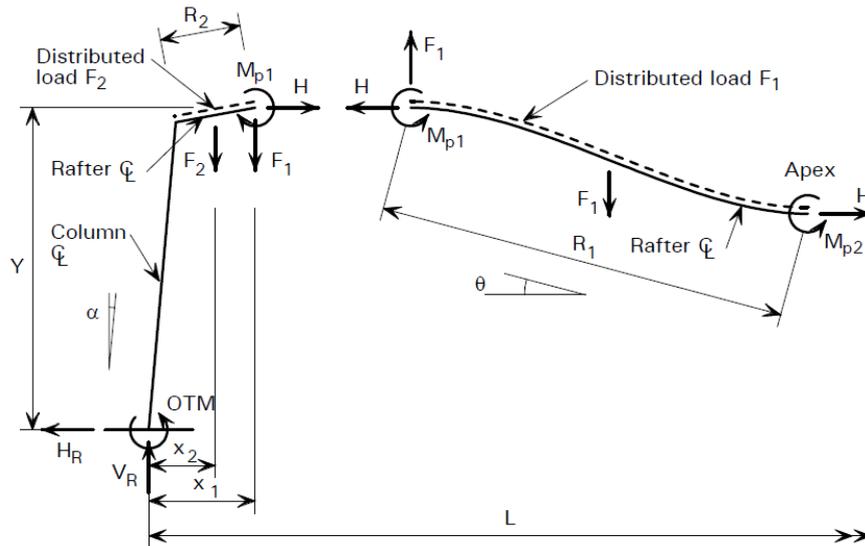


Figura 3.5. Fuerzas y momentos críticos sobre las vigas y los pilares del pórtico [17].

Aplicando equilibrio de fuerzas verticales en el pilar:

$$V_R = F_1 + F_2 + W_D \quad \text{Ec. 3.1}$$

Tomando momentos respecto al ápice y aplicando equilibrio de fuerzas horizontales en el pilar:

$$M_{p1} + M_{p2} + H \cdot R_1 \cdot \sin \theta + \frac{F_1 \cdot R_1 \cdot \cos \theta}{2} = F_1 \cdot R_1 \cdot \cos \theta \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$H_R = H = \frac{F_1 \cdot R_1 \cdot \cos \theta - 2 \cdot (M_{p1} + M_{p2})}{2 \cdot R_1 \cdot \sin \theta} = \frac{F_1}{2 \cdot \tan \theta} - \frac{(M_{p1} + M_{p2})}{R_1 \cdot \sin \theta} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Tomando momentos en la base del pilar:

$$\text{OTM} = H \cdot Y + F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2 + M_{p1} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

- L: Luz del pórtico.
- E: Altura del pilar.
- S: Separación entre pórticos.
- θ_0 : Ángulo inicial de la viga.
- α : Ángulo de desviación del pilar. Se asume que toma un valor igual a 1°, sin embargo, se puede considerar una rotación mayor, siempre y cuando se demuestre que la base puede soportarla.
- w_f : Peso de la cubierta, es decir, el cerramiento, las correas, las instalaciones sobre cubierta y las vigas.
- W_D : Carga sobre el pilar por el peso de las correas y el cerramiento de fachada.
- G: Distancia horizontal entre los extremos finales de las cartelas de la viga.
- R_1 : Longitud de la viga desde el extremo final de la cartela hasta el vértice superior del pórtico incluyendo la elongación producida por el incremento de la temperatura. Se asume un valor de un 2% para el valor de esta dilatación.

$$R_1 = \frac{G}{2 \cdot \cos \theta_0} \cdot 1,02 \quad \text{Ec. 3.5}$$

- R₂: Longitud de las cartelas de la viga.
- Y: Altura del extremo final de la cartela de la viga.

$$Y = E \cdot \cos \alpha + R_2 \cdot \sin (\theta_0 - \alpha) \quad \text{Ec. 3.6}$$

- X₁: Distancia horizontal desde la base del pilar al extremo final de la cartela de la viga.

$$X_1 = E \cdot \sin \alpha + R_2 \cdot \cos (\theta_0 - \alpha) \quad \text{Ec. 3.7}$$

- X₂: Distancia horizontal desde la base del pilar al punto medio de la cartela de la viga.

$$X_2 = E \cdot \sin \alpha + 1/2 \cdot R_2 \cdot \cos (\theta_0 - \alpha) \quad \text{Ec. 3.8}$$

- θ: Ángulo de hundimiento de la viga.
- F₁: Carga vertical en la viga sobre la longitud R₁.

$$F_1 = \frac{w_f \cdot S \cdot G}{2} \quad \text{Ec. 3.9}$$

- F₂: Carga vertical en la viga sobre la longitud R₂.
- H: Carga horizontal resultante en la viga.
- H_R: Reacción horizontal en la base del pilar.
- V_R: Reacción vertical en la base del pilar.
- M_{p1}: Momento de la rótula plástica en el extremo final de la cartela de la viga.
- M_{p2}: Momento de la rótula plástica de la viga en el vértice superior del pórtico.
- OTM: Momento de vuelco en la base del pilar.

Es importante destacar que, debido al aumento de la temperatura, los valores de los momentos de las rótulas plásticas son muy inferiores al momento plástico de la jácena a temperatura ambiente. Por este motivo, se asume que toman un valor igual a un 6,5% del momento plástico de la sección en frío. Este valor corresponde a la resistencia residual del acero a una temperatura de 890°C.

De esta forma, y haciendo uso de las ecuaciones 3.5 y 3.9, la ecuación 3.3 se puede escribir de la siguiente manera, donde M_p representa el momento plástico de la viga a temperatura ambiente.

$$H_R = H = \frac{w_f \cdot S \cdot G}{4 \cdot \tan \theta} - \frac{0,255 \cdot M_p \cdot \cos \theta_0}{G \cdot \sin \theta}$$

Si se considera que el ángulo de desviación del pilar es 1° se puede realizar las siguientes aproximaciones en las ecuaciones 3.7 y 3.8.

$$X_1 \approx \frac{Y}{60} + \frac{L - G}{2}$$

$$X_2 \approx \frac{Y}{60} + \frac{L - G}{4}$$

Contemplando estas aproximaciones se obtiene:

$$H \cdot Y = \frac{w_f \cdot S \cdot G \cdot Y}{4 \cdot \tan \theta} - \frac{0,255 \cdot M_p \cdot \cos \theta_0 \cdot Y}{G \cdot \sin \theta}$$

$$F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2 = w_f \cdot S \cdot G \cdot Y \cdot \left(\frac{L}{120 \cdot G} + \frac{L^2 - G^2}{8 \cdot G \cdot Y} \right)$$

De este modo, el momento de colapso de la ecuación 3.4 se puede expresar como:

$$OTM = w_f \cdot S \cdot G \cdot Y \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \tan \theta} + \frac{L}{120 \cdot G} + \frac{L^2 - G^2}{8 \cdot G \cdot Y} \right) - M_P \cdot \left(\frac{0,255 \cdot \cos \theta_0 \cdot Y}{G \cdot \sin \theta} - 0,065 \right)$$

También se puede realizar la siguiente aproximación geométrica si se considera que las cartelas corresponden a aproximadamente un 10% de la luz del pórtico.

$$\frac{L}{120 \cdot G} \approx \frac{1}{96} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Finalmente, el modelo se puede reescribir con las siguientes ecuaciones.

$$V_R = \frac{1}{2} \cdot w_f \cdot S \cdot L + W_D \quad \text{Ec. 3.11}$$

$$H_R = \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot A - \frac{C \cdot M_P}{G} \right\} \leq \frac{M_C}{10 \cdot Y} \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$OTM = \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot Y \cdot \left(A + \frac{B}{Y} \right) - M_P \cdot \left(\frac{C \cdot Y}{G} - 0,065 \right) \right\} \leq \frac{M_C}{10} \quad \text{Ec. 3.13}$$

Donde:

$$A = \frac{1}{4 \cdot \tan \theta} + \frac{1}{96} \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$B = \frac{L^2 - G^2}{8 \cdot G} \quad \text{Ec. 3.15}$$

$$C = 0,255 \cdot \frac{\cos \theta_0}{\sin \theta} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Los valores de **A** y **C** están tabulados en la Tabla 3.6. Estos se han obtenido mediante la aproximación recogida en la ecuación 3.17, resultante de un estudio realizado por los autores de la guía.

$$\theta \approx \cos^{-1}(0,97 \cdot \cos \theta_0) \text{ si } \frac{L}{E} > 2$$

$$\theta \approx \cos^{-1}(0,96 \cdot \cos \theta_0) \text{ si } 2 > \frac{L}{E} > 1$$

Ec. 3.17

Tabla 3.6 Parámetros A y C en función de la geometría del pórtico [17].

L/E > 2:1											
θ_0	0°	3°	6°	9°	12°	15°	18°	21°	24°	27°	30°
A	1,01	0,99	0,93	0,85	0,76	0,68	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40
C	1,05	1,02	0,96	0,88	0,79	0,70	0,62	0,56	0,50	0,45	0,41
2:1 > L/E > 1:1											
θ_0	0°	3°	6°	9°	12°	15°	18°	21°	24°	27°	30°
A	0,87	0,85	0,81	0,76	0,69	0,63	0,57	0,52	0,47	0,42	0,47
C	0,91	0,90	0,85	0,79	0,73	0,66	0,60	0,54	0,49	0,44	0,49

3.3.5 Modelo matemático del colapso en pórticos simétricos de varios vanos

Los autores de la guía llevaron a cabo un estudio paramétrico para evaluar cómo afecta el colapso parcial del pilar interior a la magnitud del momento de vuelco en los pilares exteriores de un pórtico de varios vanos. En este estudio, siete de los ocho casos correspondían a edificios con pórticos de

varios vanos, abarcando valores de la relación luz-altura de pilar (**L/E**) de 1,4 a 2,5 y pendientes de cubierta de 3° a 15°.

Este análisis mostró que el aumento del momento de vuelco era mayor en pórticos con poca inclinación y en pórticos en los que la relación luz-altura de pilar es pequeña. Por este motivo, en pórticos donde la relación luz-altura es menor al límite inferior indicado en la Tabla 3.7, el pilar interior debe estar protegido contra incendios para evitar su colapso. Para el pórtico de estudio, donde la relación es superior a tres, el pilar interior no requiere de protección.

Con todo esto, la guía de referencia recomienda que para pórticos de varios vanos el momento de colapso se calcule aplicando un factor multiplicador **K**, recogido en la Tabla 3.7, al momento de colapso obtenido haciendo uso del modelo simplificado para pórticos simétricos de un solo vano.

Tabla 3.7 Factor multiplicador para pórticos de varios vanos [17].

θ_0	L/E	K
$\leq 3^\circ$	$\geq 2,5$	1,0
	[1,7; 2,5]	1,3
$\leq 6^\circ$	$\geq 2,3$	1,0
	[1,6; 2,3]	1,3
$\leq 9^\circ$	$\geq 2,1$	1,0
	[1,6; 2,1]	1,3
$\leq 12^\circ$	$\geq 1,8$	1,0
	[1,6; 1,8]	1,3
$> 12^\circ$	$\geq 1,6$	1,0

El modelo de cálculo corregido se recoge en las ecuaciones 3.18, 3.19 y 3.20.

$$V_R = \frac{1}{2} \cdot w_f \cdot S \cdot L + W_D \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$H_R = K \cdot \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot A - \frac{C \cdot M_P}{G} \right\} \leq \frac{M_C}{10 \cdot Y} \quad \text{Ec. 3.19}$$

$$OTM = K \cdot \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot Y \cdot \left(A + \frac{B}{Y} \right) - M_P \cdot \left(\frac{C \cdot Y}{G} - 0,065 \right) \right\} \leq \frac{M_C}{10} \quad \text{Ec. 3.20}$$

3.3.6 Estabilidad longitudinal

Es fundamental asegurar la estabilidad longitudinal de los pórticos para evitar que la deformación de los mismos fuera de su plano afecte a la integridad de los cerramientos de compartimentación. Con relación a esto la guía dispone que, si los elementos horizontales que arriostran a los pórticos se han diseñado en base a su normativa de referencia (en este caso la BS 5950) se puede considerar que son adecuados en situación de incendio y no requieren protección. También ofrece una alternativa para calcular la sección de los elementos de arriostramiento, los cuales deben disponer de una resistencia a tracción superior a la indicada en la ecuación 3.21, donde el sumatorio se realiza sobre el número de pórticos.

$$2,5\% \cdot V_R \cdot \sum \frac{\text{altura de area no protegida}}{\text{altura de pilar}} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Destacar que se entiende como área protegida aquella compuesta por un cerramiento que ofrece una protección al fuego a los elementos de arriostramiento. Dado que en este caso el cerramiento dispuesto no realiza esta función, la altura no protegida corresponde a la propia del pilar.

Una vez obtenido el axil de tracción que deben soportar los elementos horizontales de arriostramiento, el cálculo del área necesaria es directo. Si estos elementos se protegen contra incendios se puede considerar el 100% del límite elástico del acero en frío. En caso contrario, únicamente se puede considerar un 6,5% de la resistencia a temperatura ambiente.

Por último, la guía dispone que también es necesario que las placas de anclaje de los pilares estén conectadas a la cimentación a través de un mínimo de cuatro pernos, todos del mismo diámetro y dispuestos simétricamente respecto al eje débil del pilar y separados una distancia mínima de un 70% del ancho del mismo.

3.3.7 Resultados

La aplicación de esta alternativa de cálculo presenta la ventaja de no emplear ningún tipo de protección pasiva en las jácenas y en el pilar interior del pórtico. Además, la sección de ambos se mantiene en un IPE400 y la base del pilar interior, placa de anclaje y zapata, es la misma que la dispuesta a temperatura ambiente. Sin embargo, la sección de los pilares exteriores del pórtico, que deben estar protegidos con 10 mm de IGNIPLASTER, se ha incrementado a un IPE450. También es necesario disponer de un refuerzo constituido por una chapa de acero S275 de 5 mm de espesor soldada en ambas alas del perfil, con una longitud de un metro medida desde la base del pilar.

Como se muestra en la Figura 3.6, es necesario instalar tornapuntas para controlar el pandeo lateral del ala interior del pilar. Se dispone de un total de dos tornapuntas situados a la altura de la tercera y quinta correa, numeradas desde la cabeza del pilar. En estas correas deben emplearse secciones IPE160 protegidas con 10 mm de IGNIPLASTER.

En un predimensionamiento inicial, donde no se ha calculado la unión atornillada a la correa y al ala inferior, se ha obtenido que un tirante L40x40x5 protegido es capaz de arriostrar el ala durante el mínimo requerido de 30 minutos.

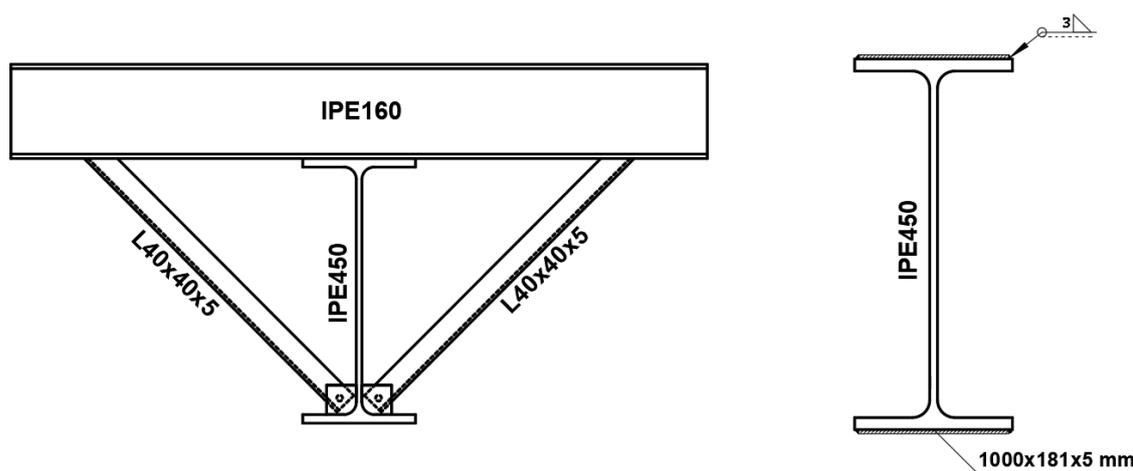


Figura 3.6. Arriostramiento ala interior y refuerzo del pilar exterior.

Con respecto a las bases de estos pilares, la placa de anclaje está constituida por una placa base de dimensiones 500x750 mm con un espesor de 22 mm, véase Figura 3.7. Esta se ha reforzado con dos rigidizadores de 14 mm de espesor y está unida al elemento de cimentación por seis pernos de diámetro $\varnothing 25$ con una longitud de 550 mm.

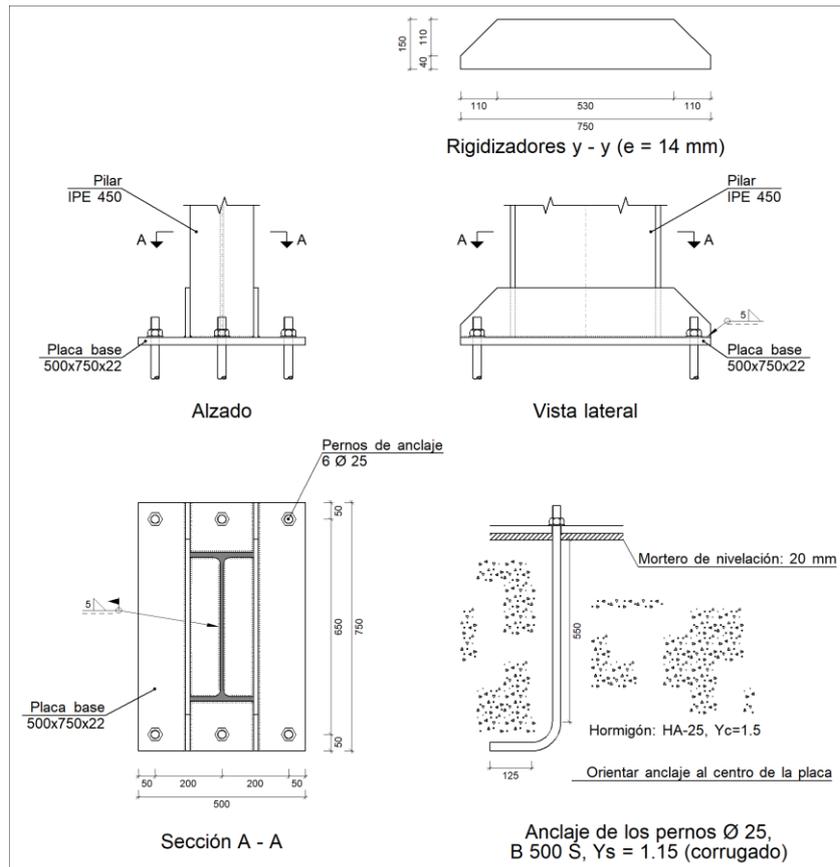


Figura 3.7. Detalle de la placa de anclaje dispuesta para los pilares exteriores en el cálculo plástico.

Por último, y dado que el colapso de la cubierta provoca un momento de gran magnitud dirigido hacia el interior del pórtico, se ha decidido utilizar zapatas centradas en los pilares exteriores del pórtico. Las dimensiones y armados de la zapata se recogen en la Figura 3.8.

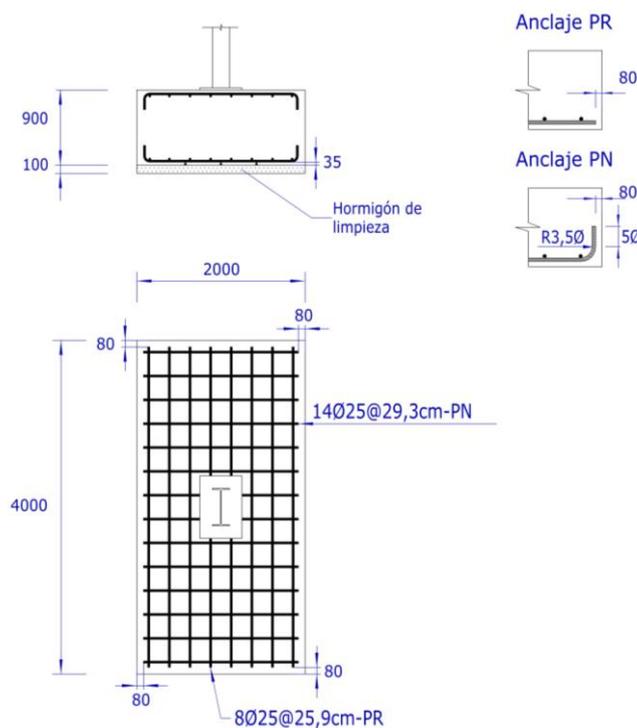


Figura 3.8. Detalle de la zapata dispuesta para los pilares exteriores en el cálculo plástico.

3.4 Cálculo en el dominio del tiempo

En este capítulo se describen las bases del modelo de elementos finitos empleado para realizar el análisis en el dominio del tiempo en el marco del software SAFIR, programa utilizado para este fin. Además, se describen y analizan los resultados obtenidos a través de estas modelizaciones.

3.4.1 Introducción a SAFIR

El software SAFIR fue desarrollado en la década de los 2000 en la Université de Liège (Bélgica) por Jean-Marc Franssen en el marco de su carrera científica con el National Fund for Scientific Research (FNRS). Está basado en un software anterior llamado CEFICOSS (Computer Engineering of the Fire resistance for COmposite and Steel Structures) desarrollado en la década de 1980 en esta misma institución, bajo la supervisión de Dotreppe y Jean-Marc Franssen, como encargo del productor de elementos de acero ARBED, ahora perteneciente al grupo ARCELOR. Actualmente el desarrollador inicial Jean-Marc Franssen, con ayuda de Thomas Gernay de la Johns Hopkins University (EE UU), continúa desarrollando y ampliando las funcionalidades de este software.

Este programa de elementos finitos permite realizar análisis térmicos y mecánicos de elementos 2D y 3D. El procedimiento para llevar a cabo el cálculo completo de una estructura consta de tres pasos:

1. **Definir la acción térmica** (el incendio). Es un dato de entrada para SAFIR.
2. **Realizar el análisis térmico**, donde SAFIR calcula la evolución de la temperatura en la sección.
3. **Realizar el análisis mecánico**, donde SAFIR puede considerar la reducción de las propiedades del material (resistencia y rigidez) y contemplar las dilataciones térmicas.

Hay que tener en cuenta que los análisis térmico y mecánico se realizan por separado y de manera sucesiva, es decir, la distribución térmica sí influye en la respuesta mecánica pero no sucede lo contrario. Esta limitación impide que se puedan considerar ciertas influencias en el análisis térmico que se obtienen como resultados del análisis mecánico. Un ejemplo es el aumento de la conductividad térmica debido a la fisuración del hormigón o la anisotropía que esta genera en las propiedades térmicas.

Dado que el primer análisis a realizar es el térmico, el tipo de modelo que se debe llevar a cabo depende directamente del tipo de estudio mecánico que se quiere realizar posteriormente. En la Tabla 3.8 se muestra la relación entre ambos análisis.

Tabla 3.8. Vinculación entre el análisis térmico y el análisis mecánico.

Modelo térmico	Modelo mecánico
3D F.E.	3D F.E.
2D F.E.	Beam F.E. (2D o 3D)
1D F.E. ⁽¹⁾	Shell F.E. (3D)
Modelo de cálculo simple ⁽²⁾	Truss F.E. (2D o 3D)

(1) Los elementos unidimensionales no están incluidos en el software. Sin embargo, se puede generar con elementos 2D rectangulares con un espesor determinado
(2) Se considera una temperatura uniforme mediante un modelo de cálculo simple
F.E.: Abreviatura para referirse al tipo de elemento finito (por sus siglas en inglés Finite Element)

Teniendo en cuenta lo anterior, para llevar a cabo el análisis del pórtico crítico del edificio objeto de este proyecto se realiza, por un lado, un análisis térmico 2D de la sección IPE con y sin protección pasiva y, por otro lado, un análisis mecánico con elementos tipo viga 2D y 3D para poder así estudiar

la influencia de los distintos arriostramientos en el tiempo de resistencia y en los modos de fallo de la estructura.

Por último, destacar que SAFIR lee archivos de entrada en formato ASCII, los cuales se pueden generar en un editor de texto convencional. Sin embargo, para obtener estos ficheros de entrada (.IN) se puede emplear el preprocesador gráfico “gmsafir”, el cual cuenta con una interfaz sencilla que construye de manera automática los archivos de entrada para la resolución de problemas térmicos o estructurales en 2D y 3D. También se dispone del posprocesador “Diamond” para visualizar los resultados de salida de SAFIR (.XML) y exportarlos a Excel.

En la Figura 3.9 se muestra la estructura de archivos de un cálculo convencional con este software, se trata de una estructura (FRAME.IN) en la que se hace uso de dos secciones diferentes (S1.IN y S2.IN).

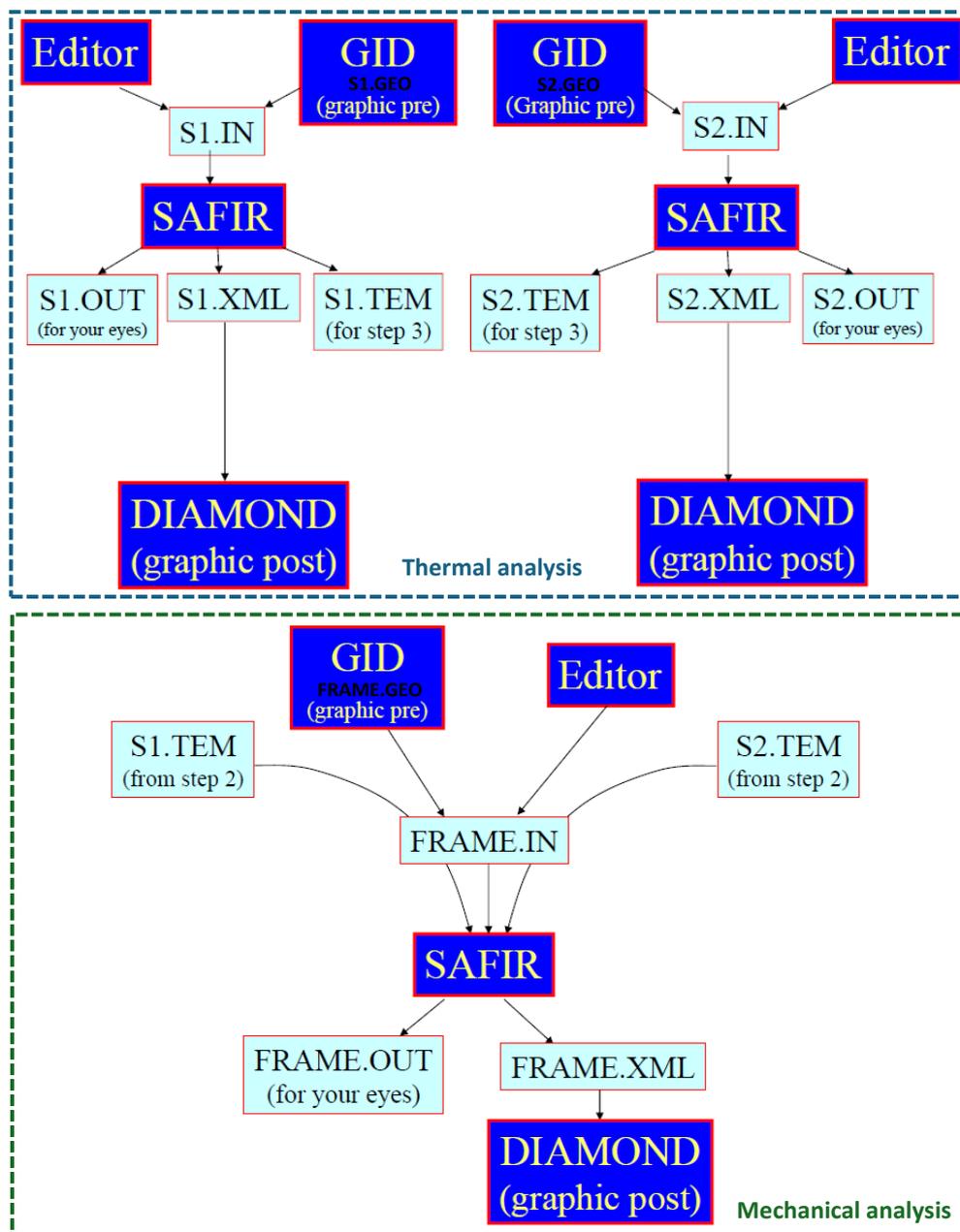


Figura 3.9. Organización de archivos en un cálculo con el software SAFIR [29].

3.4.2 Análisis térmico

En este subapartado se explica de forma simplificada el modelo de cálculo utilizado en SAFIR para realizar el análisis térmico, enfocado específicamente a un análisis 2D que es el que se pretende llevar a cabo. Toda esta información se ha obtenido principalmente del artículo *SAFIR: A Thermal/Structural Program for Modeling Structures Under Fire* ([26]) presentado en 2003 por Jean-Marc Franssen en la North American Steel Construction Conference.

El problema físico que se debe resolver es el de la transferencia de calor por conducción, uno de los tres mecanismos principales de transferencia de calor (junto a la convección y la radiación). La ecuación general (particularizada a un elemento 2D) que describe este fenómeno físico se puede obtener realizando un simple balance térmico, véase Figura 3.10.

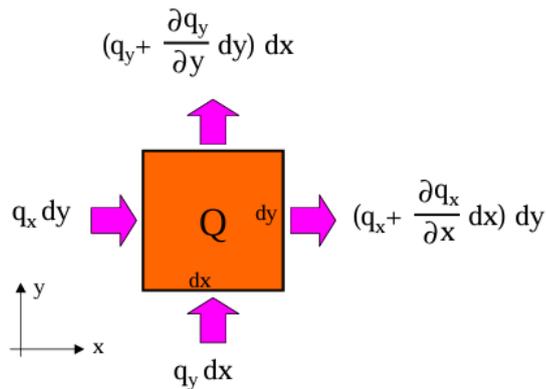


Figura 3.10. Equilibrio de flujos de calor en un elemento bidimensional [24].

Las principales hipótesis consideradas son:

- El material es incompresible e isótropo.
- El material no está sometido a movimiento.
- El contacto entre materiales diferentes es perfecto, es decir, no existe resistencia térmica de contacto en la interfaz entre ambos.
- La geometría no varía a lo largo de la simulación.

Realizando este balance térmico se obtiene la ecuación 3.22.

$$q_x \cdot dy - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy + q_y \cdot dx - \left(q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} \cdot dy \right) \cdot dx + Q = \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \cdot dx \cdot dy \quad \text{Ec. 3.22}$$

donde:

- q_x : Flujo de calor en la dirección "x" (unidades en el S.I. de W/m²).
- q_y : Flujo de calor en la dirección "y" (unidades en el S.I. de W/m²).
- Q : Calor interno liberado (unidades en el S.I. de W/m³).
- ρ : Densidad del material (unidades en el S.I. de kg/m³).
- C : Calor específico del material (unidades en el S.I. de J/kg·K).
- T : Temperatura (unidades en el S.I. de K).
- t : Tiempo (unidades en el S.I. de s).
- x y y : Coordenadas absolutas cartesianas (unidades en el S.I. de m).

La ley constitutiva que rige este mecanismo de transmisión de calor es la ley de Fourier, la cual indica que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura a través de la conductividad térmica, véase ecuación 3.23.

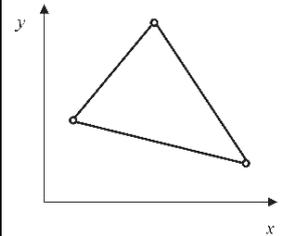
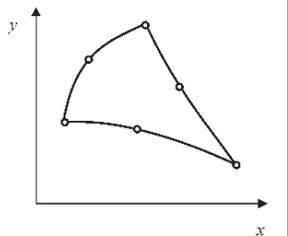
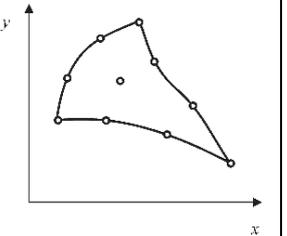
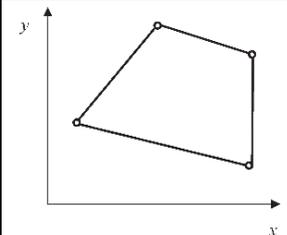
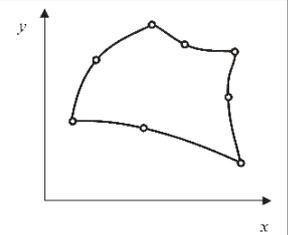
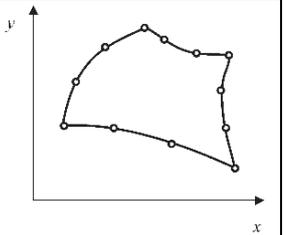
$$\begin{cases} q_x = -k_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \\ q_y = -k_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \end{cases} \quad \text{Ec. 3.23}$$

Teniendo en cuenta que el medio es isótropo ($k_x = k_y$) y haciendo uso de la ecuación 3.23, se obtiene la ecuación general de transmisión de calor de un elemento bidimensional, véase la ecuación 3.24.

$$k \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q = \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ec. 3.24}$$

Para resolver esta ecuación diferencial lineal de 2º orden por el Método de los Elementos Finitos (MEF) el programa SAFIR permite discretizar el dominio en elementos lineales triangulares y cuadrados isoparamétricos, véase Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Familias principales de elementos bidimensionales.

ELEMENTOS TRIANGULARES (2D)			
Orden del elemento	Lineal	Cuadrático	Cúbico
Número de nodos en el borde del elemento	3	6	9 ⁽¹⁾
¿Incluidos en SAFIR?	Si	No	No
Representación gráfica			
ELEMENTOS CUADRILÁTEROS (2D)			
Orden del elemento	Lineal	Cuadrático	Cúbico
Número de nodos en el borde del elemento	4	8	12
¿Incluidos en SAFIR?	Si	No	No
Representación gráfica			
(1) Conviene introducir un nodo interior para eliminar los términos parásitos (términos polinómicos del triángulo de Pascal incluidos en la interpolación y de orden mayor al polinomio completo de la misma) y evitar un aumento del coste computacional			

En estos elementos se definen las funciones de interpolación (funciones de forma) para obtener el valor de la función incógnita (la temperatura) en cualquier punto del elemento en función del valor de la misma en los nodos. Las funciones de interpolación usadas son polinómicas y se generan incluyendo de forma simétrica los términos del triángulo de Pascal, véase Figura 3.11. De esta forma

se consigue isotropía geométrica y puede representarse el mismo tipo de variación de la función incógnita en cualquier dirección.

$$\begin{array}{cccc}
 & & & 1 \\
 & & & x & y \\
 & & x^2 & xy & y^2 \\
 x^3 & x^2y & xy^2 & y^3
 \end{array}$$

Figura 3.11. Triangulo de pascal de tercer orden.

Esta interpolación se realiza en coordenadas locales o normalizadas para garantizar que se cumplen las condiciones necesarias para asegurar la convergencia, en particular la obtención de funciones de forma con continuidad C⁰ en las fronteras entre elementos. Cabe destacar que, en elementos bidimensionales triangulares de tres nodos, la interpolación en coordenadas globales también asegura la convergencia ya que tienen una interpolación puramente lineal.

Para obtener estas funciones de forma en coordenadas locales se hace uso de los elementos de la familia serendípita, véase Figura 3.12.

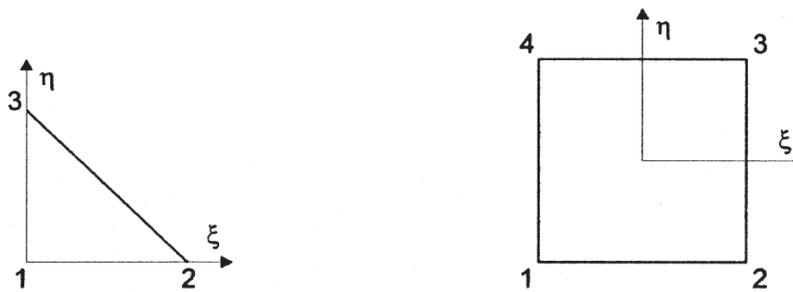


Figura 3.12. Elemento lineal de la familia serendípita bidimensional triangular (izq.) y cuadrilátera (der.) [26].

Las funciones de forma de estos elementos se recogen en la ecuación 3.25. Estas aseguran la continuidad de la temperatura en los límites entre elementos adyacentes (hay continuidad C⁰ en la frontera entre elementos) y que no haya huecos ni superposiciones en el material. Sin embargo, la primera derivada de la temperatura perpendicular al borde no es continua, lo que significa que el flujo de calor no es continuo de un elemento a otro (no hay continuidad C¹ en la frontera entre elementos).

$$\left\{ \begin{array}{l} [N]_T = \{1 - \xi - \eta; \xi; \eta\} \\ [N]_C = \left\{ \frac{(1 - \xi) \cdot (1 - \eta)}{4}; \frac{(1 + \xi) \cdot (1 - \eta)}{4}; \frac{(1 + \xi) \cdot (1 + \eta)}{4}; \frac{(1 - \xi) \cdot (1 + \eta)}{4} \right\} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 3.25}$$

Al utilizar elementos isoparamétricos se emplean las mismas funciones de forma para describir la geometría (realizar la transformación de coordenadas locales a globales) e interpolar el valor de la función incógnita. Así, conocidas las coordenadas globales de los puntos nodales de un elemento y el valor de la función incógnita en los mismos, se puede interpolar las coordenadas de un punto cualquiera del elemento y su valor de la función incógnita haciendo uso de las ecuaciones 3.26 y 3.27, donde **n_i** corresponde al número de nodos del elemento estudiado.

$$\begin{cases} x = \sum_{i=1}^{n_i} N_i(\xi, \eta) \cdot x_i \\ y = \sum_{i=1}^{n_i} N_i(\xi, \eta) \cdot y_i \end{cases} \quad \text{Ec. 3.26}$$

$$T = \sum_{i=1}^{n_i} N_i(\xi, \eta) \cdot T_i \quad \text{Ec. 3.27}$$

Solo queda obtener los valores de la función incógnita en todos los nodos de los elementos en los que se ha discretizado el dominio. Para plantear este problema mediante el MEF primero se debe obtener la formulación débil de la ecuación diferencial 3.24. El método de los residuos ponderados permite obtener esta formulación.

La función residuo de la ecuación diferencial se define como el valor que ofrece la ecuación cuando se sustituye en la misma un campo arbitrario \mathbf{T} y se denota como $\mathbf{R}(\mathbf{T})$, solo se obtendrá $\mathbf{R}(\mathbf{T}) = \mathbf{0}$ si \mathbf{T} es la función solución del problema. El residuo de la ecuación diferencial se muestra en la ecuación 3.28.

$$R(T) = k \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q - \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ec. 3.28}$$

El método de los residuos ponderados consiste en buscar la anulación del residuo exigiendo la anulación de la forma integral, véase ecuación 3.29 donde $\Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \Psi$ es la función de ponderación.

$$W(T) = \int_{\text{dominio}} \Psi \cdot R(T) \cdot dA \quad \text{Ec. 3.29}$$

La solución de la ecuación diferencial se puede plantear como la búsqueda de la función \mathbf{T} que anula la forma integral del residuo siempre y cuando esta sea nula con independencia de la función de ponderación que se tome. De esta forma, seleccionando tantas funciones de ponderación como nodos y anulando el residuo en su forma integral para cada una de las funciones de ponderación, se obtendrá un sistema de ecuaciones algebraico cuyas incógnitas son los valores nodales aproximados de la función incógnita.

Hay que tener en cuenta que la división del dominio en una serie de elementos disjuntos ($A^{ei} \cap A^{ej} = 0$) que lo recubren en su totalidad lleva a considerar la forma integral del residuo como la suma de las integrales particularizadas a cada elemento.

$$W(T) = \sum_{e=1}^{n_e} W^e(T) \quad \text{Ec. 3.30}$$

No obstante, la integración sobre el dominio se descompone en dos partes: una correspondiente al dominio definido por los elementos y otra al dominio definido por las fronteras internas entre los elementos. Al obtener la ecuación 3.30 se ha asumido que este segundo término es nulo, ya que en principio el dominio de integración también lo es dado que los elementos son disjuntos. Sin embargo, si el integrando no está acotado la integral en un dominio nulo puede ser no nula, por tanto, es necesario que el integrando este acotado en la frontera entre elementos. Dado que en el residuo ponderado existen segundas derivadas de la función incógnita, se requiere continuidad C^1 de las mismas en la frontera entre elementos y, por tanto, de las funciones de forma. Ahora bien,

se puede aplicar integración por partes para rebajar el grado de continuidad de la función incógnita a C⁰, aunque esto obliga a que las funciones de ponderación también sean de continuidad C⁰.

Este método de los residuos ponderados se llama método de Galerkin en el caso particular donde las funciones de forma utilizadas para describir la geometría también se usan como funciones de ponderación. SAFIR hace uso de esta forma particular del método de los residuos ponderados.

Considerando todo lo anterior, si se obtiene la formulación débil de la ecuación 3.24 por el método de Galerkin y se integra por partes su primer término con la fórmula de Green para reducir el grado de continuidad necesario en las funciones de forma a C⁰, se obtiene para cada elemento finito la ecuación 3.31.

$$\int_{\text{elemento}} k \cdot \{\nabla N_i\}^T \cdot \{\nabla N_j\} \cdot dA \cdot T_i + \int_{\text{elemento}} C \cdot \rho \cdot N_i \cdot N_j \cdot dA \cdot \dot{T}_i + \int_{\text{elemento}} Q \cdot N_j \cdot dA = \int_{\text{frontera}} N_j \cdot q_n \cdot dS \quad \text{Ec. 3.31}$$

donde:

- ∇ : Operador $\{\partial/\partial x; \partial/\partial y; \partial/\partial z\}$.
- A: Área del elemento.
- S: Superficie del elemento.
- q_n : flujo de calor en la superficie.

Para obtener la ecuación 3.31 se ha hecho uso de la expresión 3.32, donde \mathbf{n}_j es el vector unitario normal a la superficie.

$$q_n = -k \cdot \nabla T_j \cdot \mathbf{n}_j \quad \text{Ec. 3.32}$$

Finalmente, cuando se suman las contribuciones de todos los elementos, se obtiene la ecuación 3.33 que describe el equilibrio de los flujos de calor en la estructura en cualquier instante de tiempo dado.

$$[K] \cdot \{T\} + [C] \cdot \{\dot{T}\} = \{g\} \quad \text{Ec. 3.33}$$

donde:

- [K]: Matriz de conductividad.
- [C]: Matriz de capacidad.
- {T}: Vector de temperatura en los nodos.
- {g}: Vector que tiene en cuenta los intercambios de calor en las fronteras (o superficie) de los elementos.

El flujo de calor intercambiado entre la frontera del elemento y el gas caliente se modela de acuerdo con lo dispuesto en la UNE-EN 1991-1-2, véase la ecuación 3.34.

$$q_n = h \cdot (T_g - T_s) + \sigma \cdot \varepsilon^* \cdot (T_g^4 - T_s^4) \quad \text{Ec. 3.34}$$

donde:

- h: Coeficiente de convección.
- T_g: Temperatura del gas.
- T_s: Temperatura de la superficie.
- σ : Constante de Stefan-Boltzman.

- ε^* : Emisividad relativa.

Las integraciones sobre el área de los elementos que deben realizarse para evaluar la matriz de conductividad y la matriz de capacidad se realizan numéricamente mediante el método de Gauss y el usuario puede elegir el número de puntos de integración.

Por último, hay que tener en cuenta que la ecuación 3.33 expresa el equilibrio térmico en un instante dado. Esta debe integrarse en el tiempo para obtener la evolución de las temperaturas durante el incendio. Para ello SAFIR asume que las temperaturas nodales varían linealmente con el tiempo de un paso temporal al siguiente, esta hipótesis se expresa en la ecuación 3.35 para un sistema de una única temperatura.

$$T_\theta = T_n + \theta \cdot (T_{n+1} - T_n) \text{ con } \theta \in [0, 1] \quad \text{Ec. 3.35}$$

La constante de integración θ debe ser elegida por el usuario. Valores cercanos a 0 obligarán a SAFIR a realizar la integración del tiempo de una manera casi explícita, mientras que $\theta = 1$ llevará a una integración completamente implícita. El valor de $\theta = 0,9$ ha sido utilizado consistentemente por los desarrolladores del software en sus propias aplicaciones, por tanto, se hará uso de este valor en el modelo.

Una primera aproximación de la solución en el tiempo $t_\theta = t_n + \theta \cdot \Delta t$, donde $\Delta t = t_{n+1} - t_n$, puede obtenerse por extrapolación lineal de los resultados obtenidos en los dos pasos de tiempo previos, como se puede ver en la Figura 3.13 (sistema de una única temperatura). Si esta primera solución T_θ^1 es la solución exacta debe satisfacer la ecuación 3.33.

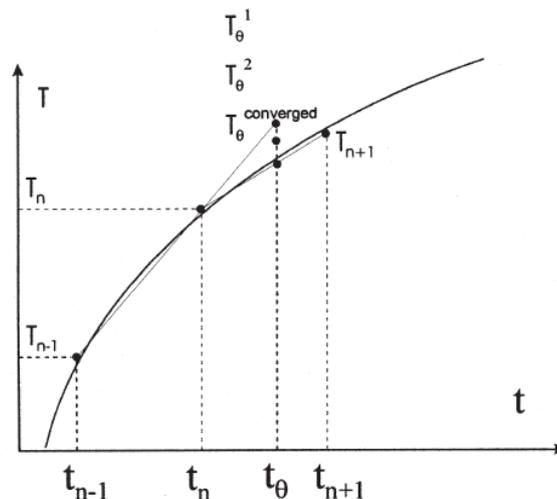


Figura 3.13. Proceso iterativo en el análisis térmico [26].

Cuando esta solución no es la solución exacta, hay un residuo dado por la ecuación 3.36.

$$r(T_\theta^1) = K \cdot T_\theta^1 + C \cdot \dot{T}_\theta^1 - g = K \cdot T_\theta^1 + C \cdot \frac{T_\theta^1 - T_n}{\theta \cdot \Delta t} - g \neq 0 \quad \text{Ec. 3.36}$$

La corrección ΔT_θ^1 que debe aplicarse para mejorar esta primera aproximación de la solución T_θ^1 se obtiene al imponer un valor nulo al residuo expresado mediante una linealización de Newton, véase ecuación 3.37.

$$r(T_\theta^2) = r(T_\theta^1 + \Delta T_\theta^1) = r(T_\theta^1) + \frac{\partial r}{\partial T} \cdot \Delta T_\theta^1 = 0 \quad \text{Ec. 3.37}$$

El proceso se repite hasta que el residuo y/o las correcciones realizadas en las temperaturas alcancen un nivel aceptablemente bajo. Las temperaturas al final del paso de tiempo se obtienen directamente mediante interpolación lineal de las soluciones en t_n y t_{θ} .

3.4.3 Análisis mecánico

A continuación, se exponen las bases del modelo de cálculo utilizado en SAFIR para realizar el análisis mecánico, enfocado principalmente al análisis 2D y 3D con elementos finitos tipo viga Bernoulli, el empleado para modelar el pórtico de estudio. La información descrita en este subapartado se ha obtenido de nuevo del artículo *SAFIR: A Thermal/Structural Program for Modeling Structures Under Fire* ([26]) y de la tesis doctoral de Jean-Marc Frassen *Contributions a la Modelisation des Incendies et de leurs Effets sur les Batiments* ([31]).

Este software hace uso de un modelo de grandes desplazamientos desarrollado a partir de la forma incremental del Principio de los Trabajos Virtuales en su forma lagrangiana co-rotacional total, véase la ecuación 3.38.

$$\int_V (\bar{D}_{ijkl} \cdot d\bar{E}_{kl} \cdot \delta\bar{E}_{ij} + S_{ij} \cdot \delta d\bar{E}_{ij}) \cdot dV = \int_V (d\bar{f}_i \cdot \delta\bar{u}_i + \bar{f}_i \cdot \delta d\bar{u}_i) \cdot dV \quad \text{Ec. 3.38}$$

donde:

- $\bar{V} = V$: Volumen no deformado del elemento.
- $\bar{S}_{ij} = S_{ij}$: Tensor de tensiones de Piola-Kirchoff de segundo orden.
- $\bar{D}_{ijkl} = D_{ijkl}$: Tensor que define la ley constitutiva incremental del material.
- $\delta\bar{E}_{ij}$: Tensor del campo virtual de desplazamiento de Green.
- $\delta\bar{u}_i$: Campo virtual de desplazamientos desde la posición deformada del elemento.
- \bar{f}_i : Fuerzas volumétricas aplicadas al cuerpo.

La descripción lagrangiana co-rotacional total es un enfoque específico muy utilizado para modelar el comportamiento de estructuras sometidas a grandes desplazamientos y rotaciones, particularmente útil cuando las deformaciones son pequeñas en comparación con ambos movimientos. En esta se establece un sistema de ejes locales (\bar{X}_1 y \bar{X}_2) que rota con el elemento y sobre el que se define el desplazamiento de cada uno de los nodos. En la Figura 3.14, en la que se ilustra este enfoque aplicado a un elemento plano rectangular, se puede observar que cuando el elemento entra en carga evoluciona hacia una configuración deformada γ . En este caso, los desplazamientos utilizados para evaluar las tensiones y las deformaciones no se representan en función del desplazamiento u entre Γ_0 y γ si no que se hace uso del desplazamiento \bar{u} entre $\bar{\Gamma}_0$ y γ .

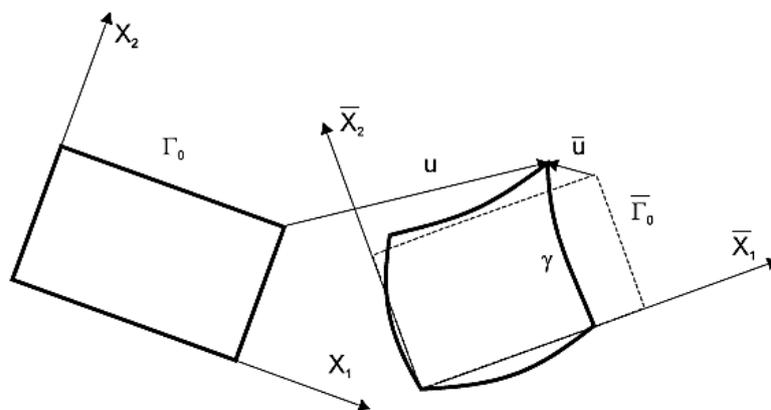
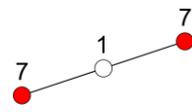
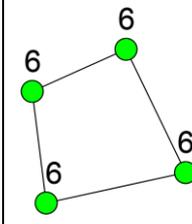
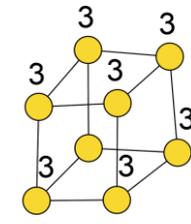


Figura 3.14. Descripción del enfoque co-rotacional total [31].

En esta representación X_1 y X_2 son los ejes utilizados para definir la posición de cada nodo del elemento en la configuración inicial Γ_0 . Por otro lado, $\bar{\Gamma}_0$ es una posición que podría ocupar el elemento original si, como cuerpo rígido, se le aplicara una traslación y una rotación de manera que se encuentre lo más cerca posible de la posición deformada.

La ecuación 3.38 se particulariza en función del tipo de elemento finito seleccionado. En la Tabla 3.10 se recogen los distintos elementos implementados en SAFIR y sus principales características, se puede encontrar información más detallada en *Contributions a la Modelisation des Incendies et de leurs Effets sur les Batiments ([31])*.

Tabla 3.10. Descripción de los elementos finitos disponibles para el análisis mecánico.

	Elemento tipo barra	Elemento tipo viga de Bernoulli	Elemento tipo lámina	Elemento sólido 3D	Elemento tipo resorte
Denominación en inglés	Truss F.E.	Beam F.E.	Shell F.E.	Solid F.E. o 3D F.E.	Spring F.E. ⁽¹⁾
Nº de nodos por elemento	2	3 ⁽²⁾	4	6 u 8	1 + dirección
G.D.L en cada nodo (elemento 3D ⁽³⁾)	+ 3 (traslación)	+ 3 (traslación) + 3 (rotación) + 1 (alabeo)	+ 3 (traslación) + 3 (rotación)	+ 3 (traslación)	+ 1 gdl (traslación)
Tipo integración	Analítica	Numérica ⁽⁴⁾	Numérica ⁽⁵⁾	Numérica ⁽⁶⁾	-
Ejemplos de uso	Arriostramientos ⁽⁷⁾	Vigas y pilares	Losas y muros	Detalle en las uniones	Acción del suelo sobre la estructura
Representación gráfica					
<p>(1) El comportamiento de este elemento está descrito únicamente por una relación fuerza-desplazamiento (sin material)</p> <p>(2) El elemento dispone de un nodo central con un grado de libertad para captar la parte no lineal del desplazamiento axial (longitudinal)</p> <p>(3) En un elemento 2D se dispone de 2 grados de libertad menos, uno de traslación y otro de rotación. Además, en elementos tipo viga tampoco se dispone del grado de libertad de alabeo</p> <p>(4) Por un lado, la integración a lo largo del eje longitudinal del elemento se realiza con integración numérica por Cuadratura de Gauss donde el usuario puede seleccionar 2 o 3 puntos de integración en el elemento. Por otro lado, la integración seccional se lleva a cabo con un modelo de fibras</p> <p>(5) Por un lado, la integración en el plano se realiza con la Cuadratura de Gauss con 4 puntos de integración. Por otro lado, para la integración en el espesor el usuario puede seleccionar de 2 a 10 puntos de integración (2 si el comportamiento de membrana es el predominante y 10 si el comportamiento predominante es el pandeo)</p> <p>(6) La integración en cada dirección se obtiene con Cuadratura de Gauss seleccionando de 1 a 3 puntos de integración en el elemento</p> <p>(7) Este elemento solo puede estar sometido a esfuerzos de tracción o compresión (no tiene resistencia a cargas transversales ni a flexión). Además, con este tipo de elemento no se puede representar fenómenos como el pandeo, por tanto, su uso queda relegado a barras traccionadas y a barras comprimidas no esbeltas</p>					

Como se ha comentado anteriormente, en el pórtico de estudio se va a hacer uso de elementos tipo viga de Bernoulli donde se tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

- Hipótesis de Bernoulli: Las secciones planas y perpendiculares a la directriz de un elemento sometido a flexión, seguirán siendo planas y perpendiculares a la directriz deformada. Como consecuencia, este elemento no podrá seguir los modos de fallo por cortante.
- Hipótesis de Von Karman: Las deformaciones son pequeñas.
- Se considera que las rotaciones son pequeñas ya que se evalúan en la configuración co-rotada.

- Hipótesis de Vlassov: En torsión pura la sección experimenta un alabeo cuya amplitud es proporcional al aumento del ángulo de torsión.

Las deformaciones en este tipo de elementos se recogen en las ecuaciones 3.39, 3.40 y 3.41.

$$E_{xx} = u' - y \cdot (v'' - z_c \cdot \psi'') - z \cdot (w'' + y_c \cdot \psi'') - y \cdot w'' \cdot \psi + z \cdot v'' \cdot \psi - \omega \cdot \psi'' + \frac{1}{2} \cdot (v'^2 + w'^2 + [y^2 + z^2] \cdot \psi'^2) \quad \text{Ec. 3.39}$$

$$E_{xy} = -\frac{1}{2} \cdot \psi' \cdot \left(z - z_c + \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \quad \text{Ec. 3.40}$$

$$E_{xz} = \frac{1}{2} \cdot \psi' \cdot \left(y - y_c + \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) \quad \text{Ec. 3.41}$$

donde:

- u, v, w: Desplazamientos de la “nodeline ($y_0 ; z_0$)” expresados en función de los desplazamientos nodales mediante funciones de forma polinómicas de tercer orden para **v, w** y de segundo orden para **u**.
- ψ : Rotación a lo largo del eje longitudinal expresada en función de los desplazamientos nodales mediante funciones de forma polinómicas de tercer orden.
- ω : Función de alabeo.
- y, z: Coordenadas en la sección.
- y_c, z_c : Coordenadas del centro de torsión de la sección. En secciones IPE coincide con el centro de gravedad de la misma (sección simétrica respecto a dos ejes ortogonales).

La “nodeline” hace referencia a la línea que une los dos nodos finales que definen un elemento tipo viga y por los cuales se conectan los distintos elementos (barras) que conforman la estructura en el análisis mecánico. El usuario puede definir la posición de esta línea para, por ejemplo, aplicar una carga no centrada, como se muestra en la Figura 3.15. En el pórtico de estudio no se ha utilizado esta opción ($y_0 = 0 ; z_0 = 0$).

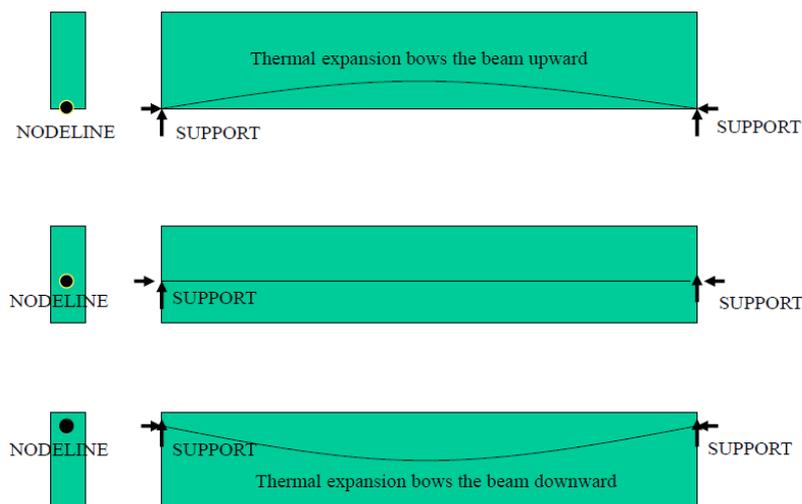


Figura 3.15. Aplicación de carga excéntrica en SAFIR [27].

Por último, comentar que en este tipo de elementos la integración en la sección se basa en un modelo de fibras donde se hace uso de la discretización empleada en el análisis térmico. Por otro lado, la integración a lo largo del eje longitudinal se realiza mediante una integración numérica de Gauss donde el usuario elige el número de puntos a utilizar. Los desarrolladores del software han

demostrado que la integración con dos puntos es buena opción en la amplia mayoría de los casos, por tanto, se hará uso de esta.

Por ejemplo, la integración del término que contabiliza la torsión da como resultado la rigidez torsional de la sección, véase ecuación 3.42.

$$GC_t = \int_{\Omega} G \cdot \left[\left(y - y_c + \frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 + \left(z - z_c + \frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 \right] \cdot d\Omega \quad \text{Ec. 3.42}$$

Es importante tener en cuenta que este valor se obtiene antes de realizar el análisis mecánico de la estructura, generándose un fichero (.TOR) que, junto al (.TEM) que contiene la evolución de la temperatura, permiten definir la sección que el programa aplica a una determinada barra. El programa evalúa esta rigidez torsional a una temperatura de 20°C y el usuario puede cambiar directamente su valor en el fichero (.TOR). De esta forma, para considerar en el análisis mecánico la reducción de la rigidez torsional debido al aumento de la temperatura, el valor obtenido de SAFIR se reducirá a la mitad y el software considerará que este valor no varía en todo el análisis mecánico.

3.4.4 Resultados

En este dominio de cálculo se estudia el comportamiento del pórtico interior tipo del edificio industrial ya dimensionado a temperatura ambiente, con secciones IPE400 en todas sus barras. Se pretende conocer la máxima capacidad resistente de este pórtico, protegiéndolo con el espesor mínimo de 1 cm de IGNIPLASTER, tal y como se ha empleado en los demás dominios de comprobación.

Para ello se han estudiado las dos hipótesis críticas: acción conjunta del peso propio con, por un lado, la fracción casipermanente de la nieve no redistribuida por la acción del viento [PP + 0,2 · N(EI)] y, por otro lado, con la acción casipermanente del viento lateral [PP + 0,5 · V(180°)H1]. En la Figura 3.16 se muestran los resultados del desplazamiento vertical del nodo de la cumbrera de la cubierta que no sufre succión por la acción del viento. Se puede observar que en ambas hipótesis el análisis 2D marca un límite de resistencia del pórtico. A medida que se introducen arriostramientos en el modelo como las vigas perimetrales (VP) o las correas (C), la resistencia obtenida se aproxima a este límite.

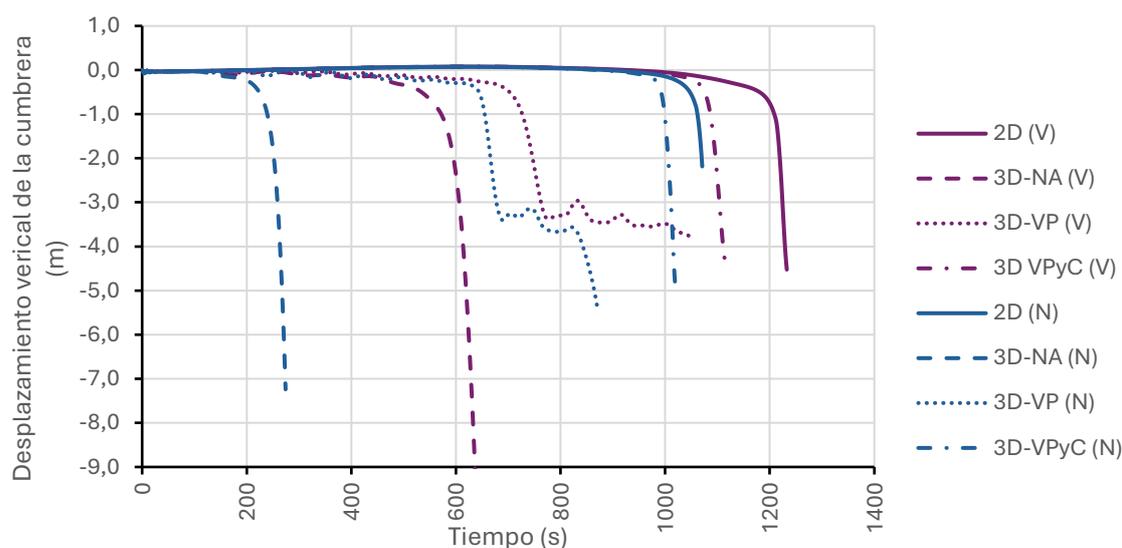


Figura 3.16. Influencia de los arriostramientos en las hipótesis críticas: PP + 0,2 · N(EI) [azul] & PP + 0,5 · V(180°)H1 [magenta].

En estos resultados solo se ha aplicado protección pasiva a los pilares exteriores del pórtico, alcanzándose una resistencia máxima cuando los pórticos están totalmente arriostrados de 17,8 min y 20,5 min en las hipótesis de $PP + 0,2 \cdot N(EI)$ y $PP + 0,5 \cdot V(180^\circ)H1$, respectivamente. La ganancia en el tiempo de resistencia es considerablemente menor a lo esperado, ya que, como se observa en los análisis 2D de la hipótesis crítica, la diferencia entre proteger o no los pilares resulta en una mejora de aproximadamente 25 segundos.

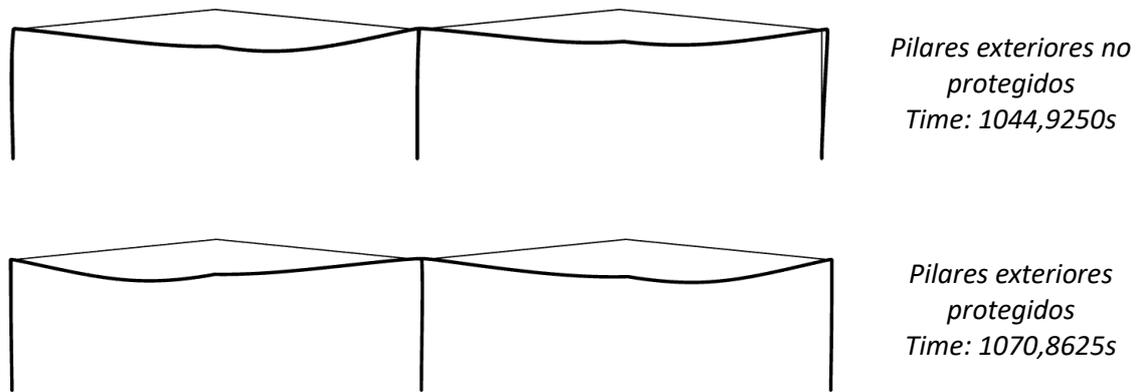


Figura 3.17. Incremento de la resistencia al proteger los pilares exteriores en la hipótesis: $PP + 0,2 \cdot N(EI)$.

Además, como se muestra en la Figura 3.18, si los pórticos no se arriostran estos colapsan rápidamente fuera de su plano debido al fallo del pilar central no protegido.

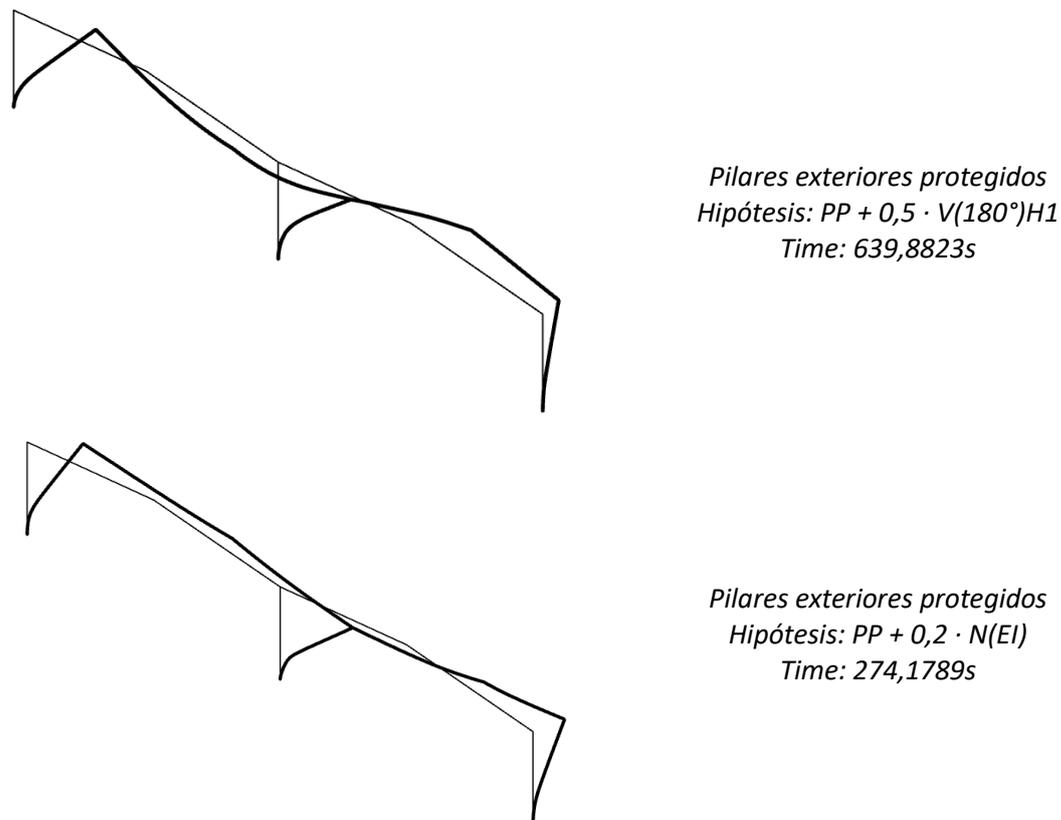


Figura 3.18. Mecanismo de colapso del pórtico no arriostrado.

Sin embargo, es importante señalar que las simulaciones realizadas confirman una de las ventajas de aplicar la protección pasiva únicamente a los pilares exteriores del pórtico. Esta ventaja radica

en que, como se muestra en la Figura 3.19, el colapso se produce en el pilar central, lo que provoca que el derrumbe de la estructura se desarrolle hacia el interior, que es lo deseado en caso de colapso. De este modo se minimiza el riesgo de que el incendio se propague hacia los edificios adyacentes.

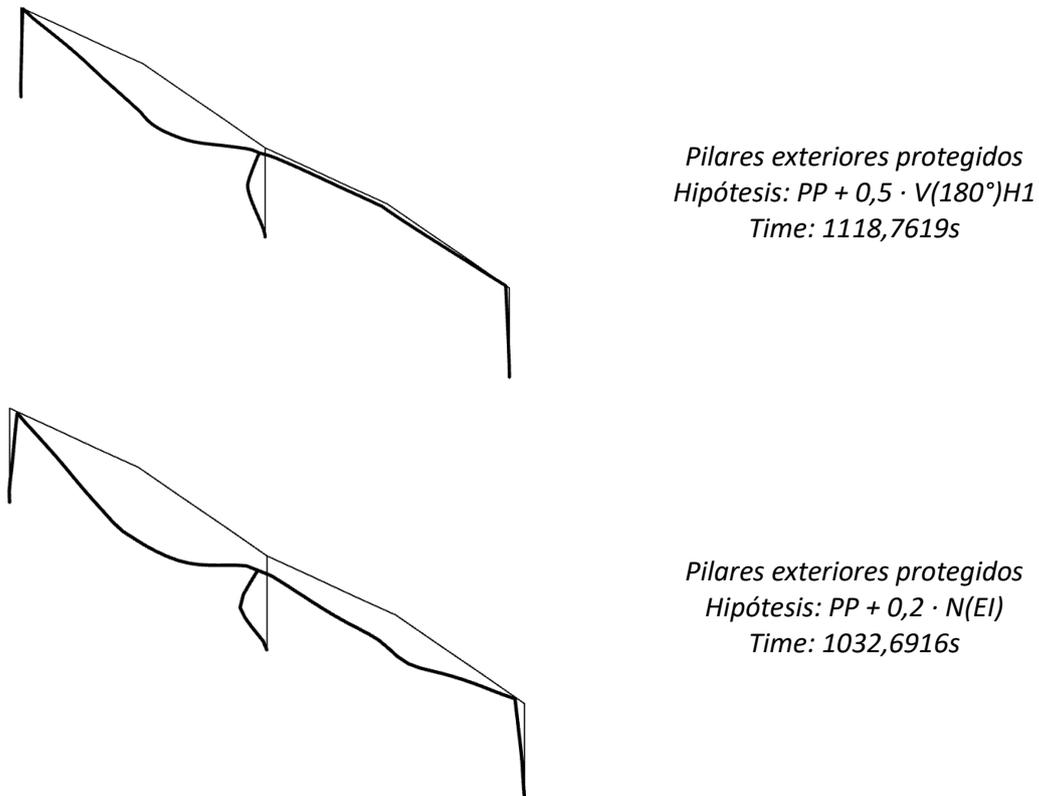


Figura 3.19. Mecanismo de colapso del pórtico arriostrado en vigas perimetrales y correas.

Por último, se ha realizado una simulación protegiendo todo el pórtico con 1 cm de proyección de mortero IGNIPLASTER para comprobar la resistencia máxima del pórtico con la protección empleada. Para ello se ha simulado la hipótesis crítica $PP + 0,2 \cdot N(EI)$ y se han modelado únicamente los arriostramientos de las vigas perimetrales, los resultados se muestran en la Figura 3.20.

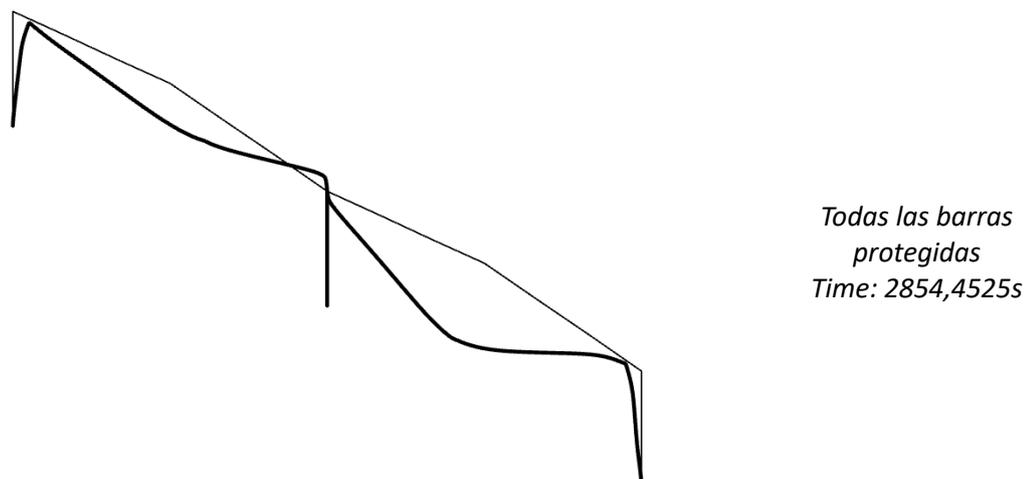


Figura 3.20. Resultados para el pórtico completamente protegido con IGNIPLASTER en la hipótesis: $PP + 0,2 \cdot N(EI)$.

4 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Tabla 4.1. Resumen del presupuesto.

CAPÍTULO 1: Acondicionamiento del terreno	128.109,22 €
Subcapítulo 1.1: Movimiento de tierras	45.036,72 €
Subcapítulo 1.2: Nivelación	83.072,50 €
CAPÍTULO 2: Cimentación	45.467,95 €
Subcapítulo 2.1: Regularización	3.034,20 €
Subcapítulo 2.2: Superficiales	36.701,59 €
Subcapítulo 2.3: Arriostramientos	5.732,16 €
CAPÍTULO 3: Estructura metálica	329.411,91 €
Subcapítulo 3.1: Acero para perfiles	176.977,67 €
Subcapítulo 3.2: Acero para correas	50.479,80 €
Subcapítulo 3.3: Placas de anclaje	10.798,17 €
Subcapítulo 3.4: Protección pasiva	91.156,27 €
CAPÍTULO 4: Fachadas y particiones	75.526,89 €
Subcapítulo 4.1: Cerramientos de fachadas	75.526,89 €
CAPÍTULO 5: Cubierta	151.156,00 €
Subcapítulo 5.1: Cerramientos de cubierta	151.156,00 €
CAPÍTULO 6: Carpintería, cerrajería y vidrios	22.947,64 €
Subcapítulo 6.1: Puertas	19.667,56 €
Subcapítulo 6.2: Ventanas	3.280,08 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	752.619,61 €
13% Gastos Generales	97.840,55 €
6% Beneficio industrial	45.157,18 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	895.617,34 €
21% IVA	188.079,64 €
PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA PROPIEDAD	1.083.696,98 €

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata con IVA a la expresada cantidad de **UN MILLÓN OCHENTA Y TRES MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS**.

Los datos recogidos en la Figura 4.1 muestran como el Presupuesto de Ejecución Material del proyecto está fuertemente condicionado por los requerimientos necesarios para ejecutar la estructura metálica, capítulo que supone aproximadamente un 44% del coste total.

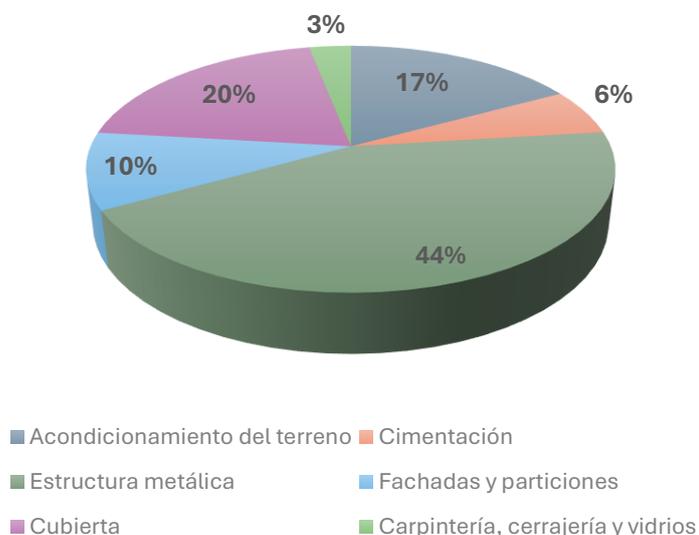


Figura 4.1. Desglose por capítulos del Presupuesto de Ejecución Material.

En la Figura 4.2 se presenta un desglose detallado de este capítulo. En él se puede observar como el subcapítulo de la protección pasiva representa aproximadamente el 28% del coste total del capítulo, prácticamente el doble de la contribución del subcapítulo que recoge el gasto en las correas y su instalación. Este hecho destaca el aumento en el coste de una estructura metálica para conseguir incrementar su resistencia a 30 minutos.

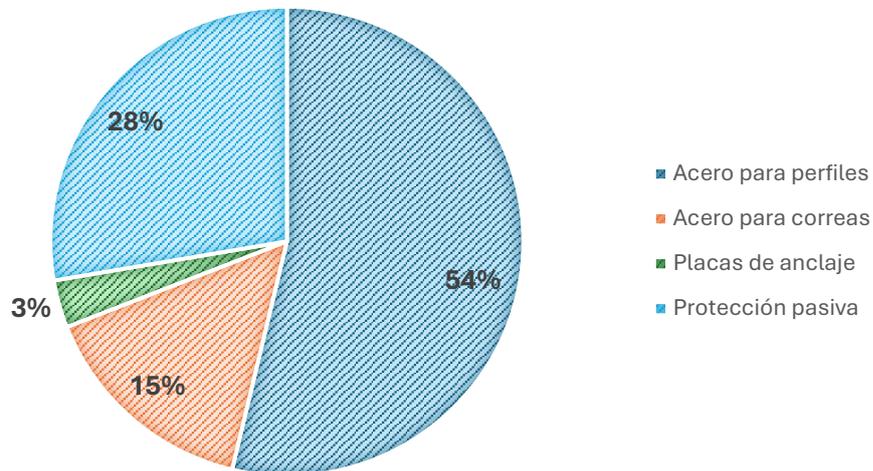


Figura 4.2. Desglose del capítulo 3: Estructura metálica.

5 CONCLUSIÓN

En el transcurso de este proyecto se ha calculado el pórtico crítico del edificio de referencia, predimensionado a temperatura ambiente, bajo la situación accidental de incendio. El análisis se ha realizado en los tres dominios de comprobación: temperatura, resistencia y tiempo.

En el estudio realizado en los dominios de la temperatura y la resistencia queda de manifiesto que el cambio legislativo aplicable a los edificios tipo C va a generar un aumento sustancial del coste de las estructuras metálicas, provocado principalmente por la necesidad de aplicar protección pasiva a toda la estructura, incluyendo las correas con función de arriostamiento. Esto reduce notablemente la competitividad en el mercado de esta tipología estructural en comparación con el nivel de resistencia previamente exigido, 15 minutos, ya que para alcanzarlo era suficiente con aplicar la protección pasiva de manera localizada en las zonas de mayores esfuerzos, o incluso, como se ha puesto de manifiesto en el cálculo en el dominio del tiempo, no era necesario aplicar protección.

Con el objetivo de encontrar una alternativa a esta situación, se ha estudiado el diseño en el dominio plástico utilizando como referencia la guía titulada *Single Storey Steel Framed Buildings in Fire Boundary Conditions* ([17]). La ventaja principal de esta metodología radica en que no es necesario proteger la estructura principal de cubierta, es decir, las vigas y las correas con función de arriostamiento, lo que deriva en una notable reducción del coste de la estructura. No obstante, también es necesario tener en cuenta que la magnitud de los momentos aplicados a los pilares exteriores en el instante crítico del colapso de la cubierta implica la necesidad de disponer refuerzos y modificar la tipología de la zapata a la que se canaliza dichos esfuerzos. Todo esto puede reducir de forma significativa los beneficios económicos de esta alternativa de cálculo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Fomento, “CTE DB SE (Real Decreto 314/2006),” 2019.
- [2] Ministerio de Fomento, “CTE DB SE-AE (Real Decreto 314/2006),” 2009.
- [3] Ministerio de Fomento, “CTE DB SE-A (Real Decreto 314/2006),” 2019.
- [4] Ministerio de Fomento, “CTE DB SE-C (Real Decreto 314/2006),” 2019.
- [5] Ministerio de Fomento, “CTE DB SI (Real Decreto 314/2006),” 2019.
- [6] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1991-1-2,” 2019.
- [7] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1993-1-1,” 2013.
- [8] Asociación Española de Normalización, “UNE-ENV 1993-1-1,” 1996.
- [9] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1993-1-2,” 2016.
- [10] Ministerio de la Presidencia Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, “Código Estructural (Real Decreto 470/2021),” 2021.
- [11] Ministerio de Industria Comercio y Turismo, “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004),” 2004.
- [12] Ministerio de Industria Comercio y Turismo, “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (borrador 30 de mayo de 2023),” 2023.
- [13] Dpto. de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de la Ingeniería Civil, “Apuntes de la asignatura Tecnología de la Construcción (11425), Universidad Politécnica de Valencia,” 2021.
- [14] Dpto. de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de la Ingeniería Civil, “Apuntes de la asignatura Geotecnia y Cimientos (33681), Universidad Politécnica de Valencia,” 2024.
- [15] Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, “Apuntes de la asignatura Resistencia de Estructuras a Sismo y Fuego (33680), Universidad Politécnica de Valencia,” 2024.
- [16] Dpto. de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, “Normas Aplicables a Construcciones Metálicas.”
- [17] W. I. Simms and G. M. Newman, “Single storey steel framed buildings in fire boundary conditions,” Steel Construction Institute (SCI), 2002.
- [18] HM Government, “APPROVED DOCUMENT B. Volume 2: Fire safety amendments for use in England,” 2019.
- [19] ArcelorMittal, Corus, and Peiner Träger, *STEEL BUILDINGS IN EUROPE. Edificios de acero de una sola planta Parte 4: Diseño de detalle de pórticos de naves.* 2016.
- [20] D. Koschmidder and D. Brown, *Elastic design of single-span steel portal frame buildings to Eurocode 3.* Steel Construction Institute (SCI), 2012.
- [21] R. Henderson, *Design of steel portal frame buildings to Eurocode 3.* 2015.

- [22] J. M. Franssen and P. V. Real, *Fire Design of Steel Structures*. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), 2015.
- [23] H. Saura Arnau, *Curso Básico Cype3D*. 2020.
- [24] Eugenio Oñate and Francisco Zárate, *CURSO DE MÁSTER EN MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO Y DISEÑO EN INGENIERÍA*.
- [25] Arcelor, *POUTRELLES PROFILÉS ET ACIERS MARCHANDS*.
- [26] J. M. Franssen, "SAFIR: A Thermal/Structural Program for Modeling Structures Under Fire," 2003.
- [27] Jean-Marc Franssen and T. Gernay, *A COMPUTER PROGRAM FOR ANALYSIS OF STRUCTURES SUBJECTED TO FIRE*. 2022.
- [28] J. M. Franssen, B. Cowez, and T. Gernay, "Effective stress method to be used in beam finite elements to take local instabilities into account," in *Fire Safety Science*, International Association for Fire Safety Science, 2014, pp. 544–557. doi: 10.3801/IAFSS.FSS.11-544.
- [29] J. Marc Franssen and T. Gernay, *SAFIR. A software for modeling the behavior of structures subjected to the fire*. 2020.
- [30] Gobierno de España, "PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AGENDA 2030."
- [31] Jean-Marc Franssen, "CONTRIBUTIONS A LA MODELISATION DES INCENDIES ET DE LEURS EFFETS SUR LES BATIMENTS," 1997.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

ANEXO DE CÁLCULO

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

ANEXO DE CÁLCULO

1	CÁLCULO A TEMPERATURA AMBIENTE CON CYPE3D	4
1.1	Acciones	4
1.2	Estados límites	7
1.3	Materiales	8
1.4	Barras	9
1.4.1	Predimensionamiento	9
1.4.2	Modelo de flecha.....	11
1.4.3	Modelo de pandeo	11
1.4.4	Modelo de pandeo lateral	16
1.4.5	Comprobación de las barras.....	22
1.5	Correas.....	26
1.5.1	Correas de cubierta	27
1.5.2	Correas de fachada	28
1.6	Placas de anclaje	29
1.6.1	Placa de anclaje tipo 1	29
1.6.2	Placa de anclaje tipo 2	31
1.6.3	Placa de anclaje tipo 3	33
1.7	Zapatas.....	36
1.7.1	Zapata tipo 1.....	36
1.7.2	Zapata tipo 2.....	39
1.7.3	Zapata tipo 3.....	41
1.7.4	Zapata tipo 4.....	44
1.7.5	Viga de atado.....	46
2	CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES A TEMPERATURA ELEVADA	48
3	TRASMISIÓN DE CALOR EN ESTRUCTURAS METÁLICAS	52
3.1	Masividad de una sección.....	52
3.2	Curva de calentamiento de un perfil metálico sin protección pasiva	52
3.3	Curva de calentamiento de un perfil metálico con protección pasiva.....	54
3.4	Degradación de las propiedades del acero con la temperatura	55
4	CÁLCULO EN EL DOMINIO DE LA TEMPERATURA.....	57
4.1	Combinación de acciones	57
4.2	Temperatura crítica.....	59
4.3	Pórtico interior crítico	62
4.4	Protección pasiva uniformemente aplicada	64
4.5	Protección pasiva aplicada por zonas	65

4.6	Protección pasiva en las correas	67
5	CÁLCULO EN EL DOMINIO DE LA RESISTENCIA.....	69
5.1	Secciones transversales clase 4.....	69
5.2	Elementos sometidos a tracción	72
5.3	Elementos sometidos a compresión.....	72
5.4	Elementos sometidos a cortante	73
5.5	Elementos sometidos a flexión	73
5.6	Elementos sometidos a flexo-compresión.....	77
5.7	Resultados.....	80
6	CÁLCULO EN DOMINIO PLÁSTICO	97
6.1	Clasificación de las vigas del pórtico	97
6.2	Comprobación de los pilares exteriores	97
6.2.1	Esfuerzos.....	97
6.2.2	Temperatura	98
6.2.3	Resistencia a cortante.....	99
6.2.4	Resistencia a flexo-compresión	99
6.3	Comprobación de la placa de anclaje	107
6.3.1	Modelo mecánico	107
6.3.2	ELU de Agotamiento del apoyo	108
6.3.3	ELU de Agotamiento de la placa a flexión	109
6.3.4	ELU de Agotamiento de los pernos	110
6.3.5	ELU de Anclaje de los pernos en el hormigón	111
6.3.6	Resultados	111
6.4	Comprobación de la cimentación	115
6.4.1	ELU de Durabilidad	115
6.4.2	Propiedades del terreno.....	118
6.4.3	Esfuerzos de cálculo y coeficientes de seguridad parcial	118
6.4.4	ELU de Deslizamiento	120
6.4.5	ELU de Vuelvo.....	120
6.4.6	ELU de Hundimiento.....	121
6.4.7	ELU de Capacidad estructural.....	121
6.4.8	Resultados	127
6.5	Comprobación de la estabilidad longitudinal	133
7	CÁLCULO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO	135
7.1	Análisis térmico y torsional.....	135
7.1.1	Geometría de la sección	135

7.1.2	Acción térmica	136
7.1.3	Materiales en la sección	138
7.1.4	Mallado seccional	139
7.1.5	Análisis térmico	140
7.1.6	Análisis torsional.....	141
7.2	Análisis mecánico.....	142
7.2.1	Geometría del pórtico	142
7.2.2	Condiciones de contorno.....	144
7.2.3	Secciones y materiales.....	144
7.2.4	Cargas	146
7.2.5	Mallado de la estructura	148
7.2.6	Análisis mecánico	148

1 CÁLCULO A TEMPERATURA AMBIENTE CON CYPE3D

En este primer capítulo se exponen los resultados y toda la información necesaria para realizar el cálculo a temperatura ambiente del edificio industrial objeto de este proyecto con el software Cype3D y de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación.

1.1 Acciones

En el cálculo realizado con el software Cype3D se han considerado las siguientes cargas permanentes:

- Peso del cerramiento de cubierta y fachada: 0,15 kN/m².
- Peso de una instalación fotovoltaica en la cubierta: 0,15 kN/m².
- Peso propio de las correas:
 - correas de cubierta: 0,03 kN/m².
 - correas de fachada: 0,05 kN/m².
- Peso propio de la estructura calculado considerando una densidad de 78,50 kN/m³ para el acero.

Para el cálculo de la acción variable del viento el software hace uso de lo dispuesto en el artículo 3.3 del CTE DB SE-AE. Este establece que la acción del viento se puede estudiar como una presión estática, definida en la ecuación 1.1.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad \text{Ec. 1.1}$$

donde:

- q_b : Presión dinámica del viento. Su valor se obtiene de la figura D.1 del Anejo D del DB SE-AE.



Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, V_b

Figura 1.1. Figura D.1 Anejo D del CTE DB SE-AE [2].

- c_e : Coeficiente de exposición. Su valor se obtiene de la ecuación 1.2 y depende del grado de aspereza del entorno y de la altura de cumbre de la nave z .

$$c_e = F \cdot (F + 7 \cdot k) \quad \text{Ec. 1.2}$$

$$F = k \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right) \quad \text{Ec. 1.3}$$

siendo k , L y Z parámetros característicos de cada tipo de entorno obtenidos de la tabla D.2 del Anejo D del DB SE-AE.

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Figura 1.2. Tabla D.2 Anejo D del CTE DB SE-AE [2].

- c_p : Coeficiente eólico. Su valor depende de la dirección del viento, geometría del edificio, zona del elemento considerado y su área de influencia. Para su cálculo se utilizan las tablas D.3, D.6 y D.9 del Anejo D del DB SE-AE.

Este cálculo se debe realizar en todas las direcciones independientemente de la existencia de construcciones contiguas medianeras. No obstante, de forma general es suficiente con considerar dos direcciones ortogonales cualesquiera, véase la Figura 1.3.

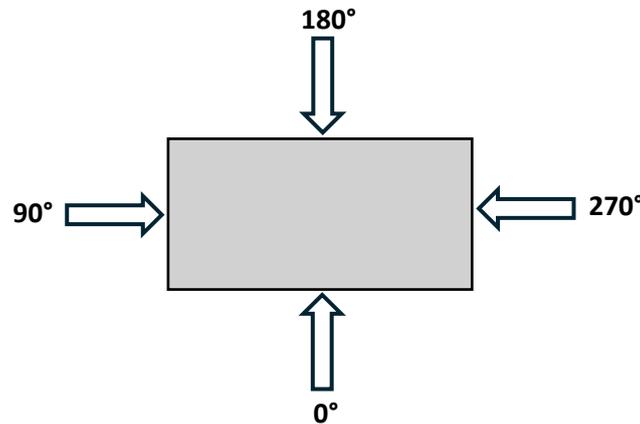


Figura 1.3. Direcciones relativas del viento respecto a la estructura.

Las hipótesis de viento generadas por el programa son:

- V (0°) H1: Viento a 0°, presión exterior, sin acción en el interior.
- V (0°) H2: Viento a 0°, presión exterior, sin acción en el interior.
- V (90°) H1: Viento a 90°, presión exterior, sin acción en el interior.
- V (180°) H1: Viento a 180°, presión exterior, sin acción en el interior.
- V (180°) H2: Viento a 180°, presión exterior, sin acción en el interior.
- V (270°) H1: Viento a 270°, presión exterior, sin acción en el interior.

Se puede observar que en ninguna de las hipótesis se contempla la acción del viento interior ya que se asume que en condiciones de fuertes vientos las aberturas permanecerán cerradas. Una alternativa no contemplada en el proyecto sería considerar la acción del viento interior como una acción accidental.

Para el cálculo de la acción variable de la nieve el software hace uso de lo dispuesto en el artículo 3.5 del CTE DB SE-AE. Este artículo establece que la carga de nieve se obtiene del producto entre el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal s_k y el coeficiente de forma de la cubierta μ .

$$Q_n = \mu \cdot S_k \quad \text{Ec. 1.4}$$

El valor de la carga de nieve sobre un terreno horizontal se puede obtener de la tabla E.2 del Anejo E del DB SE-AE.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m²)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 1.4. Tabla E.2 Anejo E del CTE DB SE-AE [2].

El valor del coeficiente de forma de un faldón, con una pendiente α , depende de si está limitado o no inferiormente por una limahoya.

- Faldones sin limahoya.

$$\mu = 1 \quad \text{si } \alpha \leq 30^\circ$$

$$\mu = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{30^\circ} \quad \text{si } 30^\circ < \alpha < 60^\circ$$

$$\mu = 0 \quad \text{si } \alpha \geq 60^\circ \quad \text{Ec. 1.5}$$

- Faldones con limahoya, donde $\bar{\beta}$ corresponde a la semisuma de las inclinaciones de los dos faldones que conforman la limahoya.

$$\mu = 2 \quad \text{si } \bar{\beta} > 30^\circ$$

$$\mu = 1 + \frac{\bar{\beta}}{30^\circ} \quad \text{si } \bar{\beta} \leq 30^\circ \quad \text{Ec. 1.6}$$

Es importante tener en cuenta que las nevadas pueden estar acompañadas por el viento, lo que da lugar a depósitos irregulares de la nieve sobre la cubierta. Por ello, se debe considerar dos hipótesis de carga adicionales donde se reduce el factor de forma a la mitad en aquellas zonas donde la acción sea favorable.

Las hipótesis de nieve generadas por el programa son:

- N(EI): Nieve (estado inicial), distribución simétrica.
- N(R) 1: Nieve (redistribución) 1, distribución asimétrica.
- N(R) 2: Nieve (redistribución) 2, distribución asimétrica.

Para la sobrecarga de uso se debe aplicar lo establecido en el artículo 3.1 del CTE DB SE-AE. La única sobrecarga de uso que actúa sobre la estructura es la de la cubierta, que pertenece a la categoría de cubiertas ligeras sobre correas accesibles únicamente para tareas de conservación. El valor de esta sobrecarga es de 0,4 kN/m² y se considera no concomitante con otras acciones variables.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

Figura 1.5. Tabla 3.1 Artículo 3 del CTE DB SE-AE [2].

Por último, la acción térmica debida a la temperatura ambiente del exterior se puede despreciar si se disponen juntas dilatación en el edificio, de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m. Por este motivo, en la alineación del pórtico central se han dispuesto juntas con colisos en correas y vigas perimetrales.

1.2 Estados límites

Las acciones consideradas se deben combinar para realizar la comprobación de los Estados Límite Últimos (ELU) asociados al colapso y otras formas de fallo de la estructura y los Estados Límite de Servicio (ELS) que aseguran el correcto funcionamiento durante la utilización normal de la edificación.

Para verificar los ELU, el valor calculado del efecto de las acciones se determina utilizando la ecuación 1.7 en situaciones de diseño persistente o transitoria y la ecuación 1.8 en situaciones extraordinarias.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 1.7}$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Para la comprobación de los ELS, se hace uso de las combinaciones de acciones característica, frecuente y casi permanente para verificar los criterios de integridad, confort y apariencia, respectivamente.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 1.9}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 1.10}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 1.11}$$

donde:

- $G_{k,j}$: Valor característico de la acción permanente j.
- $Q_{k,i}$: Valor característico de la acción variable i.

- A_d : Valor de cálculo de la acción accidental.
- $\Psi_{0,i}$: Coeficiente de combinación de la acción variable i.
- $\Psi_{1,i}$: Coeficiente frecuente de la acción variable i.
- $\Psi_{2,i}$: Coeficiente casi permanente de la acción variable i.
- $\gamma_{Q,i}$: Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable i.
- $\gamma_{G,j}$: Coeficiente parcial de seguridad de la acción permanente j.

El valor de los coeficientes de simultaneidad y los coeficientes parciales de seguridad de las acciones se pueden obtener de las tablas 4.1 Y 4.2 del CTE DB SE.

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
		desestabilizadora	estabilizadora
Estabilidad	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

Figura 1.6. Tabla 4.1 Artículo 4 del CTE DB SE [1].

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.

Figura 1.7. Tabla 4.2 Artículo 4 del CTE DB SE [1].

1.3 Materiales

En la estructura metálica de la nave industrial se ha utilizado acero laminado S275JR para los perfiles de las series IPE, Hot Finished SHS y L, así como para las placas base y los rigidizadores de las placas de anclaje. Además, se ha empleado acero S235JR para los perfiles conformados de la serie CF empleados en las correas.

Tabla 1.1. Características acero S275JR y S235JR.

	S275JR	S235JR
Módulo de elasticidad E (MPa)	210000	
Coeficiente de Poisson ν	0,3	
Módulo de cortadura G (MPa)	81000	

	S275JR	S235JR
Límite elástico f_y (MPa)	275 si $t \leq 16$ 265 si $16 < t \leq 40$ 255 si $40 < t \leq 63$ t: espesor nominal en mm	235 si $t \leq 16$ 225 si $16 < t \leq 40$ 215 si $40 < t \leq 63$ t: espesor nominal en mm
Tensión de rotura f_u (MPa)	410 si $3 \leq t \leq 100$	360 si $3 \leq t \leq 100$
Coeficiente de dilatación α_t (1/°C)	$1,2 \cdot 10^{-5}$	
Densidad ρ (kg/m ³)	7850	

También se ha empleado acero corrugado B500S para el armado de las zapatas y vigas de atado y pernos de anclaje.

Tabla 1.2. Características acero B500S.

B500S	
Módulo de elasticidad E (MPa)	200000
Límite elástico f_y (MPa)	500
Tensión de rotura f_u (MPa)	550

Los hormigones empleados en el diseño de la cimentación de la nave industrial son:

- Hormigón de limpieza HL-150/F/20.

Tabla 1.3. Características hormigón HL-150/F/20.

HL-150/F/20	
Dosificación mínima de cemento (Kg/m ³)	150
Consistencia	Fluida
Tamaño máximo del árido (mm)	20

- Hormigón armado HA-25/F/20/XC2.

Tabla 1.4. Características hormigón HA-25/F/20/XC2.

HA-25/F/20/XC2	
Resistencia característica específica (N/mm ²)	25
Consistencia	Fluida
Tamaño máximo del árido (mm)	20
Designación de ambiente	Húmedo, raramente seco

1.4 Barras

1.4.1 Predimensionamiento

Para predimensionar los elementos estructurales de la nave industrial se han aplicado las condiciones de esbeltez reducida máxima propuestas por el CTE DB SE-A. El límite para este parámetro varía según el tipo de elemento y sus condiciones de trabajo.

- Elementos principales a compresión: $\bar{\lambda} \leq 2$
- Elementos principales a tracción: $\bar{\lambda} \leq 3$
- Elementos de arriostramiento a compresión: $\bar{\lambda} \leq 3$
- Elementos de arriostramiento a tracción: $\bar{\lambda} \leq 4$

La esbeltez reducida se define como el cociente entre la esbeltez mecánica λ y la esbeltez límite λ_{lim} .

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{\beta \cdot L}{i} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}}} \leq \bar{\lambda}_{m\acute{a}xima} \quad \text{Ec. 1.12}$$

Aplicando este criterio se obtiene el radio de giro i de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia considerado.

$$i \geq \frac{\beta \cdot L}{\bar{\lambda}_{m\acute{a}xima} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}}} \quad \text{Ec. 1.13}$$

Al aplicar la condición de esbeltez a los distintos elementos de la nave industrial se obtienen los perfiles indicados en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Predimensionamiento de los elementos estructurales.

Elemento	Límite de esbeltez	L (m)		Coeficiente de pandeo		i (m)	Perfil necesario
		XY	XZ				
Pilar pórtico interior ⁽⁴⁾	$\bar{\lambda} \leq 2$	5,44	8	0,70	1,40	64,51 ⁽²⁾	IPE 200
Jácena pórtico interior	$\bar{\lambda} \leq 2$	1,99	25,0	1,00	1,00	144,0 ⁽²⁾	IPE 360
Pilar pórtico de fachada ⁽⁵⁾	$\bar{\lambda} \leq 2$	5,44	9,25	0,70	0,70	21,94 ⁽³⁾	IPE 200
Jácena pórtico de fachada	$\bar{\lambda} \leq 2$	1,99	6,25	1,00	1,00	36,00 ⁽²⁾	IPE 100
Viga perimetral	$\bar{\lambda} \leq 4$	5,00		1,00		14,40	IPE 120
Tirante de la viga contraviento	$\bar{\lambda} \leq 3$	4,00 ⁽¹⁾		1,00		15,37	L 80x80x5
Montante de la viga contraviento	$\bar{\lambda} \leq 2$	5,00		1,00		28,80	SHS 90x4.0
Tirante mayor de fachada frontal	$\bar{\lambda} \leq 3$	4,14 ⁽¹⁾		1,00		15,91	L 90x90x6
Tirante menor de fachada frontal	$\bar{\lambda} \leq 3$	3,66 ⁽¹⁾		1,00		14,05	L 75x75x4
Montante de fachada frontal	$\bar{\lambda} \leq 2$	6,25		1,00		36,00	SHS 100x4.0
Tirante mayor de fachada lateral	$\bar{\lambda} \leq 3$	3,69 ⁽¹⁾		1,00		14,18	L 75x75x4
Tirante menor de fachada lateral	$\bar{\lambda} \leq 3$	2,81 ⁽¹⁾		1,00		10,78	L 60x60x4
Montante de fachada lateral	$\bar{\lambda} \leq 2$	5,00		1,00		28,80	SHS 90x4.0

(1) Se dispone de un punto de arriostramiento en el cruce de los tirantes que conforman un mismo cuadro de arriostramiento, por tanto, la longitud efectiva de pandeo de los tirantes corresponde a la mitad de su longitud real
 (2) Radio de giro en eje de mayor inercia (y)
 (3) Radio de giro en eje de menor inercia (z)
 (4) Se utiliza como referencia el pilar exterior del pórtico interior
 (5) Se utiliza como referencia el pilar interior de mayor altura del pórtico de fachada

Por último, destacar en este apartado que el arriostramiento de la fachada frontal se ha colocado a una altura tal que las esbelteces de los dos tramos del pilar central (el de mayor altura) sean iguales.

$$\lambda_{z,i} = \frac{\beta_{z,i} \cdot h_i}{i_{z,i}} = \frac{0.7 \cdot h_i}{i_{z,i}} = \lambda_{z,s} = \frac{\beta_{z,s} \cdot h_s}{i_{z,s}} = \frac{1 \cdot h_s}{i_{z,s}} \rightarrow 0.7 \cdot h_i = h_s \left. \vphantom{\lambda_{z,i}} \right\} \begin{array}{l} h_i = 5.44\text{m} \\ h_s = 3.81\text{m} \end{array} \quad \text{Ec. 1.14}$$

1.4.2 Modelo de flecha

Para conformar los modelos de flecha de las barras de la estructura se ha seguido lo dispuesto en el artículo 4.3.3 del CTE DB SE. De esta forma, en los pilares de los pórticos interiores se debe verificar que el desplome en el plano del pórtico (XZ), denominado en Cype3D como flecha tangente al nudo 1, sea inferior a 1/250 de su longitud. En el plano de la fachada lateral (XY) donde el pilar está arriostrado en la cabeza y en un punto intermedio, y por lo tanto no presenta desplome, se debe comprobar que la flecha secante sea inferior a 1/300. Igualmente, en los pilares de fachada se limita en ambos planos la flecha secante a un valor máximo de 1/300.

Para las jácenas y el resto de los elementos se limita la flecha secante a 1/300. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las barras con una longitud inferior a 6 m que pertenecen a sistemas de arriostramiento no requieren comprobación de ELS. Además, los tirantes dispuestos en un plano vertical tampoco requieren comprobación, independientemente de su longitud, debido a que la deformación debida al peso propio es despreciable.

Tabla 1.6. Modelo de flecha en Cype3D.

Elemento	Plano XY	Plano XZ
Jácena pórtico interior	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
Jácena pórtico de fachada	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
Pilar pórtico interior	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Tangente al nudo 1 Fecha máxima relativa: 1/250 Fecha activa relativa: 1/50
Pilar pórtico de fachada	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
Montante ⁽¹⁾	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
Tirante ⁽¹⁾⁽²⁾	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
Viga perimetral ⁽¹⁾	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300	Secante Fecha máxima relativa: 1/300 Fecha activa relativa: 1/300
(1) No se comprueba ELS si su longitud es inferior es 6 m		
(2) No se comprueba ELS si se dispone en posición vertical		

1.4.3 Modelo de pandeo

Para definir el modelo de pandeo en Cype3D es necesario introducir en el programa los coeficientes de pandeo, o las longitudes efectivas de pandeo, y los coeficientes de momento equivalente de cada una de las barras. En la Figura 1.8 se muestran los distintos tipos de barra en los que se puede agrupar los elementos principales de la estructura.

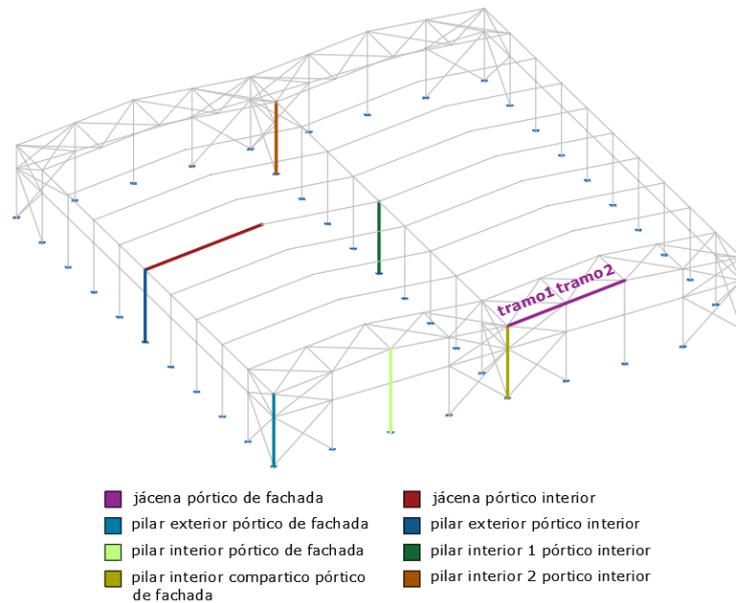


Figura 1.8. Barras tipo en los pórticos de la estructura.

En la Tabla 1.7 se recogen los coeficientes de pandeo considerados en cada una de las barras de la estructura.

Tabla 1.7. Coeficientes-longitudes efectivas de pandeo Cype3D.

Elemento		β_{xy}	L_{kxy} (m)	β_{xz}	L_{kxz} (m)
PÓRTICO DE FACHADA					
Jácena	Tramo 1	-	1,99 ⁽¹⁾	1	-
	Tramo 2	-	1,99 ⁽¹⁾	1	-
Pilar exterior	Tramo inferior	0,70	-	0,70	-
	Tramo superior	1,00	-	1,00	-
Pilar interior	Tramo inferior	0,70	-	-	6,48
	Tramo superior	1,00	-	-	6,48
Pilar interior compartido	Tramo inferior	0,70	-	0,70	-
	Tramo superior	1,00	-	1,00	-
PÓRTICO INTERIOR					
Jácena		-	1,99 ⁽¹⁾	-	25
Pilar exterior	Tramo inferior	0,70	-	-	10,98 ⁽²⁾
	Tramo superior	1,00	-	-	10,98 ⁽²⁾
Pilar interior tipo 1	Tramo inferior	0,70	-	-	9,85 ⁽³⁾
	Tramo superior	1,00	-	-	9,85 ⁽³⁾
Pilar interior tipo 2		0,7	-	-	9,85 ⁽³⁾
VIGA CONTRAVIENTO Y SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO					
Montante		1	-	1	-
Tirante		0 ⁽⁴⁾	-	0 ⁽⁴⁾	-
Viga perimetral		0 ⁽⁴⁾	-	0 ⁽⁴⁾	-
(-) Se ingresa en el programa utilizando una variable diferente, esto no implica que no sea posible ingresarlo utilizando la variable especificada					
(1) La longitud de pandeo corresponde a la separación entre correas de cubierta					
(2) Modo de pandeo traslacional: $\beta = \sqrt{\frac{1-0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot (\eta_1 \cdot \eta_2)}{1-0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot (\eta_1 \cdot \eta_2)}} = 1,37$ donde $\begin{cases} \eta_1 = Luz / (Luz + 1,5 \cdot \text{altura pilar}) \\ \eta_2 = 0 \end{cases}$					
(3) Modo de pandeo traslacional: $\beta = \sqrt{\frac{1-0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot (\eta_1 \cdot \eta_2)}{1-0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot (\eta_1 \cdot \eta_2)}} = 1,23$ donde $\begin{cases} \eta_1 = Luz / (Luz + 3,0 \cdot \text{altura pilar}) \\ \eta_2 = 0 \end{cases}$					
(4) Elemento que trabaja a tracción y no sufre fallo por pandeo					

Para obtener los coeficientes de momento equivalente en elementos con modos de pandeo no traslacionales se hace uso de la tabla 6.10 del CTE DB SE-A. En elementos con modos de pandeo traslacionales el coeficiente de momento equivalente toma el valor de 0,9.

Tabla 6.10 Coeficientes del momento equivalente

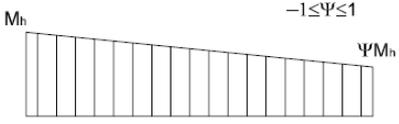
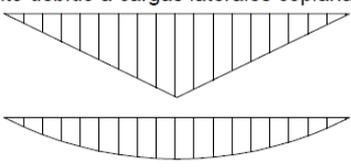
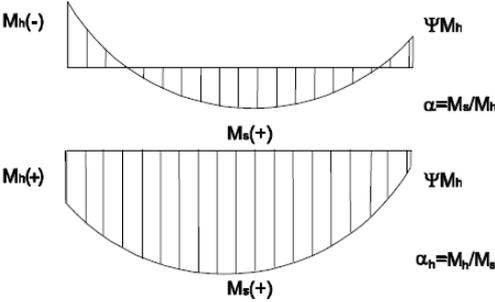
Factor de momento flector	Eje de flexión	Puntos arriostrados en dirección
$c_{m,y}$	y-y	z-z
$c_{m,z}$	z-z	y-y
$c_{m,LT}$	y-y	y-y
Diagrama de Flectores	Factor de momento uniforme equivalente	
	$c_{m,y} = c_{m,i} (i=y)$ $c_{m,z} = c_{m,i} (i=z)$ $c_{m,LT} = c_{m,i} (i=LT)$	
<p>Momentos de extremo $-1 \leq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

Figura 1.9. Tabla 6.10 Artículo 6 del CTE DB SE-A [3].

Los pilares de los pórticos interiores no presentan momentos en el plano de la fachada lateral (XY) debido al sistema de arriostramiento, lo que resulta en una ley de momentos lineal de valor nulo. Por otro lado, en el plano del propio pórtico (XZ) el modo de pandeo es traslacional, lo que implica que el coeficiente de momento equivalente es 0,9.

$$\psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} \begin{matrix} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 1,0 \\ c_{m,XZ} = 0,9 \end{matrix} \quad \text{Ec. 1.15}$$

En el caso de las jácenas, el sistema de arriostramiento provoca que la ley de momentos en el plano de la cubierta (XY) sea nula. No obstante, en el plano del propio pórtico (XZ) se generan momentos flectores debido a las acciones gravitatorias y al viento que actúa sobre la cubierta. Estos momentos siguen una ley tipo 4 de la Figura 1.9. Sin embargo, no se cuentan con los diagramas de esfuerzos para la jácena crítica de la estructura, únicamente se sabe que M_h es mayor a M_s en valor absoluto, por tanto, $0 > \alpha > -1$. Se decide usar un valor inicial para el coeficiente de momento equivalente en

este plano de 0,65, el cual deberá verificarse una vez se obtengan los esfuerzos finales en la estructura para comprobar que es mayor o igual al valor real.

$$\Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0$$

Ec. 1.16

$$0 \geq \alpha \geq -1 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha \approx 0,65$$

En los pórticos de fachada las jácenas también disponen de una ley de momentos nula en el plano de la cubierta (XY) debido a los arriostramientos. En el plano del pórtico (XZ), considerando las vinculaciones de la jácena, la ley de momentos provocada por las acciones gravitatorias y el viento que actúa sobre la cubierta se muestra en la Figura 1.10.

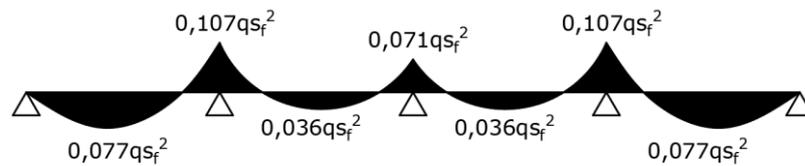


Figura 1.10. Ley de momentos generada por una carga uniformemente distribuida (q) sobre una viga continua de 4 vanos de longitud s_f .

Los coeficientes de momento equivalente en ambos planos para las jácenas de los pórticos de fachada se recogen en la ecuación 1.17.

$$\begin{cases} \text{tramo 1:} & \left\{ \begin{array}{l} \Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \\ \alpha = \frac{0,077}{-0,107} = -0,72 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,68 \end{array} \right. \\ \text{tramo 2:} & \left\{ \begin{array}{l} \Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \\ \alpha = \frac{0,036}{-0,107} = -0,34 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,37 \rightarrow 0,4 \end{array} \right. \end{cases} \quad \text{Ec. 1.17}$$

Los pilares interiores no presentan momento en el plano del pórtico (XY) debido al sistema de arriostramiento. Sin embargo, frente a la acción de viento frontal, que es la única que genera momento en el plano perpendicular a la fachada (XZ), la ley de momento flectores corresponde a la de la Figura 1.11.

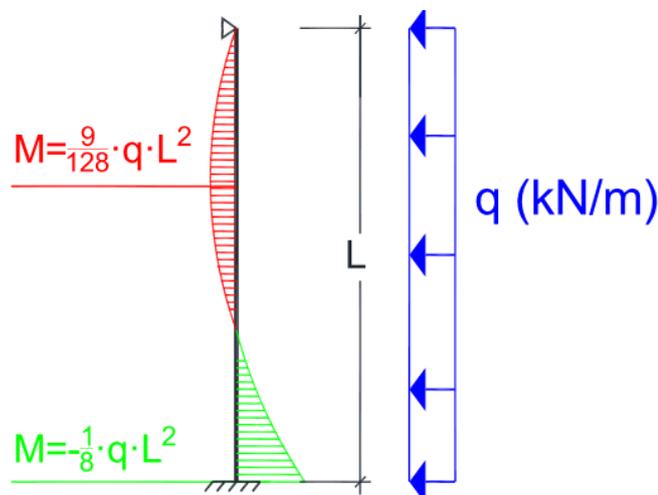


Figura 1.11. Ley de momentos generada por una carga uniformemente distribuida (q) sobre una barra empotrada-apoyada de longitud L [23].

Los coeficientes de momento equivalente en ambos planos para los pilares interiores de los pórticos de fachada se recogen en la ecuación 1.18.

$$\begin{cases} \text{tramo inferior:} & \begin{cases} \Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \\ \alpha = \frac{9/128}{-1/8} = -0,56 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,55 \end{cases} \\ \text{tramo superior:} & \begin{cases} \Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \\ \alpha = \frac{9/128}{-1/8} = -0,56 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,55 \end{cases} \end{cases} \quad \text{Ec. 1.18}$$

En los pilares exteriores sí que existen momentos en ambos planos provocadas por la acción del viento frontal y lateral. Para la determinación de los coeficientes de momento equivalente se toma de manera general el pilar central de fachada, en el que el arriostramiento se encuentra a una altura tal que las esbelteces en el plano del pórtico para ambos tramos es la misma, de esta forma se obtiene la ley de momentos de la Figura 1.12.

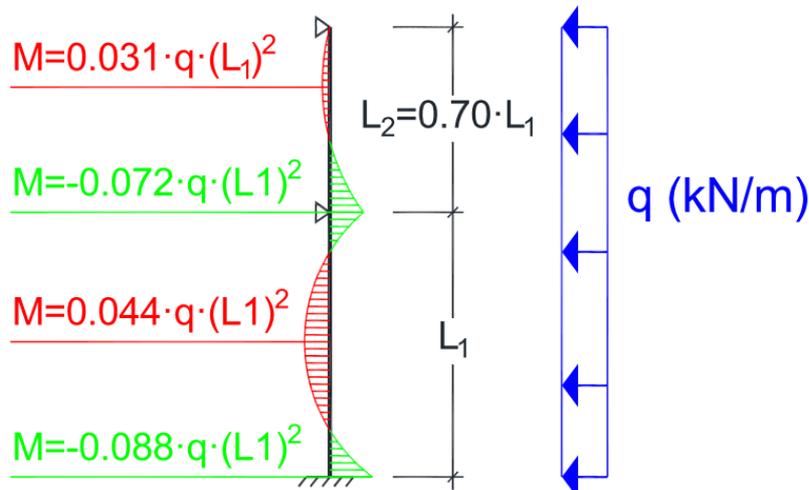


Figura 1.12. Ley de momentos generada por una carga uniformemente distribuida (q) sobre una barra de longitud L arriostrada en cabeza y en un punto intermedio [23].

Los coeficientes de momento equivalente en ambos planos para los pilares exteriores de los pórticos de fachada se recogen en la ecuación 1.19.

$$\begin{cases} \text{tramo inferior:} & \begin{cases} \alpha = \frac{0,044}{-0,088} = -0,50 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XY} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,50 \\ \alpha = \frac{0,044}{-0,088} = -0,50 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,50 \end{cases} \\ \text{tramo superior:} & \begin{cases} \alpha = \frac{0,031}{-0,072} = -0,43 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XY} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,45 \\ \alpha = \frac{0,031}{-0,072} = -0,43 \xrightarrow{\text{ley tipo 4}} c_{m,XZ} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha = 0,45 \end{cases} \end{cases} \quad \text{Ec. 1.19}$$

Por último, en los montantes se genera en su plano XZ una ley de momentos tipo 3 según la Figura 1.9 provocada por su peso propio. En el plano XY se tiene momento flector nulo a lo largo de toda la barra. Los respectivos coeficientes de momento equivalente se recogen en la ecuación 1.20.

$$\Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} \begin{cases} c_{m,XY} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \\ c_{m,XZ} = 0,95 \end{cases} \quad \text{Ec. 1.20}$$

En la Tabla 1.8 se recoge los coeficientes de momento equivalente considerados en cada una de las barras de la estructura.

Tabla 1.8. Coeficientes de momento equivalente Cype3D.

Elemento		C _{m,XY}	C _{m,XZ}
PÓRTICO DE FACHADA			
Jácena	Tramo 1	1,00	0,68
	Tramo 2	1,00	0,40
Pilar exterior	Tramo inferior	0,50	0,50
	Tramo superior	0,45	0,45
Pilar interior	Tramo inferior	1,00	0,55
	Tramo superior	1,00	0,55
Pilar interior compartido	Tramo inferior	0,50	1,00
	Tramo superior	0,45	1,00
PÓRTICO INTERIOR			
Jácena		1,00	0,65
Pilar exterior	Tramo inferior	1,00	0,90
	Tramo superior	1,00	0,90
Pilar interior tipo 1	Tramo inferior	1,00	0,90
	Tramo superior	1,00	0,90
Pilar interior tipo 2		1,00	0,90
VIGA CONTRAVIENTO Y SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO			
Montante		1	0,95
Tirante		-	-
Viga perimetral		-	-
(-) Elemento que trabaja a tracción y no sufre fallo por pandeo			

1.4.4 Modelo de pandeo lateral

Los elementos sometidos a esfuerzos de flexión en su plano de mayor inercia, y cuyas secciones transversales tienen diferencias significativas en las inercias de sus dos ejes principales, son susceptibles al pandeo lateral. Este fenómeno se produce como consecuencia de la compresión inducida en una parte de la sección que tiende a salirse en el plano débil cuando la compresión alcanza un valor crítico, produciéndose una torsión de la sección. Es importante tener en cuenta que las secciones solicitadas por un momento flector en su plano débil o con inercias similares en ambos ejes no pueden sufrir este fenómeno de inestabilidad.

De este modo, los elementos que conforman el sistema de arriostramientos de la nave industrial, es decir, vigas perimetrales, montantes y tirantes, no pueden padecer el fenómeno de pandeo lateral debido a que trabajan exclusivamente bajo esfuerzos de tracción o compresión. Aunque el peso propio de las barras genera esfuerzos de flexión, estos no son lo suficientemente altos como para inducir pandeo lateral.

El resto de los elementos que conforman la estructura, pilares y jácenas, si pueden experimentar el fenómeno de pandeo lateral ya que están conformados por secciones abiertas de tipo IPE, con inercias diferentes en ambos ejes, y las distintas acciones aplicadas en la estructura les generan esfuerzos de flexión en su plano fuerte. Para definir el modelo de pandeo lateral de estas barras en Cype3D es necesario introducir en el programa las distancias entre puntos de arriostramiento transversal y los dos coeficientes de momento equivalente de las dos alas que conforma el perfil.

El coeficiente de momento equivalente $c_{m,LT}$ se obtiene de la tabla 6.10 del DB SE-A, véase Figura 1.9. Para el coeficiente de momento equivalente **C1** se hace uso de lo dispuesto en la Figura 1.13. Es importante señalar que Cype3D solo permite ingresar un valor para el coeficiente **C1**, el cual puede variar entre la comprobación del ala inferior/interior (comprimida bajo flexión negativa) y la del ala superior/exterior (comprimida bajo flexión positiva). Por esta razón, en el programa se introduce el valor más crítico de los dos, es decir, el menor.

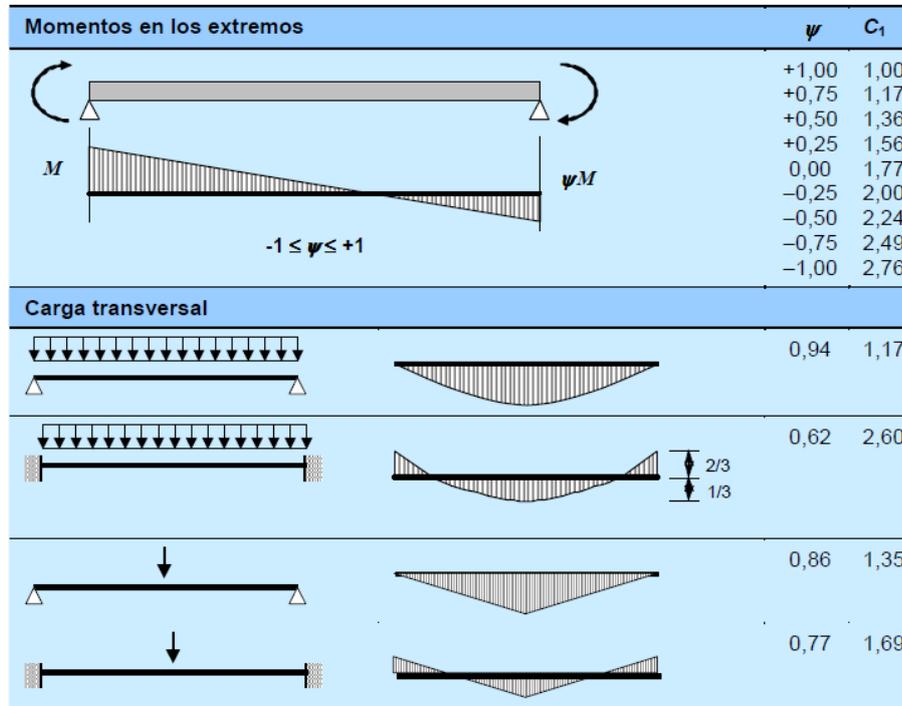


Figura 1.13. Coeficiente de momento equivalente C_1 [19].

La información que se debe ingresar en el programa varía según la hipótesis de cálculo que se esté evaluando, una opción que el programa no admite directamente y que sería muy laboriosa de gestionar manualmente. Por este motivo, y del lado de la seguridad, se opta por aplicar los valores correspondientes a las hipótesis más críticas para la comprobación de flexión en el eje fuerte (y) y/o flexocompresión en el eje fuerte (y).

En el caso de las jácenas se considera que las correas ubicadas sobre sus alas superiores actúan como arriostramientos transversales, por lo que la separación entre correas de cubierta de 1,99 m corresponde a la longitud efectiva de pandeo lateral de estas alas. Además, se considera que el diagrama de momentos flectores es prácticamente constante en cada tramo entre correas, por tanto, sus dos coeficientes de momento equivalente toman como valor la unidad, véase la ecuación 1.21. Esta consideración se queda del lado de la seguridad.

$$\Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \quad \text{Ec. 1.21}$$

$$\Psi = 1 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} C_1 = 1,0$$

En las alas inferiores, la hipótesis crítica de flexión negativa corresponde a la combinación de peso propio y la sobrecarga de uso (1,35PP + 1,5Q). El diagrama de momentos resultante en las jácenas de los pórticos interiores se muestra en la Figura 1.14.

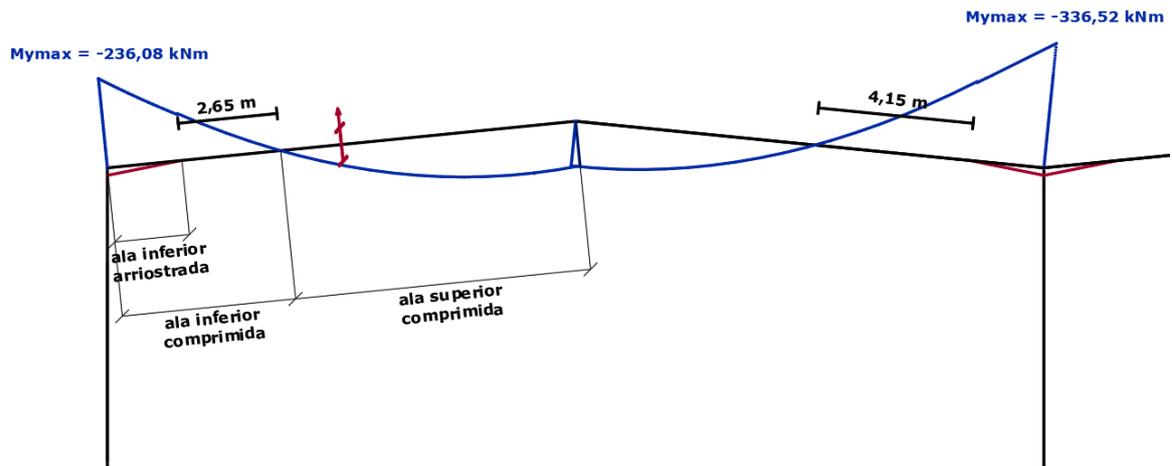


Figura 1.14. Diagrama de momentos en la jácena del pórtico interior para la hipótesis 1,35PP+1,5Q.

Se considera que la longitud efectiva de pandeo del ala inferior corresponde a la distancia entre el punto final de la coacción a torsión de la cartela y la coacción “virtual” del diagrama de momento flector, es decir, el punto donde toma un valor nulo. Por tanto, la longitud de pandeo en el ala inferior de las jácenas de los pórticos interiores es igual a 4,15 m. Además, aproximando el diagrama a una ley lineal en el tramo considerado se obtienen los coeficientes de momento equivalente de la ecuación 1.22.

$$\Psi = 0 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} c_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 \quad \text{Ec. 1.22}$$

$$\Psi = 0 \xrightarrow{\text{ley tipo 1}} C_1 = 1,77$$

Por otro lado, el diagrama de momentos resultante en las jácenas de los pórticos de fachada se muestra en la Figura 1.15.

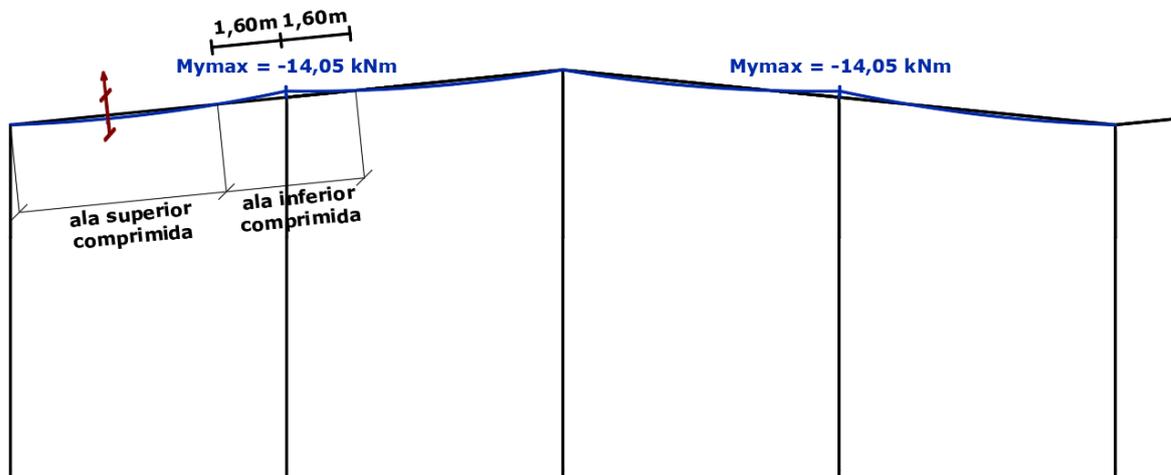


Figura 1.15. Diagrama de momentos en la jácena del pórtico de fachada para la hipótesis 1,35PP+1,5Q.

En este caso se considera la longitud de pandeo desde el punto de la coacción del apoyo del pilar hasta la coacción “virtual” en el punto de momento flector nulo. De esta forma, la longitud de pandeo en el ala inferior de las jácenas de los pórticos de fachada es igual a 1,60 m. Aproximando a una ley lineal se obtienen los coeficientes de momento equivalente de la ecuación 1.22.

En el caso de los pilares, no se considera la coacción de las correas ya que la disposición de accesos de la nave rompe la continuidad de las mismas e impide que estas puedan coaccionar correctamente sus alas exteriores.

Para el ala interior de los dos tramos que conforman los pilares exteriores de los pórticos interiores, la hipótesis crítica corresponde de nuevo a la de peso propio más sobrecarga de cubierta (1,35PP + 1,5Q). El diagrama de momentos resultante se muestra en la Figura 1.16. Tomando como longitud efectiva la distancia hasta el punto de arriostamiento virtual, se obtiene una longitud de pandeo de 4,70 m para esta ala. Los coeficientes de momento equivalente del tramo estudiado corresponden a los de la ecuación 1.22.

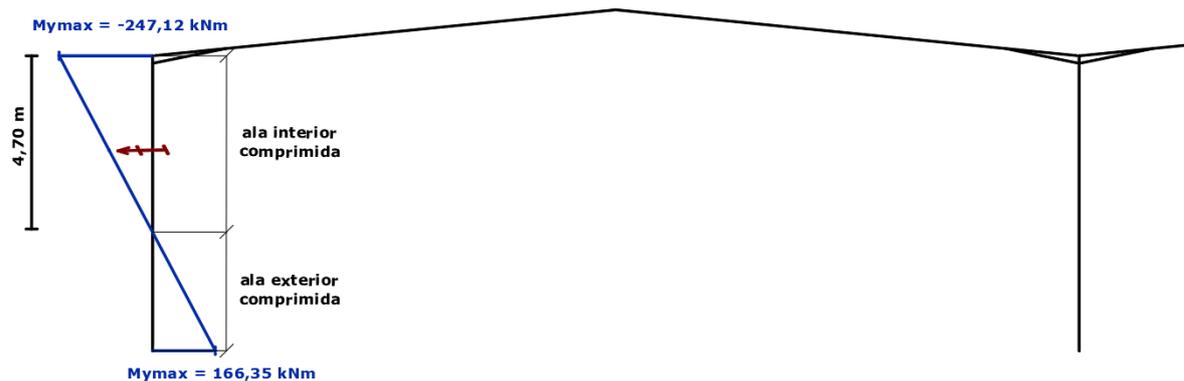


Figura 1.16. Diagrama de momentos en el pilar exterior del pórtico interior para la hipótesis 1,35PP+1,5Q.

La hipótesis crítica a flexión positiva corresponde a la 1,35PP + 1,5Q para el tramo inferior, por tanto, la longitud efectiva de pandeo del ala exterior en este tramo es de 3,30 metros. Sin embargo, en el tramo superior la hipótesis crítica corresponde a la acción directa del viento lateral, es decir, 0,8PP + 1,5V(0°)H1 o 0,8PP + 1,5V(180°)H1 en función de la fachada lateral estudiada. El diagrama de momentos para ambas hipótesis se muestra en la Figura 1.17. En este caso la longitud efectiva de pandeo es de 4,80 metros y del lado de la seguridad se considera que ambos coeficientes de momento equivalente toman como valor la unidad.

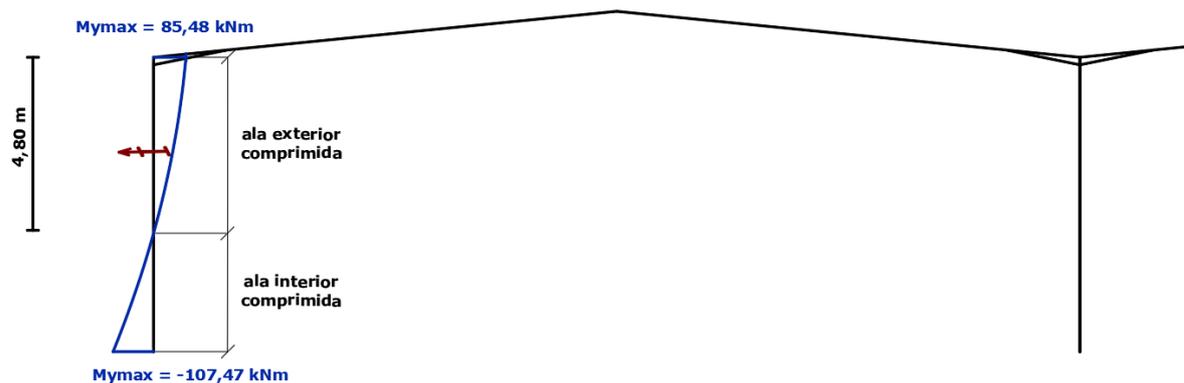


Figura 1.17. Diagrama de momentos en el pilar exterior del pórtico interior para la hipótesis 0,8PP+1,5V(0)H1+0,75N(R)1.

En el caso de los pilares interiores, que tampoco presentan coacción de las correas en ninguna de sus alas, las hipótesis críticas son 0,8PP + 1,5V(0°)H1 + 0,75N(R)1 en flexión positiva y 0,8PP + 1,5V(180°)H1 + 0,75N(R)2 en flexión negativa. El diagrama de momentos para ambas hipótesis se muestra en la Figura 1.18.

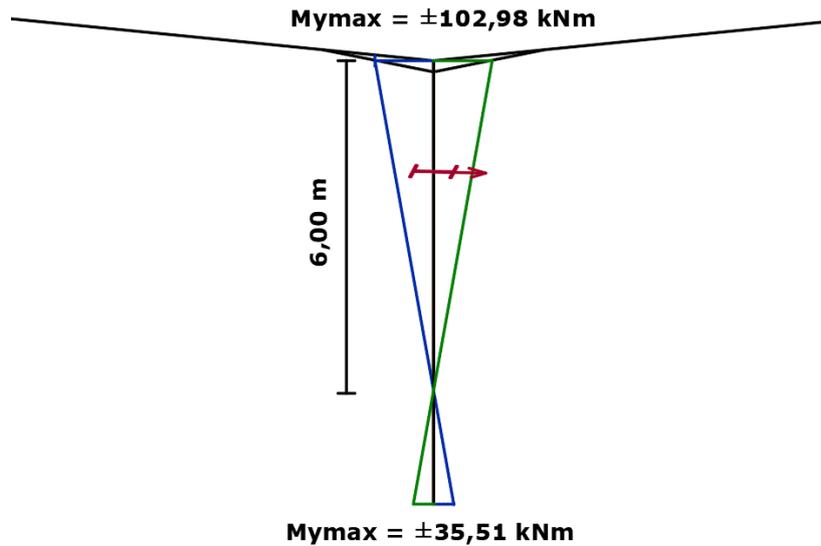


Figura 1.18. Diagrama de momentos en el pilar interior del pórtico interior para las hipótesis $0,8PP+1,5V(0^\circ)H1+0,75N(R)1$ (azul) y $0,8PP+1,5V(180^\circ)H1+0,75N(R)2$ (verde).

Considerando como longitud efectiva la distancia hasta el punto de arriostamiento virtual, se obtiene una longitud de pandeo de 6,00 m para las dos alas del pilar. Los coeficientes de momento equivalente del tramo estudiado corresponden de nuevo a los de la ecuación 1.22.

Queda por introducir el modelo de pandeo lateral de los pilares de los pórticos de fachada. En primer lugar, el pilar interior compartido por ambos pórticos está orientado de manera que su alma es paralela al plano del pórtico, como resultado, la acción del viento genera flexión en su plano débil y el fenómeno de pandeo lateral no aparece. En cambio, en los pilares exteriores, aunque tienen la misma orientación, el viento lateral provoca esfuerzos flectores en su plano fuerte. Sin embargo, estos momentos son relativamente bajos debido a los arriostamientos, por lo que el fenómeno de pandeo lateral no se considera crítico. En ambos casos se anula el pandeo lateral.

Por otro lado, para los pilares interiores se considera el pilar central que es el más crítico debido a su mayor longitud. En estos pilares, las hipótesis críticas difieren entre el tramo superior y el tramo inferior, por lo tanto, es necesario introducir valores distintos para cada tramo a fin de ajustarlos a las hipótesis críticas específicas, estas diferencias están ilustradas en la Figura 1.19. Aunque las hipótesis varían según la fachada frontal seleccionada, el diagrama de momentos flectores es exactamente el mismo en todos los casos.

Se considera que el montante no es capaz de arriostar, por lo que la longitud eficaz de pandeo de ambas alas en el tramo superior e inferior corresponde a 6,90 m y 2,40 m, respectivamente. Para el tramo superior se opta por aproximar la forma de la ley de momentos en el tramo analizado a la generada por una carga uniformemente distribuida en una viga biapoyada. De este modo, se obtienen los coeficientes de momento equivalente especificados en la ecuación 1.23. En el tramo inferior, se aproxima el diagrama de momentos en el tramo efectivo a una distribución lineal, obteniéndose los coeficientes de la ecuación 1.22.

$$c_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,95$$

Ec. 1.23

$$C_1 = 1,17$$

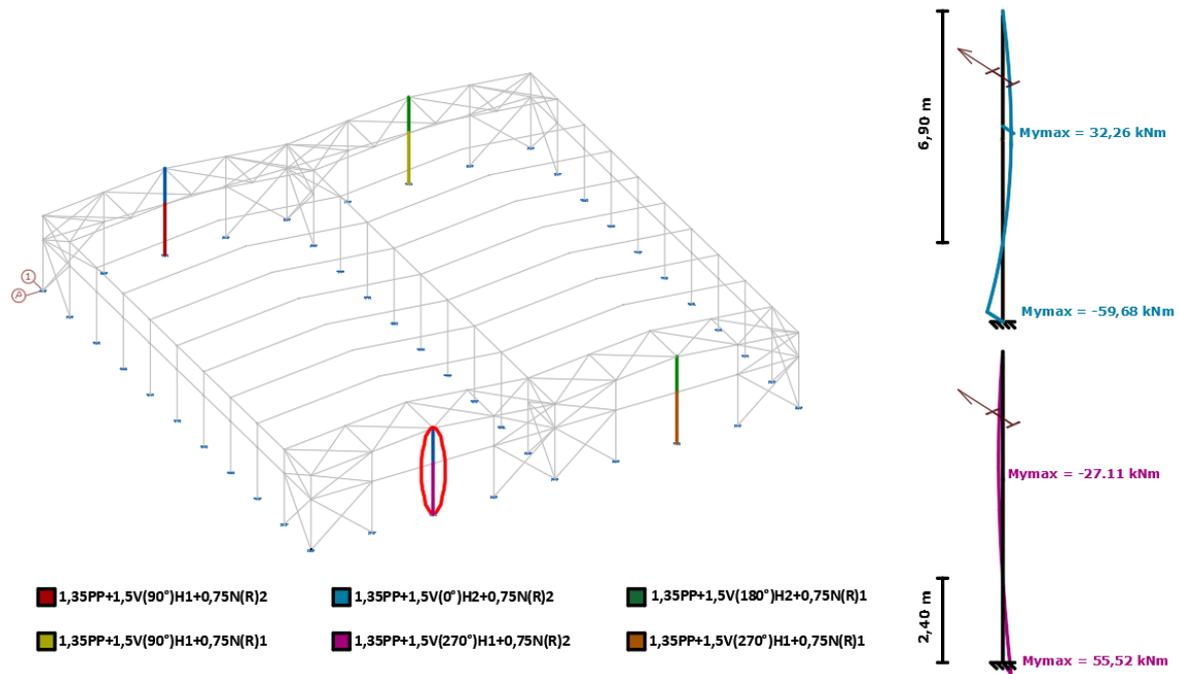


Figura 1.19. Diagrama de momentos en el pilar interior del pórtico de fachada para la hipótesis crítica.

En la Tabla 1.9 se muestra un resumen de los valores introducidos en el software Cype3D. En esta estructura, la aplicación del modelo de pandeo lateral solo ha requerido aumentar el perfil inicialmente dispuesto en los pilares interiores de los pórticos de fachada a un IPE240. Una alternativa podría ser instalar puertas con marcos resistentes a los que se les pueda unir las correas. De esta forma se puede considerar que las correas son continuas y pueden coaccionar el pandeo lateral de las alas exteriores de los pilares. También se tendrían que instalar tornapuntas entre las correas y las alas interiores de los pilares para proporcionar el arriostramiento necesario.

Tabla 1.9. Modelo de pandeo lateral Cype3D.

PÓRTICO DE FACHADA							
Elemento		s (m)		C _{m,LT}		C1	
		Ala interior	Ala exterior	Ala interior	Ala exterior	Ala interior	Ala exterior
Jácena	Tramo 1	1,60	1,99	0,60	1,00	1,77	1,00
	Tramo 2	1,60	1,99	0,60	1,00	1,77	1,00
Pilar interior	Tramo inferior	2,40	2,40	0,60	0,60	1,77	1,77
	Tramo superior	6,90	6,90	0,95	0,95	1,17	1,17
PÓRTICO INTERIOR							
Jácena		4,15	1,99	0,60	1,00	1,77	1,00
Pilar exterior	Tramo inferior	4,70	3,30	0,60	0,60	1,77	1,77
	Tramo superior	4,70	4,80	0,60	1,00	1,77	1,00
Pilar interior		6,00	6,00	0,60	0,60	1,77	1,77

1.4.5 Comprobación de las barras

En las ilustraciones de los siguientes subcapítulos se detalla la enumeración de nudos necesaria para determinar que barras actúan como elementos representativos y sobre las cuales se proporciona información específica.

1.4.5.1 Pórtico de fachada

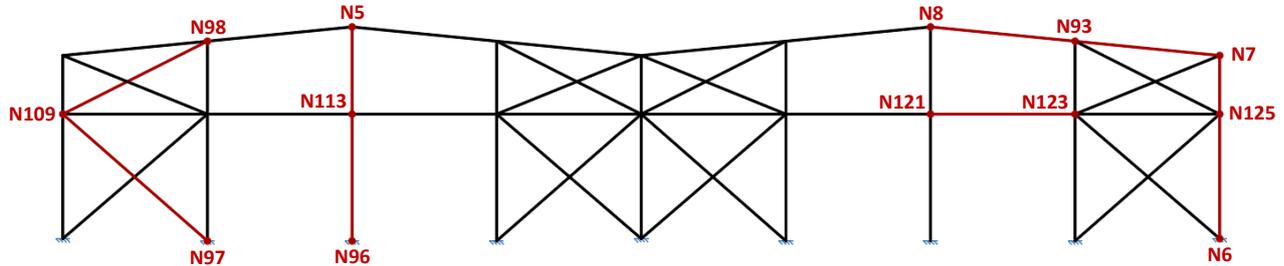


Figura 1.20. Pórtico de fachada alineación A.

Tabla 1.10. Comprobación ELS pórtico de fachada alineación A.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
N7/N8	2.512	8.47	2.827	11.10	2.512	13.82	2.827	15.75
	2.512	L/(>1000)	2.827	L/555.7	2.512	L/(>1000)	2.827	L/556.0
N96/N5	4.760	0.32	5.440	16.49	4.760	0.60	5.440	31.85
	4.760	L/(>1000)	5.440	L/541.5	4.760	L/(>1000)	5.440	L/541.5
N121/N123	2.344	0.00	3.125	4.83	5.078	0.00	3.125	4.83
	-	L/(>1000)	3.125	L/(>1000)	-	L/(>1000)	3.125	L/(>1000)
N97/N109 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N109/N98 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N6/N7	2.720	12.63	3.060	1.28	3.060	19.93	3.060	1.82
	2.720	L/437.7	3.060	L/(>1000)	2.720	L/437.7	3.060	L/(>1000)

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.
L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.
N.P.: No procede.

Tabla 1.11. Comprobación ELU pórtico de fachada alineación A.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{w,Ed}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_z$	M_t		$M_y V_z$	$M_z V_y$
N7/N93	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.314 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 6.281 m $\eta = 0.7$	x: 0 m $\eta = 10.4$	x: 6.281 m $\eta = 48.2$	x: 6.281 m $\eta = 10.7$	x: 6.281 m $\eta = 7.6$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0.314 m $\eta < 0.1$	x: 0.314 m $\eta < 0.1$	x: 6.281 m $\eta = 59.8$	x: 0.314 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 59.8$
N93/N8	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 6.281 m $\eta = 4.8$	x: 0 m $\eta = 13.3$	x: 0 m $\eta = 48.2$	x: 0 m $\eta = 10.7$	x: 0 m $\eta = 7.7$	x: 0 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 63.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 63.1$
N96/N113	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 5.44 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 14.1$	x: 0 m $\eta = 75.1$	x: 0 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 11.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 81.2$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 81.2$
N113/N5	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 3.81 m $\eta = 1.5$	x: 0 m $\eta = 10.1$	x: 0.381 m $\eta = 89.7$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 3.81 m $\eta = 6.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.381 m $\eta = 94.7$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 94.7$
N121/N123	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.391 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 6.2$	$\eta = 6.2$	x: 3.125 m $\eta = 5.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	x: 3.125 m $\eta = 11.6$	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 11.6$
N6/N125	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 5.44 m $\eta = 2.5$	x: 0 m $\eta = 24.3$	x: 0 m $\eta = 10.0$	x: 0 m $\eta = 56.4$	x: 0 m $\eta = 3.3$	x: 0 m $\eta = 2.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 66.7$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 66.7$
N125/N7	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 2.56 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 5.7$	x: 0 m $\eta = 5.2$	x: 0 m $\eta = 36.5$	x: 0 m $\eta = 2.1$	x: 0 m $\eta = 2.0$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 40.9$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 40.9$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE												Estado		
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N97/N109	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 9.1$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 9.1$
N109/N98	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 7.015 m $\eta = 7.6$	x: 0 m $\eta = 18.6$	x: 3.507 m $\eta = 34.6$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.438 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	x: 3.507 m $\eta = 53.1$	x: 0.438 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 53.1$

Notación:
 $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
 λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión eje Y
M_z: Resistencia a flexión eje Z
V_z: Resistencia a corte Z
V_y: Resistencia a corte Y
M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
 η : Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4.5.2 Pórtico interior

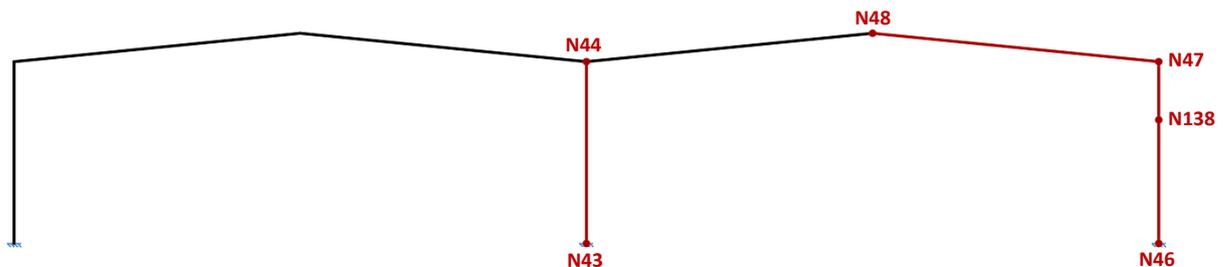


Figura 1.21. Pórtico interior alineación F.

Tabla 1.12. Comprobación ELS pórtico interior alineación F.

Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz		
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz		
	Pos. (m)	Flecha (mm)							
N43/N44 4	3.500	1.13	8.000	11.36	3.500	2.26	8.000	22.73	
	3.500	L/(>1000)	8.000	L/704.0	3.500	L/(>1000)	8.000	L/704.0	
N47/N48 8	4.485	0.10	8.213	8.10	4.485	0.19	8.213	14.97	
	4.485	L/(>1000)	8.213	L/(>1000)	4.485	L/(>1000)	8.213	L/(>1000)	
N46/N47 7	2.040	0.37	6.933	15.91	2.040	0.75	6.720	25.33	
	2.040	L/(>1000)	6.933	L/502.7	2.040	L/(>1000)	6.933	L/503.0	

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.
L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Envolvente de los desplazamientos en nudos									
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales						
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)	
N44	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	-5.893	-11.364 <8000/250	-	0.294	-	-	-

Envoltante de los desplazamientos en nudos								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
		Valor máximo de la envoltante	5.893	11.364 <8000/250	0.262	-	-	-
N47	Desplazamientos	Valor mínimo de la envoltante	-3.238	-15.580 <8000/250	-	-	-	-
		Valor máximo de la envoltante	3.238	7.747 <8000/250	0.139	-	-	-

Tabla 1.13. Comprobación ELU pórtico interior alineación F.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{sw}	N _x	N _y	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N43/N44	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	x: 8 m $\eta = 1.7$	x: 0 m $\eta = 25.9$	x: 8 m $\eta = 47.3$	x: 0 m $\eta = 1.9$	$\eta = 2.7$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 8 m $\eta = 54.7$	$\eta < 0.1$	M _{E0} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 54.7$
N47/N48	x: 1.999 m $\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.499 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	x: 12.562 m $\eta = 1.1$	x: 1.999 m $\eta = 9.6$	x: 0 m $\eta = 48.0$	x: 12.562 m $\eta < 0.1$	x: 1.875 m $\eta = 9.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.001 m $\eta = 49.5$	$\eta < 0.1$	x: 1.999 m $\eta = 0.1$	x: 1.875 m $\eta = 4.2$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 49.5$
N46/N138	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	x: 5.44 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 7.9$	x: 0 m $\eta = 49.4$	x: 0 m $\eta = 1.8$	$\eta = 8.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 56.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 4.8$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 56.0$
N138/N47	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	x: 2.56 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 5.2$	x: 2.56 m $\eta = 96.3$	x: 0 m $\eta = 0.6$	$\eta = 8.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.56 m $\eta = 99.8$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.5$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 99.8$

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4.5.3 Fachada lateral

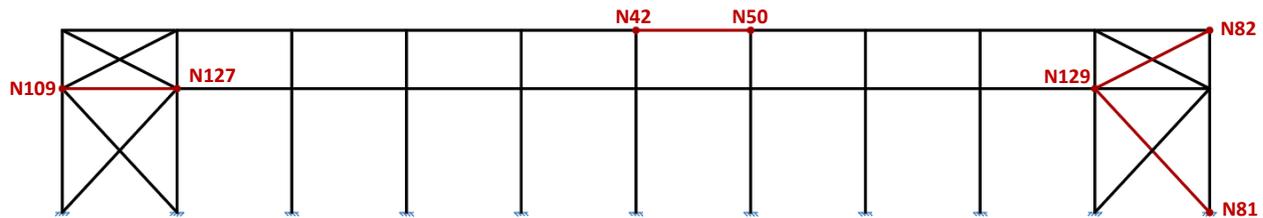


Figura 1.22. Fachada lateral alineación 1.

Tabla 1.14. Comprobación ELS fachada lateral alineación 1.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
N109/N127 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N129/N82 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N81/N129 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N42/N50 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.
L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.
N.P.: No procede.

Tabla 1.15. Comprobación ELU fachada lateral alineación 1.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) – TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{w, \max}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N109/N127	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$x: 0.313 \text{ m}$ $\lambda_{w, \max} \leq \lambda_{w, \max}$ Cumple	$\eta = 2.8$	$\eta = 36.6$	$x: 2.5 \text{ m}$ $\eta = 3.9$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 0.3$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0.313 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	$x: 2.5 \text{ m}$ $\eta = 39.5$	$x: 0.313 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 39.5$
N42/N50	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$x: 0.313 \text{ m}$ $\lambda_{w, \max} \leq \lambda_{w, \max}$ Cumple	$\eta = 7.7$	$\eta = 2.9$	$x: 2.5 \text{ m}$ $\eta = 2.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$x: 0 \text{ m}$ $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0.313 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	$x: 2.5 \text{ m}$ $\eta = 10.4$	$x: 0.313 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 10.4$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) – TEMPERATURA AMBIENTE														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N129/N82	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 17.0$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 17.0$
N81/N129	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 26.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 26.3$

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4.5.4 Cubierta

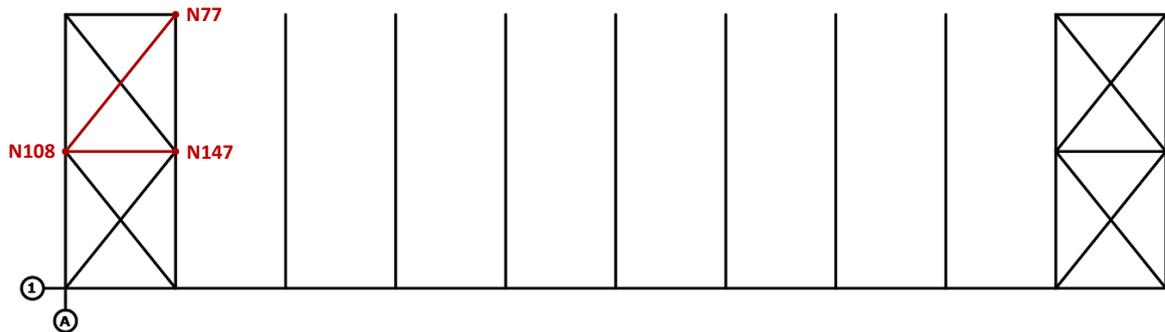


Figura 1.23. Faldón 1 de cubierta.

Tabla 1.16. Comprobación ELS cubierta faldón 1.

Grupo	Flechas							
	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)						
N147/N108 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N108/N77 N.P.	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00
	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.
L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.
N.P.: No procede.

Tabla 1.17. Comprobación ELU cubierta faldón 1.

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) – TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N147/N108	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 39.2$	x: 2.5 m $\eta = 3.9$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.3$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m $\eta = 44.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 44.1$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) – TEMPERATURA AMBIENTE														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N108/N77	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 12.3$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 12.3$

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (6) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Correas

El objetivo es minimizar el peso de las correas ya que puede representar hasta un 30% del peso total de una estructura metálica. Con este fin se opta por ubicar las correas a la mayor distancia posible entre sí, manteniéndolas equidistantes.

En cada faldón de la cubierta se reduce la longitud disponible 30 centímetros en cada extremo para dejar espacio al sistema de fijación del canalón de recogida de aguas y permitir el cierre de la cubierta en la cumbre. Una vez fijadas la primera y la última correa en el faldón se colocan las correas intermedias con la máxima separación que sea compatible con los requisitos de resistencia del cerramiento. El material utilizado es panel sándwich, el cual permite separar las correas hasta una distancia de 2 metros.

Una vez establecida la distancia entre las correas de la cubierta es necesario definir la flecha límite, el tipo de fijación y la solución estructural adoptada (ya sea uno, dos o más vanos). Según el CTE DB SE 4.3.3.1, para garantizar tanto la integridad de los elementos constructivos como la apariencia en obra, la estructura de la cubierta se considera suficientemente rígida si, ante cualquier combinación característica (considerando solo las deformaciones ocurridas después de la puesta en obra) para el criterio de integridad, y ante cualquier combinación casi permanente para el criterio de apariencia, la flecha relativa es menor que L/300.

Hay que tener en cuenta que las correas se fijan a los paneles sándwich (tornillos rosca chapas) y a las jácenas (ejiones) de forma que se impide la torsión de las mismas. Además, en cubierta no se disponen de grandes huecos que rompan la continuidad de las correas. Dado que la longitud máxima de suministro es de 12 metros y la separación entre pórticos es de 5 metros se puede considerar continuidad únicamente en 2 vanos. Sin embargo, haciendo uso de enlace con solape es posible conseguir continuidad de transmisión de esfuerzos y la correa puede materializarse como continua en más vanos.

Por último, una vez diseñada las correas de cubierta se dispone por ahorro de costes la misma sección en las correas laterales. En este caso, dado que en las fachadas frontales si disponen de huecos de gran tamaño que rompen la continuidad de las correas, hay que situarse en el caso más crítico que corresponde a un único vano. El sistema de fijación es el mismo que en las correas de

cubierta y la altura disponible del pilar se reduce 30 centímetros en su base para facilitar la puesta en obra.

Tabla 1.18. Descripción correas de cubierta y laterales.

Datos de correas de cubierta	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: CF-160x2.5	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.99 m	Número de vanos: Tres vanos
Tipo de Acero: S235	Tipo de fijación: Fijación rígida
Nº de correas	28
Datos de correas laterales	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: CF-160x2.5	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.28 m	Número de vanos: Un vano
Tipo de Acero: S235	Tipo de fijación: Fijación rígida
Nº de correas	7 (en cada fachada)

Tabla 1.19. Sección seleccionada para correas.

Perfil: CF-160x2.5 Material: S235																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Longitud (m)</th> <th colspan="6">Características mecánicas</th> </tr> <tr> <th>Área (cm²)</th> <th>I_y⁽¹⁾ (cm⁴)</th> <th>I_z⁽¹⁾ (cm⁴)</th> <th>I_t⁽²⁾ (cm⁴)</th> <th>y_g⁽³⁾ (mm)</th> <th>z_g⁽³⁾ (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.000</td> <td>7.59</td> <td>294.69</td> <td>36.98</td> <td>0.16</td> <td>-11.37</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Longitud (m)	Características mecánicas						Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	5.000	7.59	294.69	36.98	0.16	-11.37	0.00				
	Longitud (m)		Características mecánicas																						
Área (cm ²)		I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)																			
5.000	7.59	294.69	36.98	0.16	-11.37	0.00																			
<p>Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad</p>																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Pandeo</th> <th colspan="2">Pandeo lateral</th> </tr> <tr> <th>Plano XY</th> <th>Plano XZ</th> <th>Ala sup.</th> <th>Ala inf.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</td> <td>0.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>L_k</td> <td>0.000</td> <td>5.000</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>C₁</td> <td colspan="2">-</td> <td colspan="2">1.000</td> </tr> </tbody> </table>		Pandeo		Pandeo lateral		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	β	0.00	1.00	0.00	0.00	L _k	0.000	5.000	0.000	0.000	C ₁	-		1.000	
	Pandeo		Pandeo lateral																						
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.																					
β	0.00	1.00	0.00	0.00																					
L _k	0.000	5.000	0.000	0.000																					
C ₁	-		1.000																						
<p>Notación: β: Coeficiente de pandeo L_k: Longitud de pandeo (m) C_i: Factor de modificación para el momento crítico</p>																									

1.5.1 Correas de cubierta

Tabla 1.20. Comprobación ELS correas de cubierta.

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 87.00 %
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*Q + 1.00*N(R) 1 + 1.00*V(180°) H1 a una distancia 2.500 m del origen en el tercer vano de la correa.

Tabla 1.21. Comprobación ELU correas de cubierta.

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z	
pésima en cubierta	b / t ≤ (b / t) _{Máx.} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 5 m η = 72.5	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 5 m η = 15.1	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 72.5

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z		
Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)															
Se debe satisfacer:															
$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$														$\eta : 0.725$ ✓	
Para flexión positiva:															
El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.990, 45.000, 8.099, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.															
M_{y,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.														M_{y,Ed}⁺ : 5.98 kN·m	
Para flexión negativa:															
M_{y,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.														M_{y,Ed}⁻ : 0.00 kN·m	
La resistencia de cálculo a flexión M_{c,Rd} viene dada por:															
$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$														M_{c,Rd} : 8.24 kN·m	
Donde:															
W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.														W_{el} : 36.84 cm ³	
f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)														f_{yb} : 235.00 MPa	
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.														γ_{M0} : 1.05	

1.5.2 Correas de fachada

Tabla 1.22. Comprobación ELS correas laterales.

Comprobación de flecha	
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.	
Porcentajes de aprovechamiento:	
- Flecha: 84.03 %	
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(90°) H1 a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.	

Tabla 1.23. Comprobación ELU correas laterales.

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z		
pésima en lateral	b / t ≤ (b / t) _{máx.} Cumple	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m η = 61.0	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	x: 5 m η = 8.2	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE η = 61.0	
Resistencia a flexión. Eje Y (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)															
Se debe satisfacer:															
$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$														$\eta : 0.610$ ✓	
Para flexión positiva:															
M_{y,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.														M_{y,Ed}⁺ : 0.00 kN·m	
Para flexión negativa:															
El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo 0.000, 5.000, 0.640, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.															
M_{y,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.														M_{y,Ed}⁻ : 5.03 kN·m	
La resistencia de cálculo a flexión M_{c,Rd} viene dada por:															
$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$														M_{c,Rd} : 8.24 kN·m	
Donde:															
W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.														W_{el} : 36.84 cm ³	
f_{yb} : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)														f_{yb} : 235.00 MPa	
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.														γ_{M0} : 1.05	

1.6 Placas de anclaje

1.6.1 Placa de anclaje tipo 1

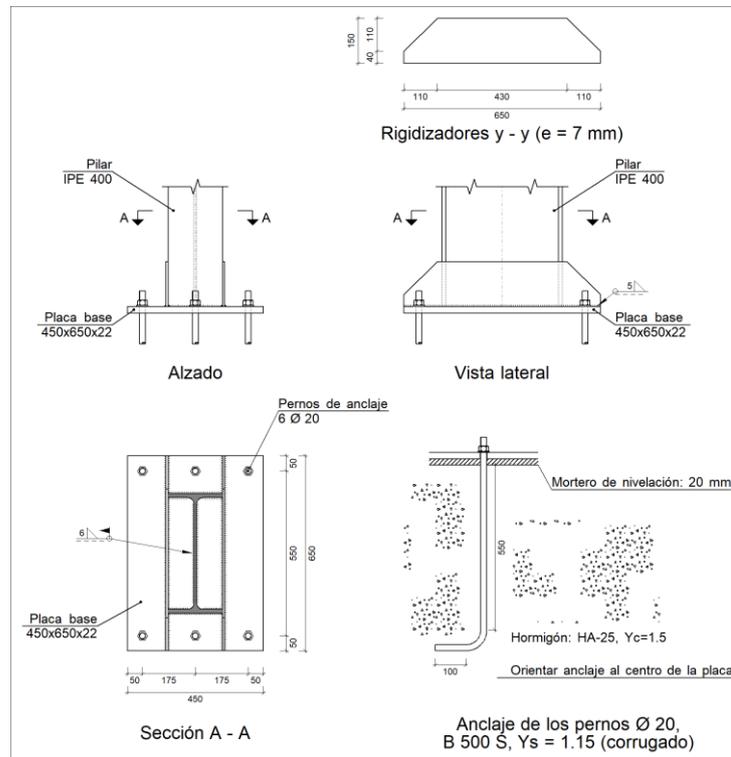


Figura 1.24. Detalle placa de anclaje T1.

Tabla 1.24. Descripción de los componentes placa de anclaje T1.

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		450	650	22	6	20	S275	275.0	410.0
Rigidizador		650	150	7	-	-	S275	275.0	410.0

Tabla 1.25. Comprobación cordones de soldadura placa de anclaje T1.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1281	8.6	90.00
Rigidizador y-y (x = -94): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	650	7.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 94): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	650	7.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = -94): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 94): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Tabla 1.26. Comprobación placa de anclaje T1.

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 175 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 76 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 48.3	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 122.23 kN Calculado: 99.12 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 85.56 kN Calculado: 12.87 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 122.23 kN Calculado: 117.51 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 99.86 kN Calculado: 87.96 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 285.057 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 230.48 kN Calculado: 11.91 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 103.594 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 103.594 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 198.177 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 198.177 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha:	Mínimo: 250 Calculado: 677.171	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Izquierda:	Calculado: 677.171	Cumple
- Arriba:	Calculado: 5596.09	Cumple
- Abajo:	Calculado: 5596.09	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 175.856 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.19		
- Punto de tensión local máxima: (1.38778e-017, 0.275)		

1.6.2 Placa de anclaje tipo 2

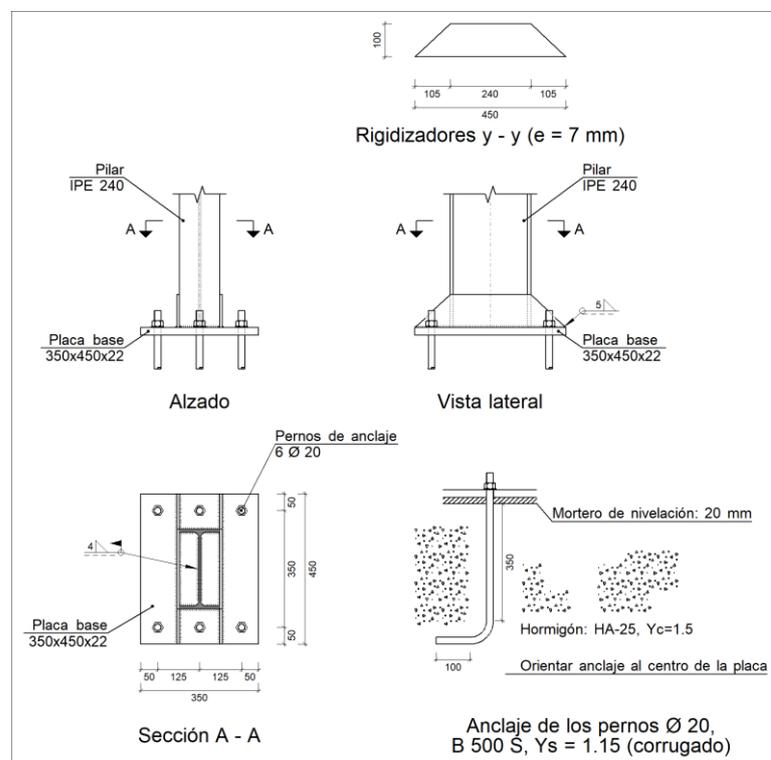


Figura 1.25. Detalle placa de anclaje T2.

Tabla 1.27. Descripción de los componentes placa de anclaje T2.

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		350	450	22	6	20	S275	275.0	410.0
Rigidizador		450	100	7	-	-	S275	275.0	410.0

Tabla 1.28. Comprobación cordones de soldadura placa de anclaje T2.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	4	788	6.2	90.00				
Rigidizador y-y (x = -64): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	450	7.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 64): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	450	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = -64): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 64): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Tabla 1.29. Comprobación placa de anclaje T2.

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 125 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 55 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 35.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 77.78 kN Calculado: 61.56 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 54.45 kN Calculado: 5.79 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 77.78 kN Calculado: 69.82 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 99.86 kN Calculado: 58.4 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 188.868 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 230.48 kN Calculado: 5.43 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Derecha:	Calculado: 35.9555 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 35.9556 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 186.409 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 186.409 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
- Derecha:	Mínimo: 250 Calculado: 5640.7	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 5640.7	Cumple
- Arriba:	Calculado: 4446.85	Cumple
- Abajo:	Calculado: 4446.85	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 106.45 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.152 - Punto de tensión local máxima: (0, -0.1725)		

1.6.3 Placa de anclaje tipo 3

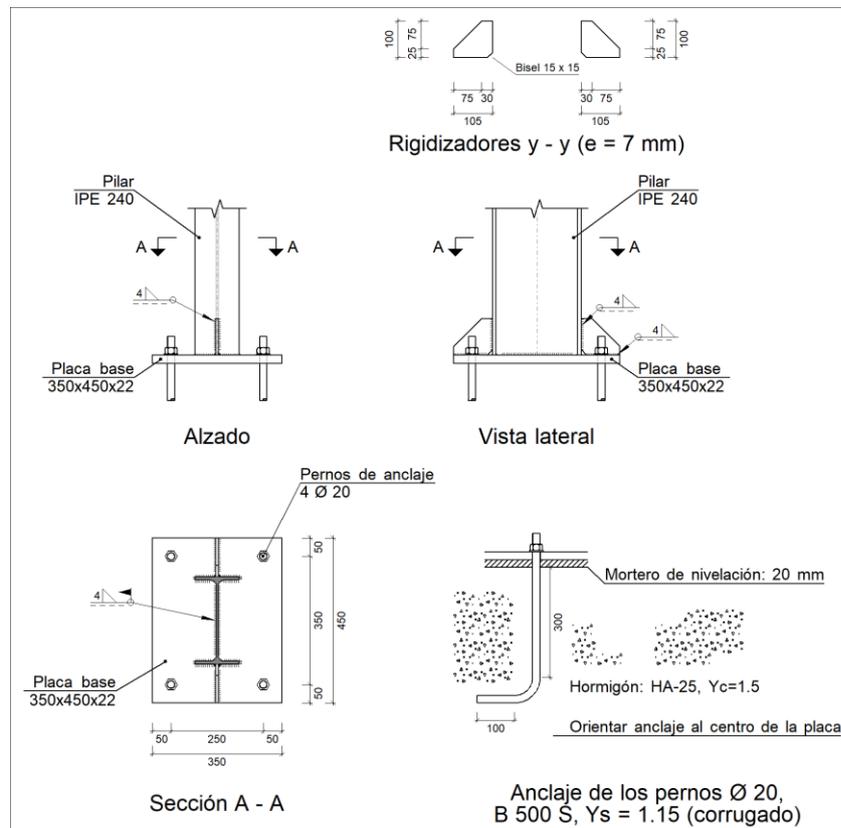


Figura 1.26. Detalle placa de anclaje T3.

Tabla 1.30. Descripción de los componentes placa de anclaje T3.

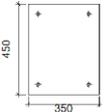
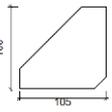
Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Placa base		350	450	22	4	20	S275	275.0	410.0
Rigidizador		105	100	7	-	-	S275	275.0	410.0

Tabla 1.31. Comprobación cordones de soldadura placa de anclaje T3.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	4	788	6.2	90.00				
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	105	7.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la pieza	En ángulo	4	85	7.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	105	7.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la pieza	En ángulo	4	85	7.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la pieza	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 0): Soldadura a la pieza	La comprobación no procede.						410.0	0.85	

Tabla 1.32. Comprobación placa de anclaje T3.

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 250 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 86 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 35.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:	Máximo: 66.67 kN Calculado: 37.93 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 46.67 kN Calculado: 9.41 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 66.67 kN Calculado: 51.37 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 99.86 kN Calculado: 36.9 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 129.409 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 230.48 kN Calculado: 8.84 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 115.85 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 115.85 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 94.1056 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 94.1056 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 1028.99	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1028.99	Cumple
- Arriba:	Calculado: 10401.9	Cumple
- Abajo:	Calculado: 10401.9	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0646		

1.7 Zapatas

1.7.1 Zapata tipo 1

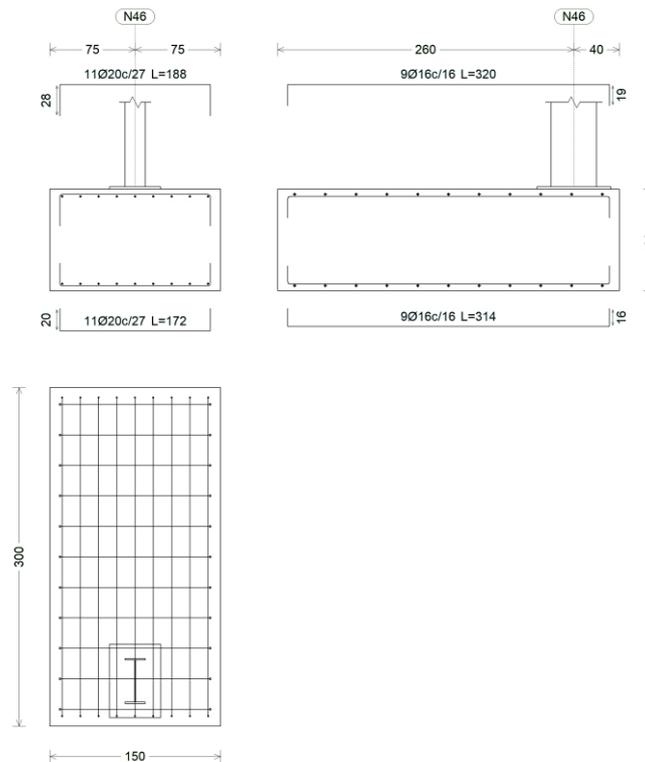


Figura 1.27. Detalle zapata Z1.

Tabla 1.33. Comprobación zapata Z1.

Referencia: N46		
Dimensiones: 150 x 300 x 90		
Armados: Xi:Ø20c/27 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø20c/27 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno:		
<i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0523854 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0840717 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.104771 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		
<i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 5265.7 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 3.9 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 12.32 kN·m	Cumple

Referencia: N46		
Dimensiones: 150 x 300 x 90		
Armados: Xi:Ø20c/27 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø20c/27 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección Y:	Momento: 204.48 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 114.38 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 65 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Criterio de CYPE</i>		
	Mínimo: 15 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N46:	Mínimo: 55 cm Calculado: 83 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0013	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i>		
- Parrilla inferior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 10 cm Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Longitud de anclaje: 49.5		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple

Referencia: N46		
Dimensiones: 150 x 300 x 90		
Armados: Xi:Ø20c/27 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø20c/27 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 168 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 171 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 19 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 20 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo flexible		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.02		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.39		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 0.00 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 402.41 kN		

1.7.2 Zapata tipo 2

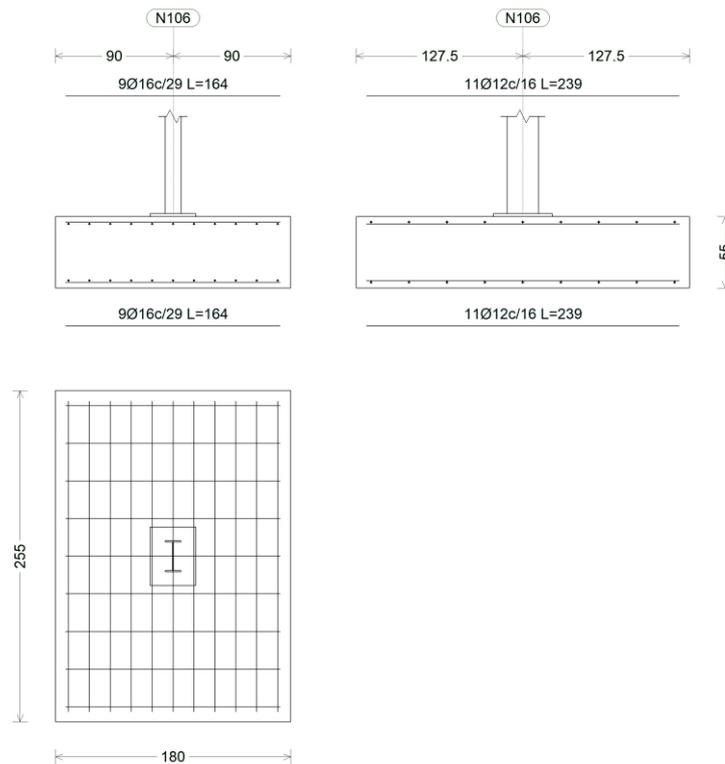


Figura 1.28. Detalle zapata Z2.

Tabla 1.34. Comprobación zapata Z2.

Referencia: N106 Dimensiones: 180 x 255 x 55 Armados: Xi:Ø16c/29 Yi:Ø12c/16 Xs:Ø16c/29 Ys:Ø12c/16		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0244269 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.023544 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0488538 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 89561.3 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 4.6 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 8.46 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 58.31 kN·m	Cumple

Referencia: N106		
Dimensiones: 180 x 255 x 55		
Armados: Xi:Ø16c/29 Yi:Ø12c/16 Xs:Ø16c/29 Ys:Ø12c/16		
Comprobación	Valores	Estado
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 7.85 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 66.90 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 71.4 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Criterio de CYPE</i>		
	Mínimo: 15 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N106:	Mínimo: 35 cm Calculado: 49 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0013	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i>		
- Parrilla inferior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 10 cm Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Longitud de anclaje: 49.5		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 25 cm	Cumple

Referencia: N106		
Dimensiones: 180 x 255 x 55		
Armados: Xi:Ø16c/29 Yi:Ø12c/16 Xs:Ø16c/29 Ys:Ø12c/16		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 57 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 57 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 57 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 57 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.03		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.27		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 465.39 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 328.54 kN		

1.7.3 Zapata tipo 3

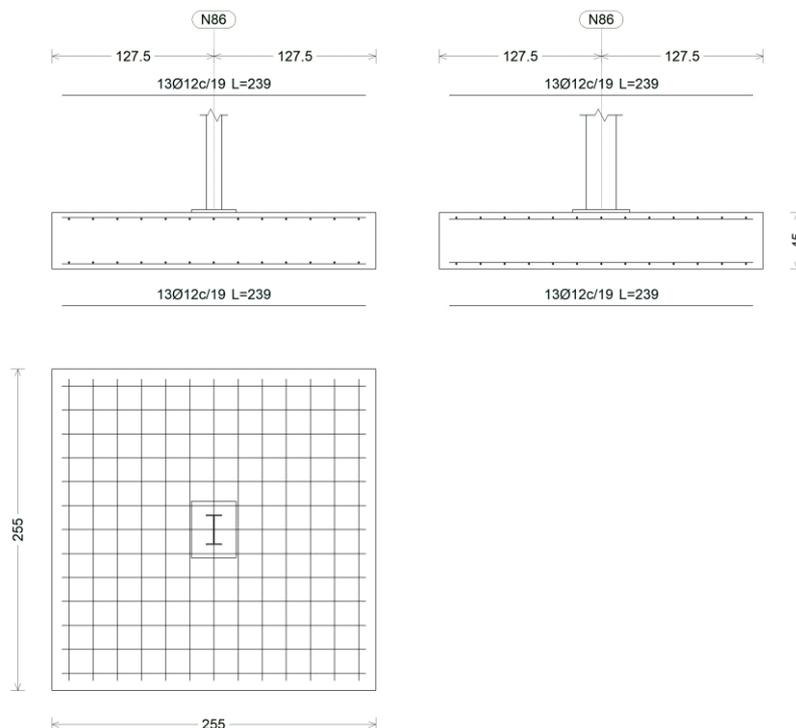


Figura 1.29. Detalle zapata Z3.

Tabla 1.35. Comprobación zapata Z3.

Referencia: N86 Dimensiones: 255 x 255 x 45 Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento: - Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0214839 MPa Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0208953 MPa Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0248193 MPa	Cumple Cumple Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Reserva seguridad: 15.3 % Reserva seguridad: 101.0 %	Cumple Cumple
Flexión en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 22.26 kN·m Momento: 20.64 kN·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 25.11 kN Cortante: 23.84 kN	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 151.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 45 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N86:	Mínimo: 30 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013 Calculado: 0.0013 Calculado: 0.0013 Calculado: 0.0013	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 30 cm	

Referencia: N86		
Dimensiones: 255 x 255 x 45		
Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Longitud de anclaje: 49.5	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 65 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 65 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 71 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 65 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 65 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo flexible		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.11		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.10		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 400.25 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 400.25 kN		

1.7.4 Zapata tipo 4

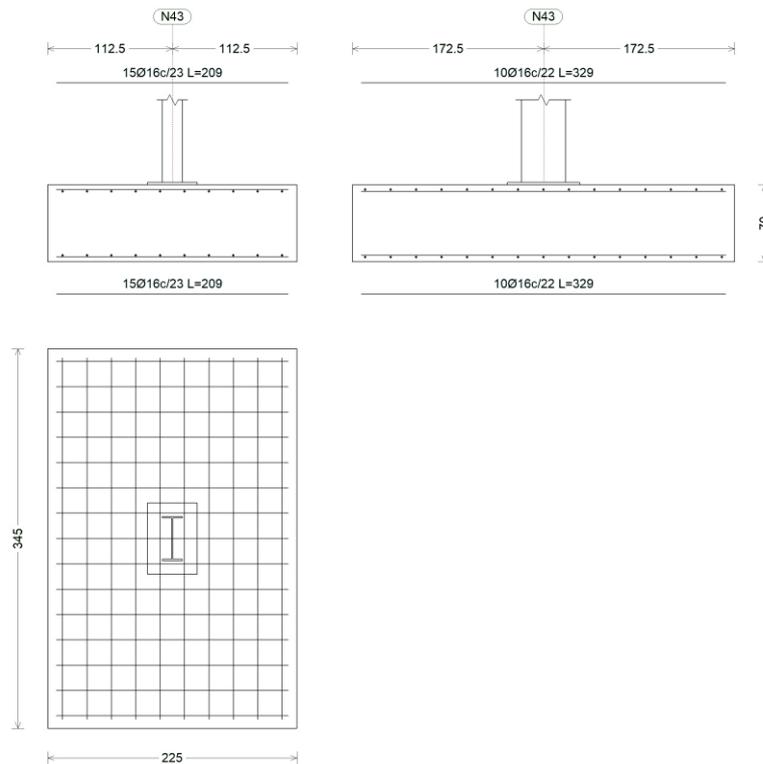


Figura 1.30. Detalle zapata Z4.

Tabla 1.36. Comprobación zapata Z4.

Referencia: N43 Dimensiones: 225 x 345 x 70 Armados: Xi:Ø16c/23 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/23 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0361989 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0380628 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0401229 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 8976.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 201.1 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 40.14 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 59.81 kN·m	Cumple

Referencia: N43		
Dimensiones: 225 x 345 x 70		
Armados: Xi:Ø16c/23 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/23 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 27.37 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 45.52 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 135.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Criterio de CYPE</i>		
	Mínimo: 15 cm Calculado: 70 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N43:	Mínimo: 55 cm Calculado: 64 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.1.1</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.00123 Calculado: 0.00125	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0013	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.2.1</i>		
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 22 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 10 cm Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 22 cm	Cumple
Longitud de anclaje: 49.5		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 32 cm	Cumple

Referencia: N43		
Dimensiones: 225 x 345 x 70		
Armados: Xi:Ø16c/23 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/23 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 32 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 81 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 81 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 32 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 32 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 81 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 81 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.06		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.13		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 759.98 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 495.60 kN		

1.7.5 Viga de atado

C.1.1

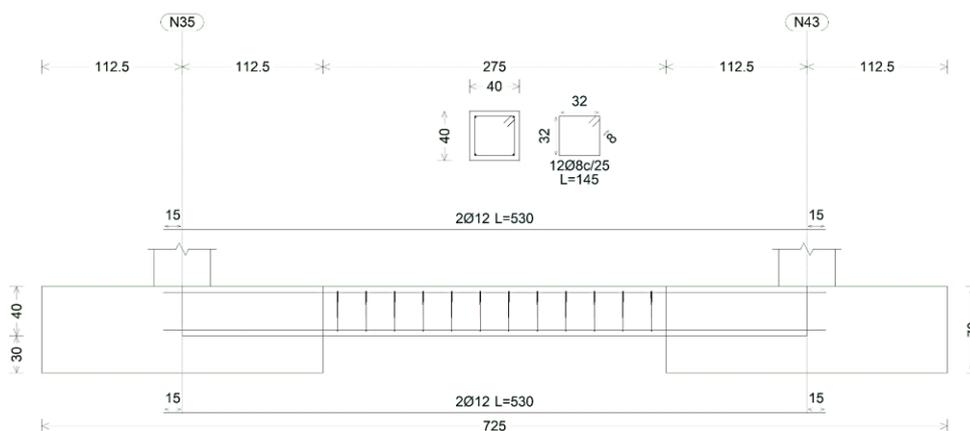


Figura 1.31. Detalle viga de atado.

Tabla 1.37. Comprobación viga de atado.

Referencia: C.1.1 [N35-N43] (Viga de atado)		
-Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø12 -Armadura inferior: 2Ø12 -Estribos: 1xØ8c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.8.2 (2)</i>	Mínimo: 3.5 cm Calculado: 24.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.8.2 (2)</i>	Mínimo: 3.5 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 29 cm	Cumple
Separación máxima estribos: - Sin cortantes: <i>Norma Código Estructural. Artículo A19.9.2.2 (6)</i>	Máximo: 26.3 cm Calculado: 25 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 29 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Diámetro mínimo de la armadura longitudinal (Norma Código Estructural. Artículo A19.9.8.3): Mínimo: 12.0 mm, Calculado: 12.0 mm (Cumple)		
- No llegan estados de carga a la cimentación.		

2 CLASIFICACIÓN DE LAS SECCIONES A TEMPERATURA ELEVADA

Una sección de acero se puede clasificar en cuatro grupos según su resistencia y capacidad de rotación:

- Clase 1 (plástica): La sección alcanza, sin verse afectada por abolladura en sus zonas comprimidas, su capacidad resistente plástica.
- Clase 2 (compacta): La sección puede alcanzar su momento resistente plástico, sin embargo, los fenómenos de abolladura limitan su capacidad de rotación.
- Clase 3 (semicompacta): La tensión en la fibra más comprimida puede alcanzar el límite elástico del acero, pero los fenómenos de abolladura impiden que la sección alcance el momento resistente plástico.
- Clase 4 (esbelta): Los fenómenos de abolladura impiden que se alcance el límite elástico del acero en la fibra más comprimida de la sección.

Para obtener esta clasificación se hace uso de las tablas 5.3 y 5.4 del CTE DB SE-A, donde el factor de reducción se calcula con la ecuación 2.1.

$$\varepsilon_{\theta} = \sqrt{\frac{k_{E,\theta}}{k_{y,\theta}}} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \approx 0.85 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Considerando las solicitaciones habituales sobre las barras que conforman el pórtico de una nave industrial, se recogen en Tabla 2.1 las limitaciones que deben cumplir el alma y el ala de un perfil en doble T para cada clase de sección, donde:

$$c = \begin{cases} h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r & \text{para alma} \\ \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r & \text{para ala} \end{cases} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$t = \begin{cases} t_w & \text{para alma} \\ t_f & \text{para ala} \end{cases} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{N_{Ed}}{2 \cdot c \cdot t_w \cdot f_y} \in [0,5; 1] \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$\Psi = \frac{1}{f_y} \cdot \left(\frac{2 \cdot N_{Ed}}{A} - 1 \right) \in [-1; 1] \quad \text{Ec. 2.5}$$

Tabla 2.1 Clasificación del alma y ala de una sección en doble T a alta temperatura.

Solicitación	Estado del alma	Estado del ala
Tracción simple	traccionado	traccionado
Compresión simple	comprimido	comprimido
Flexión simple en eje fuerte	flectado	Comprimido/traccionado
Flexión compuesta en eje fuerte (flexo-compresión)	Flexo-comprimido	Comprimido/traccionado
Elemento	Clasificación	
Ala comprimida	$\frac{c}{t} \leq \begin{cases} 9 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 1} \\ 10 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 2} \\ 14 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 3} \end{cases}$	

Elemento	Clasificación
Alma comprimida	$\frac{c}{t} \leq \begin{cases} 33 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 1} \\ 38 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 2} \\ 42 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 3} \end{cases}$
Alma flectada	$\frac{c}{t} \leq \begin{cases} 72 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 1} \\ 83 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 2} \\ 124 \cdot \varepsilon_{\theta} & \text{para clase 3} \end{cases}$
Alma flexo-comprimida	$\frac{c}{t} \leq \begin{cases} \frac{396 \cdot \varepsilon_{\theta}}{13 \cdot \alpha - 1} & \text{para clase 1} \\ \frac{456 \cdot \varepsilon_{\theta}}{13 \cdot \alpha - 1} & \text{para clase 2} \\ \frac{42 \cdot \varepsilon_{\theta}}{0,67 + 0,33 \cdot \Psi} & \text{para clase 3} \end{cases}$

La clasificación de la serie de perfiles IPE para estas solicitaciones está recogida en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Clase de sección de la serie IPE a alta temperatura.

IPE	Compresión simple		Flexión simple eje fuerte		Flexo-compresión eje fuerte			
	Clase ala	Clase alma	Clase ala	Clase alma	Clase ala	Axil límite para la clasificación del alma (kN)		
						Clase 1	Clase 2	Clase 3
80	1	1	1	1	1	-	*	*
100	1	1	1	1	1	-	*	*
120	1	1	1	1	1	-	*	*
140	1	1	1	1	1	-	*	*
160	1	1	1	1	1	-	*	*
180	1	2	1	1	1	190	-	*
200	1	2	1	1	1	206	-	*
220	1	3	1	1	1	214	284	-
240	1	3	1	1	1	231	308	-
270	1	4	1	1	1	236	323	1247
300	1	4	1	1	1	253	353	1351
330	1	4	1	1	1	268	380	1495
360	1	4	1	1	1	287	414	1648
400	1	4	1	1	1	311	459	1822
450	1	4	1	1	1	335	511	1972
500	1	4	1	1	1	359	566	2176
550	1	4	1	1	1	414	660	2476
600	1	4	1	1	1	460	748	2798

(-) No hay límite de axil para esta clase
 (*) No se puede alcanzar esta clase

En la Figura 2.1 y en la Figura 2.2 se muestran las tablas facilitadas por la UNE-EN 1993-1-1 para la clasificación de secciones. Estas son totalmente equivalentes a las tablas 5.3 y 5.4 del CTE DB SE-A.

Elementos de chapa comprimidos internos

Clase	Chapa flectada	Chapa comprimida	Chapa flexo-comprimida			
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	cuando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ cuando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	cuando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ cuando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	cuando $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ cuando $\psi \leq -1^{**}$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Figura 2.1. Tabla 5.2 UNE-EN 1993-1-1 (alma) [7].

Alas en vuelo						
Secciones laminadas			Secciones soldadas			
Clase	Chapa comprimida	Chapa flexo-comprimida				
		Extremo comprimido		Extremo traccionado		
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Ley de tensiones en las chapas (compresión positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Para k_σ , véase la Norma Europea EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Figura 2.2. Tabla 5.2 UNE-EN 1993-1-1 (ala) [7].

3 TRASMISIÓN DE CALOR EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

3.1 Masividad de una sección

La masividad de una sección $[A_m/V]$ se define como el cociente entre la superficie expuesta al fuego y el volumen de acero. Para elementos de sección constante se puede calcular como el cociente entre el perímetro expuesto y la sección transversal de acero.

No se debe confundir con $[A_m/V]_b$, la cual se define como el cociente entre el área de la superficie expuesta al fuego del menor polígono convexo envolvente de la sección y el volumen del acero. En la Tabla 3.1 se recoge ambos parámetros para la serie de perfiles IPE expuestos al fuego en tres y cuatro caras.

Tabla 3.1 Masividad de la serie IPE expuesta en 3 y 4 caras (ArcelorMittal).

IPE	$[A_m/V]_{4c} \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$[A_m/V]_{b-4c} \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$[A_m/V]_{3c} \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$[A_m/V]_{b-3c} \text{ (m}^{-1}\text{)}$
80	429	330	369	270
100	387	300	334	247
120	360	279	311	230
140	335	259	291	215
160	310	241	269	200
180	291	226	253	188
200	270	211	235	176
220	254	198	221	165
240	236	184	205	153
270	227	176	197	147
300	216	167	188	139
330	200	157	175	131
360	186	146	163	122
400	174	137	152	116
450	162	130	143	110
500	151	121	134	104
550	140	113	124	97
600	129	105	115	91

3.2 Curva de calentamiento de un perfil metálico sin protección pasiva

El CTE DB SI dispone en su apartado D.2.3 que, para una distribución uniforme de la temperatura en la sección transversal, el aumento de temperatura $\Delta\theta_a$ en un elemento de acero sin protección durante un intervalo de tiempo Δt puede determinarse con la ecuación 3.1.

$$\Delta\theta_a = \frac{1}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \left[\frac{A_m}{V} \right] \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

- ρ_a : Densidad del acero al carbono, de valor 7850 kg/m³.
- c_a : Calor específico del acero al carbono, de valor 600 J/kg·K.
- $\left[\frac{A_m}{V} \right]$: Masividad de la sección (m⁻¹).

- Δt : No debe superar los 5 segundos.
- \dot{h}_{net} : Flujo neto de calor por unidad de superficie (W/m²).

Para obtener el flujo neto de calor sobre la superficie expuesta al fuego debe considerarse la transmisión de calor por convección y radiación.

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad \text{Ec. 3.2}$$

La componente de convección del flujo térmico se determina con la ecuación 3.3.

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_a) \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

- θ_g : Temperatura del gas en proximidad del elemento expuesto al fuego (K). Se considera que corresponde a la dada por la curva normalizada tiempo-temperatura (ISO-834).
- θ_a : Temperatura de la superficie del elemento de acero (K).
- α_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección, de valor 25 W/m²·K para la curva normalizada tiempo-temperatura.

La componente de radiación del flujo térmico se determina con la ecuación 3.4.

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_f \cdot \varepsilon_m \cdot \sigma \cdot ((\theta_r + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4) \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

- θ_r : Temperatura de radiación del ambiente (K). Dado que se hace uso de un modelo de fuego totalmente desarrollado se considera que coincide con la temperatura del gas.
- Φ : Factor de configuración, de valor 1,0.
- ε_f : Emisividad del fuego, de valor 1,0.
- ε_m : Emisividad superficial del acero al carbono, de valor 0,5. La UNE-EN 1991-1-2 y el Código Estructural consideran un valor de 0,7.
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann, de valor 5.67 · 10⁻⁸ W/m²·K⁴.

En perfiles abiertos el Código Estructural y la UNE-EN 1993-1-2 contemplan el efecto de la sombra que genera la propia geometría del perfil a través de un coeficiente de corrección. En secciones en doble T simétricas este coeficiente se puede obtener con la ecuación 3.5.

$$k_{sh} = 0.9 \cdot \frac{[A_m/V]_b}{[A_m/V]} \quad \text{Ec. 3.5}$$

De este modo la ecuación 3.1 se puede describir de la siguiente forma.

$$\Delta\theta_a = k_{sh} \cdot \frac{1}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \left[\frac{A_m}{V} \right] \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t$$

En la Figura 3.1 se recoge la curva de calentamiento de la serie de perfiles IPE sin protección pasiva y expuesta a la curva ISO-834 en sus cuatro caras. Se ha utilizado un valor de 0,7 para la emisividad superficial del acero.

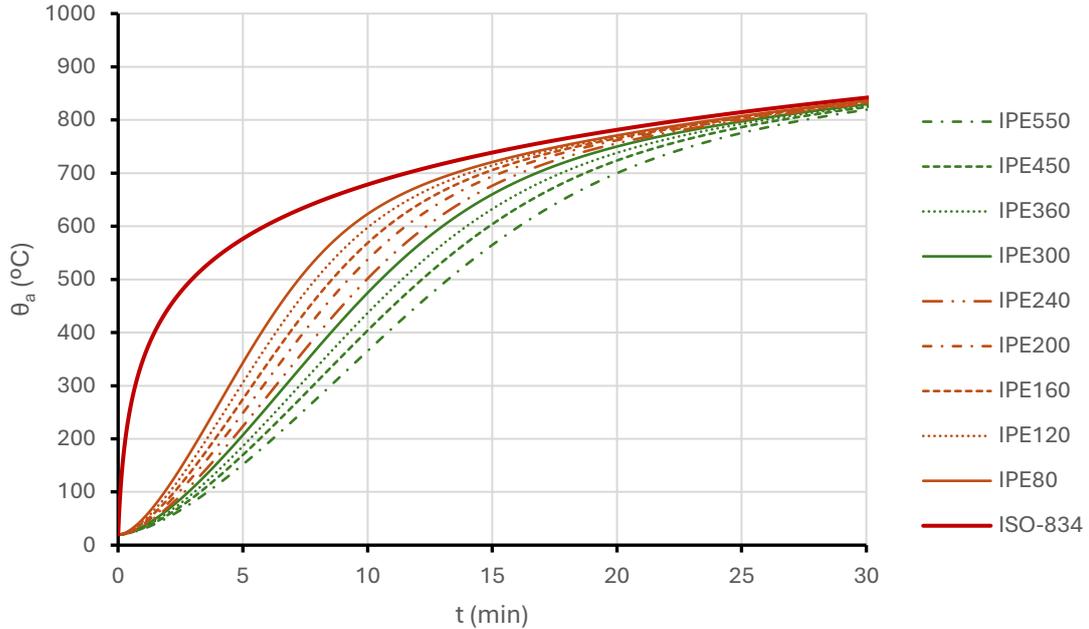


Figura 3.1. Curva de calentamiento de la serie IPE expuesta en 4 caras sin protección pasiva.

3.3 Curva de calentamiento de un perfil metálico con protección pasiva

El CTE DB SI dispone en su apartado D.2.3 que, para una distribución uniforme de la temperatura en la sección transversal, el aumento de temperatura $\Delta\theta_a$ en un elemento protegido de acero durante un intervalo de tiempo Δt puede determinarse con la ecuación 3.6.

$$\Delta\theta_a = \frac{\lambda_p}{d_p \cdot \rho_a \cdot c_a} \cdot \left[\frac{A_p}{V} \right] \cdot \frac{\theta_g - \theta_a}{1 + \frac{\phi}{3}} \cdot \Delta t - \left(e^{\frac{\phi}{10}} - 1 \right) \cdot \Delta\theta_g \quad \text{Ec. 3.6}$$

con:

$$\phi = \frac{\rho_p \cdot c_p}{\rho_a \cdot c_a} \cdot d_p \cdot \left[\frac{A_p}{V} \right] \quad \text{Ec. 3.7}$$

donde:

- ρ_p : Densidad del material de protección frente al fuego (kg/m³).
- c_p : Calor específico del material de protección frente al fuego (J/kg·K).
- d_p : Espesor del material de protección frente al fuego (m).
- λ_p : Conductividad térmica del sistema de protección frente al fuego (W/m·K).
- $\left[\frac{A_p}{V} \right]$: Factor de sección para elementos de acero protegidos mediante un material de protección frente al fuego.
- Δt : No debe superar los 30 segundos.

La masividad del elemento de acero protegido depende de la configuración de la protección. Para revestimientos de contorno la masividad de la sección protegida se puede aproximar a la de la sección sin protección. En el caso de protección con cajado la masividad se puede aproximar a la del polígono convexo que envuelve el perfil, siempre que la holgura no sea superior a la cuarta parte del canto del perfil.

$$\left[\frac{A_p}{V} \right]_{\text{contorno}} \approx \left[\frac{A_m}{V} \right] \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$\left[\frac{A_p}{V} \right]_{\text{cajeado}} \approx \left[\frac{A_m}{V} \right]_b \quad \text{Ec. 3.9}$$

En este documento se va a aplicar dos tipos de protecciones del fabricante Promat: revestimiento de contorno con proyección de vermiculita (IGNIPLASTER) y cajado del perfil con paneles de yeso (PROMATECT-H). La conductividad térmica, densidad y calor específico de ambas protecciones están recogidas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propiedades de las protecciones pasivas (Promat).

	PROMATECT-H	IGNIPLASTER
λ_p (W/m·K)	0,21	0,15
ρ_p (kg/m ³)	870	780
c_p (J/kg·K)	920	1200

En la Figura 3.2 se recoge la curva de calentamiento de la serie de perfiles IPE protegida con un centímetro de IGNIPLASTER y expuesta a la curva ISO-834 en sus cuatro caras.

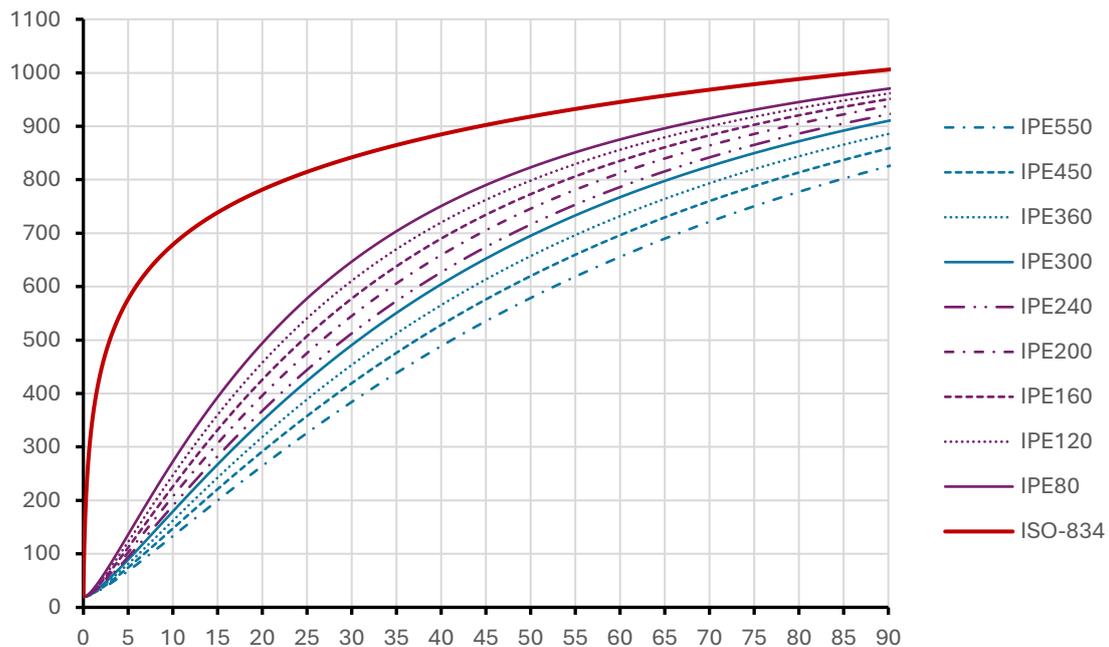


Figura 3.2. Curva de calentamiento de la serie IPE expuesta en 4 caras protegida con 1 cm de IGNIPLASTER.

3.4 Degradación de las propiedades del acero con la temperatura

El CTE DB SI dispone en su tabla D.2 la reducción del límite elástico del acero y el incremento de la esbeltez reducida con el aumento de la temperatura. Por su parte, el Código Estructural especifica en su anejo 23 la reducción del módulo de elasticidad y diferencia dos coeficientes de reducción del límite elástico en función de la clase de la sección. Toda esta información está recogida en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Coeficientes correctores en función de la temperatura.

θ (°C)	$k_{y,\theta}$ (CTE)	$k_{y,\theta}$-CLASE1,2y3 (CE)	$k_{y,\theta}$-CLASE4 (CE)	$k_{E,\theta}$ (CE)	$k_{\lambda,\theta}$ (CTE)
20	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00
100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00
200	1,000	1,000	0,890	0,900	1,05
300	1,000	1,000	0,780	0,800	1,11
400	1,000	1,000	0,650	0,700	1,19
500	0,780	0,780	0,530	0,600	1,14
600	0,470	0,470	0,300	0,310	1,23
700	0,230	0,230	0,130	0,130	1,33
800	0,110	0,110	0,070	0,090	1,33
900	0,060	0,060	0,050	0,0675	1,33
1000	0,040	0,040	0,030	0,0450	1,33
1100	-	0,020	0,020	0,0225	-
1200	0,000	0,000	0,000	0,0000	1,33

Nota: Para valores intermedio de la temperatura del acero puede interpolarse linealmente

4 CÁLCULO EN EL DOMINIO DE LA TEMPERATURA

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con el software Cype3D al realizar la comprobación en el dominio de la temperatura del edificio dimensionado a temperatura ambiente en el primer capítulo de este documento.

4.1 Combinación de acciones

Como se ha comentado anteriormente, en una situación de cálculo extraordinaria donde actúa una acción accidental, como es el fuego, las acciones permanentes se combinan con el valor frecuente de la acción variable principal y con el valor casi permanente del resto de acciones variables, véase ecuación 4.1.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Ec. 4.1}$$

En esta situación extraordinaria todos los coeficientes parciales de seguridad son nulos si el efecto de la acción es favorable o iguales a la unidad si es desfavorable. Además, de la Figura 1.7 se pueden obtener los coeficientes de simultaneidad de las acciones variables consideradas.

Tabla 4.1. Coeficientes de simultaneidad de las acciones variables en una situación extraordinaria.

Acción	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga de uso (G)	0	0
Nieve	0,2	0
Viento	0,5	0

Por un lado, se dispone de tres hipótesis de la carga de nieve debido a la redistribución de la misma por la acción del viento. Por otro lado, se consideran seis hipótesis de la carga de viento: dos de viento frontal, que siempre genera succión en todos los cerramientos donde no incide de manera directa, incluida la cubierta a dos aguas, y cuatro de viento lateral, que provoca succión en los cerramientos verticales sin incidencia directa, además de succión y presión en la cubierta. Considerando estos factores se obtienen las siguientes combinaciones de acciones:

- PP + 0,5 · V (0°)H1
- PP + 0,5 · V (0°)H2
- PP + 0,5 · V (90°)H1
- PP + 0,5 · V (180°)H1
- PP + 0,5 · V (180°)H2
- PP + 0,5 · V (270°)H1
- PP + 0,2 · N(EI)
- PP + 0,2 · N(R)1
- PP + 0,2 · N(R)2

donde:

- PP: Acciones permanentes.
- N(EI): Nieve (sin redistribución).
- N(R)1: Nieve (con redistribución).
- N(R)2: Nieve (con redistribución).
- V (0°)H1: Viento a 0° (lateral izquierda).

- V (0°)H2: Viento a 0° (lateral izquierda).
- V (90°)H1: Viento a 90° (frontal).
- V (180°)H1: Viento a 180° (lateral derecha).
- V (180°)H2: Viento a 180° (lateral derecha).
- V (270°)H1: Viento a 270° (frontal).

El efecto de cálculo de las distintas combinaciones de acciones obtenidas para la situación extraordinaria de incendio se puede obtener de forma simplificada a partir del efecto de cálculo de las acciones a temperatura ambiente a través de un factor de reducción:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad \text{Ec. 4.3}$$

donde:

- G_k : Valor característico de las acciones permanentes.
- $Q_{k,1}$: Valor característico de la acción variable principal.
- γ_G : Coeficiente parcial de seguridad para las acciones permanentes en una situación de cálculo persistente o transitoria. De la Figura 1.6 se obtiene un valor de 1,35.
- $\gamma_{Q,1}$: Coeficiente parcial de seguridad para la acción variable principal en una situación de cálculo persistente o transitoria. De la Figura 1.6 se obtiene un valor de 1,50.
- $\Psi_{fi,1}$: Factor de combinación de la acción variable principal. La UNE-EN 1993-1-2 permite hacer uso de valor frecuente o el casi permanente. Sin embargo, en la normativa española se hace uso del factor de combinación frecuente $\Psi_{1,1}$.

Como simplificación en el Anejo 23 del Código Estructural se dispone que: “puede utilizarse el valor de $\eta_{fi} = 0,65$ excepto para sobrecargas de acuerdo con la categoría de carga E (zonas susceptibles de la acumulación de objetos, incluyendo las zonas de acceso), donde el valor es 0,7”. Como se puede observar en la Figura 4.1, este valor se queda del lado de la seguridad aproximadamente cuando el valor característico de la acción variable principal es superior a la cuarta parte del valor característico de las acciones permanentes.

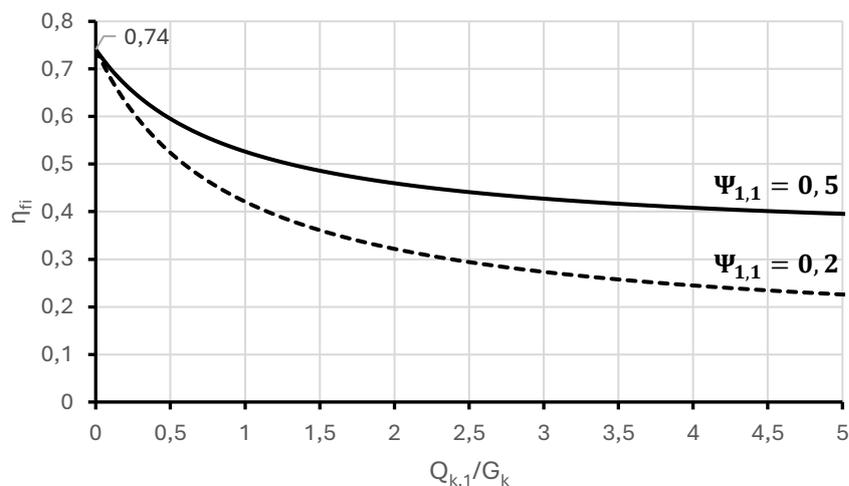


Figura 4.1. Evolución del coeficiente de reducción con la relación de carga $Q_{k,1}/G_k$.

4.2 Temperatura crítica

Para realizar la comprobación en el dominio de la temperatura es necesario calcular la temperatura crítica de cada uno de los elementos que conforma la estructura. El artículo 4.2.4 de anejo 24 del Código Estructural dispone que la temperatura crítica del acero al carbono en el instante t , para una distribución uniforme de la temperatura en el elemento, puede determinarse con la ecuación 4.4.

$$\theta_{cr} = \begin{cases} 39,19 \cdot \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 & \text{para secciones clase 1, 2 y 3} \\ 350^\circ\text{C} & \text{para secciones clase 4} \end{cases} \quad \text{Ec. 4.4}$$

donde el grado de utilización μ_0 se define como el cociente entre el valor de cálculo de las acciones en la combinación extraordinaria estudiada y la resistencia al fuego del elemento en el instante inicial $t = 0$. Siempre que no deban tenerse en cuenta los fenómenos de inestabilidad esta resistencia se obtiene haciendo uso de las ecuaciones del capítulo 5 considerando una temperatura del elemento de 20°C. En el caso de que fenómenos como el pandeo sean críticos, los coeficientes de reducción pertinentes se deben obtener en el instante de fallo del elemento, esto da lugar a un proceso iterativo.

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,Ed}}{R_{\theta,Rd}(\theta = 20^\circ\text{C})} \quad \text{Ec. 4.5}$$

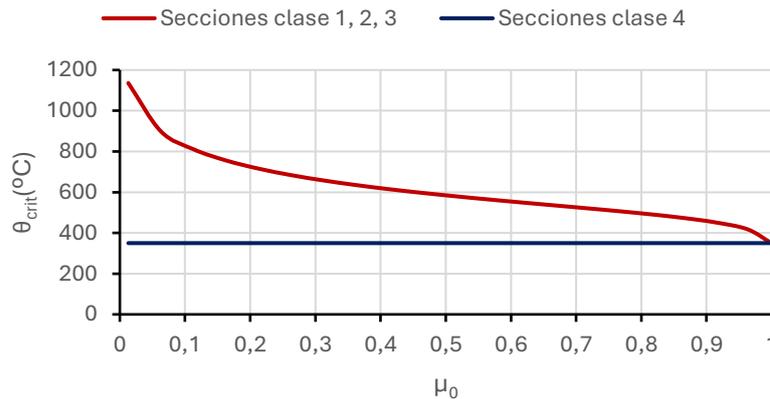


Figura 4.2. Evolución de la temperatura crítica con el grado de utilización.

En la Tabla 4.2 se recoge la temperatura crítica obtenida con Cype3D en los elementos más críticos de cada uno de los subsistemas estructurales de la nave industrial.

Tabla 4.2. Temperatura crítica Cype3D.

PÓRTICO DE FACHADA		
ELEMENTO	SECCIÓN	θ _{crit} (°C)
Jácena	IPE160	676°C
Pilar exterior	IPE240	668°C
Pilar interior	IPE240	582°C
Pilar interior compartido	IPE400	700°C
PÓRTICO INTERIOR		
Jácena	IPE400	350°C
Pilar exterior	IPE400	590°C
Pilar interior	IPE400	664°C

VIGA CONTRAVIENTO		
Montante	SHS90X4.0	594°C
Tirante	L80x80x5	350°C
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA FRONTAL		
Montante	SHS100x4.0	700°C
Tirante mayor	L90x90x6	350°C
Tirante menor	L75x75x4	350°C
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA LATERAL		
Viga perimetral	IPE120	700°C
Montante	SHS90x4.0	700°C
Tirante mayor	L75x75x4	350°C
Tirante menor	L60x60x4	350°C

Una vez conocida la temperatura crítica de cada elemento, su resistencia se corresponde al tiempo que transcurre hasta que el elemento, sometido a la curva ISO-834, alcanza dicha temperatura. Los resultados para el pórtico interior están recogidos en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Tiempo de resistencia al fuego de los elementos sin protección del pórtico interior.

PÓRTICO INTERIOR				
ELEMENTO	SECCIÓN	EXPOSICIÓN	θ_{crit} (°C)	t (min)
Jácena	IPE400	3C	350°C	9,50 (R9)
Pilar exterior	IPE400	3C	590°C	15,53 (R15)
Pilar interior	IPE400	4C	664°C	16,68 (R16)

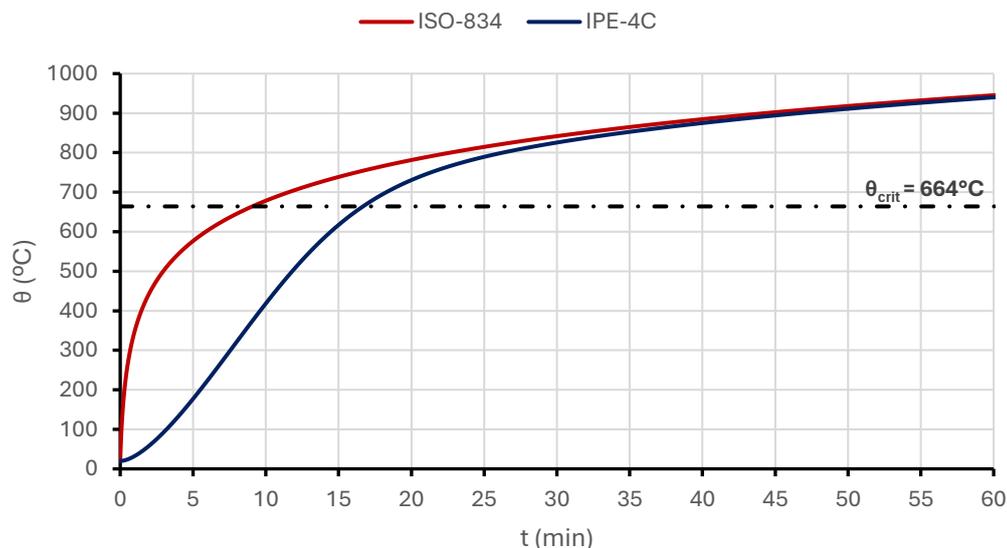


Figura 4.3. Curva de calentamiento IPE400 sin protección y expuesto a 4 caras.

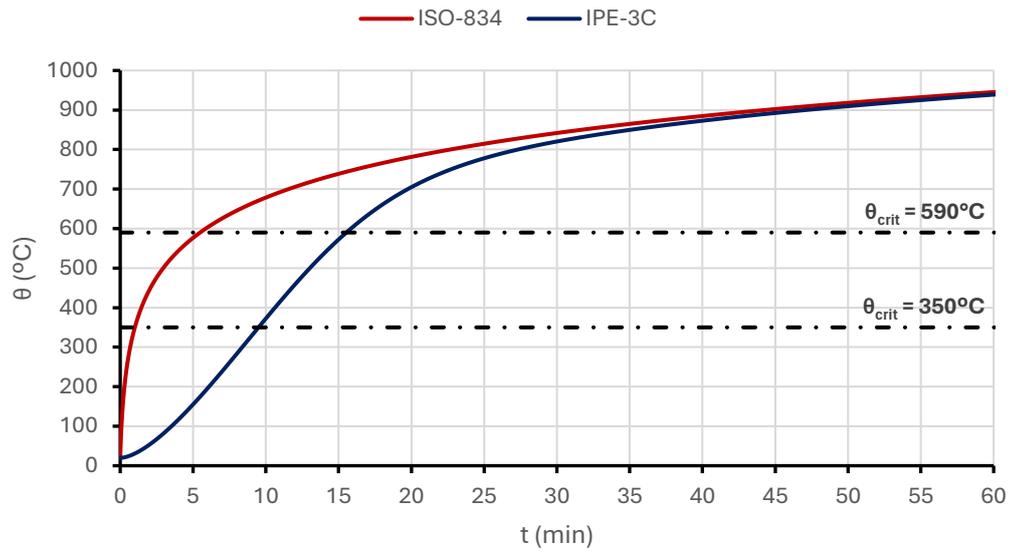


Figura 4.4. Curva de calentamiento IPE400 sin protección y expuesto a 3 caras.

La protección necesaria para alcanzar la resistencia requerida de 30 minutos en cada elemento se recoge en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Protección requerida para alcanzar una resistencia de 30 minutos en los elementos del pórtico interior.

PÓRTICO INTERIOR					
ELEMENTO	θ_{crit} (°C)	IGNIPLASTER	t (min)	PROMATECT-H	t (min)
Jácena	350°C	13 mm	31,93 (R31)	14 mm	31,26 (R31)
Pilar exterior	590°C	6 mm	32,63 (R32)	6 mm	30,71 (R30)
Pilar interior	664°C	5 mm	31,74 (R31)	6 mm	33,30 (R33)

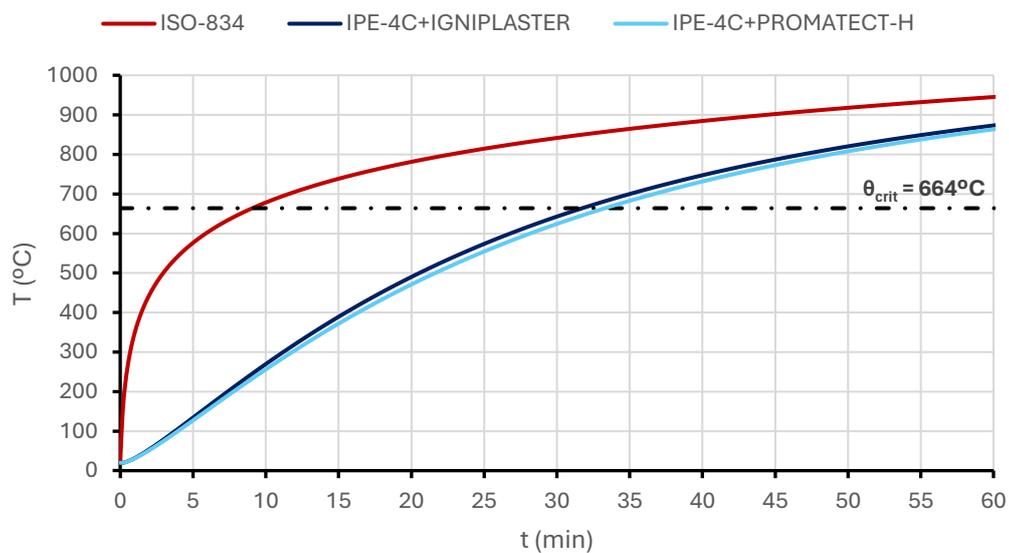


Figura 4.5. Curva de calentamiento IPE400 protegido (5mm IGNIPLASTER/6mm PROMATECT-H) y expuesto a 4 caras.

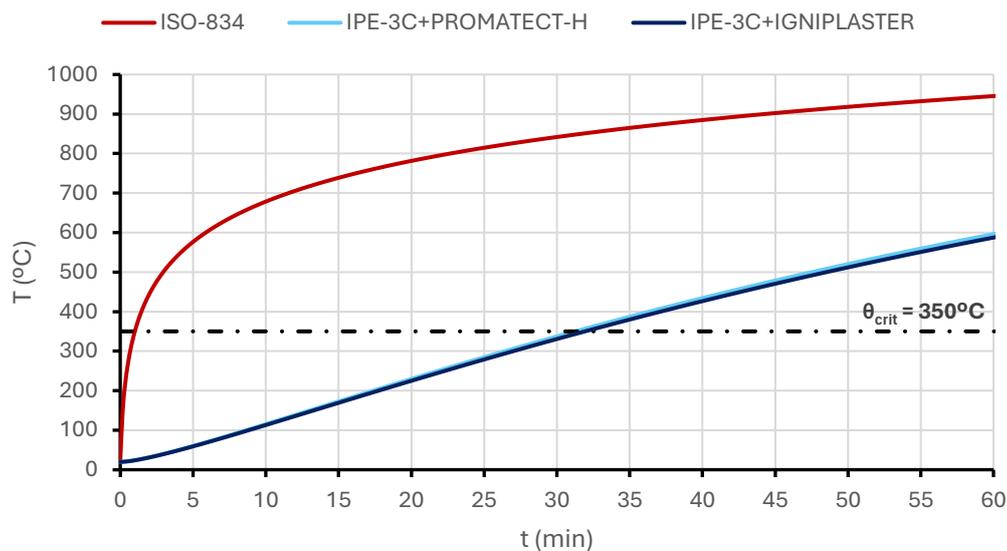


Figura 4.6. Curva de calentamiento IPE400 protegido (13mm IGNIPLASTER/14mm PROMATECT-H) y expuesto a 3 caras.

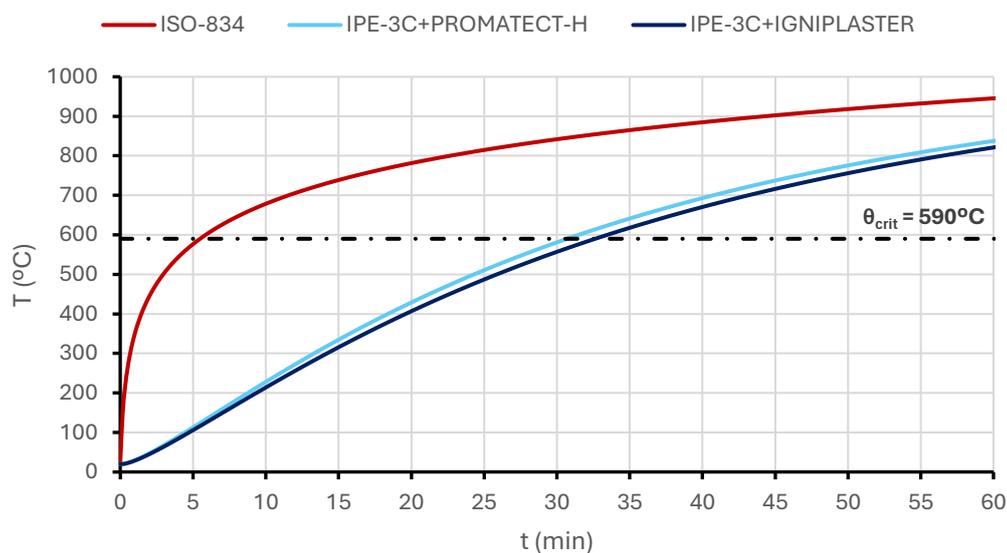


Figura 4.7. Curva de calentamiento IPE400 protegido (6mm IGNIPLASTER/6mm PROMATECT-H) y expuesto a 3 caras.

4.3 Pórtico interior crítico

Dado que en los siguientes capítulos se va a trabajar únicamente con el pórtico interior, es necesario identificar qué alineación es la crítica y los esfuerzos correspondientes a las combinaciones de acciones en la situación extraordinaria. Para ello se va a hacer uso de los resultados obtenidos del software Cype3D.

En la Figura 4.8 se muestra las alineaciones de pórticos interiores. Hay que tener en cuenta que las alineaciones B y J conforman el cordón inferior de la viga contraviento, por tanto, sus jácenas presentan esfuerzos axiales notablemente superiores a los del resto de alineaciones.

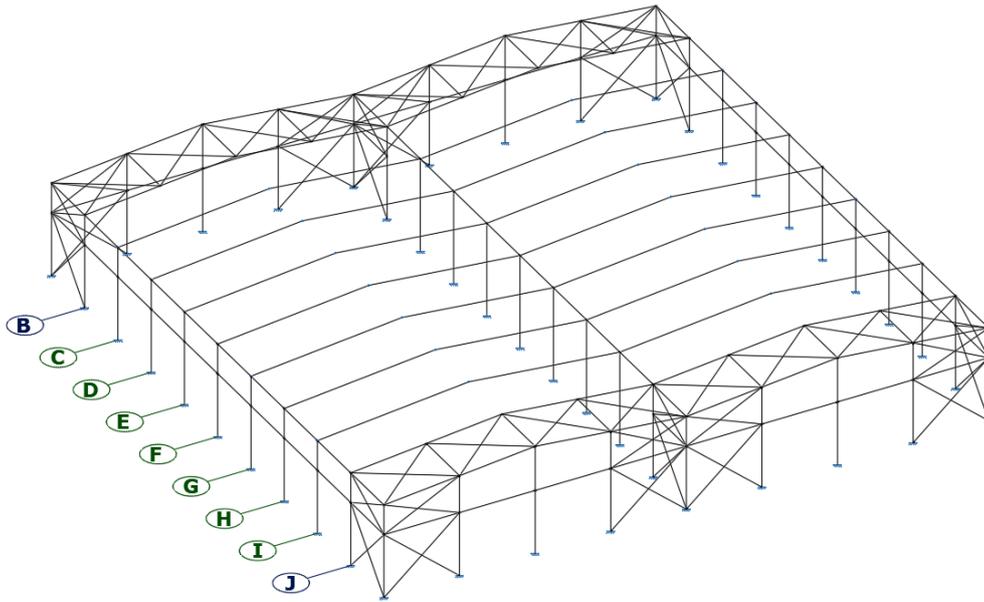


Figura 4.8. Alineaciones de pórticos interiores.

En la Tabla 4.5 se recogen los porcentajes de aprovechamiento de las comprobaciones más significativas, así como la temperatura crítica de cada uno de los elementos que constituyen el pórtico interior. Se observa que, en el caso de los pilares exteriores, las alineaciones críticas corresponden a aquellas que no pertenecen a la viga contraviento (C a I). Sin embargo, en las jácenas y pilares interiores las alineaciones críticas se encuentran en las posiciones B y J.

Tabla 4.5. Resultados de las comprobaciones en Cype3D.

Alineación	B	C	D	E	F	G	H	I	J
PILAR EXTERIOR									
%Compresión	6,4% ⁽²⁾	5,9% ⁽¹⁾	6,4% ⁽²⁾						
%Flexión en eje y	95,8% ⁽²⁾	96,5% ⁽¹⁾	95,8% ⁽²⁾						
%Axil y flexión combinados	99,5% ⁽²⁾	99,9% ⁽¹⁾	99,5% ⁽²⁾						
θ_{crit}	619°C	590°C	619°C						
PILAR INTERIOR									
%Compresión	27,5% ⁽¹⁾	58,9% ⁽¹⁾	27,5% ⁽¹⁾						
%Flexión en eje y	90,2% ⁽³⁾	69,7% ⁽³⁾	90,2% ⁽³⁾						
%Axil y flexión combinados	99,5% ⁽³⁾	99,7% ⁽³⁾	99,5% ⁽³⁾						
θ_{crit}	664°C	670°C	664°C						
JÁCENA									
%Compresión	21,2% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	5,6% ⁽¹⁾	21,2% ⁽¹⁾
%Flexión en eje y	31,1% ⁽²⁾	41,1% ⁽²⁾	31,1% ⁽²⁾						
%Axil y flexión combinados	44,1% ⁽¹⁾	37,9% ⁽¹⁾	44,1% ⁽¹⁾						
θ_{crit}	350°C								

(1) Hipótesis crítica: $PP + 0,2 \cdot N(EI)$

(2) Hipótesis crítica: $PP + 0,2 \cdot N(R)1$ o $PP + 0,2 \cdot N(R)2$ en función de la fachada lateral/faldón en la que se encuentra el pilar/jácena

(3) Hipótesis crítica: $PP + 0,5 \cdot V(0^\circ)H1$ o $PP + 0,5 \cdot V(180^\circ)H1$ en función de si se comprueba a flexión positiva o negativa

Por tanto, no se puede identificar un único pórtico como el más crítico. Dependiendo del elemento que se analice será necesario estudiar una alineación y una hipótesis crítica específica. Para las jácenas y pilares exteriores la comprobación más crítica en ambos casos es flexo-compresión para la combinación de acciones $PP + 0,2 \cdot N(EI)$. En el caso de los pilares interiores, aunque la verificación crítica sigue siendo flexo-compresión, la hipótesis crítica cambia a $PP + 0,5 \cdot V (180^\circ)H1$.

Tabla 4.6. Pórticos críticos.

ELEMENTO	PILAR EXTERIOR	PILAR INTERIOR	JÁCENA
PÓRTICO REPRESENTATIVO	F	B	B
HIPÓTESIS CRÍTICA	$PP + 0,2 \cdot N(EI)$	$PP + 0,5 \cdot V (180^\circ)H1$	$PP + 0,2 \cdot N(EI)$

4.4 Protección pasiva uniformemente aplicada

El software Cype3D también permite calcular el espesor necesario de protección pasiva para alcanzar un determinado nivel de resistencia en cada una de las barras. En las Tabla 4.7, Tabla 4.8 y Tabla 4.9 se recogen los espesores de protección calculados con Cype3D para alcanzar una resistencia de 30 minutos.

Tabla 4.7. Protección pasiva necesaria en el pórtico de fachada para R30 (Cype3D).

PROTECCIÓN	JÁCENA	PILAR EXTERIOR	PILAR INTERIOR COMPARTIDO	PILAR INTERIOR
Pintura intumescente	0,6 mm	0,6 mm	0,4 mm	0,8 mm
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	10 mm	10 mm	10 mm	10 mm
Placa de fibrosilicato de calcio	8 mm	6 mm	6 mm	8 mm
Placa de vermiculita-perlita con cemento	8 mm	8 mm	6 mm	10 mm

Tabla 4.8. Protección pasiva necesaria en el pórtico interior para R30 (Cype3D).

PROTECCIÓN	JÁCENA	PILAR EXTERIOR	PILAR INTERIOR
Pintura intumescente	1,2 mm	0,6 mm	0,4 mm
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	15 mm	10 mm	10 mm
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	15 mm	10 mm	10 mm
Placa de fibrosilicato de calcio	14 mm	6 mm	6 mm
Placa de vermiculita-perlita con cemento	16 mm	8 mm	6 mm

Tabla 4.9. Protección pasiva necesaria en arriostramientos para R30 (Cype3D).

ARRIOSTRAMIENTO FACHADA LATERAL			
PROTECCIÓN	MONTANTE	TIRANTE	VIGA PERIMETRAL
Pintura intumescente	0,6 mm	3,2 mm	0,8 mm

PROTECCIÓN	MONTANTE	TIRANTE	VIGA PERIMETRAL
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	10 mm	25 mm	10 mm
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	10 mm	25 mm	10 mm
Placa de fibrosilicato de calcio	8 mm	24 mm	8 mm
Placa de vermiculita-perlita con cemento	8 mm	26 mm	8 mm
ARRIOSTRAMIENTO FACHADA FRONTAL			
PROTECCIÓN	MONTANTE	TIRANTE	
Pintura intumescente	0,6 mm	3,2 mm	
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	10 mm	25 mm	
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	10 mm	25 mm	
Placa de fibrosilicato de calcio	8 mm	24 mm	
Placa de vermiculita-perlita con cemento	8 mm	26 mm	
VIGA CONTRAVIENTO			
PROTECCIÓN	MONTANTE	TIRANTE	
Pintura intumescente	0,8 mm	2,6 mm	
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	10 mm	20 mm	
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	10 mm	20 mm	
Placa de fibrosilicato de calcio	10 mm	24 mm	
Placa de vermiculita-perlita con cemento	12 mm	24 mm	

Las características de las protecciones pasivas utilizadas se recogen en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Características protecciones pasivas Cype3D.

PROTECCIÓN	CONDUCTIVIDAD λ_p (W/m · K)	DENSIDAD ρ_p (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO c_p (J/kg · K)
Pintura intumescente	0,010	0	0
Mortero de vermiculita-perlita con cemento	0,120	550	1100
Mortero de vermiculita-perlita con yeso	0,120	650	1100
Placa de fibrosilicato de calcio	0,175	750	1200
Placa de vermiculita-perlita con cemento	0,200	800	1200

4.5 Protección pasiva aplicada por zonas

Se ha evaluado en Cype3D la opción de aplicar la protección pasiva por zonas con el objetivo de optimizar el uso de la misma. Para ello se ha dividido cada una de las barras que conforman los pórticos en tramos de un metro de longitud y se han ajustados los parámetros relativos al pandeo y los grupos de flecha. Sin embargo, aunque esta estrategia suele ofrecer buenos resultados para

una resistencia R15, como se puede observar en Figura 4.9 donde los pórticos interiores solo requieren de protección en las zonas anexas a las uniones pilar-jácena (zona de mayores esfuerzos), si la resistencia aumenta a un R30 se requiere de protección en toda la longitud de cada una de las barras, véase Figura 4.10.

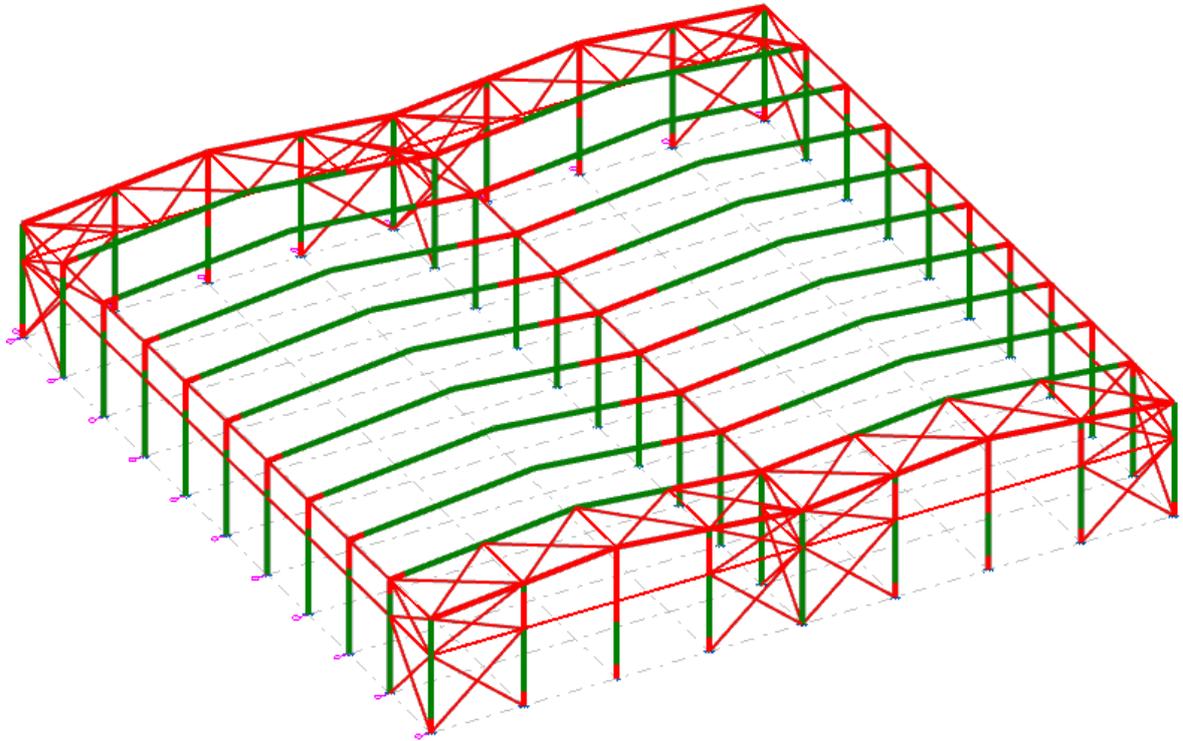


Figura 4.9. Resultados obtenidos con secciones no protegidas (R15).

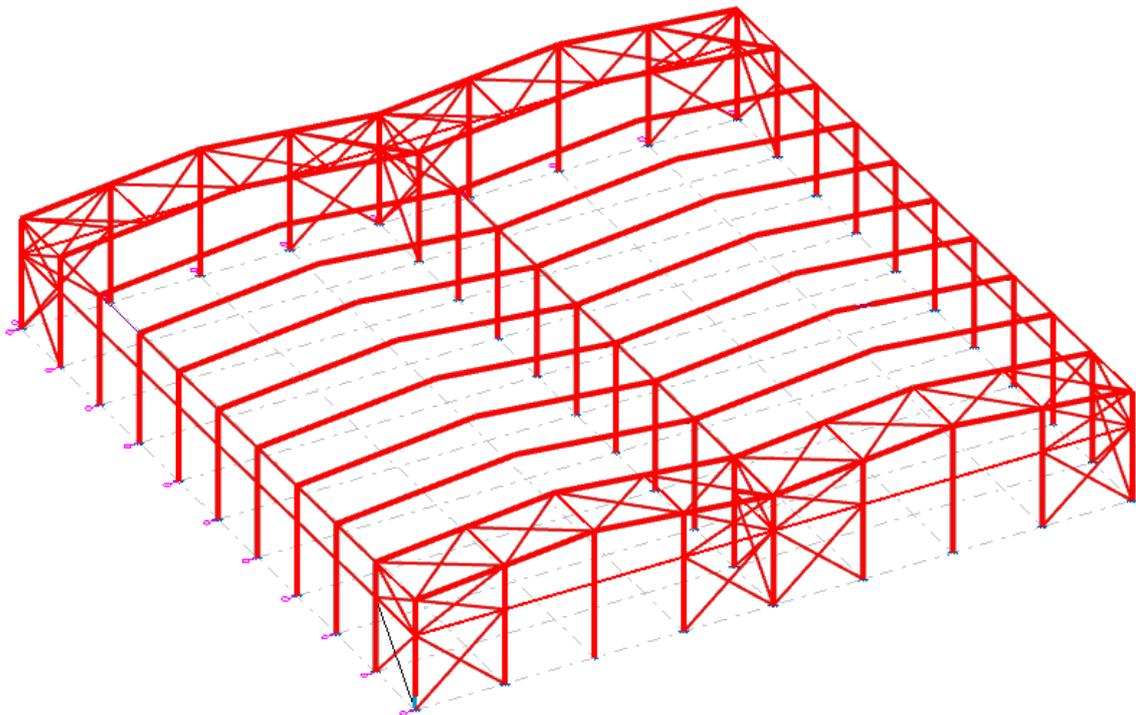


Figura 4.10. Resultados obtenidos con secciones no protegidas (R30).

4.6 Protección pasiva en las correas

El borrador del nuevo RSCIEI establece que las correas que no tienen función portante no requieren de protección, este es el caso de las correas dispuestas en las fachadas del edificio. Sin embargo, en el cálculo de la estructura se ha considerado que las correas de cubierta arriostan el pandeo lateral del ala superior de las vigas y el pandeo por axil en el plano de cubierta. Por tanto, tienen función portante principal y deben cumplir con el nivel de resistencia exigido de 30 minutos.

Del lado de la seguridad, para obtener el espesor de la protección necesaria se van a modelar en Cype3D las correas como biapoyadas. De esta forma, trabajan con una longitud de pandeo por axil igual a la separación entre pórticos (5 m). El pandeo lateral se considera impedido por la unión con tornillo rosca chapas al panel sándwich y con ejión a las vigas.

Las hipótesis de carga a considerar son las relativas a una situación de cálculo extraordinaria. A las cargas generadas por estas hipótesis hay que añadirle un esfuerzo axil a cada correa para considerar su función de arriostamiento. Para ello se hace uso de lo dispuesto en el artículo 5.4.1 del CTE DB SE-A ([3]): *“cada elemento cuya función consista en proporcionar un apoyo lateral a un elemento o un cordón comprimido deberá dimensionarse para resistir una fuerza lateral equivalente al 1,5% del esfuerzo de compresión máximo que solicite el elemento o el cordón a estabilizar”*.

$$N_{\text{correa}} = 0,015 \cdot \frac{M_{\text{max}}}{h_{\text{IPE}}} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Como se indica en la ecuación 4.6, el axil que se debe aplicar a cada correa depende del momento máximo al que trabaja el elemento arriostado, es decir, la viga. En la Tabla 4.11 se recogen los momentos para cada una de las hipótesis consideradas y los axiles correspondientes.

Tabla 4.11. Axiles aplicados sobre las correas de fachada y cubierta.

HIPÓTESIS DE CARGA	M _{max-vigas} (kN·m)	N _{correas-cubierta} (kN)
PP + 0,5 · V (0°)H1	78,02	2,93
PP + 0,5 · V (0°)H2	75,85	2,84
PP + 0,5 · V (90°)H1	71,33	2,67
PP + 0,5 · V (180°)H1	108,84	4,08
PP + 0,5 · V (180°)H2	65,80	2,47
PP + 0,5 · V (270°)H1	71,33	2,67
HIPÓTESIS DE CARGA	M _{max-vigas} (kN·m)	N _{correas-cubierta} (kN)
PP + 0,2 · N(EI)	138,29	5,19
PP + 0,2 · N(R)1	136,70	5,13
PP + 0,2 · N(R)2	138,40	5,19

Con todo lo anterior, las hipótesis críticas y los espesores de protección obtenidos en Cype3D se recogen en la Tabla 4.12. Se observa que, debido a la alta masividad de la sección inicialmente dispuesta (perfiles de la serie CF 160x2.5 con una masividad de 807,80 m⁻¹), es necesario un espesor de protección considerablemente alto al utilizar mortero de vermiculita-perlita con cemento de alta densidad y no es viable proteger las correas con pintura intumescente.

Una posible solución es utilizar secciones de la serie IPE, las cuales presentan masividades más bajas. Sin embargo, esto supondría recalcular la estructura ya que el peso de la cubierta aumentaría notablemente.

Tabla 4.12. Protección pasiva necesaria en las correas para R30 (Cype3D).

CORREAS DE CUBIERTA	
	Pintura intumescente
	*
	Mortero de vermiculita-perlita con cemento
	25 mm
	Pintura intumescente
	*
	Mortero de vermiculita-perlita con cemento
	25 mm
<p>(*) No es posible obtener un espesor de pintura intumescente que permita satisfacer la resistencia al fuego indicada</p> <p>(1) Separación entre correas de cubierta: S_c (cubierta) = 1,99 m</p> <p>(2) Peso del cerramiento de cubierta: $p_{cr} = 0,150$ kN/m²</p> <p>(3) Carga de nieve: $q_N = 0,205$ kN/m²</p> <p>(4) Carga de viento: $q_F = 1,201$ kN/m²; $q_G = 0,857$ kN/m²</p> <p>(5) Longitud de la zona de viento F: $e/4 = \min(b; 2h)/4 = \min(50\text{m}; 18,5\text{m})/4 = 4,6$ m</p> <p>(6) Inclinación de cubierta: $\theta = 5,71^\circ$</p>	

5 CÁLCULO EN EL DOMINIO DE LA RESISTENCIA

En este capítulo se aplica al pórtico interior crítico del edificio industrial el método de cálculo a alta temperatura en el dominio de la resistencia, conforme a lo establecido en el anejo 23 del Código Estructural y en el anejo D del CTE DB SI.

5.1 Secciones transversales clase 4

Cuando una sección transversal se clasifica como clase 4 los fenómenos de abolladura local impiden que la fibra más comprimida alcance su resistencia elástica (el límite elástico). En el apartado 4.4 del anejo 25 del Código Estructural se recoge el método básico para considerar este comportamiento, donde la sección bruta de acero se reduce a una sección eficaz.

La sección a estudiar corresponde a los perfiles IPE utilizados en pilares y vigas. Para determinar su sección eficaz es necesario diferenciar entre los elementos interiores comprimidos (alma) y los elementos exteriores comprimidos (alas). Como se ha visto en el capítulo 2 de este documento, las alas de las secciones IPE bajo las sollicitaciones estudiadas siempre se clasifican como clase 1, véase Tabla 2.2. En cambio, el alma si puede clasificarse como clase 4 en función de los esfuerzos a los que trabaje, por tanto, únicamente se debe corregir el alma en este tipo de secciones.

Para corregir el alma se introduce una zona no efectiva cuya posición y dimensiones se obtienen de la Figura 5.1.

Tabla A25.4.1 Elementos interiores comprimidos						
Distribución de tensiones (compresión positiva)				Ancho eficaz ^p b_{eff}		
				$\Psi = 1$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \Psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \Psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\Psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \Psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\Psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \Psi > 0$	0	$0 > \Psi > -1$	-1	$-1 > \Psi \geq -3$
Coefficiente de abolladura k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \Psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\Psi + 9,78\Psi^2$	23,9	$5,98(1 - \Psi)^2$

Figura 5.1. Tabla A25.4.1 Anejo 25 del Código Estructural [10].

Para acceder a esta tabla primero se debe determinar el cociente entre tensiones Ψ . Para ello, la nota 3 del apartado 4.4 del anejo 25 del Código Estructural ([10]) dispone que: “en el caso de los elementos del alma, la relación de tensiones empleada en la tabla A25.4.1 debe obtenerse con una distribución de tensiones calculada con el área eficaz del ala comprimida y de la sección bruta del alma”. Teniendo en cuenta que como ya se ha comentado anteriormente las alas son clase 1, y por tanto su sección eficaz corresponde a su sección bruta, la relación de tensiones se obtiene aplicando la ley de Navier a la sección bruta del IPE con el estado de cargas analizado en situación de incendio.

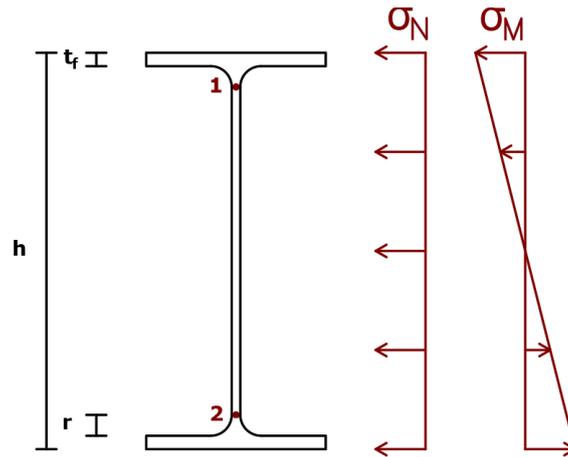


Figura 5.2. Distribución de tensiones (compresión +).

$$\sigma_1 = \frac{N_{fi,Ed}}{A_{IPE}} + \frac{M_{fi,y,Ed}}{I_{y,IPE}} \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f - r\right) \begin{cases} < f_y \\ > -f_y \end{cases} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_{fi,Ed}}{A_{IPE}} - \frac{M_{fi,y,Ed}}{I_{y,IPE}} \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f - r\right) \begin{cases} < f_y \\ > -f_y \end{cases} \quad \text{Ec. 5.2}$$

La otra variable necesaria para determinar la zona no efectiva es el coeficiente de reducción ρ que, para elementos interiores comprimidos, se obtiene de la ecuación 5.3.

$$\rho = \begin{cases} \rho = 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \Psi} \\ \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \Psi} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.3}$$

con:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \xrightarrow{\text{alma IPE}} \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r)/t_w}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \quad \text{Ec. 5.4}$$

donde:

- \bar{b} : Ancho del elemento comprimido.
- t : Espesor del elemento comprimido.
- k_σ : Coeficiente de abolladura. Se obtiene de la Figura 5.1 para elementos interiores comprimidos.
- ε : Factor de reducción a temperatura ambiente.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y(\text{N/mm}^2)}} \quad \text{Ec. 5.5}$$

A partir de estas dos variables y haciendo uso de la Figura 5.1 se obtienen los anchos efectivos que permiten definir la sección eficaz de la Figura 5.3, donde:

$$x_1 = r + b_{e1} \quad \text{Ec. 5.6}$$

$$x_2 = \begin{cases} r + b_{e2} \text{ para } 1 \geq \Psi \geq 0 \\ r + b_{e2} + b_t \text{ para } \Psi < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 5.7}$$

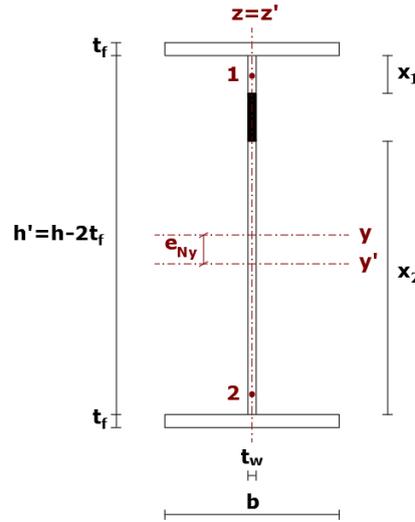


Figura 5.3. Sección eficaz IPE clase 4.

Las propiedades seccionales de esta sección eficaz se recogen en las siguientes ecuaciones (de manera aproximada no se han considerado los radios de acuerdo):

$$\begin{cases} e_{Ny} \approx \left| \frac{x_1 \cdot t_w \cdot \left(\frac{h' - x_1}{2}\right) - x_2 \cdot t_w \cdot \left(\frac{h' - x_2}{2}\right)}{2 \cdot t_f \cdot b + (x_1 + x_2) \cdot t_w} \right| \\ e_{Nz} = 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 5.8}$$

$$A_{\text{eff}} \approx \rho \cdot h' \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = (x_1 + x_2) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b \quad \text{Ec. 5.9}$$

$$I_{y,\text{eff}} \approx \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h'}{2} + \frac{t_f}{2} + e_{Ny}\right)^2 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot t_f^3 + b \cdot t_f \cdot \left(\frac{h'}{2} + \frac{t_f}{2} - e_{Ny}\right)^2 \quad \text{Ec. 5.10}$$

$$+ \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot x_1^3 + x_1 \cdot t_w \cdot \left(\frac{h'}{2} - \frac{x_1}{2} + e_{Ny}\right)^2 + \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot x_2^3 + x_2 \cdot t_w \cdot \left(\frac{h'}{2} - \frac{x_2}{2} - e_{Ny}\right)^2$$

$$I_{z,\text{eff}} \approx 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot (x_1 + x_2) \cdot t_w^3 \quad \text{Ec. 5.11}$$

$$W_{y,\text{eff}} = \frac{I_{y,\text{eff}}}{\frac{h}{2} + e_{Ny}} \quad \text{Ec. 5.12}$$

$$W_{z,\text{eff}} = \frac{I_{z,\text{eff}}}{\frac{b}{2}} \quad \text{Ec. 5.13}$$

Es importante señalar que el CTE DB-SI no incluye en su formulación de comprobación en el dominio de la resistencia a alta temperatura las secciones clase 4, aunque sí lo hace a temperatura ambiente. En la nota 3 de su anexo D ([5]) se especifica que: “en soportes de pared no delgada (clases 1,2 o 3), la capacidad resistente de cálculo considerando pandeo de un elemento sometido a flexocompresión puede verificarse, a partir de las solicitaciones obtenidas de la combinación de acciones en caso de incendio, mediante las expresiones generales de DB-SE-A usando los valores modificados dados a continuación...”. En el resto del documento no hace mención alguna a las secciones clase 4 o a otro tipo de comprobación en el dominio de la resistencia.

En cambio, el Código Estructural en su anejo 23 sí contempla las secciones clase 4 a alta temperatura y el resto de las comprobaciones en el dominio de la resistencia. Por ello, la sección eficaz se ha obtenido exclusivamente según lo establecido en el Código Estructural y en el resto de este capítulo se presentarán las comprobaciones para las secciones clase 1, 2, 3 y 4 de acuerdo con el mismo, así como las diferencias respecto al CTE en las comprobaciones para las clases 1, 2 y 3.

5.2 Elementos sometidos a tracción

El valor de cálculo de la resistencia de un elemento sometido a tracción con una temperatura θ debe determinarse con la ecuación 5.14 (4.2.3.1 Anejo 23 del CE).

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{Ec. 5.14}$$

donde:

- $k_{y,\theta}$: Coeficiente de reducción del límite elástico del acero a una temperatura θ , véase la Tabla 3.3.
- $\gamma_{M,fi}$: Coeficiente parcial de seguridad del acero en una situación extraordinaria de cálculo. Toma como valor la unidad.
- A : Área de la sección bruta.
- f_y : Valor característicos del límite elástico del acero.

5.3 Elementos sometidos a compresión

El valor de cálculo de la resistencia de un elemento corto sometido a compresión con una temperatura θ debe determinarse con la ecuación 5.15.

$$\begin{cases} N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 1, 2 y 3} \\ N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 4} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.15}$$

En elementos esbeltos, el valor de cálculo de la resistencia a pandeo se obtiene de la ecuación 5.16 (4.2.3.2 Anejo 23 CE).

$$\begin{cases} N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 1, 2 y 3} \\ N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 4} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.16}$$

El coeficiente de reducción del pandeo por axil debe calcularse de acuerdo con la expresión 5.17.

$$\chi_{\theta} = 1 / \left(\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2} \right) \leq 1 \quad \text{Ec. 5.17}$$

con:

$$\begin{cases} \phi_{\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2] \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\theta}^2] \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.18}$$

$$\begin{cases} \alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y(\text{N/mm}^2)} \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.19}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = \frac{l_k}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} \text{ para clase 1, 2 y 3} \\ \bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = \frac{l_k \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} \text{ para clase 4} \\ \bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot k_{\lambda,\theta} = \frac{l_k}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right. \rightarrow \text{CE} \quad \text{Ec. 5.20}$$

donde:

- $k_{E,\theta}$: Coeficiente de reducción del módulo de elasticidad del acero a una temperatura θ , véase la Tabla 3.3.
- $k_{\lambda,\theta}$: Coeficiente de mayoración de la esbeltez reducida del elemento a una temperatura θ , véase la Tabla 3.3.
- i : Radio de giro de la sección bruta.
- l_k : Longitud eficaz de pandeo, es decir, el producto del coeficiente β de pandeo y la longitud entre puntos con coacción.
- λ_{lim} : Esbeltez límite.

$$\bar{\lambda}_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{235/f_y} \quad \text{Ec. 5.21}$$

5.4 Elementos sometidos a cortante

El valor de cálculo de la resistencia de un elemento sometido a cortante con una temperatura θ debe calcularse utilizando la ecuación 5.22 (4.2.3.4 Anejo 23 del CE).

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot k_{y,\theta} \cdot A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M,fi}} \quad \text{Ec. 5.22}$$

donde:

- κ_1 : Factor de adaptación para una distribución no uniforme de la temperatura en la sección transversal (el CTE no lo incluye en su comprobación). Toma los siguientes valores: 1,0 para una sección expuesta en sus cuatro caras; 0,70 para una sección no protegida expuesta en tres caras y con una losa mixta o de hormigón en la cuarta cara; 0,85 para una sección protegida expuesta en tres caras y con una losa mixta o de hormigón en la cuarta cara.
- κ_2 : Factor de adaptación para una distribución no uniforme de la temperatura a lo largo de la viga (el CTE no lo incluye en su comprobación). Toma un valor de 0,85 para vigas hiperestáticas y 1,0 para otros casos.
- A_v : Área resistente a cortante. En perfiles laminados en I con cargas paralelas al alma, se obtiene de la ecuación 5.23.

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \approx h \cdot t_f \quad \text{Ec. 5.23}$$

5.5 Elementos sometidos a flexión

La resistencia de cálculo de un elemento a una temperatura θ sometido a flexión en su eje fuerte se determina con la ecuación 5.24 (4.2.3.4 Anejo 23 del CE).

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 1 y 2} \\ M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 3} \\ M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{eff,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.24}$$

donde:

- $W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección bruta respecto a su eje fuerte.
- $W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta respecto a su eje fuerte.
- $W_{eff,y}$: Módulo resistente elástico de la sección eficaz respecto a su eje fuerte.

En presencia de esfuerzo cortante, solo debe considerarse su efecto sobre la resistencia a flexión si el valor de cálculo del esfuerzo cortante supera la mitad de la resistencia de cálculo. En caso de que esto suceda el momento resistente se limita aplicando un factor reductor al límite elástico.

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y \quad \text{Ec. 5.25}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{fi,Ed}}{V_{\theta,Rd}} - 1 \right)^2 \quad \text{Ec. 5.26}$$

Si existe la posibilidad de que el elemento pandee lateralmente debe comprobarse que el esfuerzo de cálculo no supera al valor de cálculo de la resistencia frente a pandeo lateral.

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{b,\theta,Rd} = \chi_{LT,\theta} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 1 y 2} \\ M_{b,\theta,Rd} = \chi_{LT,\theta} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 3} \\ M_{b,\theta,Rd} = \chi_{LT,\theta} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{eff,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.27}$$

El coeficiente de reducción de pandeo lateral debe calcularse de acuerdo con la expresión 5.28.

$$\chi_{LT,\theta} = 1 / \left(\Phi_{LT,\theta} + \sqrt{\Phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2} \right) \leq 1 \quad \text{Ec. 5.28}$$

con:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{LT,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right] \rightarrow \text{CE} \\ \Phi_{LT,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right] \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.29}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y (\text{N/mm}^2)} \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.30}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot k_{\lambda,\theta} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.31}$$

La esbeltez adimensional a temperatura ambiente se obtiene de la ecuación 5.32.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \text{ para clase 1 y 2} \\ \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \text{ para clase 3} \\ \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.32}$$

Para el momento crítico de pandeo lateral M_{cr} el Código Estructural y la UNE-EN 1993-1-1 (2013) únicamente indican que se debe obtener considerando las propiedades de la sección bruta y teniendo en cuenta las condiciones de carga, la distribución real del momento y los arriostramientos laterales. Por este motivo se hace uso de la derogada UNE-ENV 1993-1-1 (1998), la cual dispone en su anejo F apartado F.1.2 la expresión general del momento elástico crítico para secciones simétricas recogida en la ecuación 5.33.

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \cdot \left\{ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + [C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j]^2} - [C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j] \right\} \quad \text{Ec. 5.33}$$

donde:

- I_T : Módulo de torsión o constante de torsión uniforme. Para una sección IPE se obtiene de la ecuación 5.34 ([25]).

$$I_T = \frac{2}{3}(b - 0,63t_f)t_f^3 + \frac{1}{3}(h - 2t_f) \cdot t_w^3 + \left[-0,042 + 0,2204 \frac{t_w}{t_f} + 0,1355 \frac{r}{t_f} - 0,0865 \frac{rt_w}{t_f^2} - 0,0725 \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^2 \right] \left[\frac{(r + t_w/2)^2 + (r + t_f)^2 - r^2}{2r + t_f} \right]^4 \quad \text{Ec. 5.34}$$

- I_w : Módulo de alabeo. Para una sección IPE se obtiene de la ecuación 5.35.

$$I_w = \frac{t_f \cdot b^3 \cdot (h - t_f)^2}{24} \quad \text{Ec. 5.35}$$

- I_z : Momento de inercia de la sección respecto a su eje débil.
- k : Coeficiente de longitud eficaz que depende de las restricciones al giro en los extremos de la barra en el plano de pandeo lateral. Es similar al coeficiente β en el pandeo por axil:
 - $k = 0,5$ para una barra empotrada-empotrada.
 - $k = 1,0$ para una barra articulada-articulada.
 - $k = 0,7$ para una barra empotrada-articulada.
 - $k = 2,0$ para una barra empotrada-libre.
- k_w : Coeficiente de longitud eficaz que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. Salvo que se adopten medidas especiales debe considerarse un valor igual a la unidad.
- l : Distancia entre puntos con coacción lateral.
- E : Módulo de elasticidad del acero.
- G : Módulo de elasticidad transversal del acero.
- z_g : Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes medida en la dirección del eje débil de la sección. En secciones doblemente simétricas el centro de esfuerzos cortantes coincide con el centro de gravedad de la sección.
- z_j : Parámetro de asimetría de la sección. Para secciones con simetría doble toma un valor nulo.

- C_1 , C_2 y C_3 : Coeficientes que dependen de las condiciones de carga y de las coacciones en los extremos, sus valores se obtienen de la Figura 5.4 y la Figura 5.5. La norma de referencia únicamente ofrece valores para $k = 0, 5; 0, 7$ o $1, 0$.

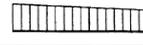
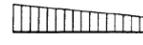
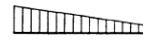
Tabla F.1.1 Valores de los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 correspondientes a valores del coeficiente k : solicitación de momentos en los extremos					
Condiciones de carga y de apoyo	Diagrama de momentos flectores	Valor de k	Valores de coeficientes		
			C_1	C_2	C_3
	$\psi = +1$ 	1,0 0,7 0,5	1,000 1,000 1,000	—	1,000 1,113 1,144
	$\psi = +3/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,141 1,270 1,305	—	0,998 1,565 2,283
	$\psi = +1/2$ 	1,0 0,7 0,5	1,323 1,473 1,514	—	0,992 1,556 2,271
	$\psi = +1/4$ 	1,0 0,7 0,5	1,563 1,739 1,788	—	0,977 1,531 2,235
	$\psi = 0$ 	1,0 0,7 0,5	1,879 2,092 2,150	—	0,939 1,473 2,150
	$\psi = -1/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,281 2,538 2,609	—	0,855 1,340 1,957
	$\psi = -1/2$ 	1,0 0,7 0,5	2,704 3,009 3,093	—	0,676 1,059 1,546
	$\psi = -3/4$ 	1,0 0,7 0,5	2,927 3,009 3,093	—	0,366 0,575 0,837
	$\psi = -1$ 	1,0 0,7 0,5	2,752 3,063 3,149	—	0,000 0,000 0,000

Figura 5.4. Tabla F.1.1 Anejo F de la UNE-ENV 1993-1-1(1998) [8].

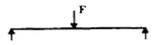
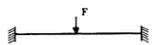
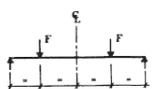
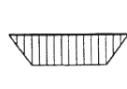
Tabla F.1.2 Valores de los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 correspondientes a valores del coeficiente k : casos de solicitaciones transversales					
Condiciones de carga y de apoyo	Diagrama de momentos flectores	Valor de k	Valores de coeficientes		
			C_1	C_2	C_3
		1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,257 0,715	2,540 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

Figura 5.5. Tabla F.1.2 Anejo F de la UNE-ENV 1993-1-1(1998) [8].

Si de manera aproximada se supone que la carga está aplicada en el centro de esfuerzos cortantes y se considera que $k = k_w = 1$, el momento crítico se obtiene de la ecuación 5.36 para secciones doblemente simétricas.

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \quad \text{Ec. 5.36}$$

Bajo estas mismas consideraciones, en el artículo 6.3.3.3 del CTE DB SE-A se describe un método simplificado para obtener el momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} \quad \text{Ec. 5.37}$$

donde:

- $M_{LT,v}$: Componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme del elemento.

$$M_{LT,v} = \begin{cases} C_1 \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} & \text{para clase 1, 2 y 3} \\ 0 & \text{para clase 4} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.38}$$

- $M_{LT,w}$: Componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme del elemento.

$$M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l^2} \cdot i_{f,z}^2 \quad \text{Ec. 5.39}$$

- C_1 : Coeficiente de momento equivalente. Se puede obtener de la Figura 5.4 y la Figura 5.5.
- $i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, de la sección formada por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma.

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{f,z} \approx \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2}\right) \cdot t_w^3}{b \cdot t_f + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2}\right) \cdot t_w}} \text{ para clase 1, 2 y 3} \\ i_{f,z} \approx \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3}{b \cdot t_f + (b_{e1} + b_{e2}) \cdot t_w}} \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.40}$$

Es importante destacar que asignar un valor igual a la unidad en el coeficiente k se queda del lado de la seguridad, ya que las jácenas están biarticuladas y los pilares en el plano de pandeo lateral (plano débil) están empotrado-articulado en el tramo inferior y articulado-articulado en el tramo superior.

5.6 Elementos sometidos a flexo-compresión

El valor de cálculo de la resistencia de un elemento sometido a flexo-compresión respecto a su eje fuerte con una temperatura θ debe verificarse con el cumplimiento de las siguientes expresiones (4.2.3.5 Anejo 23 del CE):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} \leq 1 \text{ para clase 1 y 2} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} \leq 1 \text{ para clase 3} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{eff,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} \leq 1 \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.41}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 1 y 2} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 3} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{eff,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 4} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 5.42}$$

donde:

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad \text{Ec. 5.43}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3 \quad \text{Ec. 5.44}$$

con:

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,90 \quad \text{Ec. 5.45}$$

$$\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 \leq 0,80 \text{ (con } \bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,10) \quad \text{Ec. 5.46}$$

Los coeficientes de momento uniforme equivalente se pueden obtener de la Figura 5.6. Cabe señalar que, en el Anejo 23 del CE, no se especifica la necesidad de incluir en las fórmulas de comprobación para secciones clase 4 el momento causado por el desplazamiento del centro de gravedad, a diferencia de lo que sí se exige en las comprobaciones a temperatura ambiente. Del lado de la seguridad se puede incluir este término.

$$\Delta M_{y,fi,Ed} = N_{fi,Ed} \cdot e_{Ny} \quad \text{Ec. 5.47}$$

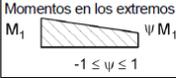
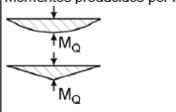
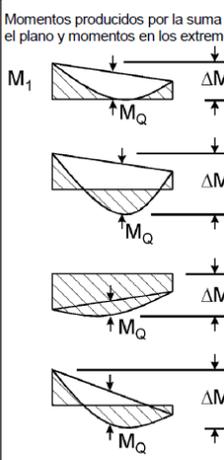
Diagrama de momentos	Coefficiente del momento uniforme equivalente β_M
Momentos en los extremos 	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Momentos producidos por las cargas laterales en el plano 	$\beta_{M,Q} = 1,3$
Momentos producidos por la suma de cargas laterales en el plano y momentos en los extremos 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ <p>$M_Q = \text{máx. } M$ producido solo por la carga lateral</p> $\Delta M = \begin{cases} \text{máx. } M & \text{para un diagrama de momentos sin cambio de signo} \\ \text{máx. } M + \text{mín. } M & \text{para un diagrama de momentos con cambio de signo} \end{cases}$

Figura A23.4.2 Coeficientes del momento uniforme equivalente

Figura 5.6. Figura A23.4.2 Anejo 23 del Código Estructural [10].

Como se mencionó anteriormente, el CTE DB-SI incluye la verificación de la flexo-compresión dentro del dominio de resistencia para secciones clase 1, 2 y 3. En esta comprobación se deben verificar las siguientes expresiones:

$$\begin{cases} \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 1 y 2} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 3} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.48}$$

$$\begin{cases} \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 1 y 2} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 3} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.49}$$

$$\begin{cases} \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 1 y 2} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{el,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \text{ para clase 3} \end{cases} \quad \text{Ec. 5.50}$$

Los coeficientes de interacción se obtienen de la Figura 5.7 utilizando los valores correspondientes de las acciones de cálculo, las esbelteces reducidas, los coeficientes de reducción por pandeo y la resistencia a compresión, todos ellos ajustados para la situación de incendio.

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

Cla-se	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.
 $N_{C,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Figura 5.7. Tabla 6.9 del CTE DBSE-A [3].

Del mismo modo, los coeficientes de momento equivalente se pueden obtener de la Figura 1.9 considerando la ley de momentos en la combinación extraordinaria estudiada.

5.7 Resultados

En este apartado se recogen los resultados obtenidos en la comprobación de cada uno de los elementos que conforman el pórtico interior, los cuales han sido protegidos con una capa de un centímetro de proyección de vermiculita IGNIPLASTER. Hay que destacar que, del lado de la seguridad y por simplicidad, se ha adoptado un valor unitario para todos los coeficientes de momento equivalente relativos al pandeo lateral. Asimismo, la metodología aplicada para determinar la longitud de pandeo sigue los criterios establecidos en el apartado 1.4.4 del primer capítulo de este documento.

PILAR EXTERIOR (ALINEACIÓN F)

Sección bruta:

- A = 84,50cm²
- $i_y = 16,50\text{cm}$
- $A_v = 42,73\text{cm}^2$
- $i_z = 3,90\text{cm}$
- $I_y = 23130,00\text{cm}^4$
- $i_{f,z} = 4,71\text{cm}$
- $I_z = 1318,00\text{cm}^4$
- h = 400,00mm
- $I_T = 51,10\text{cm}^4$
- b = 180,00mm
- $I_w = 490048,47\text{cm}^6$
- $t_w = 8,60\text{mm}$
- $W_{pl,y} = 1307,00\text{cm}^3$
- $t_f = 13,50\text{mm}$
- $W_{el,y} = 1156,00\text{cm}^3$
- r = 21,00mm

IPE400

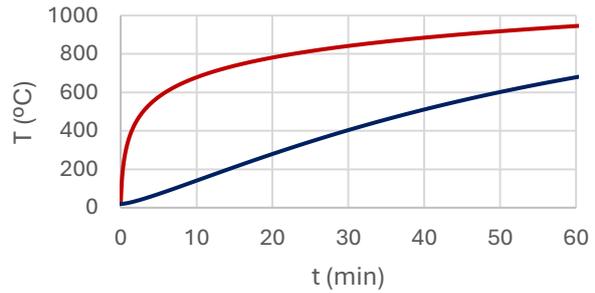
Material:

- E = 210000N/mm²
- G = 81000N/mm²
- $f_y = 275\text{N/mm}^2$
- $\gamma_{M,fi} = 1,00$
- $\lambda_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86,81$

S275

Temperatura:

- Protección: +1cm IGNIPLASTER
- Exposición: 3C
- T = 403,78°C
- $k_{y,\theta}$ (clase 1,2,3) = 0,9917
- $k_{y,\theta}$ (clase 4) = 0,6455
- $k_{E,\theta}$ = 0,6962
- $k_{\lambda,\theta}$ = 1,1881



TRAMO INFERIOR

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2304,44 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0 \text{ kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 672,81 \text{ kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(0°)H1
- $V_{fi,Ed} = 22,25 \text{ kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interacción V – M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2160,65 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1406,31 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 807,73 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 628,24 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 44,46 \text{ kN}$

• Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $k_{\sigma} = 4,0$]) \rightarrow CLASE 4 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$

• $\chi_{y,\theta} = \frac{1}{(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2})} = \begin{cases} 0,593 \text{ CTE} \\ 0,615 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_y = 1,37$

• $l_y = 8,00 \text{ m}$

• $l_{ky} = 10,98 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2] = 0,970 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2] = 1,089 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{l_{ym}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,715 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{l_{ym}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,911 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\chi_{z,\theta} = \frac{1}{(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2})} = \begin{cases} 0,374 \text{ CTE} \\ 0,447 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_z = 0,70$

• $l_z = 5,44 \text{ m}$

• $l_{kz} = 3,81 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2] = 1,365 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2] = 1,671 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{l_{zm}} \cdot \left(\frac{k_{z,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 1,049 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{l_{zm}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,336 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

Flexión:

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 356,44 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,fi,Ed}^+; M_{y,fi,Ed}^-) \checkmark$$

$$M_{b,\theta,Rd}^+ = \chi_{LT,\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 212,07 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 181,99 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$M_{b,\theta,Rd}^- = \chi_{LT,\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 144,74 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 127,54 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1 o PP+0,2N(R)2
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 67,74 \text{ kN}$ (ala exterior comprimida)
- $M_{y,fi,Ed}^- = 47,26 \text{ kN}$ (ala interior comprimida)
- Tabla 2.2 (flexión simple) → CLASE 1

$$\chi_{LT,\theta}^+ = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^+ + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{+2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}}\right)} = \begin{cases} 0,595 \text{ CTE} \\ 0,511 \text{ CE} \end{cases}$$

- $l_{LT}^+ = 3,20 \text{ m}$
- $C_1 = 1,00$

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_{LT,\theta}^+ &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2} \right] = 1,193 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^+ &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2} \right] = 1,086 \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_{LT,\theta} &= 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} (\text{N/mm}^2) = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} &= 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ &= \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,914 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ &= \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,908 \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^+}} = \begin{cases} 0,764 \text{ CTE} \\ 0,766 \text{ CE} \end{cases}$$

$$M_{cr}^+ = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{+2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{+2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 612,39 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$M_{cr}^+ = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 615,48 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{+2}} \cdot i_{fz}^2 = 518,08 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 332,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\chi_{LT,\theta}^- = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^- + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{-2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}}\right)} = \begin{cases} 0,406 \text{ CTE} \\ 0,358 \text{ CE} \end{cases}$$

- $l_{LT}^- = 4,80 \text{ m}$
- $C_1 = 1,00$

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_{LT,\theta}^- &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2} \right] = 1,685 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^- &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2} \right] = 1,554 \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_{LT,\theta} &= 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} (\text{N/mm}^2) = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} &= 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- &= \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,268 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- &= \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,260 \rightarrow \text{CTE} \end{aligned} \right.$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^-}} = \begin{cases} 1,061 \text{ CTE} \\ 1,063 \text{ CE} \end{cases}$$

$$M_{cr}^- = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{-2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{-2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 318,34 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$M_{cr}^- = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 319,52 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{-2}} \cdot i_{fz}^2 = 230,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 221,53 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Flexo-compresión:

$$\text{CE} \left\{ \begin{aligned} \frac{N_{fi,Ed}}{\gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} &= \begin{cases} \text{flexión } +: 0,263 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión } -: 0,187 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} &= \begin{cases} \text{flexión } +: 0,429 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión } -: 0,416 \leq 1 \checkmark \end{cases} \end{aligned} \right.$$

$$\text{CTE} \left\{ \begin{aligned} \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} &= \begin{cases} \text{flexión } +: 0,209 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión } -: 0,148 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} &= \begin{cases} \text{flexión } +: 0,327 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión } -: 0,325 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} &= \begin{cases} \text{flexión } +: 0,369 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión } -: 0,366 \leq 1 \checkmark \end{cases} \end{aligned} \right.$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1 o PP+0,2N(R)2
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 67,74\text{kN}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 44,45\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 47,26\text{kN}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 35,59\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 0,595 \text{ CTE} \\ 0,511 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,406 \text{ CTE} \\ 0,358 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,593 \text{ CTE} \\ 0,510 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,374 \text{ CTE} \\ 0,332 \text{ CE} \end{cases}$
- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 0,997 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 0,998 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 = 0,051 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = 0,051 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,076 \\ \text{flexión -: } 1,061 \end{cases} \leq 3$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -2,015 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,993$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,994$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,023 \\ \text{flexión -: } 1,018 \end{cases}$ con $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$; $c_{m,LT}^- = 1,00$; $c_{m,y} = 0,90$

TRAMO SUPERIOR

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2304,44\text{kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0\text{kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 672,81\text{kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $V_{fi,Ed} = 21,23\text{kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interacción V – M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2160,65\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1406,31\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 1281,79\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 864,84\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 35,09\text{kN}$

• Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $k_\sigma = 4,0$]) → CLASE 4 → $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot \sqrt{k_\sigma}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23 \text{mm}^2 \end{array} \right.$

• $\chi_{y,\theta} = \frac{1}{(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2})} = \begin{cases} 0,593 \text{ CTE} \\ 0,615 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_y = 1,37$

• $l_y = 8,00 \text{m}$

• $l_{ky} = 10,98 \text{m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2] = 0,970 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2] = 1,089 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,715 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,911 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\chi_{z,\theta} = \frac{1}{(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2})} = \begin{cases} 0,601 \text{ CTE} \\ 0,620 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_z = 1,00$

• $l_z = 2,56 \text{m}$

• $l_{kz} = 2,56 \text{m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2] = 0,960 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2] = 1,075 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{z,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,705 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,898 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

Flexión:

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 356,44 \text{kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,fi,Ed}^+; M_{y,fi,Ed}^-) \checkmark$$

$$M_{b,\theta,Rd}^+ = \chi_{LT,\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 356,44 \text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 356,44 \text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$M_{b,\theta,Rd}^- = \chi_{LT,\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 144,74 \text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 127,54 \text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

• Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)

• $M_{y,fi,Ed}^+ = 0,00 \text{kN}$ (ala exterior comprimida)

• $M_{y,fi,Ed}^- = 101,53 \text{kN}$ (ala interior comprimida)

• Tabla 2.2 (flexión simple) → CLASE 1

• $\chi_{LT,\theta}^+ = \frac{1}{(\phi_{LT,\theta}^+ + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^+{}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+{}^2})} = \begin{cases} 1,000 \text{ CTE} \\ 1,000 \text{ CE} \end{cases}$

• $l_{LT}^+ = 0,00 \text{m}$ (en esta hipótesis no hay momento flector positivo)

• $C_1 = 1,00$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+{}^2] \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+{}^2] \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^+}}$

• $M_{cr}^+ = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^+{}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^+{}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} \rightarrow \text{CE}$

• $M_{cr}^+ = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} \rightarrow \text{CTE}$

• $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^+{}^2} \cdot i_{fz}^2$

• $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z}$

• $\chi_{LT,\theta}^- = \frac{1}{(\phi_{LT,\theta}^- + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^-{}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^-{}^2})} = \begin{cases} 0,406 \text{ CTE} \\ 0,358 \text{ CE} \end{cases}$

• $l_{LT}^- = 4,80 \text{m}$

• $C_1 = 1,00$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^-{}^2] = 1,685 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^-{}^2] = 1,554 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 1,268 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,260 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^-}} = \begin{cases} 1,061 \text{ CTE} \\ 1,063 \text{ CE} \end{cases}$

• $M_{cr}^- = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^-{}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^-{}^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 318,34 \text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$

• $M_{cr}^- = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 319,52 \text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$

• $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^-{}^2} \cdot i_{fz}^2 = 230,26 \text{kN} \cdot \text{m}$

• $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 221,53 \text{kN} \cdot \text{m}$

Flexo-compresión:

$$\begin{aligned}
 \text{CE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{\gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,000 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,326 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \min \left(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta} \right) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,000 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,822 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{aligned} \right. \\
 \text{CTE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{\frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,000 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,298 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,000 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,664 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,000 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,722 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 0,00\text{kN}$ (ala exterior comprimida)
- $M_{y,fi,Ed}^- = 101,53\text{kN}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 30,92\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 1,000 \text{ CTE} \\ 1,000 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,406 \text{ CTE} \\ 0,358 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,593 \text{ CTE} \\ 0,510 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,601 \text{ CTE} \\ 0,517 \text{ CE} \end{cases}$
- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = -0,015 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +} \\ \text{flexión - : } 1,053 \leq 3 \end{cases}$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -2,014 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right)$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,997$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +} \\ \text{flexión - : } 1,016 \end{cases}$ con $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$; $c_{m,LT}^- = 1,00$; $c_{m,y} = 0,9$

PILAR INTERIOR (ALINEACIÓN B)

Sección bruta:

- $A = 84,50\text{cm}^2$
- $A_v = 42,73\text{cm}^2$
- $I_y = 23130,00\text{cm}^4$
- $I_z = 1318,00\text{cm}^4$
- $I_T = 51,10\text{cm}^4$
- $I_w = 490048,47\text{cm}^6$
- $i_y = 16,50\text{cm}$
- $i_z = 3,90\text{cm}$
- $i_{f,z} = 4,71\text{cm}$
- $h = 400,00\text{mm}$
- $b = 180,00\text{mm}$
- $t_w = 8,60\text{mm}$

IPE400

- $W_{pl,y} = 1307,00\text{cm}^3$
- $W_{e1,y} = 1156,00\text{cm}^3$
- $t_f = 13,50\text{mm}$
- $r = 21,00\text{mm}$

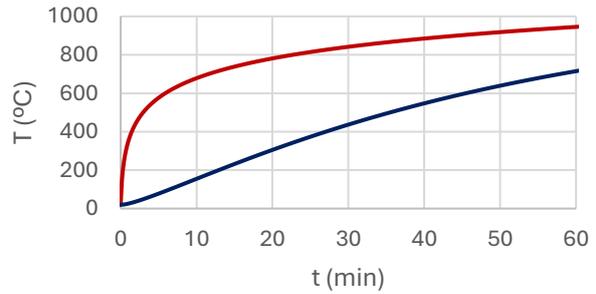
Material:

- $E = 210000\text{N/mm}^2$
- $G = 81000\text{N/mm}^2$
- $f_y = 275\text{N/mm}^2$
- $\gamma_{M,fi} = 1,00$
- $\lambda_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86,81$

S275

Temperatura:

- Protección: +1cm IGNIPLASTER
- Exposición: 4C
- $T = 436,85^\circ\text{C}$
- $k_{y,\theta}(\text{clase } 1,2,3) = 0,9189$
- $k_{y,\theta}(\text{clase } 4) = 0,6058$
- $k_{E,\theta} = 0,6632$
- $k_{\lambda,\theta} = 1,1716$



TRAMO INFERIOR

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2135,39\text{kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0\text{kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 623,45\text{kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1
- $V_{fi,Ed} = 8,46\text{kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interacción V – M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2002,15\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1319,86\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 763,66\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 594,23\text{kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 92,56\text{kN}$

• Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $k_{\sigma} = 4,0$]) \rightarrow CLASE 4 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot k_{\sigma}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23\text{mm}^2 \end{array} \right.$

$$\begin{aligned} \bullet \chi_{y,\theta} &= \frac{1}{\left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2}\right)} = \begin{cases} 0,659 \text{ CTE} \\ 0,657 \text{ CE} \end{cases} & \bullet \chi_{z,\theta} &= \frac{1}{\left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2}\right)} = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,450 \text{ CE} \end{cases} \\ \bullet \beta_y &= 1,23 & \bullet \beta_z &= 0,70 \\ \bullet l_y &= 8,00\text{m} & \bullet l_z &= 5,44\text{m} \\ \bullet l_{ky} &= 9,85\text{m} & \bullet l_{kz} &= 3,81\text{m} \\ \bullet \begin{cases} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2\right] = 0,894 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2\right] = 0,973 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2\right] = 1,354 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2\right] = 1,642 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,636 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,806 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,041 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,318 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \end{aligned}$$

Flexión:

$$\begin{aligned} M_{\theta,Rd,y} &= \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 330,29\text{kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,fi,Ed}^+; M_{y,fi,Ed}^-) \checkmark \\ M_{b,\theta,Rd}^+ &= \chi_{LT,\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 219,25\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 187,48\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases} \\ M_{b,\theta,Rd}^- &= \chi_{LT,\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 219,25\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 187,48\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases} \end{aligned}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1 y PP+0,5V(0°)H1
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 23,87\text{kN}$ (ala exterior comprimida)
- $M_{y,fi,Ed}^- = 23,87\text{kN}$ (ala interior comprimida)
- Tabla 2.2 (flexion simple) → CLASE 1

$$\bullet \chi_{LT,\theta}^+ = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^+ + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{+2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}}\right)} = \begin{cases} 0,664 \text{ CTE} \\ 0,568 \text{ CE} \end{cases}$$

- $l_{LT}^+ = 2,80\text{m}$
- $C_1 = 1,00$

$$\bullet \begin{cases} \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}\right] = 1,064 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}\right] = 0,964 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y (\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,803 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,797 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^+}} = \begin{cases} 0,681 \text{ CTE} \\ 0,682 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet M_{cr}^+ = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{+2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{+2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 771,76\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$\bullet M_{cr}^+ = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 775,95\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$\bullet M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{+2}} \cdot i_{f,z}^2 = 676,67\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 379,76\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet \chi_{LT,\theta}^- = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^- + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{-2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}}\right)} = \begin{cases} 0,664 \text{ CTE} \\ 0,568 \text{ CE} \end{cases}$$

- $l_{LT}^- = 2,80\text{m}$
- $C_1 = 1,00$

$$\bullet \begin{cases} \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}\right] = 1,064 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}\right] = 0,964 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y (\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,803 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,797 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^-}} = \begin{cases} 0,681 \text{ CTE} \\ 0,682 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet M_{cr}^- = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{-2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{-2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 771,76\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$\bullet M_{cr}^- = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 775,95\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$\bullet M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{-2}} \cdot i_{f,z}^2 = 676,67\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 379,76\text{kN} \cdot \text{m}$$

Flexo-compresión:

$$\begin{aligned}
 \text{CE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,155 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión -: } 0,155 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,204 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión -: } 0,204 \leq 1 \checkmark \end{cases} \end{aligned} \right. \\
 \text{CTE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,098 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión -: } 0,098 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,140 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión -: } 0,140 \leq 1 \checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,176 \leq 1 \checkmark \\ \text{flexión -: } 0,176 \leq 1 \checkmark \end{cases} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1 o PP+0,5V(0°)H1
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 23,87\text{kN}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 55,68\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 23,87\text{kN}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 55,68\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 0,664 \text{ CTE} \\ 0,568 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,644 \text{ CTE} \\ 0,568 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,659 \text{ CTE} \\ 0,564 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,338 \text{ CE} \end{cases}$
- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 0,996 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 0,996 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 = 0,049 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = 0,049 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,078 \leq 3 \\ \text{flexión -: } 1,078 \leq 3 \end{cases}$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -1,698 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,991 \text{ con } \bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,991 \text{ con } \bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,024 \\ \text{flexión -: } 1,024 \end{cases} \text{ con } \bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$
- $c_{m,LT}^- = 1,00$
- $c_{m,y} = 0,90$

TRAMO SUPERIOR

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2135,39 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0 \text{ kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 623,45 \text{ kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1
- $V_{fi,Ed} = 8,46 \text{ kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interaccion V – M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2002,15 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1319,86 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 1218,39 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 822,31 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 81,22 \text{ kN}$

• Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $k_{\sigma} = 4,0$]) \rightarrow CLASE 4 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$

• $\chi_{y,\theta} = \frac{1}{\left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2} \right)} = \begin{cases} 0,659 \text{ CTE} \\ 0,657 \text{ CE} \end{cases}$

- $\beta_y = 1,23$
- $l_y = 8,00 \text{ m}$
- $l_{ky} = 9,85 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\theta} \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 0,894 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 0,973 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,636 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,806 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\chi_{z,\theta} = \frac{1}{\left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2} \right)} = \begin{cases} 0,609 \text{ CTE} \\ 0,623 \text{ CE} \end{cases}$

- $\beta_z = 1,00$
- $l_z = 2,56 \text{ m}$
- $l_{kz} = 2,56 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\theta} \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 0,955 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 1,060 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,700 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,886 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

Flexión:

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 330,29 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,fi,Ed}^+; M_{y,fi,Ed}^-) \checkmark$$

$$M_{b,\theta,Rd}^+ = \chi_{LT,\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 125,75 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 111,32 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$M_{b,\theta,Rd}^- = \chi_{LT,\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 125,75 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 111,32 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1 y PP+0,5V(0°)H1

- $M_{y,fi,Ed}^+ = 43,80\text{kN}$ (ala exterior comprimida)
- $M_{y,fi,Ed}^- = 43,80\text{kN}$ (ala interior comprimida)
- Tabla 2.2 (flexión simple) → CLASE 1

$$\bullet \chi_{LT,\theta}^+ = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^+ + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{+2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}}\right)} = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,337 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet l_{LT}^+ = 5,20\text{m}$$

$$\bullet C_1 = 1,00$$

$$\bullet \begin{cases} \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}\right] = 1,781 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}\right] = 1,645 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y(\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,328 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,319 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^+}} = \begin{cases} 1,126 \text{ CTE} \\ 1,128 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet M_{cr}^+ = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{+2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{+2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 282,42\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$\bullet M_{cr}^+ = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 283,39\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$\bullet M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{+2}} \cdot i_{f,z}^2 = 196,19\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 204,49\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet \chi_{LT,\theta}^- = \frac{1}{\left(\phi_{LT,\theta}^- + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{-2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}}\right)} = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,337 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet l_{LT}^- = 5,20\text{m}$$

$$\bullet C_1 = 1,00$$

$$\bullet \begin{cases} \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}\right] = 1,781 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}\right] = 1,645 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y(\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{LT,\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,328 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,319 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$$

$$\bullet \bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^-}} = \begin{cases} 1,126 \text{ CTE} \\ 1,128 \text{ CE} \end{cases}$$

$$\bullet M_{cr}^- = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{-2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{-2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 282,42\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$$

$$\bullet M_{cr}^- = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 283,39\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$$

$$\bullet M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{-2}} \cdot i_{f,z}^2 = 196,19\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\bullet M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 204,49\text{kN} \cdot \text{m}$$

Flexo-compresión:

$$\text{CE} \begin{cases} \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,187 \leq 1 \\ \text{flexión -: } 0,438 \leq 1 \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,187 \leq 1 \\ \text{flexión -: } 0,438 \leq 1 \end{cases} \end{cases}$$

$$\text{CTE} \begin{cases} \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,156 \leq 1 \\ \text{flexión -: } 0,156 \leq 1 \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,356 \leq 1 \\ \text{flexión -: } 0,356 \leq 1 \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,385 \leq 1 \\ \text{flexión -: } 0,385 \leq 1 \end{cases} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,5V(180°)H1 o PP+0,5V(0°)H1
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 43,80\text{kN}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 50,22\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 43,80\text{kN}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 50,22\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,337 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,381 \text{ CTE} \\ 0,337 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,659 \text{ CTE} \\ 0,564 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,609 \text{ CTE} \\ 0,523 \text{ CE} \end{cases}$

- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 = -0,016 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = -0,016 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión+}: 1,071 \\ \text{flexión-}: 1,071 \end{cases} \leq 3$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -1,698 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,995$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,995$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión+}: 1,022 \\ \text{flexión-}: 1,022 \end{cases}$ con $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$
- $c_{m,LT}^- = 1,00$
- $c_{m,y} = 0,90$

JÁCENA (ALINEACIÓN B)

Sección bruta:

- $A = 84,50 \text{cm}^2$
- $A_v = 42,73 \text{cm}^2$
- $I_y = 23130,00 \text{cm}^4$
- $I_z = 1318,00 \text{cm}^4$
- $I_T = 51,10 \text{cm}^4$
- $I_w = 490048,47 \text{cm}^6$
- $W_{pl,y} = 1307,00 \text{cm}^3$
- $W_{el,y} = 1156,00 \text{cm}^3$
- $i_y = 16,50 \text{cm}$
- $i_z = 3,90 \text{cm}$
- $i_{f,z} = 4,71 \text{cm}$
- $h = 400,00 \text{mm}$
- $b = 180,00 \text{mm}$
- $t_w = 8,60 \text{mm}$
- $t_f = 13,50 \text{mm}$
- $r = 21,00 \text{mm}$

IPE400

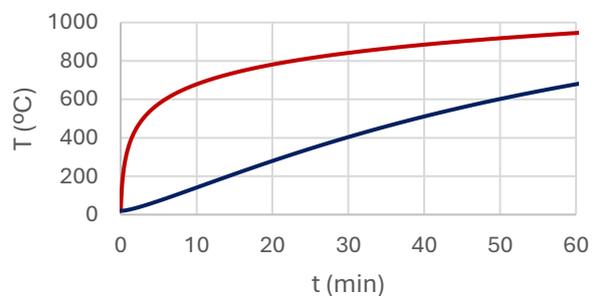
Material:

- $E = 210000 \text{N/mm}^2$
- $G = 81000 \text{N/mm}^2$
- $f_y = 275 \text{N/mm}^2$
- $\gamma_{M,fi} = 1,00$
- $\lambda_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86,81$

S275

Temperatura:

- Protección: +1cm IGNIPLASTER
- Exposición: 3C
- $T = 403,78^\circ\text{C}$
- $k_{y,\theta}(\text{clase } 1,2,3) = 0,9917$
- $k_{y,\theta}(\text{clase } 4) = 0,6455$
- $k_{E,\theta} = 0,6962$
- $k_{\lambda,\theta} = 1,1881$



TRAMO 1

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2304,44 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0 \text{ kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 672,81 \text{ kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1
- $V_{fi,Ed} = 22,71 \text{ kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interaccion V – M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2160,65 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1406,31 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 398,24 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 355,46 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 96,68 \text{ kN}$

• Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $\kappa_\sigma = 4,0$]) \rightarrow CLASE 4 \rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot \sqrt{\kappa_\sigma}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$

• $\chi_{y,\theta} = \frac{1}{\left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2} \right)} = \begin{cases} 0,184 \text{ CTE} \\ 0,253 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_y = 1,00$

• $l_y = 25,00 \text{ m}$

• $l_{ky} = 25,00 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 2,313 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 3,109 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 1,627 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 2,074 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\chi_{z,\theta} = \frac{1}{\left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2} \right)} = \begin{cases} 0,726 \text{ CTE} \\ 0,705 \text{ CE} \end{cases}$

• $\beta_z = 1,00$

• $l_z = 1,99 \text{ m}$

• $l_{kz} = 1,99 \text{ m}$

• $\left\{ \begin{array}{l} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 0,815 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 0,866 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

• $\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,548 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{lim}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,698 \rightarrow \text{CTE} \end{array} \right.$

Flexión:

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 356,44 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,fi,Ed}^+; M_{y,fi,Ed}^-) \checkmark$$

$$M_{b,\theta,Rd}^+ = \chi_{LT,\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 281,39 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 241,83 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$M_{b,\theta,Rd}^- = \chi_{LT,\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 167,87 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 146,24 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,fi,Ed}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1 o PP+0,2N(R)2
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 4,39\text{kNm}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 93,39\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 104,77\text{kNm}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 96,92\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexión simple) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \frac{1}{(\phi_{LT,\theta}^+ + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{+2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2}})} = \begin{cases} 0,789 \text{ CTE} \\ 0,678 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \frac{1}{(\phi_{LT,\theta}^- + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^{-2} - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2}})} = \begin{cases} 0,471 \text{ CTE} \\ 0,410 \text{ CE} \end{cases}$
- $l_{LT}^+ = 1,99\text{m}$
- $l_{LT}^- = 4,15\text{m}$
- $C_1 = 1,00$
- $C_1 = 1,00$
- $\phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2} \right] = \begin{cases} 0,858 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{+2} \right] = 0,772 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$
- $\phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta}^- + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2} \right] = \begin{cases} 1,482 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{LT,\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^{-2} \right] = 1,360 \rightarrow \text{CTE} \end{cases}$
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} (\text{N/mm}^2) = 0,60 \rightarrow \text{CE}$
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} (\text{N/mm}^2) = 0,60 \rightarrow \text{CE}$
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,49$ (curva de pandeo C) → CTE
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,49$ (curva de pandeo C) → CTE
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 0,598 \rightarrow \text{CE}$
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right)^{0,5} = 1,133 \rightarrow \text{CE}$
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta}^+ = \bar{\lambda}_{LT}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,593 \rightarrow \text{CTE}$
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta}^- = \bar{\lambda}_{LT}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,125 \rightarrow \text{CTE}$
- $\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^+}} = \begin{cases} 0,499 \text{ CTE} \\ 0,501 \text{ CE} \end{cases}$
- $\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}^-}} = \begin{cases} 0,947 \text{ CTE} \\ 0,949 \text{ CE} \end{cases}$
- $M_{cr}^+ = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{+2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{+2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 1433,33\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$
- $M_{cr}^- = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{LT}^{-2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^{-2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 398,99\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE}$
- $M_{cr}^+ = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 1442,27\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$
- $M_{cr}^- = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 400,67\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE}$
- $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{+2}} \cdot i_{f,z}^2 = 1339,64\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{LT}^{-2}} \cdot i_{f,z}^2 = 308,03\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 534,34\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 256,23\text{kN} \cdot \text{m}$

Flexo-compresión:

$$\text{CE} \left\{ \begin{array}{l} \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,267 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,701 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,083 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,546 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{array} \right.$$

$$\text{CTE} \left\{ \begin{array}{l} \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,053 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,238 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,234 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,545 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,071 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,472 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{array} \right.$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 4,21\text{kNm}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 94,32\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 70,05\text{kNm}$ (ala interior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 95,38\text{kN}$
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 0,789 \text{ CTE} \\ 0,678 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,471 \text{ CTE} \\ 0,410 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,184 \text{ CTE} \\ 0,171 \text{ CE} \end{cases}$

- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,726 & \text{CTE} \\ 0,622 & \text{CE} \end{cases}$
- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 = -0,045 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = -0,045 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 2,321 \\ \text{flexión -: } 2,336 \end{cases} \leq 3$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -5,519 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,995 \text{ con } \bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) = 0,995 \text{ con } \bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,178 \\ \text{flexión -: } 1,180 \end{cases} \text{ con } \bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$
- $c_{m,LT}^- = 1,00$
- $c_{m,y} = 0,65$

TRAMO 2

Tracción:

$$N_{\theta,Rd,t} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 2304,44 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed,t} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): la comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción
- $N_{fi,Ed,t} = 0 \text{ kN}$

Cortante:

$$V_{\theta,Rd} = \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = 672,81 \text{ kN} \geq V_{fi,Ed} \checkmark$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1
- $V_{fi,Ed} = 11,79 \text{ kN}$
- $\kappa_1 = 1,00$
- $\kappa_2 = 1,00$
- $V_{fi,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interaccion V - M

Compresión:

$$N_{\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 2160,65 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 1406,31 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

$$N_{b,\theta,Rd} = \min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \begin{cases} 398,24 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 355,46 \text{ kN} \geq N_{fi,Ed} \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $N_{fi,Ed} = 75,74 \text{ kN}$

- Tabla 2.2 (compresión [$\Psi = 1$; $k_{\sigma} = 4,0$]) \rightarrow CLASE 4 $\rightarrow \begin{cases} \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,955 \text{ con } \bar{\lambda}_p = \frac{(h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) / t_w}{28,4 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y} \cdot k_{\sigma}}} = 0,733 \\ A_{eff} \approx \rho \cdot (h - 2 \cdot t_f) \cdot t_w + 2 \cdot t_f \cdot b = 79,23 \text{ mm}^2 \end{cases}$

$$\begin{aligned} \bullet \chi_{y,\theta} &= \frac{1}{\left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2}\right)} = \begin{cases} 0,184 \text{ CTE} \\ 0,253 \text{ CE} \end{cases} & \bullet \chi_{z,\theta} &= \frac{1}{\left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2}\right)} = \begin{cases} 0,726 \text{ CTE} \\ 0,705 \text{ CE} \end{cases} \\ \bullet \beta_y &= 1,00 & \bullet \beta_z &= 1,00 \\ \bullet l_y &= 25,00\text{m} & \bullet l_z &= 1,99\text{m} \\ \bullet l_{ky} &= 25,00\text{m} & \bullet l_{kz} &= 1,99\text{m} \\ \bullet \begin{cases} \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2\right] = 2,313 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2\right] = 3,109 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2\right] = 0,815 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_\theta \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2\right] = 0,866 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \alpha_\theta = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_\theta = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{\text{lim}}} \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,627 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{y,\theta} = \frac{l_{ky}}{\lambda_{\text{lim}}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 2,074 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{\text{lim}}} \cdot \left(\frac{k_{z,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,548 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{z,\theta} = \frac{l_{kz}}{\lambda_{\text{lim}}} \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,698 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \end{aligned}$$

Flexión:

$$\begin{aligned} M_{\theta,\text{Rd},y} &= \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{\text{pl},y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M},\text{fi}}} = 356,44\text{kN} \cdot \text{m} \geq \max(M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^+; M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^-) \checkmark \\ M_{\text{b},\theta,\text{Rd}}^+ &= \chi_{\text{LT},\theta}^+ \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{\text{pl},y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M},\text{fi}}} = \begin{cases} 281,39\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^+ \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 241,83\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^+ \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases} \\ M_{\text{b},\theta,\text{Rd}}^- &= \chi_{\text{LT},\theta}^- \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \cdot \frac{W_{\text{pl},y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M},\text{fi}}} = \begin{cases} 167,87\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^- \checkmark \rightarrow \text{CTE} \\ 146,24\text{kN} \cdot \text{m} \geq M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^- \checkmark \rightarrow \text{CE} \end{cases} \end{aligned}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(R)1 o PP+0,2N(R)2
- $M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^+ = 36,46\text{kNm}$ (ala exterior comprimida)
- $M_{y,\text{fi},\text{Ed}}^- = 0,00\text{kNm}$ (ala interior comprimida)
- Tabla 2.2 (flexión simple) → CLASE 1

$$\begin{aligned} \bullet \chi_{\text{LT},\theta}^+ &= \frac{1}{\left(\phi_{\text{LT},\theta}^+ + \sqrt{\phi_{\text{LT},\theta}^{+2} - \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{+2}}\right)} = \begin{cases} 0,789 \text{ CTE} \\ 0,678 \text{ CE} \end{cases} & \bullet \chi_{\text{LT},\theta}^- &= \frac{1}{\left(\phi_{\text{LT},\theta}^- + \sqrt{\phi_{\text{LT},\theta}^{-2} - \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{-2}}\right)} = \begin{cases} 0,471 \text{ CTE} \\ 0,410 \text{ CE} \end{cases} \\ \bullet l_{\text{LT}}^+ &= 1,99\text{m} & \bullet l_{\text{LT}}^- &= 4,15\text{m} \\ \bullet C_1 &= 1,00 & \bullet C_1 &= 1,00 \\ \bullet \begin{cases} \phi_{\text{LT},\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\text{LT},\theta} \cdot \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^+ + \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{+2}\right] = \\ 0,858 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{\text{LT},\theta}^+ = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\text{LT},\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^+ - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{+2}\right] = \\ 0,772 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \phi_{\text{LT},\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\text{LT},\theta} \cdot \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^- + \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{-2}\right] = \\ 1,482 \rightarrow \text{CE} \\ \phi_{\text{LT},\theta}^- = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{\text{LT},\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^- - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^{-2}\right] = \\ 1,360 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \alpha_{\text{LT},\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y (\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\text{LT},\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \alpha_{\text{LT},\theta} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y (\text{N/mm}^2)} = 0,60 \rightarrow \text{CE} \\ \alpha_{\text{LT},\theta} = 0,49 \text{ (curva de pandeo C)} \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^+ = \bar{\lambda}_{\text{LT}}^+ \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 0,598 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^+ = \bar{\lambda}_{\text{LT}}^+ \cdot k_{\lambda,\theta} = 0,593 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} & \bullet \begin{cases} \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^- = \bar{\lambda}_{\text{LT}}^- \cdot \left(\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right)^{0,5} = 1,133 \rightarrow \text{CE} \\ \bar{\lambda}_{\text{LT},\theta}^- = \bar{\lambda}_{\text{LT}}^- \cdot k_{\lambda,\theta} = 1,125 \rightarrow \text{CTE} \end{cases} \\ \bullet \bar{\lambda}_{\text{LT}}^+ &= \sqrt{\frac{W_{\text{pl},y} \cdot f_y}{M_{\text{cr}}^+}} = \begin{cases} 0,499 \text{ CTE} \\ 0,501 \text{ CE} \end{cases} & \bullet \bar{\lambda}_{\text{LT}}^- &= \sqrt{\frac{W_{\text{pl},y} \cdot f_y}{M_{\text{cr}}^-}} = \begin{cases} 0,947 \text{ CTE} \\ 0,949 \text{ CE} \end{cases} \\ \bullet M_{\text{cr}}^+ &= C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{\text{LT}}^{+2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{\text{LT}}^{+2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 1433,33\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE} & \bullet M_{\text{cr}}^- &= C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{\text{LT}}^{-2}} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{\text{LT}}^{-2} \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} = 398,99\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CE} \\ \bullet M_{\text{cr}}^+ &= \sqrt{M_{\text{LT},v}^2 + M_{\text{LT},w}^2} = 1442,27\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE} & \bullet M_{\text{cr}}^- &= \sqrt{M_{\text{LT},v}^2 + M_{\text{LT},w}^2} = 400,67\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{CTE} \\ \bullet M_{\text{LT},w} &= C_1 \cdot W_{\text{el},y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{\text{LT}}^{+2}} \cdot i_{f,z}^2 = 1339,64\text{kN} \cdot \text{m} & \bullet M_{\text{LT},w} &= C_1 \cdot W_{\text{el},y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{l_{\text{LT}}^{-2}} \cdot i_{f,z}^2 = 308,03\text{kN} \cdot \text{m} \\ \bullet M_{\text{LT},v} &= C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{\text{LT}}^+} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 534,34\text{kN} \cdot \text{m} & \bullet M_{\text{LT},v} &= C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{\text{LT}}^-} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 256,23\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Flexo-compresión:

$$\begin{aligned}
 \text{CE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{\min(\chi_{y,\theta}; \chi_{z,\theta}) \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,373 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,000 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,184 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,000 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{aligned} \right. \\
 \text{CTE} & \left\{ \begin{aligned} & \frac{N_{fi,Ed}}{k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{M_{y,fi,Ed}}{\frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,122 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,000 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot c_{m,y} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,260 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,000 \leq 1\checkmark \end{cases} \\ & \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{y,LT} \cdot M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 0,158 \leq 1\checkmark \\ \text{flexión -: } 0,000 \leq 1\checkmark \end{cases} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

donde:

- Hipótesis crítica (Cype3D): PP+0,2N(EI)
- $M_{y,fi,Ed}^+ = 31,99\text{kNm}$ (ala exterior comprimida) – $N_{fi,Ed} = 74,56\text{kN}$
- $M_{y,fi,Ed}^- = 0,00\text{kNm}$ (ala interior comprimida)
- Tabla 2.2 (flexocompresión) → CLASE 1
- $\chi_{LT,\theta}^+ = \begin{cases} 0,789 \text{ CTE} \\ 0,678 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{LT,\theta}^- = \begin{cases} 0,471 \text{ CTE} \\ 0,410 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{y,\theta} = \begin{cases} 0,184 \text{ CTE} \\ 0,171 \text{ CE} \end{cases}$
- $\chi_{z,\theta} = \begin{cases} 0,726 \text{ CTE} \\ 0,622 \text{ CE} \end{cases}$
- $k_{LT}^+ = 1 - \frac{\mu_{LT}^+ \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $k_{LT}^- = 1 - \frac{\mu_{LT}^- \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1,000 \leq 1,00$
- $\mu_{LT}^+ = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^+ - 0,15 = -0,045 \leq 0,90$
- $\mu_{LT}^- = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT}^- - 0,15 = -0,045 \leq 0,90$
- $\beta_{M,LT}^+ = 1,00$
- $\beta_{M,LT}^- = 1,00$
- $k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 2,044 \leq 3 \\ \text{flexión -: } 1,000 \leq 3 \end{cases}$
- $\mu_y = (2 \cdot \beta_{M,y} - 5) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} + 0,29 = -5,519 \leq 0,80$
- $\beta_{M,y} = 1,00$
- $k_{y,LT}^+ = \min\left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^+ - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta}\right) = 0,996$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_{y,LT}^- = \min\left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT}^- - 0,25} \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta}\right) = 1,000$ con $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,00$
- $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = \begin{cases} \text{flexión +: } 1,140 \\ \text{flexión -: } 1,000 \end{cases}$ con $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1,00$
- $c_{m,LT}^+ = 1,00$
- $c_{m,LT}^- = 1,00$
- $c_{m,y} = 0,65$

6 CÁLCULO EN DOMINIO PLÁSTICO

Este modelo de cálculo se aplica al pórtico interior crítico del edificio industrial objeto de este proyecto. Por tanto, se parte de las barras y bases dimensionadas con el software Cype3D en el capítulo 1 de este documento. El objetivo es dotar a los pilares exteriores del pórtico la resistencia suficiente para evitar su colapso durante una exposición de 30 minutos al fuego normalizado ISO-834, incluso si se produce el colapso de la estructura de la cubierta y del pilar interior.

6.1 Clasificación de las vigas del pórtico

Es importante verificar que las vigas del pórtico se comportan como secciones clase 1, de este modo puede producirse la formación de las rótulas plásticas con capacidad de giro que provocan el mecanismo de colapso. Del software Cype3D se obtiene que, bajo la hipótesis de cargas permanentes sin mayorar, las jácenas trabajan a flexo-compresión con un axil máximo de 24,59 kN. Haciendo uso de la Tabla 2.2 se comprueba que son clase 1.

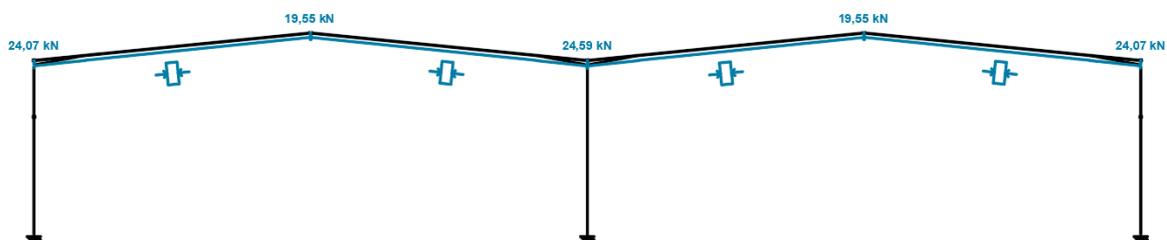


Figura 6.1 Diagrama de esfuerzo axil en las vigas del pórtico de la alineación F (hipótesis de peso propio).

6.2 Comprobación de los pilares exteriores

6.2.1 Esfuerzos

En la Figura 6.2 se muestran las leyes de los esfuerzos en los pilares exteriores del pórtico provocados en el momento crítico del colapso de la estructura de cubierta. En estos esfuerzos se ha aplicado una mayoración de un 20% como coeficiente de seguridad para evitar la aparición de rótulas plásticas en el pilar.

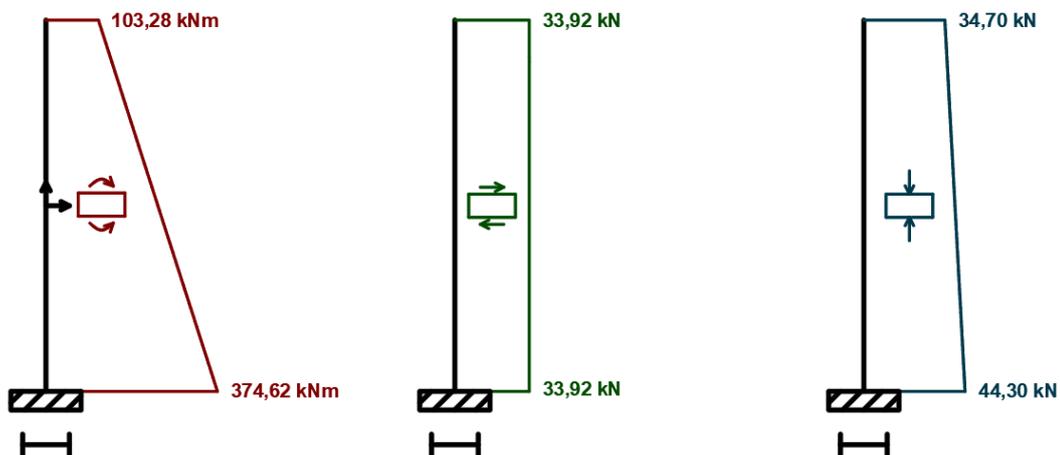


Figura 6.2 Leyes de esfuerzos mayoradas del pilar exterior en el momento crítico del colapso de la estructura de cubierta.

Esfuerzos en la base del pilar (no mayorados):

$$V_R = \frac{1}{2} \cdot w_f \cdot S \cdot L + W_D \quad V_R = N_{Ed} = 36,91 \text{ kN}$$

$$H_R = K \cdot \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot A - \frac{C \cdot M_P}{G} \right\} \leq \frac{M_C}{10 \cdot Y} \quad H_R = V_{Ed} = 28,26 \text{ kN}$$

$$OTM = K \cdot \left\{ w_f \cdot S \cdot G \cdot Y \cdot \left(A + \frac{B}{Y} \right) - M_P \cdot \left(\frac{C \cdot Y}{G} - 0,065 \right) \right\} \leq \frac{M_C}{10} \quad OTM = M_{Ed} = 312,18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

donde:

- L = 25m
- E = 8m
- S = 5m
- $\theta_0 = 10\%$
- $R_2 = 2\text{m}$
- $G = L - 2 \cdot R_2 \cdot \cos \theta_0 = 21,02\text{m}$
- $Y = E + R_2 \cdot \sin \theta_0 = 8,20\text{m}$
- A = 0,94
- $B = \frac{L^2 - G^2}{8 \cdot G} = 1,09$
- C = 0,97
- K = 1,00
- $w_f = 0,46 \text{ kN/m}^2$
- $W_D = 8,00 \text{ kN}$
- $M_P = 359,43 \text{ kNm}$ (IPE400)
- $M_C = 359,43 \text{ kNm}$ (IPE400)

El pilar trabaja bajo esfuerzos combinados de compresión, flexión en eje fuerte y cortante. Con un axil máximo de 44,40 kN se clasifica como clase 1, véase la Tabla 2.2.

6.2.2 Temperatura

Se aplica 1 cm de protección IGNIPLASTER a los pilares exteriores IPE400. Estos están expuestos al fuego por tres de sus caras y su evolución de la temperatura se muestra en la Figura 6.3. En esta se puede observar que, para un tiempo de resistencia de 30 minutos, el pilar alcanza una temperatura de 403,78°C.

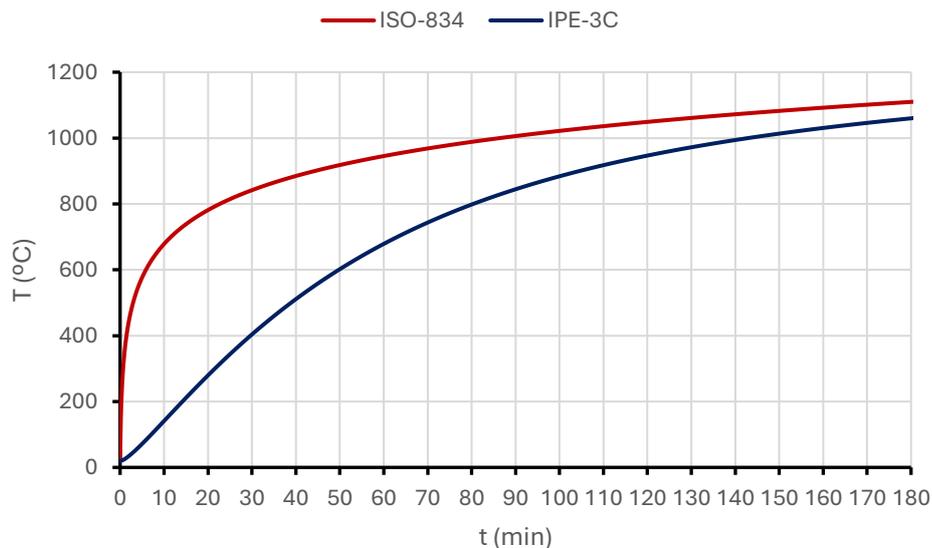


Figura 6.3 Evolución de la temperatura de un IPE400 expuesto en 3 caras y con un centímetro de IGNIPLASTER.

Para esta temperatura, los coeficientes de reducción de las propiedades del acero y el de incremento de la esbeltez reducida se recogen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Coeficientes de corrección para una temperatura de 403,78°C.

$k_{y,\theta}$	0,9917
$k_{E,\theta}$	0,6962
$k_{\lambda,\theta}$	1,1881

6.2.3 Resistencia a cortante

Las comprobaciones se han realizado en el dominio de la resistencia de acuerdo con lo dispuesto en el CTE DB-SE A, véase el quinto capítulo de este documento.

Sección:	
<ul style="list-style-type: none"> • $A_v = 42,73\text{cm}^2$ • Clase 1 	IPE400
Material:	
<ul style="list-style-type: none"> • $f_y = 275\text{N/mm}^2$ 	S275
Esfuerzos:	
<ul style="list-style-type: none"> • $V_{Ed} = 33,92\text{kN}$ 	$V_{Ed} = 33,92\text{kN}$
Se debe satisfacer:	
$V_{\theta,Rd} = \frac{A_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \geq V_{Ed}$	
donde:	$V_{\theta,Rd} = 672,81\text{kN} \checkmark$
<ul style="list-style-type: none"> • $k_{y,\theta}(403,78^\circ\text{C}) = 0,99$ • $\gamma_{M,fi} = 1,00$ • $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{\theta,Rd} \rightarrow$ No hay interacción V – M 	

6.2.4 Resistencia a flexo-compresión

Sección:	
<ul style="list-style-type: none"> • $A = 84,50\text{cm}^2$ • $I_y = 23130,00\text{cm}^4$ • $I_z = 1318,00\text{cm}^4$ • $I_T = 51,10\text{cm}^4$ • $i_y = 16,50\text{cm}$ • $i_z = 3,90\text{cm}$ • $i_{f,z} = 4,71\text{cm}$ • $W_{el,y} = 1156,00\text{cm}^3$ • $W_{pl,y} = 1307,00\text{cm}^3$ • Clase 1 	IPE 400
Material:	
<ul style="list-style-type: none"> • $f_y = 275\text{N/mm}^2$ • $E = 210000\text{N/mm}^2$ • $G = 81000\text{N/mm}^2$ 	S275
Esfuerzos:	
<ul style="list-style-type: none"> • $N_{c,Ed} = 44,40\text{kN}$ • $M_{y,Ed} = 366,86\text{kN} \cdot \text{m}$ 	$N_{c,Ed} = 44,40\text{kN}$ $M_{y,Ed} = 374,62\text{kN} \cdot \text{m}$
Se debe satisfacer:	
$\eta_R = \frac{N_{c,Ed}}{N_{\theta,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{\theta,Rd,y}} \leq 1$	$\eta_R = 1,07 \times$

$$\eta_y = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd,\theta}} \leq 1 \quad \eta_y = 2,95 \text{ X}$$

$$\eta_z = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd,\theta}} \leq 1 \quad \eta_z = 3,20 \text{ X}$$

donde:

$$N_{\theta,Rd} = \frac{A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

- $k_{y,\theta}(403,78^\circ\text{C}) = 0,9917$ $N_{\theta,Rd} = 2304,44\text{kN}$
- $\gamma_{M,fi} = 1,00$
- $f_{yd,\theta} = k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 272,71\text{N/mm}^2$

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

$$M_{\theta,Rd,y} = 356,44\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\chi_{y,\theta} = 1 / \left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2} \right) \leq 1$$

- $\beta_y = 1,37$
- $l_y = 8\text{m}$
- $\lambda_y = \frac{\beta_y \cdot l_y}{i_y} = 66,52$
- $\lambda_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86,81$ $\chi_{y,\theta} = 0,59$
- $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}} = 0,77$
- $k_{\lambda,\theta}(403,78^\circ\text{C}) = 1,1881$
- $\bar{\lambda}_{y,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_y = 0,91$ (CTE)
- $\alpha_{y,\theta} = 0,49$ (curva c - CTE)
- $\phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{y,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 1,09$

$$\chi_{z,\theta} = 1 / \left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2} \right) \leq 1$$

- $\beta_z = 0,70$
- $l_z = 5,44\text{m}$
- $\lambda_z = \frac{\beta_z \cdot l_z}{i_z} = 97,64$ $\chi_{z,\theta} = 0,37$
- $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{lim}} = 1,12$
- $\bar{\lambda}_{z,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_z = 1,34$ (CTE)
- $\alpha_{z,\theta} = 0,49$ (curva c - CTE)
- $\phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{z,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 1,67$

$$\chi_{LT,\theta} = 1 / \left(\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2} \right)$$

- $l_{LT} = 8\text{m}$
- $E = 210000\text{N/mm}^2$
- $b_{LT,v} = \pi \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 1063,34\text{kN} \cdot \text{m}^2$
- $b_{LT,w} = W_{el,y} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot i_{f,z}^2 = 5305,11\text{kN} \cdot \text{m}^2$
- $C_1 = 1,54$ ($\Psi = 0,276$)
- $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 204,62\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot i_{f,z}^2}{l_{LT}^2} = 127,61\text{kN} \cdot \text{m}$ $\chi_{LT,\theta} = 0,33$
- $M_{cr} = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 241,15\text{kN} \cdot \text{m}$
- $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 1,22$
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT} = 1,45$ (CTE)
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,49$ (curva c - CTE)
- $\phi_{LT,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right] = 1,86$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} \quad k_y = 1,02$$

- $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1$

$$k_{y,LT} = \min \left(1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) \quad k_{y,LT} = 0,99$$

- $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1$
- $c_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,71$
- $c_{m,y} = 0,9$

Se observa que el pandeo lateral del ala interior del pilar está afectando negativamente a la segunda y tercera comprobación. Para reducir su longitud efectiva de pandeo se estudia la instalación de tornapuntas en el ala comprimida, los cuales se disponen a ambos lados del alma para unir el ala con las correas de fachada.

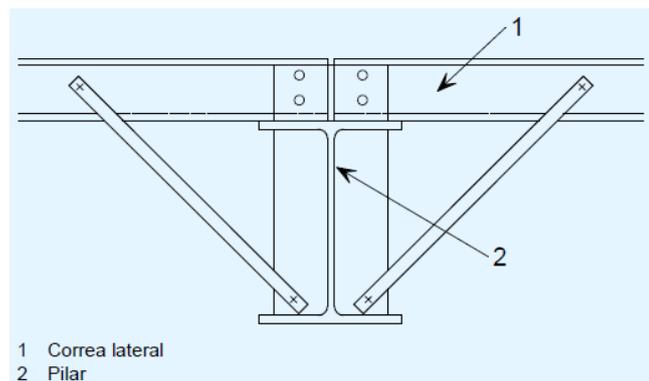


Figura 6.4. Disposición de tornapuntas en el pilar [19].

Dependiendo de la dirección en la que el ala interior tienda a girar, uno de los dos tornapuntas trabaja a tracción. Por ello, y debido a su buena resistencia a la tracción en relación con su peso, se ha decidido utilizar perfiles en L. Como alternativa se podría emplear un solo tornapuntas que trabajaría a tracción o compresión según el movimiento del ala interior. En este caso los perfiles más adecuados serían tubulares.

Para su dimensionamiento se sigue lo dispuesto en el artículo 5.4.1 del CTE DB SE-A ([3]): “cada elemento cuya función consista en proporcionar un apoyo lateral a un elemento o un cordón comprimido deberá dimensionarse para resistir una fuerza lateral equivalente al 1,5% del esfuerzo de compresión máximo que solicite el elemento o el cordón a estabilizar”.

$$N_{\text{tornapuntas}} = 0,015 \cdot \frac{M_{\text{max,pilar}}}{h} = 14,05\text{kN} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Hay que tener en cuenta que estos tornapuntas deben protegerse adecuadamente frente al fuego para que sean capaces de arriostrar durante un mínimo de 30 minutos. Por ejemplo, utilizando un perfil L40x40x5 protegido por un centímetro y medio de IGNIPLASTER, la temperatura alcanzada a los 30 minutos con el perfil expuesto en sus cuatro caras es de 481,69°C ($\epsilon_m = 0,5$ criterio CTE), véase la Figura 6.5. Para obtener esta temperatura se ha aproximado la masividad de la sección protegida a dos veces la inversa del espesor del perfil.

A esta temperatura el límite elástico del acero se ha reducido aproximadamente un 20% y el perfil dispuesto en un principio es capaz de arriostrar el ala interior. Sin embargo, a la hora de diseñar la unión atornillada se debería realizar diversas comprobaciones como: tracción de la chapa considerando el área neta, aplastamiento de la chapa, desgarro de la chapa y cortadura del tornillo.

$$N_{\theta,t,Rd} = A \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 379 \text{mm}^2 \cdot \frac{0,82 \cdot 275 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}{1} = 85,46 \text{kN} > 14,05 \text{kN} \quad \text{Ec. 6.2}$$

También es importante proteger adecuadamente las correas de fachada sobre las que se anclan los tornapuntas. Inicialmente estas correas se han resuelto con perfiles CF 160x2.5 con una masividad de 806,32 m⁻¹ (P = 0,612 m; A = 7,59 cm²). Si se protegen con el mismo espesor que los tornapuntas, la temperatura alcanzada a los 30 minutos es de 577,56°C y no son capaces de soportar el axil de 14,05kN. Una opción es utilizar secciones IPE160 protegidas con un centímetro de IGNIPLASTER únicamente en aquellas correas donde se dispongan tornapuntas.

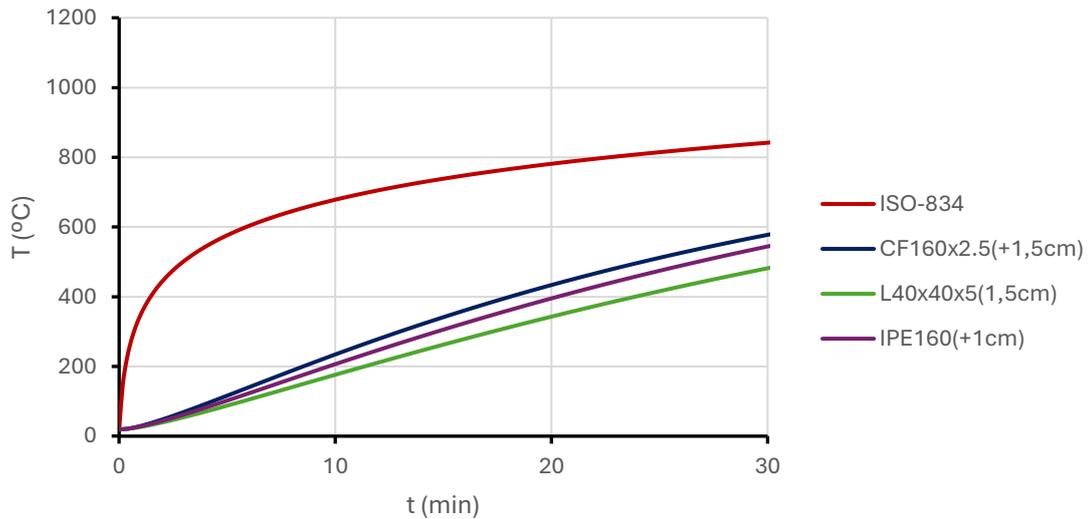


Figura 6.5. Evolución de la temperatura de los tornapuntas y las correas.

En la Tabla 6.2 se recoge los resultados de la comprobación considerando las distintas disposiciones de tornapuntas de la Figura 6.6.

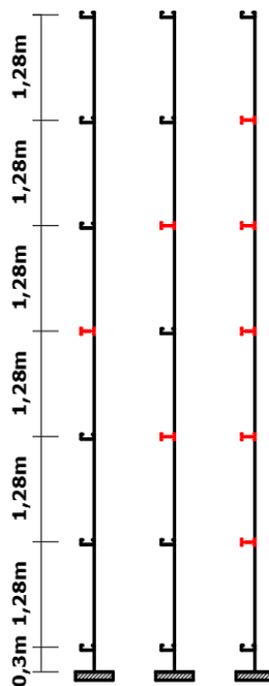


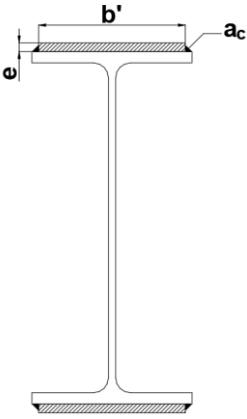
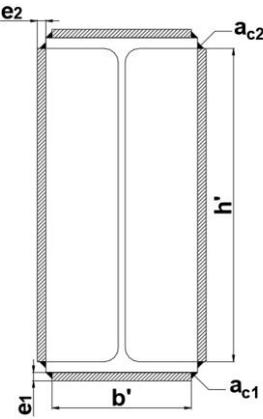
Figura 6.6. Alternativas de disposición de tornapuntas.

Tabla 6.2. Resultados de la comprobación de flexo-compresión con tornapuntas.

Nº de parejas de tornapuntas	Longitud efectiva de pandeo (m)	η_R	η_Y	η_z
1	4,15	1,07 X	1,66 X	1,80 X
2	2,85	1,07 X	1,33 X	1,44 X
5	1,60	1,07 X	1,10 X	1,20 X

Al no cumplir la primera de las comprobaciones, donde el pandeo lateral no influye, es necesario aplicar refuerzos al pilar o subir de sección. En la Tabla 6.3 se recogen las propiedades seccionales de las secciones reforzadas consideradas.

Tabla 6.3. Propiedades seccionales de las secciones reforzadas.

Refuerzo simple	Refuerzo doble
	
$b' = \text{ENTERO}(b - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_c)$	$b' = \text{ENTERO}(b - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_{c1})$ $h' = h - 2 \cdot t_f$
$A = (A)_{\text{IPE}} + 2 \cdot b' \cdot e$	$A = (A)_{\text{IPE}} + 2 \cdot b' \cdot e_1 + 2 \cdot h' \cdot e_2$
$I_y \approx (I_y)_{\text{IPE}} + 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot b' \cdot e^3 + b' \cdot e \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{e}{2} \right)^2 \right]$	$I_y \approx (I_y)_{\text{IPE}} + 2 \cdot \left[\frac{b' \cdot e_1^3}{12} + b' \cdot e_1 \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{e_1}{2} \right)^2 \right] + 2 \cdot \frac{e_2 \cdot h'^3}{12}$
$I_z \approx (I_z)_{\text{IPE}} + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot e \cdot b'^3$	$I_z \approx (I_z)_{\text{IPE}} + \frac{2}{12} \cdot e_1 \cdot b'^3 + 2 \cdot \left[\frac{h' \cdot e_2^3}{12} + h' \cdot e_2 \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{e_2}{2} \right)^2 \right]$
$W_{el,y} \approx \frac{I_y}{(h + 2 \cdot e)/2}$	$W_{el,y} \approx \frac{I_y}{(h + 2 \cdot e_1)/2}$
$W_{el,z} \approx \frac{I_z}{b/2}$	$W_{el,z} \approx \frac{I_y}{(b + 2 \cdot e_2)/2}$
$W_{pl,y} \approx (W_{pl,y})_{\text{IPE}} + 2 \cdot b' \cdot e \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{e}{2} \right]$	$W_{pl,y} \approx (W_{pl,y})_{\text{IPE}} + 2 \cdot b' \cdot e_1 \cdot \left[\frac{h}{2} + \frac{e_1}{2} \right] + \frac{h'^2 \cdot e_2}{2}$
$W_{pl,z} \approx (W_{pl,z})_{\text{IPE}} + \frac{b'^2 \cdot e}{2}$	$W_{pl,z} \approx (W_{pl,z})_{\text{IPE}} + \frac{b'^2 \cdot e_1}{2} + 2 \cdot h' \cdot e_2 \cdot \left[\frac{b}{2} + \frac{e_2}{2} \right]$
$i_{f,z} \approx \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2} \right) \cdot t_w^3 + \frac{1}{12} \cdot e \cdot b'^3}{b \cdot t_f + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2} \right) \cdot t_w + b' \cdot e}}$	$i_{f,z} \approx \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2} \right) \cdot t_w^3 + \frac{1}{12} \cdot e_1 \cdot b'^3 + 2 \cdot \left[\frac{h'/6 \cdot e_2^3}{12} + \frac{h'}{6} \cdot e_2 \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{e_2}{2} \right)^2 \right]}{b \cdot t_f + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h-2 \cdot t_f}{2} \right) \cdot t_w + b' \cdot e_1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{h' \cdot e_2}{2}}$
$\left[\frac{A_m}{V} \right]_{3C} \approx \frac{2 \cdot h + b + 2 \cdot (b - t_w) + 4 \cdot e}{A}$	$\left[\frac{A_m}{V} \right]_{3C} \approx \frac{2 \cdot h + b + 4 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2}{A}$

Refuerzo simple	Refuerzo doble
EAE 59.3.2 $a_c \begin{cases} \leq 0,7 \cdot e_{\min} = 0,7 \cdot \min(t_f; e) \\ \geq 3\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 10\text{mm} \\ \geq 4,5\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 20\text{mm} \\ \geq 5,6\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \geq 20\text{mm} \end{cases}$	EAE 59.3.2 $a_{c1} \begin{cases} \leq 0,7 \cdot e_{\min} = 0,7 \cdot \min(t_f; e_1) \\ \geq 3\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 10\text{mm} \\ \geq 4,5\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 20\text{mm} \\ \geq 5,6\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \geq 20\text{mm} \end{cases} \quad a_{c2} \begin{cases} \leq 0,7 \cdot e_{\min} = 0,7 \cdot \min(t_f; e_2) \\ \geq 3\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 10\text{mm} \\ \geq 4,5\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \leq 20\text{mm} \\ \geq 5,6\text{mm} \rightarrow \text{si } e_{\min} \geq 20\text{mm} \end{cases}$

Para el cálculo del módulo de torsión uniforme de las secciones reforzadas se recurre a la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Módulo de torsión uniforme para secciones abiertas formadas por varios rectángulos [16].

Módulo de torsión uniforme			
$I_T = \alpha \cdot \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot b_i \cdot e_i^3$			
$m_i = b_i/e_i$	β_i	$m_i = b_i/e_i$	β_i
1	0,141	6	0,299
1,5	0,196	7	0,303
2	0,229	8	0,307
2,5	0,249	9	0,310
3	0,263	10	0,313
4	0,281	>10	0,333
5	0,291		
b _i : lado mayor del rectángulo i e _i : lado menor del rectángulo i β _i : coeficiente del rectángulo i α: coeficiente en función de la forma de la sección, toma un valor de 1,3 para secciones abiertas en doble T			

En la Tabla 6.5 se recogen distintas alternativas de diseño. Es importante destacar que el espesor mínimo del refuerzo debe ser de 5 mm para cumplir con las comprobaciones de garganta mínima y máxima de la soldadura.

Tabla 6.5. Alternativas de diseño para el cumplimiento de la comprobación de flexo-compresión.

IPE	Nº de arriostramientos	Refuerzo simple b' x e (mm)	Refuerzo doble b' x e ₁ (mm) h' x e ₂ (mm)	η _R	η _y	η _z	L _{refuerzo} (m)
400 (+1 cm IGNIPLASTER)	1	-	-	1,07 X	1,66 X	1,80 X	-
	1	165x14	-	0,61 ✓	0,89 ✓	0,98 ✓	5,00
	1	-	171X6 373X6	0,65 ✓	0,85 ✓	0,92 ✓	5,00
	2	-	-	1,07 X	1,33 X	1,44 X	-
	2	171x8	-	0,74 ✓	0,90 ✓	0,99 ✓	3,50
	2	-	171X5 373X5	0,69 ✓	0,79 ✓	0,86 ✓	3,50
	5	-	-	1,07 X	1,10 X	1,20 X	-
	5	171x5	-	0,84 ✓	0,86 ✓	0,94 ✓	2,00
400 (+1,5 cm IGNIPLASTER)	1	-	-	1,06 X	1,54 X	1,68 X	-
	1	165x13	-	0,63 ✓	0,88 ✓	0,97 ✓	4,50
	2	-	-	1,06 X	1,26 X	1,38 X	-
	2	171x7	-	0,77 ✓	0,91 ✓	0,99 ✓	3,25

IPE	Nº de arriostramientos	Refuerzo simple b' x e (mm)	Refuerzo doble b' x e ₁ (mm) h' x e ₂ (mm)	η _R	η _y	η _z	L _{refuerzo} (m)
450 (+1 cm IGNIPLASTER)	1	-	-	0,82 ✓	1,22 ✗	1,34 ✗	-
	1	181x7	-	0,61 ✓	0,88 ✓	0,97 ✓	3,00
	2	-	-	0,82 ✓	0,98 ✓	1,08 ✗	-
	2	181x5	-	0,66 ✓	0,78 ✓	0,86 ✓	1,00
450 (+2 cm IGNIPLASTER)	2	-	-	0,82 ✓	0,93 ✓	1,03 ✗	-

La longitud del refuerzo corresponde a la distancia desde la base del pilar hasta la posición donde el perfil base sin reforzar y protegido es capaz de resistir los esfuerzos que actúan en ese punto. Esta se ha modulado con una longitud de 25 centímetros.

La solución finalmente adoptada es aumentar la sección de los pilares exteriores a un IPE450 reforzado con chapas de sección 181x5 mm² soldadas a sus alas, con una longitud de 1 metro desde la base. El pilar se protege con un espesor de 1 cm de proyección de vermiculita IGNIPLASTER y se arriostra por dos pares de tornapuntas.

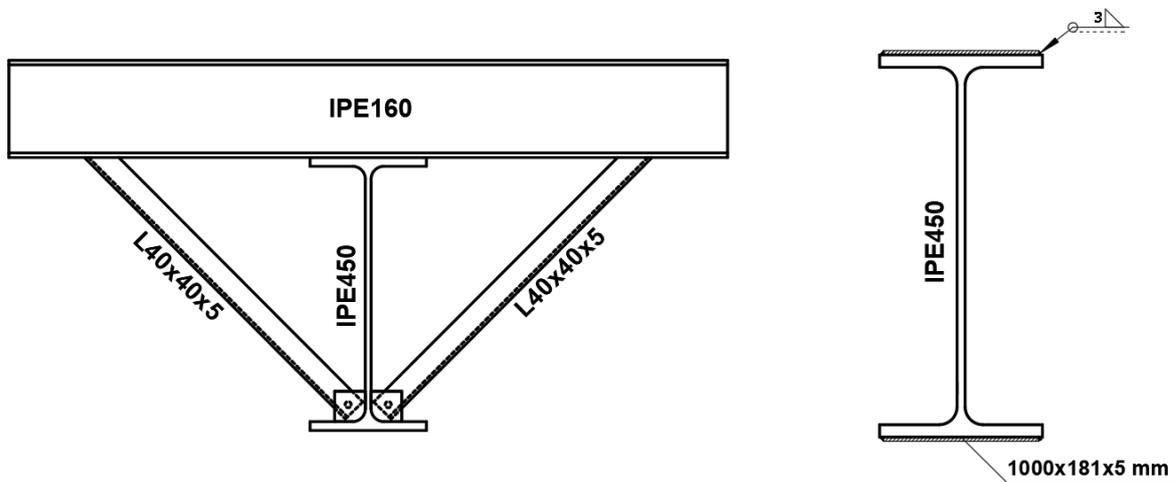


Figura 6.7. Solución adoptada para el método de cálculo en dominio plástico.

La comprobación de esta solución se muestra a continuación:

Sección:

- A = 116,90cm²
- I_y = 43108,26cm⁴
- I_z = 2170,15cm⁴
- I_T = 68,28cm⁴
- i_y = 19,20cm
- i_z = 4,31cm
- i_{f,z} = 4,99cm
- W_{el,y} = 1874,27cm³
- W_{pl,y} = 2112,78cm³
- b' = 181mm
- e = 5mm
- a_c = 3mm
- Clase 1

IPE 450 reforzado

Material:

- f_y = 275N/mm²
- E = 210000N/mm²
- G = 81000N/mm²

S275

Esfuerzos:

- $N_{c,Ed} = 44,40\text{kN}$
- $M_{y,Ed} = 366,86\text{kN} \cdot \text{m}$

$$\begin{aligned} N_{c,Ed} &= 44,40\text{kN} \\ M_{y,Ed} &= 374,62\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Se debe satisfacer:

$$\begin{aligned} \eta_R &= \frac{N_{c,Ed}}{N_{\theta,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{\theta,Rd,y}} \leq 1 & \eta_R &= 0,66 \checkmark \\ \eta_y &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd,\theta}} \leq 1 & \eta_y &= 0,78 \checkmark \\ \eta_z &= \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd,\theta}} \leq 1 & \eta_z &= 0,86 \checkmark \end{aligned}$$

donde:

$$N_{\theta,Rd} = \frac{A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

- $k_{y,\theta}(350,10^\circ\text{C}) = 1,00$
- $\gamma_{M,fi} = 1,00$
- $f_{yd,\theta} = k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = 275\text{N/mm}^2$

$$N_{\theta,Rd} = 3214,75\text{kN}$$

$$M_{\theta,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

$$M_{\theta,Rd,y} = 581,01\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\chi_{y,\theta} = 1 / \left(\phi_{y,\theta} + \sqrt{\phi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2} \right) \leq 1$$

- $\beta_y = 1,37$
- $l_y = 8\text{m}$
- $\lambda_y = \frac{\beta_y \cdot l_y}{i_y} = 57,16$
- $\lambda_{lim} = 93,91 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86,81$
- $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}} = 0,66$
- $k_{\lambda,\theta}(359,10^\circ\text{C}) = 1,1573$
- $\bar{\lambda}_{y,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_y = 0,76$
- $\alpha_{y,\theta} = 0,49$ (curva c)
- $\phi_{y,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{y,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2 \right] = 0,93$

$$\chi_{y,\theta} = 0,69$$

$$\chi_{z,\theta} = 1 / \left(\phi_{z,\theta} + \sqrt{\phi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2} \right) \leq 1$$

- $\beta_z = 0,70$
- $l_z = 5,44\text{m}$
- $\lambda_z = \frac{\beta_z \cdot l_z}{i_z} = 88,38$
- $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{lim}} = 1,02$
- $\bar{\lambda}_{z,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_z = 1,18$
- $\alpha_{z,\theta} = 0,49$ (curva c)
- $\phi_{z,\theta} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{z,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{z,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2 \right] = 1,43$

$$\chi_{z,\theta} = 0,44$$

$$\chi_{LT,\theta} = 1 / \left(\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2} \right)$$

- $l_{LT} = 2,85\text{m}$
- $E = 210000\text{N/mm}^2$
- $b_{LT,v} = \pi \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 1577,27\text{kN} \cdot \text{m}^2$
- $b_{LT,w} = W_{el,y} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot i_{f,z}^2 = 9689,29\text{kN} \cdot \text{m}^2$
- $C_1 = 1,54$ ($\Psi = 0,276$)
- $M_{LT,v} = C_1 \cdot \frac{\pi}{l_{LT}} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_z} = 851,97\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{LT,w} = C_1 \cdot W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \theta}{l_{LT}^2} \cdot i_{f,z}^2 = 1836,40\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{cr} = \sqrt{M_{LT,v}^2 + M_{LT,w}^2} = 2024,40\text{kN} \cdot \text{m}$

$$\chi_{LT,\theta} = 0,77$$

- $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,54$
- $\bar{\lambda}_{LT,\theta} = k_{\lambda,\theta} \cdot \bar{\lambda}_{LT} = 0,62$
- $\alpha_{LT,\theta} = 0,49$ (curva c)
- $\Phi_{LT,\theta} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT,\theta} \cdot (\bar{\lambda}_{LT,\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2] = 0,80$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_{y,\theta} - 0,2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{y,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}} \quad k_y = 1,011$$

- $\bar{\lambda}_{y,\theta} \leq 1$

$$k_{y,LT} = \min \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta}}{c_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_{z,\theta} \cdot A \cdot f_{yd,\theta}}; 0,6 + \bar{\lambda}_{z,\theta} \right) \quad k_{y,LT} = 0,994$$

- $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1$
- $c_{m,LT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,71$
- $c_{m,y} = 0,9$

6.3 Comprobación de la placa de anclaje

Se debe verificar que las placas de anclaje de los pilares exteriores son capaces de soportar los esfuerzos mayorados en su base con el fin de evitar su fallo o la aparición de rótulas plásticas, véase Figura 6.2. En este apartado se detallan las comprobaciones necesarias para realizar esta verificación.

6.3.1 Modelo mecánico

En naves industriales las placas de anclaje de los pilares de los pórticos interiores generalmente están sometidas a un momento flector significativamente mayor al esfuerzo axil. En estos casos la placa de anclaje trabaja en flexión compuesta. Esto significa que los pernos de anclaje están sometidos a tracción, evitando así el despegue de la placa, mientras que la base se encuentra parcialmente sometida a compresión. La condición que hay que verificar para comprobar que el modelo mecánico considerado es el correcto se recoge en la ecuación 6.3.

$$\frac{|N_{Ed}|}{A_p} - \frac{|M_{Ed}|}{W_p} < 0 \quad \text{Ec. 6.3}$$

En esta expresión el área y módulo resistente corresponden a la de la superficie eficaz sobre la que se distribuye los esfuerzos del pilar.

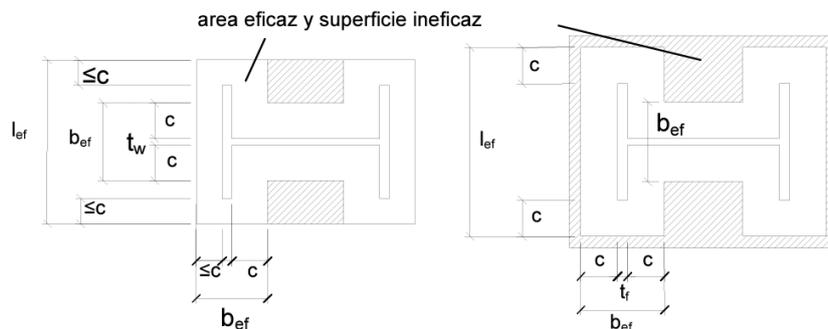


Figura 6.8 Superficie eficaz de una placa de anclaje [13].

Como se indica en Figura 6.8, la superficie eficaz es la suma de la superficie de la sección del pilar que se suelda a la placa base más la que aporta la anchura suplementaria de apoyo alrededor del su perímetro, siempre y cuando ésta no exceda las dimensiones de la placa.

$$c = e \cdot \left(\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 6.4}$$

donde:

- e : Espesor de la placa base.
- f_{yd} : Resistencia de cálculo de la placa base. Se utiliza acero S275, cuyo límite elástico varía según el espesor del material. Para espesores inferiores a 16 mm el límite elástico es de 275 N/mm², para espesores de hasta 40 mm el valor se reduce a 265 N/mm², y para espesores superiores el límite elástico es de 255 N/mm². Para una situación extraordinaria de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad al acero laminado de 1,0.
- f_{jd} : Resistencia de cálculo del asiento de la placa. Al apoyarse directamente sobre la cimentación su valor corresponde a la resistencia de cálculo del hormigón utilizado. Se hace uso de hormigón HA-25 que tiene una resistencia a compresión de 25 N/mm². Para una situación extraordinaria de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad al hormigón de 1,3.

La superficie eficaz cuando se dispone una placa de anclaje con cartelas de rigidez se genera alrededor del perímetro de las cartelas, como se muestra en la Figura 6.9. Por lo tanto, para una placa de dimensiones $a \times b$ es importante considerar la posible aparición de solapes o desbordamientos.

$$b' = 2 \cdot e_c + [2 \cdot c \nlessgtr b_p] + [2 \cdot c \nlessgtr (b - b_p - 2 \cdot e_c)] \quad \text{Ec. 6.5}$$

donde:

- e_c : Espesor de la cartela.
- b_p : Ancho de la sección del pilar.

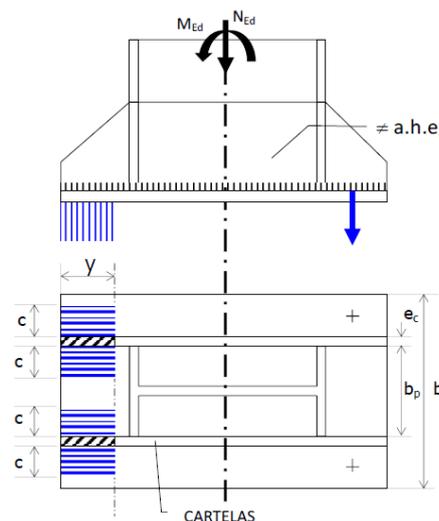


Figura 6.9. Superficie eficaz de una placa de anclaje con cartela [13].

Cabe destacar que, al estar la placa de anclaje embebida en la solera, sus materiales no ven aumentada su temperatura ni reducidas sus propiedades mecánicas.

6.3.2 ELU de Agotamiento del apoyo

De manera simplificada se considera que el agotamiento del apoyo ocurre cuando el hormigón alcanza su deformación última ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 3.5\%$). De este modo no se contempla el agotamiento por deformación plástica excesiva del acero ($\epsilon_s > \epsilon_{su} = 10\%$). Además, se asume una ley de

deformaciones plana y se trabaja con el diagrama rectangular de tensiones para la base de hormigón.

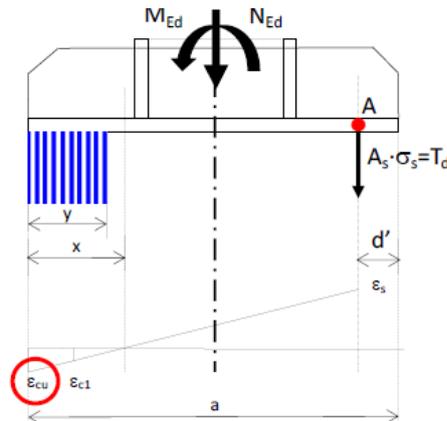


Figura 6.10 Diagrama de esfuerzos y deformaciones en la placa de anclaje [13].

Las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento de los materiales teniendo en cuenta estas simplificaciones se recogen en las siguientes expresiones.

$$\frac{\varepsilon_s}{d - x} = \frac{\varepsilon_c}{x} \quad \text{Ec. 6.6}$$

$$\sigma_c = f_{jd} \quad \text{Ec. 6.7}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \geq f_{ybd} \quad \text{Ec. 6.8}$$

$$y = 0,8 \cdot x \quad \text{Ec. 6.9}$$

donde:

- d: Distancia entre la fibra más comprimida y el centro de gravedad de los pernos traccionados.
- x: Distancia entre la fibra más comprimida y el eje neutro de la sección.
- y: Ancho del bloque de comprimido.
- f_{ybd} : Resistencia de cálculo del acero del perno. Se hace uso de acero B500S que tiene un límite elástico de 500 N/mm². Para una situación extraordinaria de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad al acero de 1,0.

Considerando equilibrio de fuerzas verticales y tomando momentos respecto a la armadura traccionada se obtienen las dos siguientes ecuaciones de equilibrio.

$$T_d + N_{Ed} = b' \cdot y \cdot f_{jd} \quad \text{Ec. 6.10}$$

$$M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - d'\right) = b' \cdot y \cdot f_{jd} \cdot \left(a - d' - \frac{y}{2}\right) \quad \text{Ec. 6.11}$$

Se considera que no se alcanza el estado límite si el ancho del bloque comprimido no es superior a una cuarta parte de la dimensión "a" de la placa.

$$y \leq \frac{a}{4} \quad \text{Ec. 6.12}$$

6.3.3 ELU de Agotamiento de la placa a flexión

La comprobación de agotamiento de una placa de anclaje que dispone de cartelas se recoge en la ecuación 6.13.

$$\frac{M}{W_{\min} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \text{Ec. 6.13}$$

donde:

- f_{yd} : Resistencia de cálculo de la placa base y las cartelas de rigidez. Se emplea acero S275 para ambos componentes. No obstante, debido a que el límite elástico varía con el espesor del material, se adopta del lado de la seguridad el valor mínimo del límite elástico de ambos componentes.
- W_{\min} : Módulo resistente mínimo de la sección transversal de estudio compuesta por la placa base y las cartelas de rigidización, véase Figura 6.11.

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\min} = \min(W_i; W_s) = \left(\frac{I_G}{y_G}; \frac{I_G}{h_c + e - y_G} \right) \\ y_G = \frac{2 \cdot A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{2 \cdot A_1 + A_2} \\ I_G = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot e_c \cdot h_c^3 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot e^3 + 2 \cdot A_1 \cdot \left(e + \frac{h_c}{2} - y_G \right)^2 + A_2 \cdot \left(y_G - \frac{e}{2} \right)^2 \end{array} \right. \quad \text{Ec. 6.14}$$

- h_c : Altura de la cartela.

Es necesario realizar la comprobación en las secciones A-A' y B-B' que se muestran en la Figura 6.11.

$$\begin{aligned} M &= \max(M_{A,Ed}; M_{B,Ed}) \\ M_{A,Ed} &= \begin{cases} f_{jd} \cdot b' \cdot y \cdot \left(v - \frac{y}{2} \right) \rightarrow y \leq v \\ f_{jd} \cdot b' \cdot \frac{v^2}{2} \rightarrow y > v \end{cases} \\ M_{B,Ed} &= T_d \cdot (v - d') \end{aligned} \quad \text{Ec. 6.15}$$

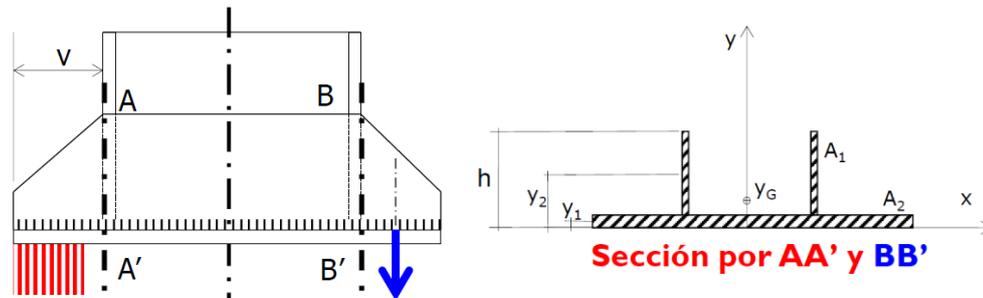


Figura 6.11 Secciones de comprobación del E.L.U de agotamiento de la placa flexión [13].

6.3.4 ELU de Agotamiento de los pernos

Los pernos trabajan bajo esfuerzos de tracción y cortante, por lo que es necesario verificar las siguientes tres condiciones.

$$T_d \leq F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot n_{\phi t} \cdot A_{r,\phi}}{\gamma_{M2}} \quad \text{Ec. 6.16}$$

$$V_d = V_{Ed} \leq F_{v,Rd} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}) \cdot f_{ub} \cdot n_{\phi c} \cdot A_{r,\phi}}{\gamma_{M2}} + C_{f,d} \cdot N_{Ed} \quad \text{Ec. 6.17}$$

$$\frac{V_d}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{Ec. 6.18}$$

donde:

- f_{yb} : Límite elástico del acero del perno.
- f_{ub} : Resistencia última del acero del perno. Se hace uso de acero B500S que tiene una resistencia última de 550 N/mm².
- $n_{\phi t}$: Número de pernos traccionados.
- $n_{\phi c}$: Número de pernos cortados.
- $A_{r,\phi}$: Área resistente del perno. En pernos soldados corresponde a el área nominal y en pernos roscados a un 80% de esta.
- γ_{M2} : Coeficiente de seguridad para la resistencia última del acero. En situación extraordinaria toma el valor de 1,0.
- $C_{f,d}$: Coeficiente de rozamiento entre la placa base y el hormigón de valor 0,3.

6.3.5 ELU de Anclaje de los pernos en el hormigón

La longitud que los pernos deben tener embebida en el hormigón, conocida como longitud de anclaje, se calcula con la ecuación 6.19.

$$l_a = \max \left\{ \begin{array}{l} 10 \cdot \phi \\ 150 \text{ mm} \\ l_b/3 \\ l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} \end{array} \right. \quad \text{Ec. 6.19}$$

con:

$$l_b = \max \left(m \cdot \phi^2; \frac{f_{yb}}{20} \cdot \phi \right) \quad \text{Ec. 6.20}$$

Donde:

- ϕ : Diámetro del perno.
- m : Coeficiente que toma un valor de 1,5 para barras de acero B500S embebidas en hormigón HA-25.
- β : Coeficiente que varía según el tipo de anclaje utilizado. Para pernos traccionados en prolongación recta, toma un valor de 1,0. Si termina en patilla, toma un valor de 0,7.
- A_s : Área necesaria de pernos para soportar el esfuerzo de tracción T_d .
- $A_{s,real}$: Área total de los pernos traccionados dispuestos.

6.3.6 Resultados

Inicialmente se parte de la placa de anclaje dimensionada con el software Cype 3D, véase el capítulo 1 de este documento.

Dimensiones:

- $a = 650\text{mm}$
 - $b = 450\text{mm}$
 - $e = 22\text{mm}$
 - $d' = 50 \text{ mm}$
 - $h_c = 150\text{mm}$
 - $e_c = 7\text{mm}$
 - $6\phi 20 - 550\text{mm(PN)}$
 - $h_p = 450\text{mm}$
 - $b_p = 190\text{mm}$
 - $t_{wp} = 9,4\text{mm}$
 - $t_{fp} = 14,6\text{mm}$
-

Material:

- $\gamma_{M,0} = \gamma_{M,fi} = 1,0$
- $\gamma_{M,2} = \gamma_{M,fi} = 1,0$
- $\gamma_{s,fi} = 1,0$
- $\gamma_{c,fi} = 1,3$
- $f_{yd} = 265\text{N/mm}^2$
- $f_{ybd} = 500\text{N/mm}^2$
- $f_{ub} = 550\text{N/mm}^2$
- $f_{jd} = f_{cd} = 19,23\text{N/mm}^2$
- $E_s = 200000\text{N/mm}^2$

Esfuerzos:

- $N_{Ed} = 44,30\text{kN}$
- $V_{Ed} = 33,92\text{kN}$
- $M_{Ed} = 374,62\text{kN} \cdot \text{m}$

Modelo mecánico:

- $c = e \cdot \left(\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}\right)^{\frac{1}{2}} = 47,15\text{mm}$
- $\frac{a-h_p}{2} \geq c \rightarrow$ no hay desbordamiento
- $\frac{b-b_p-2 \cdot e_c}{2} \geq c \rightarrow$ no hay desbordamiento
- $b_p \geq 2 \cdot c \rightarrow$ no hay solapamiento
- $h_p - 2 \cdot t_{fp} \geq 2 \cdot c \rightarrow$ no hay solapamiento
- $b' = 2 \cdot e_c + [2 \cdot c \nlessdot b_p] + [2 \cdot c \nlessdot (b - b_p - 2 \cdot e_c)] = 202,60\text{mm}$
- $A_p = 95779,68\text{mm}^2$
- $W_p = 12113271,02\text{mm}^3$
- $\frac{N_{Ed}}{A_p} - \frac{M_{Ed}}{W_p} < 0 \rightarrow$ Flexión compuesta

E.L.U Agotamiento del apoyo:

$$y \leq a/4$$

- $d = a - d' = 600\text{mm}$
- $y = 198,19\text{mm}$
- $x = \frac{y}{0,8} = 247,74\text{mm}$
- $\epsilon_c = 0,0035$
- $\epsilon_s = \frac{\epsilon_c \cdot (d-x)}{x} = 0,0050$
- $\sigma_c = 19,23\text{N/mm}^2$
- $\sigma_s = \min(\epsilon_s \cdot E_s; f_{ybd}) = 500,00\text{N/mm}^2$
- $T_d = b' \cdot y \cdot f_{jd} - N_{Ed} = 727,90\text{kN}$

$$y = 198,19\text{mm} > a/4 \text{ X}$$

E.L.U Agotamiento de la placa a flexión:

$$\frac{M}{W_{\min} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

- $v = (a - h_p)/2 = 100\text{mm}$
- $M_{A,Ed} = \begin{cases} f_{jd} \cdot b' \cdot y \cdot \left(v - \frac{y}{2}\right) \rightarrow y \leq v \\ f_{jd} \cdot b' \cdot \frac{v^2}{2} \rightarrow y > v \end{cases} = 19,48\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{B,Ed} = T_d \cdot (v - d') = 36,40\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M = \max(M_{A,Ed}; M_{B,Ed}) = 36,40\text{kN} \cdot \text{m}$
- $y_G = \frac{2 \cdot A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{2 \cdot A_1 + A_2} = 26,05\text{mm}$
- $I_G = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot e_c \cdot h_c^3 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot e^3 + 2 \cdot A_1 \cdot \left(e + \frac{h_c}{2} - y_G\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_G - \frac{e}{2}\right)^2 = 17150370,00\text{mm}^4$
- $W_{\min} = \min(W_i; W_s) = \left(\frac{I_G}{y_G}; \frac{I_G}{h_c + e - y_G}\right) = 117508,52\text{mm}^3$

$$\frac{M}{W_{\min} \cdot f_{yd}} = 1,17 \text{ X}$$

E.L.U Agotamiento de los pernos:

$$T_d \leq F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot n_{\phi t} \cdot A_{r,\phi}}{\gamma_{M2}} \quad \frac{T_d}{F_{t,Rd}} = 1,95 \text{ X}$$

$$V_d \leq F_{v,Rd} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}) \cdot f_{ub} \cdot n_{\phi c} \cdot A_{r,\phi}}{\gamma_{M2}} + C_{f,d} \cdot N_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,13 \text{ ✓}$$

- $n_{\phi t} = 3$
- $n_{\phi c} = 6$
- $A_{r,\phi} = 251,33\text{mm}^2$
- $C_{f,d} = 0,3$
- $F_{t,Rd} = 373,22\text{kN}$
- $F_{v,Rd} = 267,10\text{kN}$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 1,52 \text{ X}$$

E.L.U Anclaje de los pernos:

$$l > l_a$$

- $m = 1,5$
- $\beta = 0,7$
- $A_{s,real} = 942,48\text{mm}^2$
- $A_s = \frac{T_d}{\sigma_s} = 1455,81\text{mm}^2$
- $l_b = \max\left(m \cdot \phi^2; \frac{f_{yb}}{20} \cdot \phi\right) = 600\text{mm}$
- $l_a = \max\left\{\begin{array}{l} \frac{10 \cdot \phi}{150} \\ l_b/3 \\ l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} \end{array}\right. = 648,76\text{mm}$

$$l = 550\text{mm} \text{ X}$$

Se decide aumentar las dimensiones de la placa base, el espesor de las cartelas y el diámetro de los pernos. El detalle de la placa de anclaje finalmente dispuesto se muestra en la Figura 6.12.

Dimensiones:

- $a = 750\text{mm}$
- $b = 500\text{mm}$
- $e = 22\text{mm}$
- $d' = 50\text{mm}$
- $h_c = 150\text{mm}$
- $e_c = 14\text{mm}$
- $6\phi 25 - 550\text{mm(PN)}$
- $h_p = 450\text{mm}$
- $b_p = 190\text{mm}$
- $t_{wp} = 9,4\text{mm}$
- $t_{fp} = 14,6\text{mm}$

Material:

- $\gamma_{M,0} = \gamma_{M,fi} = 1,0$
- $\gamma_{M,2} = \gamma_{M,fi} = 1,0$
- $\gamma_{s,fi} = 1,0$
- $\gamma_{c,fi} = 1,3$
- $f_{yd} = 265\text{N/mm}^2$
- $f_{ybd} = 500\text{N/mm}^2$
- $f_{ub} = 550\text{N/mm}^2$
- $f_{jd} = f_{cd} = 19,23\text{N/mm}^2$
- $E_s = 200000\text{N/mm}^2$

Esfuerzos:

- $N_{Ed} = 44,30\text{kN}$
- $V_{Ed} = 33,92\text{kN}$
- $M_{Ed} = 374,62\text{kN} \cdot \text{m}$

Modelo mecánico:

- $c = e \cdot \left(\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}\right)^{\frac{1}{2}} = 47,15\text{mm}$
- $\frac{a-h_p}{2} \geq c \rightarrow$ no hay desbordamiento
- $\frac{b-b_p-2 \cdot e_c}{2} \geq c \rightarrow$ no hay desbordamiento
- $b_p \geq 2 \cdot c \rightarrow$ no hay solapamiento
- $h_p - 2 \cdot t_{fp} \geq 2 \cdot c \rightarrow$ no hay solapamiento
- $b' = 2 \cdot e_c + [2 \cdot c \nlessgtr b_p] + [2 \cdot c \nlessgtr (b - b_p - 2 \cdot e_c)] = 216,60\text{mm}$
- $A_p = 95779,68\text{mm}^2$
- $W_p = 12113271,02\text{mm}^3$
- $\frac{N_{Ed}}{A_p} - \frac{M_{Ed}}{W_p} < 0 \rightarrow$ Flexión compuesta

E.L.U Agotamiento del apoyo:

$$y \leq a/4$$

- $d = a - d' = 700\text{mm}$
- $y = 149,35\text{mm}$
- $x = \frac{y}{0,8} = 186,68\text{mm}$
- $\varepsilon_c = 0,0035$
- $\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c \cdot (d-x)}{x} = 0,0096$
- $\sigma_c = 19,23\text{N/mm}^2$
- $\sigma_s = \min(\varepsilon_s \cdot E_s; f_{ybd}) = 500,00\text{N/mm}^2$
- $T_d = b' \cdot y \cdot f_{jd} - N_{Ed} = 577,80\text{kN}$

$$y = 149,35\text{mm} > a/4 \checkmark$$

E.L.U Agotamiento de la placa a flexión:

$$\frac{M}{W_{\min} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

- $v = (a - h_p)/2 = 150\text{mm}$
- $M_{A,Ed} = \begin{cases} f_{jd} \cdot b' \cdot y \cdot \left(v - \frac{y}{2}\right) \rightarrow y \leq v \\ f_{jd} \cdot b' \cdot \frac{v^2}{2} \rightarrow y > v \end{cases} = 46,86\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M_{B,Ed} = T_d \cdot (v - d') = 57,78\text{kN} \cdot \text{m}$
- $M = \max(M_{A,Ed}; M_{B,Ed}) = 57,78\text{kN} \cdot \text{m}$
- $y_G = \frac{2 \cdot A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{2 \cdot A_1 + A_2} = 34,76\text{mm}$
- $I_G = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot e_c \cdot h_c^3 + \frac{1}{12} \cdot b \cdot e^3 + 2 \cdot A_1 \cdot \left(e + \frac{h_c}{2} - y_G\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_G - \frac{e}{2}\right)^2 = 30798614,04\text{mm}^4$
- $W_{\min} = \min(W_i; W_s) = \left(\frac{I_G}{y_G}; \frac{I_G}{h_c + e - y_G}\right) = 224419,43\text{mm}^3$

$$\frac{M}{W_{\min} \cdot f_{yd}} = 0,97 \checkmark$$

E.L.U Agotamiento de los pernos:

$$T_d \leq F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot n_{\theta t} \cdot A_{r,\theta}}{\gamma_{M2}}$$

$$V_d \leq F_{v,Rd} = \frac{(0,44 - 0,0003 \cdot f_{yb}) \cdot f_{ub} \cdot n_{\theta c} \cdot A_{r,\theta}}{\gamma_{M2}} + C_{f,d} \cdot N_{Ed}$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{T_d}{F_{t,Rd}} = 0,99 \checkmark$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} = 0,08 \checkmark$$

- $n_{\theta t} = 3$
- $n_{\theta c} = 6$
- $A_{r,\theta} = 392,70\text{mm}^2$
- $C_{f,d} = 0,3$
- $F_{t,Rd} = 583,16\text{kN}$
- $F_{v,Rd} = 402,39\text{kN}$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{T_d}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 0,79 \checkmark$$

E.L.U Anclaje de los pernos:

$$l > l_a$$

- $m = 1,5$
- $\beta = 0,7$
- $A_{s,real} = 1472,62\text{mm}^2$
- $A_s = T_d/\sigma_s = 1155,60\text{mm}^2$
- $l_b = \max\left(m \cdot \phi^2; \frac{f_{yb}}{20} \cdot \phi\right) = 937,50\text{mm}$
- $l_a = \max\left\{\begin{array}{l} 10 \cdot \phi \\ 150 \text{ mm} \\ l_b/3 \\ l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} \end{array}\right. = 514,97\text{mm}$

$$l = 550\text{mm} \checkmark$$

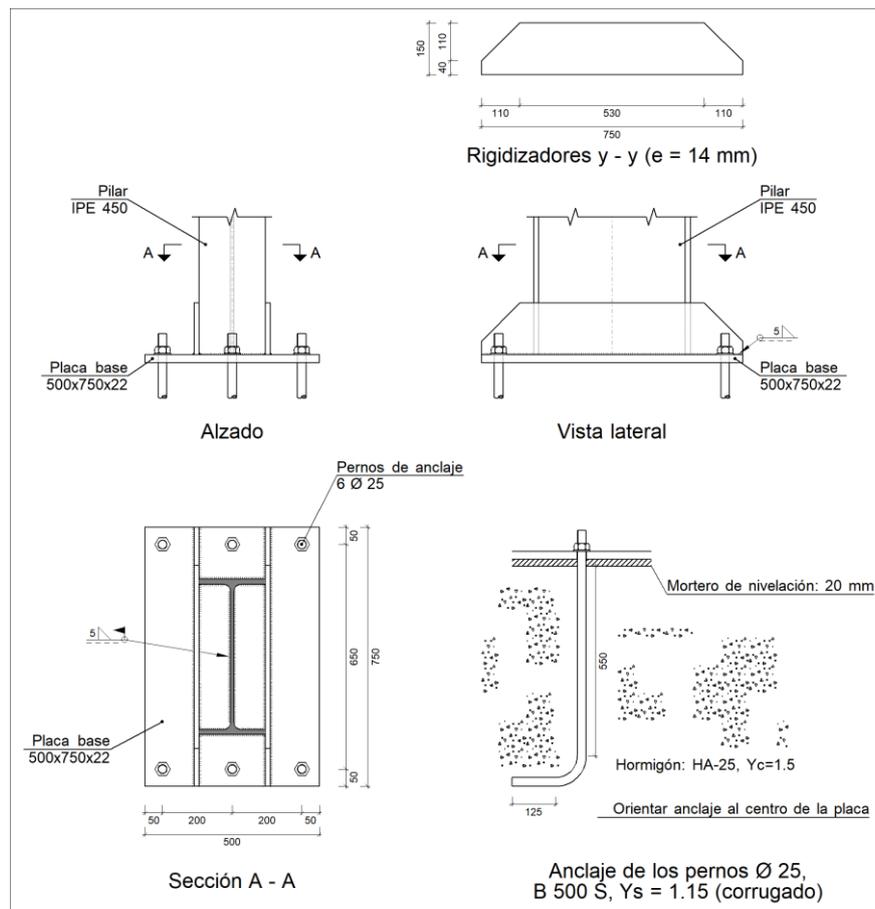


Figura 6.12. Detalle placa de anclaje dispuesta para el método de cálculo en dominio plástico.

6.4 Comprobación de la cimentación

Las zapatas aisladas de los pilares exteriores del pórtico deben ser capaces de soportar los esfuerzos no mayorados en la base de los mismos. En este apartado se detalla las comprobaciones necesarias para realizar esta verificación.

6.4.1 ELU de Durabilidad

El Estado Límite Último de durabilidad consiste en verificar que el tiempo necesario para que las acciones físicas y químicas, distintas a las acciones consideradas en el análisis estructural produzcan una degradación significativa de las características del hormigón o de las armaduras es mayor a la vida útil prevista de la estructura. Para su comprobación se recurre a las directrices de durabilidad dispuestas en el artículo 43 del Código Estructural previa determinación de la clase de exposición.

Tabla 27.1.a Clases de exposición relativas al hormigón estructural

Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
1. Sin riesgo de ataque por corrosión		
X0	Para hormigón en masa: todas las exposiciones salvo donde haya ataque hielo/deshielo, abrasión o ataque químico. Para hormigón con armaduras en un ambiente muy seco.	Elementos de hormigón en masa. Elementos de hormigón en interiores de edificios con una humedad muy baja. (HR<45 %).
2. Corrosión inducida por carbonatación		
XC1	Seco o permanentemente húmedo.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad del aire baja. (HR<65 %). Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergido en agua no agresiva.
XC2	Húmedo, raramente seco.	Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente en contacto con agua o enterradas en suelos no agresivos (por ejemplo, cimentaciones).
XC3	Humedad moderada.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad media o alta. (HR>65 %). Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, protegidos de la lluvia.
XC4	Sequedad y humedad cíclicas.	Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestos al contacto con el agua, de forma no permanente (por ejemplo, la procedente de la lluvia).

Figura 6.13. Tabla 27.1.a Artículo 27 del Código Estructural [10].

La clase de exposición del elemento de cimentación es XC2. Sin embargo, sería necesario realizar un análisis del terreno para descartar la posibilidad de ataque químico por la presencia de sulfatos o cloruros de origen marino. Una vez descrito el tipo de entorno al que está expuesto el elemento de hormigón armado, se obtiene las características mínimas del hormigón a emplear y los recubrimientos necesarios para proteger el acero de las armaduras.

Tabla 43.2.1.a Contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	X32	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Máxima relación agua/cemento.	Masa	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Armado	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50
Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	X32	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Contenido mínimo de cemento (kg/m ³).	Masa	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	300	275	300	275	300	325	300	300	300
	Armado	250	275	275	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325
	Pretensado	275	300	300	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325

Figura 6.14. Tabla 43.2.1.a Artículo 43 del Código Estructural [10].

Tabla 43.2.1.b Resistencia característica mínima esperada para el hormigón (*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Resistencia característica (N/mm ²).	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	25	30	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35	30	30	30

Figura 6.15. Tabla 43.2.1.b Artículo 43 del Código Estructural [10].

La resistencia característica mínima necesaria del hormigón es de 25 N/mm² y se debe elaborar con un contenido mínimo de conglomerante de 275 kg/m³ y una relación agua/cemento no mayor a 0,60. En la tabla A6.3.1 del Código Estructural se recogen cementos recomendados para su uso en la elaboración de hormigones en masa y armados destinados a cimentaciones.

Tabla A6.3.1 Cementos recomendados para cimentaciones

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Cimentaciones de hormigón en masa	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM IV/B, siendo adecuados el resto de cementos comunes, excepto los CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C. En todos los casos es recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH). Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC) ⁽¹⁾ o al agua de mar (MR) cuando corresponda.
Cimentaciones de hormigón armado	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A, siendo adecuados el resto de cementos comunes a excepción de los CEM III/B, CEM III/C, CEM IV/B CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T. Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC) ⁽¹⁾ o al agua de mar (MR) cuando corresponda.

Figura 6.16. Tabla A6.3.1 Anejo 6 del Código Estructural [10].

Dos alternativas adecuadas son el cemento Portland (CEM I) o el cemento Portland con humo de sílice (CEM II/A-D).

El recubrimiento nominal de las armaduras (distancia entre la superficie exterior de la armadura y la superficie de hormigón más cercana) se obtiene como suma del recubrimiento mínimo y el margen de recubrimiento en función del nivel de control en la ejecución del elemento.

Tabla 43.4.1 Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución

Tipo de elemento	Δc_{dev} [mm]
Elementos prefabricados con nivel intenso de control en la instalación de prefabricación (en obra o ajena a la obra).	0
Elementos ejecutados <i>in situ</i> con nivel intenso de control de ejecución.	5
Otros casos.	10

Figura 6.17. Tabla 43.4.1 Artículo 43 del Código Estructural [10].

El recubrimiento mínimo debe asegurar una protección de la armadura por razones de durabilidad y un valor mínimo para una correcta adherencia.

$$c_{min} = \max (c_{min,durabilidad}; c_{min,adherencia}) \quad \text{Ec. 6.21}$$

El recubrimiento mínimo por razones de durabilidad en piezas hormigonadas contra el terreno es de 70 mm salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto de una capa de hormigón de limpieza, en cuyo caso el recubrimiento mínimo se recoge en la tabla 44.2.1.1.a del Código Estructural.

Tabla 44.2.1.1.a Recubrimientos mínimos (mm), c_{min} , para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (tL), (años)	
			50	100
X0	Cualquiera.	$f_{ck} \geq 25$	15	25
XC1, XC2 o XC3	CEM I.	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón.	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25

Figura 6.18. Tabla 44.2.1.1.a Artículo 44 del Código Estructural [10].

Para asegurar una adherencia adecuada, y considerando que el diámetro máximo permitido para la armadura es de Ø25 milímetros y el tamaño máximo del árido es de 20 milímetros, se requiere un recubrimiento mínimo de 25 milímetros.

$$c_{min,adherencia} = \max(\varnothing_{max}; 0,8 \cdot D) = \max(25; 0,8 \cdot 20) = 25 \quad \text{Ec. 6.22}$$

En consecuencia, el recubrimiento lateral e inferior dispuesto es 80 y 35 milímetros, respectivamente. Se debe tener en cuenta que en la base de la zapata se dispone de una capa de hormigón de limpieza de 10 centímetros.

$$\begin{cases} c_{nom-lateral} = c_{min}(durabilidad) + \Delta c_{dev} = 70 + 10 = 80\text{mm} \\ c_{nom-inferior} = c_{min}(adherencia) + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35\text{mm} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.23}$$

6.4.2 Propiedades del terreno

Al tratarse de un trabajo académico teórico y no basado en un proyecto real no se dispone de un informe geotécnico que proporcione las características reales del suelo necesarias para el cálculo. Por este motivo, se han considerado las características recogidas en la Tabla 6.6, correspondientes a un terreno de calidad media.

Tabla 6.6. Características del terreno.

Propiedades del terreno		
Tensión admisible del terreno en situación persistente o transitoria	$\sigma_{adm,per}$	0,2 MPa
Tensión admisible del terreno en situación extraordinaria	$\sigma_{adm,ext}$	0,3 MPa
Ángulo de rozamiento entre el cimientto y el terreno	ϕ	27°

6.4.3 Esfuerzos de cálculo y coeficientes de seguridad parcial

En el caso de zapatas aisladas, el procedimiento de comprobación empieza por trasladar todas las sollicitaciones recibidas al centro de la base del apoyo:

$$\begin{cases} N_T = N_{Ed} + P_z = N_{Ed} + a \cdot b \cdot h \cdot \rho_h \\ V_T = V_{Ed} \\ M_T = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_g + V_{Ed} \cdot h \end{cases} \quad \text{Ec. 6.24}$$

donde:

- P_z : Peso de la zapata.
- a ; b ; h : Largo, ancho y canto de la zapata.
- ρ_h : Densidad del hormigón, de valor 2,5 kg/m³.
- e_g : Excentricidad geométrica de la zapata. Se considera positiva si la zapata es excéntrica hacia fuera del pórtico y negativa si es excéntrica hacia dentro.

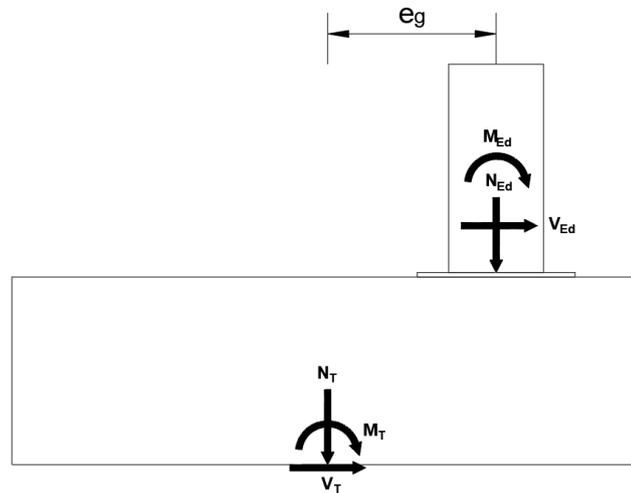


Figura 6.19. Criterio de signos (+).

La situación de cálculo que se está estudiando es extraordinaria, por tanto, los coeficientes parciales de seguridad son los dispuestos en la Figura 6.20.

Tabla 2.1. Coeficientes de seguridad parciales

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
Extraordinaria	Hundimiento	2,0 ⁽⁶⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,1 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,2	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,2	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,0	1,0
	Pilotes				
	Arrancamiento	2,3	1,0	1,0	1,0
	Rotura horizontal	2,3	1,0	1,0	1,0
Pantallas					
Rotación o traslación					
Equilibrio límite	-	-	-	-	
Modelo de Winkler	1,0	1,0	0,8	1,0	
Elementos finitos	1,0	1,2	1,0	1,0	

⁽¹⁾ En pilotes se refiere a métodos basados en ensayos de campo o fórmulas analíticas (largo plazo), para métodos basados en fórmulas analíticas (corto plazo), métodos basados en pruebas de carga hasta rotura y métodos basados en pruebas dinámicas de hincas con control electrónico de la hincas y contraste con pruebas de carga, se podrá tomar 2,0.

⁽²⁾ De aplicación en cimentaciones directas y muros.

⁽³⁾ En cimentaciones directas, salvo justificación en contrario, no se considerará el empuje pasivo.

⁽⁴⁾ Los correspondientes de los Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE.

Figura 6.20. Tabla 2.1 Artículo 2 del CTE DB SE-C (situación extraordinaria) [4].

6.4.4 ELU de Deslizamiento

Es necesario verificar que el terreno de apoyo de la zapata dispone de la capacidad portante necesaria para evitar el deslizamiento del elemento de cimentación. La condición de seguridad frente al fallo de deslizamiento por la base está recogida en ecuación 6.25.

$$V_T \leq \frac{1}{\gamma_R} \cdot N_T \cdot \tan \phi_d \quad \text{Ec. 6.25}$$

donde:

- V_T : Cortante total en la base de la zapata.
- N_T : Esfuerzo normal total en la base de la zapata.
- ϕ_d : Ángulo de rozamiento interno de cálculo entre cemento y terreno. Su valor corresponde al ángulo de rozamiento entre cemento y terreno minorado por un factor de 2/3.
- γ_R : Coeficiente parcial de seguridad del material frente al fallo por deslizamiento en una situación de cálculo extraordinaria. De la Figura 6.20 se obtiene un valor de 1,1.

6.4.5 ELU de Vuelco

Se debe comprobar que no hay pérdida de estabilidad por vuelco del elemento de cimentación. Esta comprobación se debe realizar en las dos posibles aristas de giro de la zapata, véase Figura 6.21.

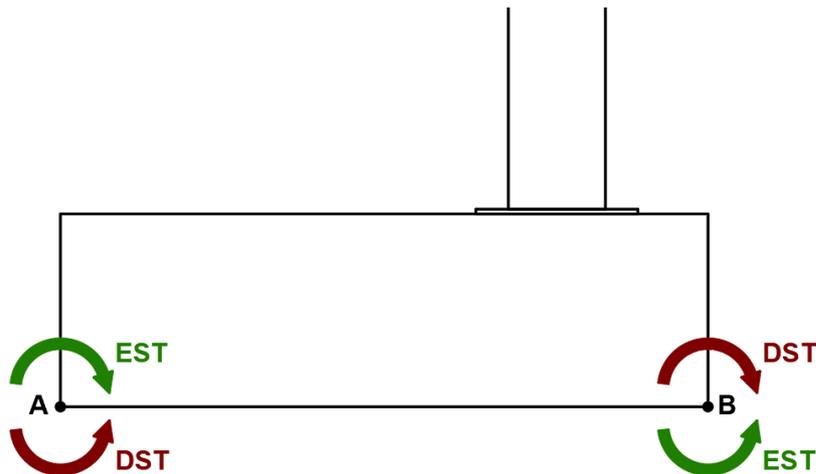


Figura 6.21. Aristas de comprobación a vuelco.

La comprobación de este estado límite puede expresarse en términos de momentos con la ecuación 6.26.

$$\gamma_{E,DST} \cdot M_{DST} \leq \gamma_{E,EST} \cdot M_{EST} \quad \text{Ec. 6.26}$$

donde:

- $\gamma_{E,EST}$: Coeficiente parcial de seguridad de las acciones estabilizantes en una situación de cálculo extraordinaria. De la Figura 6.20 se obtiene un valor de 0,9.
- $\gamma_{E,DST}$: Coeficiente parcial de seguridad de las acciones desestabilizantes en una situación de cálculo extraordinaria. De la Figura 6.20 se obtiene un valor de 1,2.
- M_{EST} : Valor de cálculo de las acciones estabilizantes.
- M_{DST} : Valor de cálculo de las acciones desestabilizantes

La acción de peso propio de la zapata siempre es una acción estabilizante.

$$M_z = P_z \cdot a/2 \rightarrow \text{EST} \quad \text{Ec. 6.27}$$

El carácter del resto de las acciones depende de la geometría de la zapata y de la arista de comprobación, véase el criterio de signos de la Figura 6.19.

$$M_A = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} + e_g\right) \begin{cases} > 0 \rightarrow \text{EST} \\ < 0 \rightarrow \text{DST} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.28}$$

$$M_B = -M_{Ed} - V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - e_g\right) \begin{cases} > 0 \rightarrow \text{EST} \\ < 0 \rightarrow \text{DST} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.29}$$

En este punto es importante replantearse la solución constructiva dispuesta en las zapatas de los pilares exteriores de los pórticos interiores. En el diseño convencional el momento crítico transmitido por el pilar actúa hacia el exterior del pórtico, provocando un efecto desestabilizante en la arista exterior A de la zapata. Por este motivo, en el capítulo 1 se han dispuesto zapatas excéntricas hacia el exterior, ya que de esta forma el esfuerzo axial de pilar atenúa la acción desestabilizante del momento flector. Sin embargo, el colapso de la cubierta provoca un momento de gran magnitud dirigido hacia el interior del pórtico, teniendo un efecto desestabilizante respecto a la arista interior B. Por lo tanto, para esta hipótesis extraordinaria la geometría óptima de la zapata es excéntrica hacia el interior.

Se ha decidido optar por una solución intermedia, utilizar zapatas centradas en los pilares exteriores de los pórticos interiores. De esta manera se evita la necesidad de emplear zapatas de gran tamaño para prevenir el vuelco.

6.4.6 ELU de Hundimiento

El Estado Límite Último de hundimiento se alcanza cuando la presión actuante sobre el terreno bajo la zapata supera la presión vertical admisible de mismo.

$$\sigma = \frac{N_T}{a \cdot b} \leq \sigma_{adm,ext} \quad \text{Ec. 6.30}$$

Dado que existe excentricidad en la resultante de acciones, se debe realizar la comprobación adoptando un cimiento equivalente con las siguientes dimensiones:

$$\begin{cases} a^* = 2 \cdot \left(\frac{a}{2} - e\right) = 2 \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{|M_T|}{|N_T|}\right) \\ b^* = b \end{cases} \quad \text{Ec. 6.31}$$

6.4.7 ELU de Capacidad estructural

Hay que verificar que no hay pérdida de capacidad resistente del elemento de cimentación por fallo estructural del mismo. Para ello, se deben efectuar las comprobaciones pertinentes para garantizar que no se presentan fallos por flexión, cortante, punzonamiento o deficiencias en el anclaje de la armadura.

6.4.7.1 Capacidad estructural-flexión

La comprobación se realiza sobre una sección de referencia S₁ plana, perpendicular a la base de la zapata y ortogonal al plano que contiene los esfuerzos. Su ubicación está recogida en la Figura 6.22.

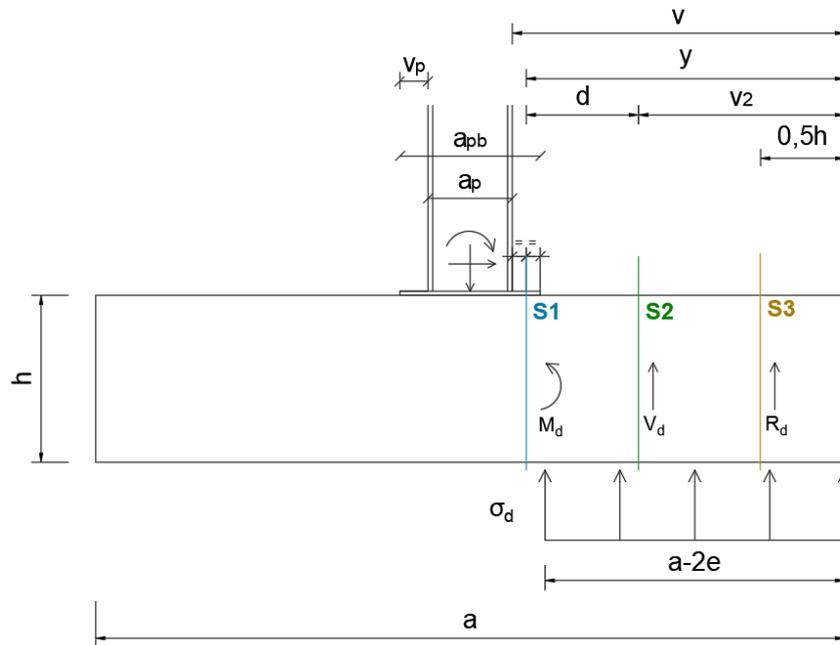


Figura 6.22. Ubicación de las secciones de referencia.

El valor del momento de cálculo sobre dicha sección se obtiene de la ecuación 6.32.

$$\begin{cases} M_d = \sigma_d \cdot \frac{b \cdot y^2}{2} & \text{si } y \leq (a - 2 \cdot e) \\ M_d = \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) \cdot \left(y - \frac{a - 2 \cdot e}{2} \right) & \text{si } y > (a - 2 \cdot e) \end{cases} \quad \text{Ec. 6.32}$$

con:

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{a \cdot b} \quad \text{Ec. 6.33}$$

$$y = v - \frac{v_p}{2} = \frac{a}{2} - \frac{a_p}{2} - \frac{a_{pb} - a_p}{4} \quad \text{Ec. 6.34}$$

La armadura necesaria en la zona traccionada se obtiene por equilibrio del diagrama rectangular en la sección.

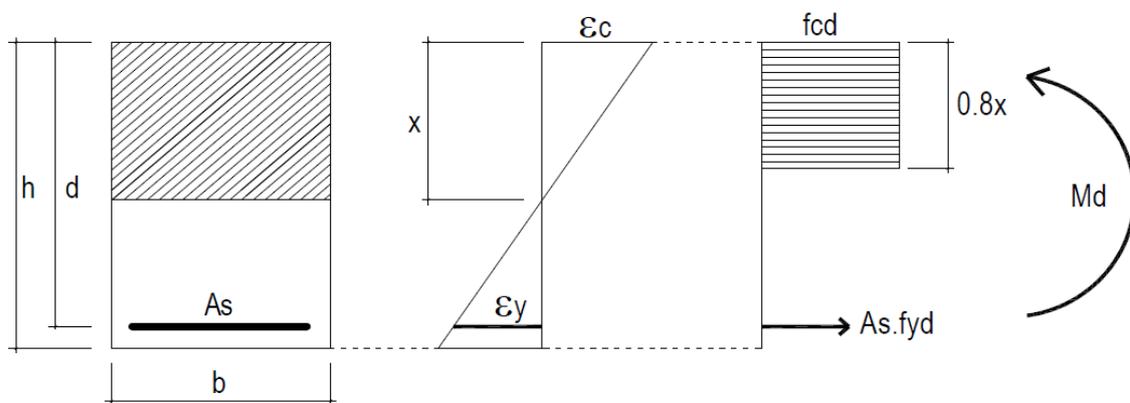


Figura 6.23. Diagrama rectangular para zapata de hormigón con resistencia característica no mayor a 50 MPa [14].

$$A_s = \omega \cdot \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \in [A_{s,min}; A_{s,max}] = [\rho \cdot b \cdot h; 0,04 \cdot b \cdot h] \quad \text{Ec. 6.35}$$

con:

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad \text{Ec. 6.36}$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{Ec. 6.37}$$

donde:

- f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero de la armadura (B500S). Para una situación extraordinaria de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad al acero de 1,0.
- f_{cd} : Resistencia de cálculo del hormigón (HA-25). Para una situación extraordinaria de cálculo se aplica un coeficiente de seguridad al hormigón de 1,3.
- d : Canto útil de la sección referida a la armadura principal. Esta se dispone sobre la armadura transversal.

$$d = h - c_{\text{nom-inferior}} - \emptyset_T - \frac{\emptyset}{2} \quad \text{Ec. 6.38}$$

- \emptyset_T : Diámetro del armado transversal.
- \emptyset : Diámetro del armado principal.
- ρ : Cuantía mecánica mínima para evitar la rotura frágil.

$$\rho = \frac{W \cdot f_{ctm,fl}}{A_c \cdot z \cdot f_{yd}} = \frac{f_{ctm,fl}}{4,8 \cdot f_{yd}} \quad \text{Ec. 6.39}$$

- W : Módulo resistente de la sección bruta relativo a la fibra más traccionada (para una sección rectangular: $b \cdot h^2/6$).
- z : Brazo mecánico de la sección, aproximadamente un 80% del canto.
- $f_{ctm,fl}$: Resistencia media a flexotracción del hormigón.

$$f_{ctm,fl} = \max\{(1,6 - h(\text{mm})/1000) \cdot f_{ctm}; f_{ctm}\} \quad \text{Ec. 6.40}$$

- f_{ctm} : Resistencia media a tracción del hormigón.

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \text{ si } f_{ck} \leq 50\text{N/mm}^2 \quad \text{Ec. 6.41}$$

Conocida el área de armado necesaria, se obtiene con la ecuación 6.42 el número total de barras requeridas para el armado principal de la zapata.

$$n = 1 + \text{int}\left(\frac{A_s}{A_\emptyset}\right) \quad \text{Ec. 6.42}$$

Se selecciona el mayor diámetro de barra disponible que cumpla la condición de separación mínima y máxima entre ejes de barras. De esta forma, el armado dispone de una menor superficie específica, lo que reduce el riesgo de corrosión.

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}} - \emptyset}{n - 1} \in [10 ; 30]\text{cm} \quad \text{Ec. 6.43}$$

Para el armado transversal se dispone la cuantía mínima de armado siempre que sea superior al 20% del armado principal. Esta armadura se considerar de reparto y va situada siempre en el plano inferior.

$$\begin{cases} A_{sT} = \max(\rho \cdot a \cdot h; 0,2 \cdot n \cdot A_{\phi}) < 0,04 \cdot a \cdot h \\ n_T = 1 + \text{int}\left(\frac{A_{sT}}{A_{\phi T}}\right) \\ s_T = \frac{a - 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}} - \phi_T}{n_T - 1} \in [10; 30] \text{cm} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.44}$$

Por último, es necesario comprobar que la distancia entre caras de barras permite el paso del instrumento de vibrado y de los áridos.

$$\left. \begin{array}{l} D = s - \phi \\ D_T = s_T - \phi_T \end{array} \right\} \geq \max(20\text{mm}; \phi_{\text{max}}; 1,25 \cdot TM; D_{\text{vibrador}} \sim 50\text{mm}) \quad \text{Ec. 6.45}$$

6.4.7.2 Capacidad estructural-cortante

La comprobación se realiza sobre una sección de referencia S₂ plana, perpendicular a la base de la zapata y ortogonal al plano que contiene los esfuerzos. Su ubicación está recogida en la Figura 6.22.

El valor del cortante de cálculo sobre dicha sección se obtiene de la ecuación 6.46.

$$\begin{cases} V_d = \sigma_d \cdot b \cdot v_2 \text{ si } v_2 \leq (a - 2 \cdot e) \\ V_d = \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) \text{ si } v_2 > (a - 2 \cdot e) \end{cases} \quad \text{Ec. 6.46}$$

La resistencia de la zapata, un elemento sin armadura de cortante, se recoge en la ecuación 6.47.

$$V_d \leq V_{Rd,C} = \max\left\{C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d; 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot b \cdot d\right\} \quad \text{Ec. 6.47}$$

con:

$$C_{Rd,C} = 0,18/\gamma_c \quad \text{Ec. 6.48}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} \leq 2,0 \quad \text{Ec. 6.49}$$

$$\rho_l = \frac{A_{s,\text{real}}}{b \cdot d} \leq 0,02 \quad \text{Ec. 6.50}$$

6.4.7.3 Capacidad estructural-punzonamiento

Se debe realizar la comprobación de punzonamiento en dos áreas: la cara exterior de la placa base y el área crítica situada a una distancia de dos cantos útiles desde el perímetro de la misma.

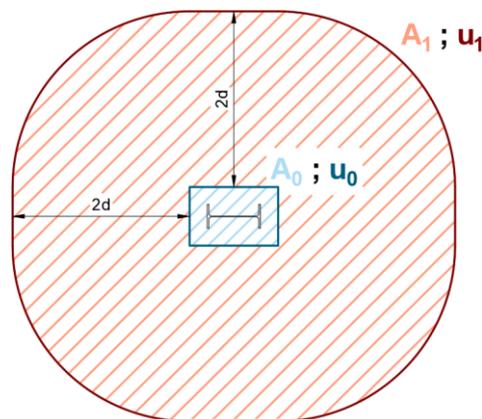


Figura 6.24. Superficies de comprobación.

Si el perímetro de comprobación no está completamente incluido dentro de la planta de la zapata no es necesario verificarlo.

$$\begin{cases} u_0 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} \\ A_0 = a_{pa} \cdot b_{pa} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.51}$$

$$\begin{cases} u_1 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d \\ A_1 = a_{pa} \cdot b_{pa} + 4 \cdot d \cdot a_{pa} + 4 \cdot d \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d^2 \end{cases} \quad \text{Ec. 6.52}$$

El valor neto del esfuerzo de punzonamiento en las dos zonas de comprobación está recogido en las ecuaciones 6.53 y 6.54, donde β toma un valor de 1,15 para pilares interiores.

$$v_{Ed}^{u_0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}^{u_0}}{u_0 \cdot d} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_0)}{u_0 \cdot d} \quad \text{Ec. 6.53}$$

$$v_{Ed}^{u_1} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}^{u_1}}{u_1 \cdot d} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_1)}{u_1 \cdot d} \quad \text{Ec. 6.54}$$

En la zona más cercana al pilar, el perímetro u_0 , la resistencia de punzonamiento se limita al valor:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad \text{Ec. 6.55}$$

En el perímetro u_1 la resistencia de punzonamiento es:

$$v_{Rd} = C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad \text{Ec. 6.56}$$

El canto útil y la cuantía de armado para esta comprobación se obtiene considerando el armado principal y transversal.

$$d = \frac{d_p + d_T}{2} \quad \text{donde} \quad \begin{cases} d_p = h - c_{nom-inferior} - \phi_T - \frac{\phi}{2} \\ d_T = h - c_{nom-inferior} - \frac{\phi_T}{2} \end{cases} \quad \text{Ec. 6.57}$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{IP} \cdot \rho_{IT}} \quad \text{donde} \quad \begin{cases} \rho_{IP} = \frac{A_{s,real}}{b \cdot d_p} \leq 0,02 \\ \rho_{IT} = \frac{A_{sT,real}}{a \cdot d_T} \leq 0,02 \end{cases} \quad \text{Ec. 6.58}$$

6.4.7.4 Capacidad estructural-anclaje

La armadura principal y transversal se encuentra en posición de buena adherencia, por tanto, su longitud básica de anclaje se obtiene de la ecuación 6.59. El parámetro “m” es un coeficiente que toma un valor de 1,5 para barras de acero B500S y hormigón HA-25.

$$l_b = \max\left(m \cdot \phi^2; \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi\right) \quad \text{Ec. 6.59}$$

La longitud neta de anclaje se define en la ecuación 6.60.

$$l_{b,neto} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_{s,necesaria}}{A_{s,real}} \geq \max\left(10\phi; 150 \text{ mm}; \frac{l_b}{3}\right) \quad \text{Ec. 6.60}$$

El parámetro “ β ” depende del dispositivo de anclaje. Su valor, para barras que trabajan a tracción, se recoge en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Coeficiente de anclaje para barras traccionadas.

Dispositivo de anclaje	Notación	B
Prolongación recta	PR	1
Patilla normalizada	PN	0,7 ^(*)
Patilla normalizada y prolongación vertical	PN-L	0,7

^(*) Si el recubrimiento de hormigón perpendicular al plano de doblado es superior a 3 ϕ . En caso contrario toma como valor la unidad. Con un recubrimiento lateral de 80 mm se puede adoptar 0,7 para barras no mayores a ϕ 25.

La armadura principal dispuesta ha de anclarse según el más desfavorable de los dos siguientes criterios:

- Una longitud neta de anclaje desde la sección de referencia S₂, véase Figura 6.22.

Tabla 6.8. Criterio 1 de anclaje de la armadura principal.

Criterio	Anclaje
$v_2 - c_{\text{nom-lateral}} > l_{b,\text{neta}}(\beta = 1)$	PR
$l_{b,\text{neta}}(\beta = 1) > v_2 - c_{\text{nom-lateral}} > l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7)$	PN
$l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7) > v_2 - c_{\text{nom-lateral}}$	PN-L ^(*)

^(*)L = $l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7) - (v_2 - c_{\text{nom-lateral}})$

- Una longitud neta de anclaje desde la sección de referencia S₃, véase Figura 6.22.

Tabla 6.9. Criterio 2 de anclaje de la armadura principal.

Criterio	Anclaje
$0,5 \cdot h - c_{\text{nom-lateral}} > l_{b,\text{neta}}(\beta = 1)$	PR
$l_{b,\text{neta}}(\beta = 1) > 0,5 \cdot h - c_{\text{nom-lateral}} > l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7)$	PN
$l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7) > 0,5 \cdot h - c_{\text{nom-lateral}}$	PN-L ^(*)

^(*)L = $l_{b,\text{neta}}(\beta = 0,7) - (0,5 \cdot h - c_{\text{nom-lateral}})$

La longitud neta del anclaje para este criterio se obtiene de la siguiente expresión.

$$l_{b,\text{neta}} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{T_d}{A_{s,\text{real}} \cdot f_{yd}} \quad \text{Ec. 6.61}$$

con:

$$T_d = R_d \cdot \frac{y - 0,25 \cdot h}{0,85 \cdot h} = \sigma_d \cdot 0,5 \cdot h \cdot b \cdot \frac{y - 0,25 \cdot h}{0,85 \cdot h} \quad \text{Ec. 6.62}$$

La armadura transversal dispuesta ha de anclarse según el siguiente criterio:

Tabla 6.10. Criterio de anclaje de la armadura transversal.

Criterio	Anclaje
$(2 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}}) \leq b$	PR
$(1,4 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}}) \leq b < (2 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}})$	PN
$b < (1,4 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}})$	PN-L ^(*)

6.4.8 Resultados

Se coloca una zapata rectangular centrada con dimensiones de 4x2x0,9 m, reforzada en ambas caras con 8 barras de Ø25 en la dirección longitudinal y 14 barras de Ø25 en la dirección transversal. El detalle de la misma se muestra en Figura 6.25.

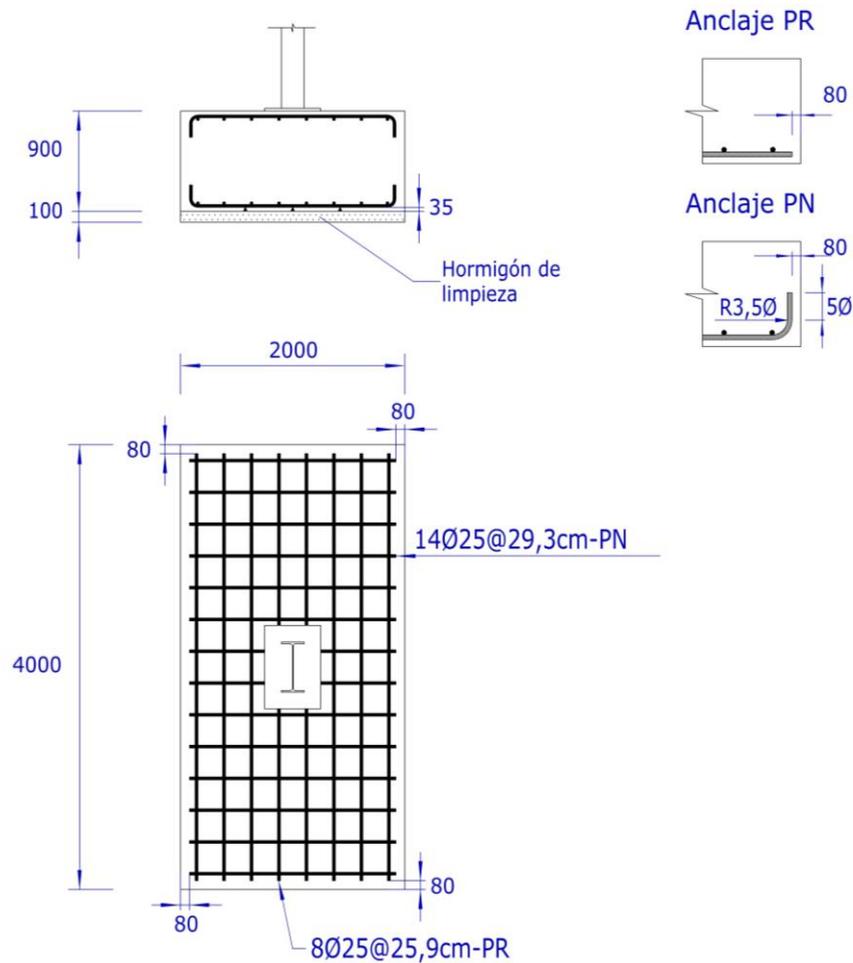


Figura 6.25. Detalle zapata dispuesta para el método de cálculo en dominio plástico (cotas en mm).

Dimensiones:

- $a = 4000\text{mm}$
- $b = 2000\text{mm}$
- $h = 900\text{mm}$
- $e_g = 0$
- $a_p = 450\text{mm}$
- $a_{pb} = 750\text{mm}$
- Armado principal: 8Ø25
- Armado transversal: 14Ø25

Esfuerzos:

- $N_{Ed} = 36,91\text{kN}$
- $V_{Ed} = 28,98\text{kN}$
- $M_{Ed} = 313,95\text{kN} \cdot \text{m}$
- $P_z = 180,00\text{kN}$
- $N_T = N_{Ed} + P_z = 216,91\text{kN}$
- $V_T = V_{Ed} = 28,98\text{kN}$
- $M_T = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot h = 340,03\text{kN} \cdot \text{m}$

Material:

- $\gamma_{s,fi} = 1,00$
- $\gamma_{c,fi} = 1,30$
- $f_{yd} = 500\text{N/mm}^2$
- $f_{cd} = 19,23\text{N/mm}^2$

E.L.U Deslizamiento:

$$V_T \leq \frac{1}{\gamma_R} \cdot N_T \cdot \tan \phi_d$$

$$V_T < 64,07\text{kN} \checkmark$$

- $\gamma_R = 1,1$
- $\phi_d = 2 \cdot \frac{\phi}{3} = 18^\circ$

E.L.U Vuelco:

$$\gamma_{E,DST} \cdot M_{DST} \leq \gamma_{E,EST} \cdot M_{EST}$$

- $\gamma_{E,DST} = 1,20$
- $\gamma_{E,EST} = 0,90$
- $M_A = M_{Ed} + V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} + e_g\right) = 413,86\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{EST}$
- $M_B = -M_{Ed} - V_{Ed} \cdot h + N_{Ed} \cdot \left(\frac{a}{2} - e_g\right) = -266,21\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{DST}$
- $M_z = P_z \cdot \frac{a}{2} = 360,00\text{kN} \cdot \text{m} \rightarrow \text{EST}$

$$(0,9 \cdot M_{EST} - 1,2 \cdot M_{DST})_A > 696,47\text{kNm} \checkmark$$

$$(0,9 \cdot M_{EST} - 1,2 \cdot M_{DST})_B > 4,55\text{kNm} \checkmark$$

E.L.U Hundimiento:

$$\sigma = \frac{N_T}{a^* \cdot b} \leq \sigma_{adm,ext}$$

- $\sigma_{adm,ext} = 0,30\text{MPa}$
- $e = \frac{|M_T|}{|N_T|} = 1567,61\text{mm}$
- $a^* = 2 \cdot \left(\frac{a}{2} - e\right) = 2 \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{M_T}{N_T}\right) = 864,78\text{mm}$
- $b = 2000\text{mm}$

$$\sigma = 0,125\text{MPa} < \sigma_{adm,ext} \checkmark$$

E.L.U Capacidad estructural-flexión:

Armado principal:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_s = \omega \cdot \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \in [A_{s,min}; A_{s,max}] \\ n = 1 + \text{int}\left(\frac{A_s}{A_\emptyset}\right) \\ s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom-lateral} - \emptyset}{n - 1} \in [10; 30]\text{cm} \end{array} \right.$$

- $\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{a^* \cdot b} = 0,021\text{N/mm}^2$
- $y = v - \frac{v_p}{2} = \frac{a}{2} - \frac{a_p}{2} - \frac{a_{pb} - a_p}{4} = 1700\text{mm}$
- $a - 2 \cdot e = 864,78\text{mm}$
- $M_d \left\{ \begin{array}{l} \sigma_d \cdot \frac{b \cdot y^2}{2} \text{ si } y \leq (a - 2 \cdot e) \\ \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) \cdot \left(y - \frac{a - 2 \cdot e}{2}\right) \text{ si } y > (a - 2 \cdot e) \end{array} \right. = 46,79\text{kNm}$
- $d = h - c_{nom-inferior} - \emptyset_t - \frac{\emptyset}{2} = 827,50\text{mm}$
- $\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,00178$
- $\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0,00178$
- $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 2,565\text{N/mm}^2$
- $f_{ctm,fl} = \max\{1,6 - h(\text{mm})/1000 \cdot f_{ctm}; f_{ctm}\} = 2,565\text{N/mm}^2$
- $A_{s,min} = \frac{f_{ctm,fl}}{4,8 \cdot f_{yd}} \cdot b \cdot h = 1923,72\text{mm}^2$
- $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 72000\text{mm}^2$

$$A_{s,real}: 8\emptyset 25 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} > A_{s,necesaria} = 113,19\text{mm}^2 \checkmark \\ > A_{s,min} = 1923,72\text{mm}^2 \checkmark \\ < A_{s,max} = 72000\text{mm}^2 \checkmark \\ s = 259,29\text{mm} \checkmark \\ D = 234,29\text{mm} \checkmark \end{array} \right.$$

Armado transversal:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{sT} = \max(\rho \cdot a \cdot h; 0,2 \cdot A_{s,real}) < 0,04 \cdot a \cdot h \\ n_T = 1 + \text{int}\left(\frac{A_{sT}}{A_{\emptyset T}}\right) \\ s_T = \frac{a - 2 \cdot c_{nom-lateral} - \emptyset_T}{n_T - 1} \in [10; 30]\text{cm} \end{array} \right.$$

- $A_{sT,min} = \frac{f_{ctm,fl}}{4,8 \cdot f_{yd}} \cdot a \cdot h = 3847,45\text{mm}^2$
- $A_{sT,max} = 0,04 \cdot a \cdot h = 144000\text{mm}^2$

$$A_{sT,real}: 14\emptyset 25 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} > A_{sT,min} = 3847,45\text{mm}^2 \checkmark \\ < A_{sT,max} = 144000\text{mm}^2 \checkmark \\ s_T = 293,46\text{mm} \checkmark \\ D_T = 268,46\text{mm} \checkmark \end{array} \right.$$

E.L.U Capacidad estructural-cortante:

$$V_d \leq V_{Rd,C} = \max \left\{ C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d ; 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot b \cdot d \right\}$$

• $v_2 = y - d = 872,50\text{mm}$

• $V_d = \begin{cases} \sigma_d \cdot b \cdot v_2 & \text{si } v_2 \leq (a - 2 \cdot e) \\ \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) & \text{si } v_2 > (a - 2 \cdot e) \end{cases} = 36,91\text{kN}$

$V_d \leq V_{Rd,C} = 618,39\text{kN} \checkmark$

• $C_{Rd,C} = \frac{0,18}{\gamma_{c,fi}} = 0,138$

• $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} = 1,492 \leq 2,0$

• $\rho_l = \frac{A_{s,real}}{b \cdot d} = 0,00237 \leq 0,02$

E.L.U Capacidad estructural-punzonamiento:

Perímetro interior:

$$v_{Ed}^{u_0} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_0)}{u_0 \cdot d} \leq v_{Rd,max}$$

• $d = \frac{d_p + d_T}{2} = 840\text{mm} \begin{cases} d_p = h - c_{nom-inf} - \phi_T - \frac{\phi}{2} = 827,5\text{mm} \\ d_T = h - c_{nom-inf} - \frac{\phi_T}{2} = 852,5\text{mm} \end{cases}$

$v_{Ed}^{u_0} = 0,016\text{N/mm}^2 \leq v_{Rd,max} \checkmark$

• $\rho_l = \sqrt{\rho_{lP} \cdot \rho_{lT}} = 0,00218 \begin{cases} \rho_{lP} = \frac{A_{s,real}}{b \cdot d_p} = 0,00237 \\ \rho_{lT} = \frac{A_{sT,real}}{a \cdot d_T} = 0,00201 \end{cases}$

• $\beta = 1,15$

• $u_0 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} = 2500\text{mm}$

• $A_0 = a_{pa} \cdot b_{pa} = 375000\text{mm}^2$

• $v_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 4,154\text{N/mm}^2$

Perímetro exterior:

$$v_{Ed}^{u_1} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_1)}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd}$$

no requiere comprobación \checkmark

• $u_1 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d = 13055,75\text{mm}$

• $A_1 = a_{pa} \cdot b_{pa} + 4 \cdot d \cdot a_{pa} + 4 \cdot d \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d^2 = 13441831,11\text{mm}^2$

• $v_{Rd} = \max \left(C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} ; 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \right) = 0,363\text{N/mm}^2$

• $b_{pa} + 4 \cdot d > b \rightarrow$ no requiere de comprobación

• $a_{pa} + 4 \cdot d > a \rightarrow$ no requiere de comprobación

E.L.U Capacidad estructural-anclaje:

Armado principal:

$$l_{b,neta} = \max \left(l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_{s,necesaria}}{A_{s,real}} ; 10\phi ; 150\text{mm} ; \frac{l_b}{3} \right)$$

• $l_b = \max \left(1,5 \cdot \phi^2 ; \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi \right) = 937,50\text{mm}$

• $l_{b,neta}(\beta = 1) = 312,50\text{mm}$

• $l_{b,neta}(\beta = 0,7) = 312,50\text{mm}$

Armado principal \rightarrow PR

• $v_2 - c_{nom-lateral} = 792,50\text{mm} > l_{b,neta}(\beta = 1)$

$$l_{b,neta} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{T_d}{A_{s,real} \cdot f_{yd}}$$

• $T_d = \sigma_d \cdot 0,5 \cdot h \cdot b \cdot \frac{y-0,25 \cdot h}{0,85 \cdot h} = 37,03\text{kN}$

• $l_{b,neta}(\beta = 1) = 17,71\text{mm}$

• $l_{b,neta}(\beta = 0,7) = 12,40\text{mm}$

• $0,5 \cdot h - c_{nom-lateral} = 370\text{mm} > l_{b,neta}(\beta = 1)$

Armado transversal:

$$l_{bT} = \max \left(1,5 \cdot \phi_T^2; \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi_T \right) = 937,50\text{mm}$$

Armado transversal → PN

- $b < (2 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}}) = 2035\text{mm}$
- $b > (1,4 \cdot l_b + 2 \cdot c_{\text{nom-lateral}}) = 1472,50\text{mm}$

Solo queda comprobar que la zapata cumple con los esfuerzos críticos de la situación de dimensionamiento persistente o transitoria. Los coeficientes parciales de seguridad para esta situación están recogidos en la Figura 6.26.

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
Persistente o transitoria	Hundimiento	3,0 ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,5 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9 ⁽³⁾	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,8	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,8	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁵⁾	1,0
	Pilotes				
	Arrancamiento	3,5	1,0	1,0	1,0
	Rotura horizontal	3,5	1,0	1,0	1,0
	Pantallas				
	Estabilidad fondo excavación	1,0	2,5 ⁽⁶⁾	1,0	1,0
	Sifonamiento	1,0	2,0	1,0	1,0
	Rotación o traslación				
	Equilibrio límite	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0
Modelo de Winkler	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0	
Elementos finitos	1,0	1,5	1,0	1,0	

Figura 6.26. Tabla 2.1 Artículo 2 del CTE DB SE-C (situación persistente) [4].

También es necesario modificar los coeficientes de seguridad del hormigón y el acero corrugado empleados en las comprobaciones de capacidad estructural.

Tabla A19. 2.1 Coeficientes parciales de seguridad para los materiales para Estados Límite Últimos.

Situación de cálculo	γ_C hormigón	γ_S armaduras pasivas	γ_S armaduras activas
Permanente o Transitoria	1,5	1,15	1,15
Accidental	1,3	1,0	1,0

Figura 6.27. Tabla A19.2.1 Anejo 19 del Código Estructural [10].

Los esfuerzos críticos transmitidos por el pilar se obtienen del software Cype3D, véase Figura 6.28. En este caso también se consideran las situaciones que generan tracción en la cara superior de la zapata (se dispone de armado superior).

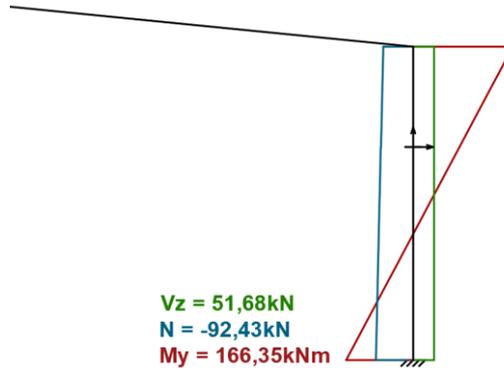


Figura 6.28. Esfuerzos en la base del pilar para la hipótesis crítica 1,35PP+1,5Q.

Dimensiones:

- a = 4000mm
- b = 2000mm
- h = 900mm
- e_g = 0
- a_p = 450mm
- a_{pb} = 750mm
- Armado principal: 8Ø25
- Armado transversal: 14Ø25

Esfuerzos:

- N_{Ed} = 92,43kN
- V_{Ed} = 51,68kN
- M_{Ed} = 166,35kN · m
- P_z = 180,00kN
- N_T = N_{Ed} + P_z = 272,43kN
- V_T = V_{Ed} = 51,68kN
- M_T = M_{Ed} + V_{Ed} · h = 212,86kN · m

Material:

- γ_s = 1,15
- γ_c = 1,50
- f_{yd} = 434,78N/mm²
- f_{cd} = 16,67N/mm²

E.L.U Deslizamiento:

$$V_T \leq \frac{1}{\gamma_R} \cdot N_T \cdot \tan \phi_d$$

$$V_T < 59,01kN \checkmark$$

- γ_R = 1,50
- φ_d = 2 · $\frac{\phi}{3}$ = 18°

E.L.U Vuelco:

$$\gamma_{E,DST} \cdot M_{DST} \leq \gamma_{E,EST} \cdot M_{EST}$$

- γ_{E,DST} = 1,80
- γ_{E,EST} = 0,90
- M_A = M_{Ed} + V_{Ed} · h + N_{Ed} · $\left(\frac{a}{2} + e_g\right)$ = 397,72kN · m → EST
- M_B = -M_{Ed} - V_{Ed} · h + N_{Ed} · $\left(\frac{a}{2} - e_g\right)$ = -28,00kN · m → DST
- M_z = P_z · $\frac{a}{2}$ = 360,00kN · m → EST

$$(0,9 \cdot M_{EST} - 1,2 \cdot M_{DST})_A > 681,95kNm \checkmark$$

$$(0,9 \cdot M_{EST} - 1,2 \cdot M_{DST})_B > 273,60kNm \checkmark$$

E.L.U Hundimiento:

$$\sigma = \frac{N_T}{a^* \cdot b} \leq \sigma_{adm,ext}$$

- σ_{adm,ext} = 0,20MPa
- e = $\frac{|M_T|}{|N_T|}$ = 781,35mm
- a* = 2 · $\left(\frac{a}{2} - e\right)$ = 2 · $\left(\frac{a}{2} - \frac{M_T}{N_T}\right)$ = 2437,31mm
- b = 2000mm

$$\sigma = 0,056MPa < \sigma_{adm,ext} \checkmark$$

E.L.U Capacidad estructural-flexión:

Armado principal:

$$\begin{cases} A_s = \omega \cdot \frac{b \cdot d \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \in [A_{s,min}; A_{s,max}] \\ n = 1 + \text{int}\left(\frac{A_s}{A_{\phi}}\right) \\ s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom-lateral} - \phi}{n - 1} \in [10; 30] \text{cm} \end{cases}$$

- $\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{a \cdot b} = 0,019 \text{N/mm}^2$
- $y = v - \frac{v_p}{2} = \frac{a}{2} - \frac{a_p}{2} - \frac{a_{pb} - a_p}{4} = 1700 \text{mm}$
- $a - 2 \cdot e = 2437,31 \text{mm}$
- $M_d = \begin{cases} \sigma_d \cdot \frac{b \cdot y^2}{2} & \text{si } y \leq (a - 2 \cdot e) \\ \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) \cdot \left(y - \frac{a - 2 \cdot e}{2}\right) & \text{si } y > (a - 2 \cdot e) \end{cases} = 54,80 \text{kNm}$
- $d = h - c_{nom-inferior} - \phi_t - \frac{\phi}{2} = 827,50 \text{mm}$
- $\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,00240$
- $\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0,00240$
- $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 2,565 \text{N/mm}^2$
- $f_{ctm,fl} = \max\{(1,6 - h(\text{mm})/1000) \cdot f_{ctm}; f_{ctm}\} = 2,565 \text{N/mm}^2$
- $A_{s,min} = \frac{f_{ctm,fl}}{4,8 \cdot f_{yd}} \cdot b \cdot h = 2212,81 \text{mm}^2$
- $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h = 72000 \text{mm}^2$

$$A_{s,real}: 8\phi 25 \rightarrow \begin{cases} > A_{s,necesaria} = 152,49 \text{mm}^2 \checkmark \\ > A_{s,min} = 2212,28 \text{mm}^2 \checkmark \\ < A_{s,max} = 72000 \text{mm}^2 \checkmark \\ s = 259,29 \text{mm} \checkmark \\ D = 234,29 \text{mm} \checkmark \end{cases}$$

Armado transversal:

$$\begin{cases} A_{sT} = \max(\rho \cdot a \cdot h; 0,2 \cdot A_{s,real}) < 0,04 \cdot a \cdot h \\ n_T = 1 + \text{int}\left(\frac{A_{sT}}{A_{\phi T}}\right) \\ s_T = \frac{a - 2 \cdot c_{nom-lateral} - \phi_T}{n_T - 1} \in [10; 30] \text{cm} \end{cases}$$

- $A_{sT,min} = \frac{f_{ctm,fl}}{4,8 \cdot f_{yd}} \cdot a \cdot h = 4424,56 \text{mm}^2$
- $A_{sT,max} = 0,04 \cdot a \cdot h = 144000 \text{mm}^2$

$$A_{sT,real}: 14\phi 25 \rightarrow \begin{cases} > A_{sT,min} = 4424,56 \text{mm}^2 \checkmark \\ < A_{sT,max} = 144000 \text{mm}^2 \checkmark \\ s_T = 293,46 \text{mm} \checkmark \\ D_T = 268,46 \text{mm} \checkmark \end{cases}$$

E.L.U Capacidad estructural-cortante:

$$V_d \leq V_{Rd,C} = \max\left\{C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d; 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot b \cdot d\right\}$$

- $v_2 = y - d = 872,50 \text{mm}$
- $V_d \begin{cases} \sigma_d \cdot b \cdot v_2 & \text{si } v_2 \leq (a - 2 \cdot e) \\ \sigma_d \cdot b \cdot (a - 2 \cdot e) & \text{si } v_2 > (a - 2 \cdot e) \end{cases} = 33,09 \text{kN}$
- $C_{Rd,C} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,120$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} = 1,492 \leq 2,0$
- $\rho_l = \frac{A_{s,real}}{b \cdot d} = 0,00237 \leq 0,02$

$$V_d \leq V_{Rd,C} = 535,94 \text{kN} \checkmark$$

E.L.U Capacidad estructural-punzonamiento:

Perímetro interior:

$$v_{Ed}^{u_0} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_o)}{u_0 \cdot d} \leq v_{Rd,max}$$

- $d = \frac{d_p + d_T}{2} = 840 \text{mm} \begin{cases} d_p = h - c_{nom-inf} - \phi_T - \frac{\phi}{2} = 827,50 \text{mm} \\ d_T = h - c_{nom-inf} - \frac{\phi_T}{2} = 852,50 \text{mm} \end{cases}$

$$v_{Ed}^{u_0} = 0,047 \text{N/mm}^2 \leq v_{Rd,max} \checkmark$$

- $\rho_I = \sqrt{\rho_{IP} \cdot \rho_{IT}} = 0,00218 \begin{cases} \rho_{IP} = \frac{A_{s,real}}{b \cdot d_p} = 0,00237 \\ \rho_{IT} = \frac{A_{sT,real}}{a \cdot d_T} = 0,00201 \end{cases}$
- $\beta = 1,15$
- $u_0 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} = 2500\text{mm}$
- $A_0 = a_{pa} \cdot b_{pa} = 375000\text{mm}^2$
- $v_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 3,69\text{N/mm}^2$

Perímetro exterior:

$$v_{Ed}^{u_1} = \frac{\beta \cdot (N_{Ed} - \sigma_d \cdot A_1)}{u_1 \cdot d} \leq v_{Rd}$$

no requiere comprobación ✓

- $u_1 = 2 \cdot a_{pa} + 2 \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d = 13055,75\text{mm}$
- $A_1 = a_{pa} \cdot b_{pa} + 4 \cdot d \cdot a_{pa} + 4 \cdot d \cdot b_{pa} + 4 \cdot \pi \cdot d^2 = 13441831,11\text{mm}^2$
- $v_{Rd} = \max(C_{Rd,C} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}; 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}) = 0,318\text{N/mm}^2$
- $b_{pa} + 4 \cdot d > b \rightarrow$ no requiere de comprobación
- $a_{pa} + 4 \cdot d > a \rightarrow$ no requiere de comprobación

E.L.U Capacidad estructural-anclaje:

Armado principal:

$$l_{b,neto} = \max\left(l_b \cdot \beta \cdot \frac{A_{s,necesaria}}{A_{s,real}}; 10\emptyset; 150\text{mm}; \frac{l_b}{3}\right)$$

- $l_b = \max\left(1,5 \cdot \emptyset^2; \frac{f_{yk}}{20} \cdot \emptyset\right) = 937,50\text{mm}$
- $l_{b,neto}(\beta = 1) = 312,50\text{mm}$
- $l_{b,neto}(\beta = 0,7) = 312,50\text{mm}$
- $v_2 - c_{nom-lateral} = 792,50\text{mm} > l_{b,neto}(\beta = 1)$

$$l_{b,neto} = l_b \cdot \beta \cdot \frac{T_d}{A_{s,real} \cdot f_{yd}}$$

Armado principal → PR
Armado transversal → PN

- $T_d = \sigma_d \cdot 0,5 \cdot h \cdot b \cdot \frac{y-0,25 \cdot h}{0,85 \cdot h} = 32,90\text{kN}$
- $l_{b,neto}(\beta = 1) = 18,10\text{mm}$
- $l_{b,neto}(\beta = 0,7) = 12,67\text{mm}$
- $0,5 \cdot h - c_{nom-lateral} = 370\text{mm} > l_{b,neto}(\beta = 1)$

Armado transversal:

$$l_{bT} = \max\left(1,5 \cdot \emptyset_T^2; \frac{f_{yk}}{20} \cdot \emptyset_T\right) = 937,50\text{mm}$$

- $b < (2 \cdot l_b + 2 \cdot c_{nom-lateral}) = 2035\text{mm}$
- $b > (1,4 \cdot l_b + 2 \cdot c_{nom-lateral}) = 1472,50\text{mm}$

6.5 Comprobación de la estabilidad longitudinal

Para asegurar la estabilidad longitudinal se deben disponer elementos de arriostramiento con una resistencia a tracción superior a la indicada en la ecuación 6.63.

$$N_T = 2,5\% \cdot V_R \cdot n_{pórticos} = 2,5\% \cdot 36,91\text{kN} \cdot 11 = 10,15\text{kN} \quad \text{Ec. 6.63}$$

Obtenido el axil de tracción que deben soportar los elementos horizontales de arriostramiento, el cálculo del área necesaria es directo. Si estos elementos se protegen contra incendio se puede considerar el 100% del límite elástico del acero en frío, en caso contrario, únicamente se puede considerar un 6,5% de la resistencia a temperatura ambiente.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Protegido: } A = \frac{N_T}{f_{yk}/\gamma_{M,fi}} = 36,91\text{mm}^2 \\ \text{No protegido: } A = \frac{N_T}{0,065 \cdot (f_{yk}/\gamma_{M,fi})} = 567,85\text{mm}^2 \end{array} \right. \quad \text{Ec. 6.64}$$

Dado que el edificio de referencia dispone de vigas perimetrales con una sección IPE120, con un área de 13,20 cm², en un principio no se requiere de protección pasiva de protección contra incendios para estos elementos.

7 CÁLCULO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

En este último capítulo se presentan los resultados obtenidos y toda la información necesaria para llevar a cabo el cálculo del pórtico de estudio con el software SAFIR en su versión 2022.d.5. Nuevamente, se toma como punto de partida el pórtico dimensionado a temperatura ambiente constituido por barras de sección IPE400.

7.1 Análisis térmico y torsional

Para realizar el análisis térmico y torsional de la sección de estudio hay que seguir los siguientes pasos con ayuda del preprocesador “gmsafir”:

1. Definir la geometría de la sección.
2. Imponer las condiciones de contorno (acción térmica).
3. Definir y asignar los materiales.
4. Mallar.
5. Realizar el cálculo térmico para obtener el fichero (.TEM).
6. Realizar el cálculo torsional para obtener el fichero (.TOR).

7.1.1 Geometría de la sección

Para definir la geometría de la sección en el preprocesador gmsafir se dispone de varias alternativas de componentes elementales en su menú “Geometry→Elementary entities→Add”: puntos, líneas, rectángulos, círculos, arcos, elipses etc. También se incluye en el menú “Geometry→Elementary entities→Transform” las transformaciones geométricas elementales de traslación, rotación, escalado y simetría.

Lo más conveniente a la hora de definir secciones pertenecientes a series normalizadas es introducir de forma paramétrica su geometría para facilitar el cambio a otro perfil de la serie. Las secciones de la serie utilizada presentan dos ejes de simetría y la protección pasiva aplicada es de tipo contorno, por tanto, se puede hacer uso de las transformaciones de traslación y simetría para facilitar la definición de la geometría. A continuación, se muestra un extracto del fichero (.GEO) utilizado para generar la geometría de un IPE400 protegido con 1 cm de IGNIPLASTER.

Extracto 1 (.GEO): Geometría de la sección protegida y expuesta en 3 caras.

```
h=0.400; // Canto del IPE
b=0.180; // Ancho del IPE
tw=0.0086; // Espesor del alma
tf=0.0135; // Espesor del ala
r=0.021; // Radio de acuerdo
dp=0.01; // Espesor de la protección pasiva

Point(1) = {tw/2, 0, 0, 1.0};
Point(2) = {tw/2, h/2-tf-r, 0, 1.0};
Point(3) = {tw/2+r, h/2-tf-r, 0, 1.0};
Point(4) = {tw/2+r, h/2-tf, 0, 1.0};
Point(5) = {b/2, h/2-tf, 0, 1.0};
Point(6) = {b/2, h/2, 0, 1.0};
Point(7) = {0, h/2, 0, 1.0};
Point(8) = {0, h/2-tf, 0, 1.0};

Translate {dp, 0, 0} {
  Duplicata { Point{1}; }
}
Translate {dp, -dp, 0} {
  Duplicata { Point{2}; Point{3}; Point{4}; Point{5}; }
}
Translate {dp, dp, 0} {
  Duplicata { Point{6}; }
}
Translate {0, dp, 0} {
  Duplicata { Point{7}; }
}

}

Line(1) = {1, 2};
Line(2) = {4, 5};
Line(3) = {5, 6};
Line(4) = {6, 7};
Line(5) = {8, 4};
Circle(6) = {2, 3, 4};
Line(7) = {9, 10};
Line(8) = {12, 13};
Line(9) = {13, 14};
Line(10) = {14, 15};
Circle(11) = {10, 11, 12};

Symmetry {1, 0, 0, 0} {
  Duplicata { Curve{7}; Curve{1}; Curve{8}; Curve{11}; Curve{2}; Curve{6};
  Curve{5}; Curve{3}; Curve{9}; Curve{4}; Curve{10}; }
}
Coherence;

Symmetry {0, 1, 0, 0} {
  Duplicata { Curve{7}; Curve{12}; Curve{1}; Curve{13}; Curve{8};
  Curve{11}; Curve{15}; Curve{2}; Curve{6}; Curve{5}; Curve{3}; Curve{18};
  Curve{17}; Curve{14}; Curve{9}; Curve{16}; Curve{4}; Curve{10};
  Curve{19}; Curve{21}; Curve{20}; Curve{22}; }
}
Coherence;
```

Destacar que las distancias se deben introducir en unidades de metros y que el comando “coherence” se aplica simplemente para eliminar los puntos duplicados al aplicar el operador de simetría. En la Figura 7.1 se muestra la sección IPE generada con y sin protección. En esta se puede observar que se ha separado las alas del perfil de su alma, en puntos posteriores se explicará el motivo.

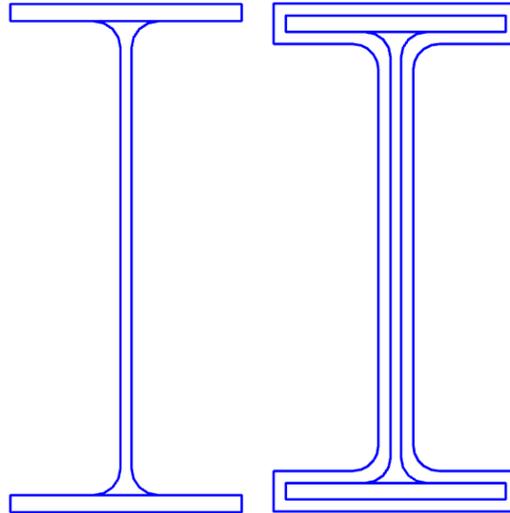


Figura 7.1. Geometría IPE400 no protegido (izq.) y protegido con 1cm de IGNIPLASTER (der.).

7.1.2 Acción térmica

La acción térmica puede introducirse de varias maneras en el modelo térmico de la sección. Las posibilidades que ofrece el programa son las siguientes:

- USE_CURVES: Curva tiempo-temperatura normalizada (ISO-834, ASTM-119...) o definida por el usuario.
- USE_LOCAFI: Modelo de incendio implementado en SAFIR para someter a cualquier elemento estructural a uno o varios incendios localizados. Cada incendio se describe por su posición en el espacio, la forma de la fuente (cono o cilindro), la posición vertical del techo, el diámetro del fuego y la tasa de liberación de calor.
- USE_HASEMI: Modelo de incendio localizado Hasemi implementado en SAFIR de acuerdo con lo dispuesto en la UNE-EN 1991-1-2.
- USE_CFD: Entorno calculado a partir de un software CFD (por ejemplo, FDS) e importado a SAFIR (temperatura, factores de convección e intensidades radiantes).

Dado que para modelar el incendio en este proyecto se emplea la curva normalizada ISO-834, se hace uso de la primera opción. Para ello se debe aplicar alguna de las siguientes condiciones de frontera a las curvas que conforman el contorno de la sección a través del menú “Geometry→Physical groups→Add→Curve”:

- Flux constraint: Se fija el flujo de calor que atraviesa el contorno de la sección.
- Frontier constraint: Se fija la temperatura del gas que rodea el contorno de la sección. Para obtener el flujo de calor que lo atraviesa se hace uso de la ecuación 7.1.

$$\dot{q} = h \cdot (T_g - T_s) + \sigma \cdot \epsilon^* \cdot (T_g^4 - T_s^4) \quad \text{Ec. 7.1}$$

donde:

- h: Coeficiente de convección.

- T_g : Temperatura del gas.
- T_s : Temperatura de la superficie (contorno).
- σ : Constante de Stefan-Boltzman.
- ε^* : Emisividad relativa.

En esta opción la evolución de la temperatura del gas se puede describir con alguna de las siguientes funciones.

- F20: Temperatura del gas constante en 20°C.
 - FISO: Temperatura del gas evoluciona de acuerdo con la curva ISO-834 de la UNE-EN 1991-1-2.
 - HYDROCARB: Temperatura del gas evoluciona de acuerdo con la curva de fuego por hidrocarburos de la UNE-EN 1991-1-2.
 - HCM: Temperatura del gas evoluciona de acuerdo con la curva HCM (Holanda).
 - ASTME119: Temperatura del gas evoluciona de acuerdo con la curva ASTME119 (América).
 - RWS: Temperatura del gas evoluciona de acuerdo con la curva RWS (Francia).
 - User-defined
- Block constraint: Se fija la temperatura de los nodos del contorno de la sección. Al igual que en el caso anterior se dispone de las mismas funciones que permite definir la evolución de esta temperatura.
 - Non defined: Se considera que los contornos son adiabáticos.

Se decide aplicar la condición de frontera “*Frontier constraint*” aplicando la función “F20” en las curvas que conforman la cara no expuesta al fuego (designada como **unexposed**) y “FISO” en las caras expuestas al fuego (designadas como **exposed**). En la Figura 7.2 se muestra en el postprocesador DIAMOND las condiciones de frontera aplicadas.

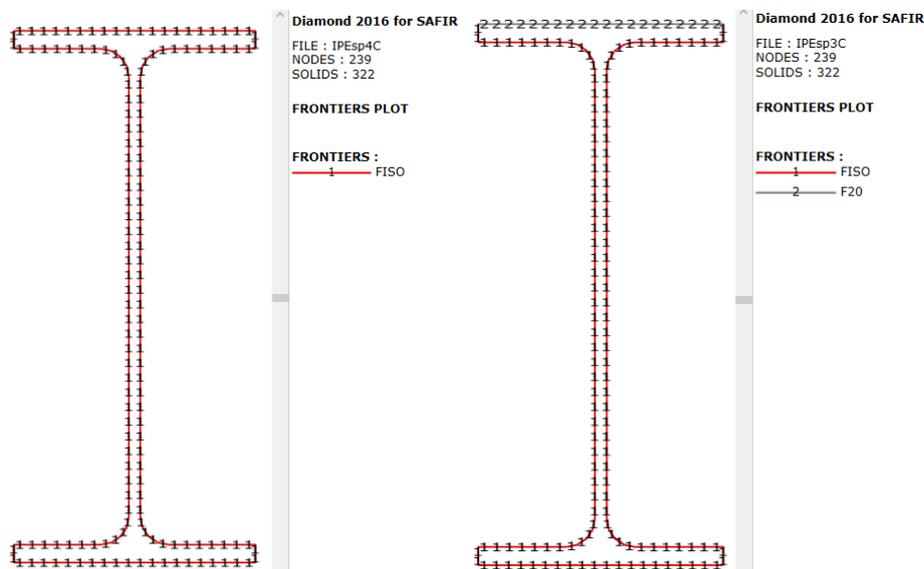


Figura 7.2. Condiciones de contorno aplicas a la sección no protegida expuesta en 4 caras (izq.) y en 3 caras (der.).

Es importante destacar que todas las palabras resaltadas en **negrita** en este subapartado y en los siguientes se utilizan para representar las designaciones empleadas por el usuario al definir los modelos térmico y mecánico, con el fin de facilitar así la compresión de los extractos de los ficheros. El uso de estas u otras designaciones es totalmente libre por parte del usuario.

7.1.3 Materiales en la sección

El pórtico de estudio está compuesto por secciones IPE de acero S275 a las que se le aplica protección pasiva para mejorar su resistencia al fuego. Dado que en el dominio elástico (temperatura y resistencia) y en el dominio plástico se ha empleado como protección pasiva la proyección de vermiculita IGNIPLASTER del fabricante PROMAT, se va a emplear el mismo aislante en el cálculo con SAFIR para poder realizar una correcta comparación de todos los métodos de cálculo.

Para introducir el acero u otro material en el análisis térmico se debe acceder al menú “Geometry→Physical groups→Add→Surface” donde se puede asignar y definir las propiedades del material de una superficie. No obstante, antes es necesario definir una superficie en el menú “Geometry→Add→Plane Surface” para cada material que compone la sección. Para ello, simplemente se debe seleccionar el contorno que define dicha superficie asegurándose de que el material quede siempre a la izquierda. En la sección de estudio se define tres superficies que se han denotado como **steelflanges**, **steelwebs** y **islt**s y se les ha asignado los materiales **steelflangem**, **steelwebm** y **isltm** respectivamente.

Para definir los materiales **steelflangem** y **steelwebm** se ha empleado el material “STEELEC3EN” de SAFIR, cuyos modelos térmico y mecánico se basan en la UNE-EN 1993-1-2. Los parámetros a introducir en el programa son:

- Coeficiente de convección de la superficie caliente: 25 W/m²·K (UNE-EN 1991-1-2 para ISO-834).
- Coeficiente de convección de la superficie fría: 4 W/m²·K (UNE-EN 1991-1-2).
- Emisividad: 0,7 (UNE-EN 1991-1-2).

Para añadir la proyección de vermiculita **ismlt** se utiliza el material “INSULATION” de SAFIR. Este material mantiene sus propiedades térmicas constantes con la temperatura y los parámetros a introducir en el programa son:

- Conductividad térmica: 0,15 W/m·K (Ficha técnica del producto IGNIPLASTER).
- Calor específico: 1200 J/kg·K (Ficha técnica del producto IGNIPLASTER).
- Densidad: 780 kg/m³ (Ficha técnica del producto IGNIPLASTER).
- Contenido de agua: 5%.
- Temperatura a la que comienza la evaporación: 100 °C
- Temperatura a la que finaliza la evaporación: 120 °C
- Coeficiente de convección de la superficie caliente: 25 W/m²·K (UNE-EN 1991-1-2 para ISO-834).
- Coeficiente de convección de la superficie fría: 4 W/m²·K (UNE-EN 1991-1-2).
- Emisividad: 0,8 (UNE-EN 1991-1-2).

A continuación, se muestra un extracto del código generado al definir las condiciones de contorno y los materiales en la sección. Como se puede observar, al emplear el preprocesador “gmsafir” no se incluye en el (.GEO) mucha de la información introducida en la interfaz gráfica: propiedades de los materiales, funciones de temperatura etc. Toda esta información se puede verificar en el fichero (.IN) generado por el preprocesador (los ficheros empleados se pueden encontrar en el anexo correspondiente).

Extracto 2 (.GEO): Condiciones de contorno y materiales de la sección protegida y expuesta en 3 caras.

```
// CREACION DE SUPERFICIES
Curve Loop(1) = {5, 2, 3, 4, -21, -19, -16, -18};
Plane Surface(1) = {1};
Curve Loop(2) = {34, 38, 41, 42, -39, -33, -30, -32};
Plane Surface(2) = {2};
Curve Loop(3) = {26, 35, -34, 32, -31, -25, 1, 6, -5, 18, -17, -13};
Plane Surface(3) = {3};
Curve Loop(4) = {10, -22, -20, -14, -15, -12, 24, 29, 36, 43, 44, -40, -37, -27, -28, -23, 7, 11, 8, 9};
Curve Loop(5) = {10, -22, -20, -14, -15, -12, 24, 29, 36, 43, 44, -40, -37, -27, -28, -23, 7, 11, 8, 9};
Curve Loop(6) = {4, -21, -19, -16, -17, -13, 26, 35, 38, 41, 42, -39, -33, -30, -31, -25, 1, 6, 2, 3};
Plane Surface(4) = {5, 6};

// CONDICIONES DE CONTORNO
Physical Curve("exposed", 45) = {20, 14, 15, 12, 24, 29, 36, 43, 44, 40, 37, 27, 28, 23, 7, 11, 8, 9};
Physical Curve("unexposed", 46) = {10, 22};

// MATERIALES
Physical Surface("steelflanges", 47) = {1, 2};
Physical Surface("steelwebs", 48) = {3};
Physical Surface("isls", 49) = {4};
```

7.1.4 Mallado seccional

Para generar la malla de la sección se puede utilizar el menú "Mesh" de la interfaz gráfica del preprocesador. Sin embargo, resulta más eficiente y práctico realizar la edición directamente en el archivo (.GEO), véase Extracto 3.

Extracto 3 (.GEO): Mallado de la sección protegida y expuesta en 3 caras.

```
// MALLADO
Transfinite Curve {4, 21, 42, 39} = 11 Using Progression 1;
Transfinite Curve {38, 30, 16, 2} = 8 Using Progression 1;
Transfinite Curve {19, 3, 41, 33} = 3 Using Progression 1;
Transfinite Curve {13, 1, 26, 25} = 21 Using Progression 1;
Transfinite Curve {12, 7, 23, 24} = 20 Using Progression 1;
Transfinite Curve {17, 6, 35, 31} = 5 Using Progression 1;
Transfinite Curve {11, 15, 29, 28} = 6 Using Progression 1;
Transfinite Curve {34, 32, 18, 5} = 4 Using Progression 1;
Transfinite Curve {14, 36, 27, 8} = 8 Using Progression 1;
Transfinite Curve {22, 10, 44, 40} = 12 Using Progression 1;
Transfinite Curve {43, 37, 20, 9} = 5 Using Progression 1;
Mesh.RecombineAll = 0;
Mesh 2;
SetOrder 1;
Save "IPecp3Cmalla";
```

Los comandos empleados y sus funciones son:

- **Transfinite Curve** {selección de curvas} = *n*° nodos Using Progression *tipo de progresión*: Permite definir el número de nodos colocados en una curva y su disposición.
 - Using Progression 1: Distribución uniforme de los nodos a lo largo de la curva.
 - Using Progression X: Los nodos se distribuyen de manera que la distancia entre ellos se incrementa en un factor de X.
- **Mesh.RecombineAll** = *tipo de elemento*: Permite definir la familia de elementos utilizada.
 - 0: Familia de elementos triangulares.
 - 1: Familia de elementos cuadriláteros.
- **Mesh** *dimensión*: Permite generar la malla.
 - 1: Malla de elementos unidimensionales.
 - 2: Malla de elementos bidimensionales.
 - 3: Malla de elementos tridimensionales.
- **SetOrder** *orden del elemento*: Permite definir el orden de los elementos.
 - 1: Elementos lineales.
 - 2: Elementos cuadráticos.
 - 3: Elementos cúbicos.

El mallado realizado se puede ver en la Figura 7.3. Para una mejor adaptación de la malla en la zona de los radios de acuerdo se ha empleado elementos triangulares lineales.

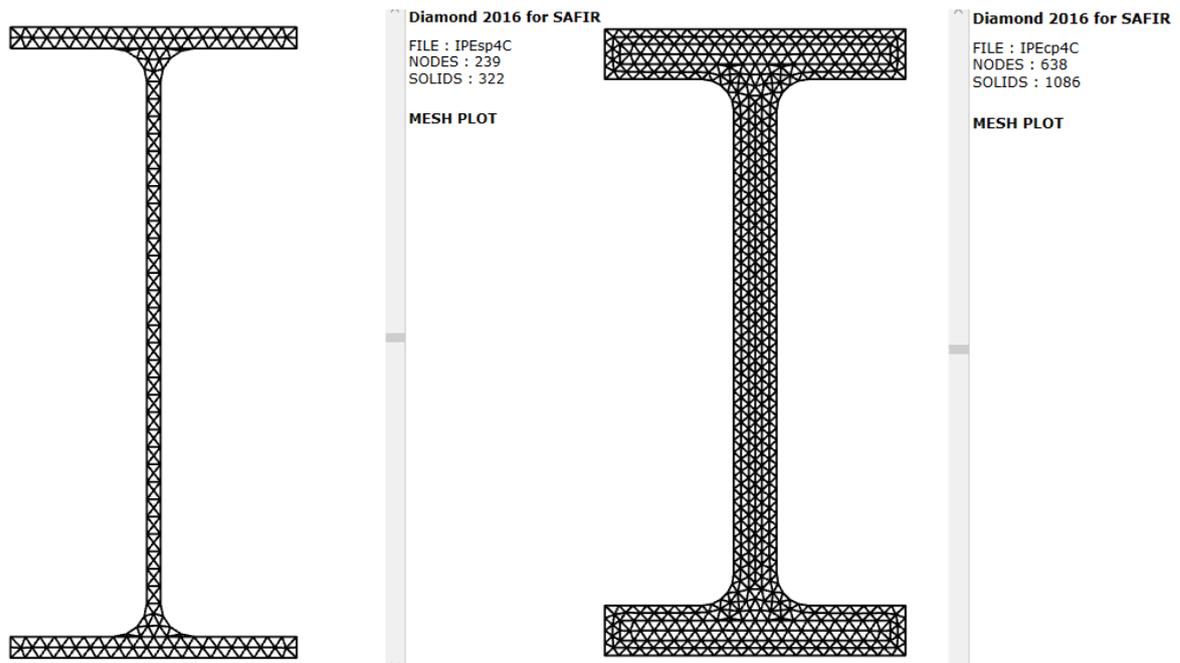


Figura 7.3. Mallado IPE400 no protegido (izq.) y protegido con 1cm de IGNIPLASTER (der.).

7.1.5 Análisis térmico

Para que el preprocesador “gmsafir” genere el fichero (.IN), que se utiliza para alimentar el software SAFIR y obtener el archivo (.TEM) con la evolución de las temperaturas en la sección, es necesario proporcionarle la siguiente información:

- Problem Type: Thermal 2D.
- PRECISIÓN: 0,001.
- TETA (constante de integración): 0,9.
- TINICIAL (temperatura inicial): 20°C.
- TIMEPRINT (paso de tiempo para la salida de los resultados): 0,1s.
- UPTIMEPRINT (tiempo total de salida de resultados): 3600s.
- TIMESTEP (paso de tiempo en el cálculo): 0,1s.
- UPTIME (tiempo total de simulación): 3600s.
- TIMESTEPMIN o COMEBACK (paso de tiempo mínimo): 0,0001s.
- TIMESTEPMAX (paso de tiempo máximo): 10s.
- Convergence: Si se selecciona “NOCOMEBACK”, la simulación se detendrá si no se alcanza la convergencia después de 18 iteraciones. Si se elige “COMEBACK”, cuando no se alcanza la convergencia después de 6 iteraciones el tiempo se restablece en el último paso convergido y la simulación reinicia desde allí con un paso de tiempo reducido a la mitad. La división del paso de tiempo continúa hasta que este sea menor que “TIMESTEPMIN”. Además, si la convergencia es sencilla la simulación duplica el paso de tiempo. El duplicado del paso de tiempo continúa hasta que este sea mayor que “TIMESTEPMAX”. Se hace uso de la convergencia “COMEBACK”.
- TEM-TSH: La opción “MAKE.TEM” almacena la temperatura promedio de los elementos para un análisis estructural posterior en un fichero (.TEM). La opción “MAKE.TSH” almacena esta temperatura en un fichero (.TSH). Se utiliza la primera opción.
- Type of calculation (modelo de fuego utilizado): USE_CURVES.
- Name of the .IN File: Nombre del fichero (.IN) generado.

Como resultado de este análisis se obtiene el fichero (.TEM) con la distribución de temperaturas en cada nodo a lo largo del tiempo. Los resultados se muestran en la Figura 7.4 para un tiempo aproximado de 30 minutos.

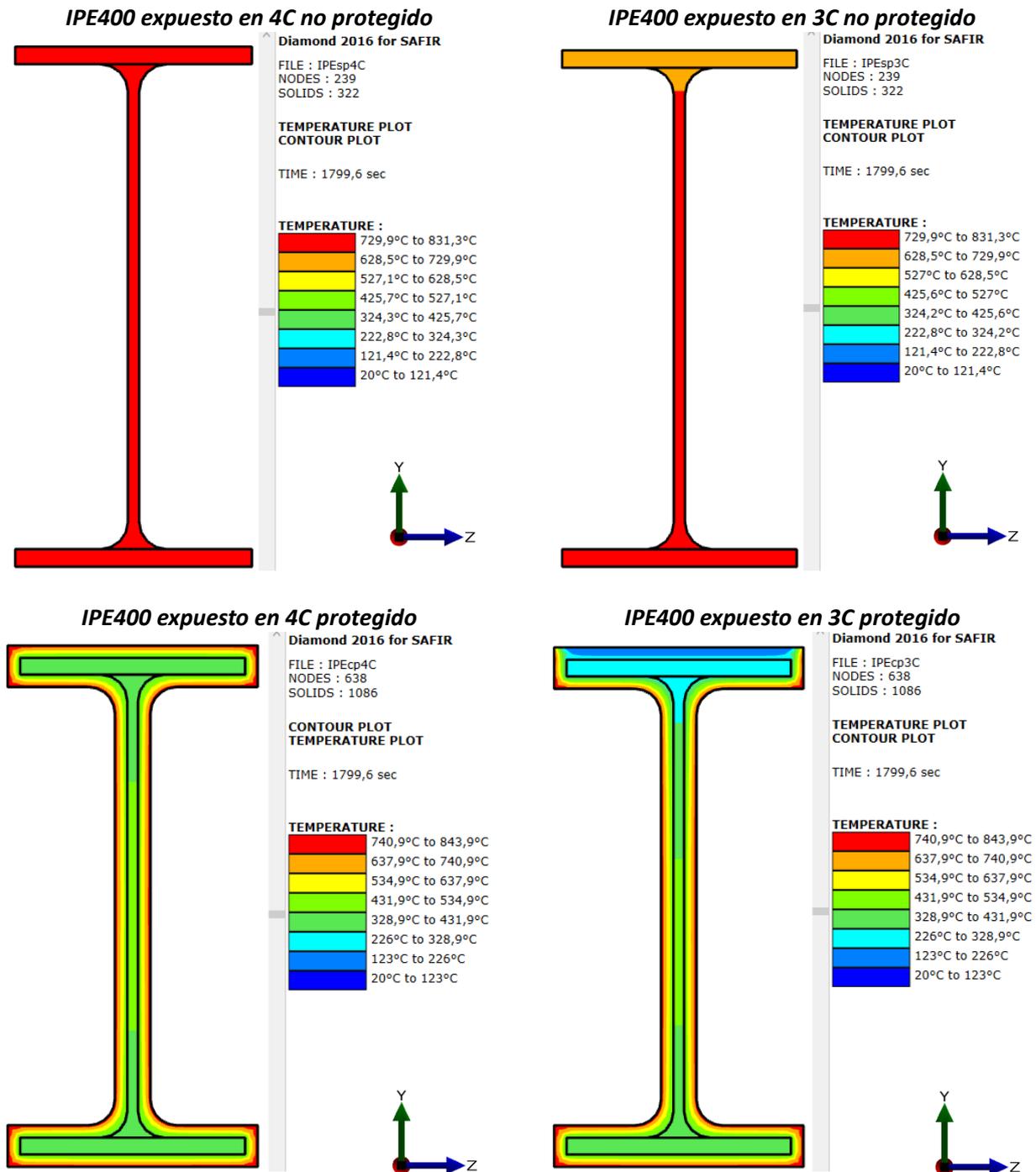


Figura 7.4. Resultados del análisis térmico a los 30 minutos.

7.1.6 Análisis torsional

Para que el preprocesador "gmsafir" genere el fichero (.IN), que se utiliza para alimentar el software SAFIR y obtener el archivo (.TOR) con la rigidez torsional de la sección a temperatura ambiente, se precisa de la siguiente información:

- Run torsion análisis: YES

- Global center (X_o, Y_o): Posición de la nodline (0, 0).
- Center of torsion (X_c, Y_c): Posición del centro de torsión (0, 0).
- Name of the .IN File: Nombre del fichero (.IN) generado. Es muy importante que el nombre asignado a este fichero sea exactamente el mismo que el utilizado en el análisis térmico añadiéndole la coletilla “-t” para que SAFIR posteriormente reconozca el fichero (.TOR) en el análisis mecánico.

También es importante destacar que el mallado empleado en el análisis térmico y torsional debe ser exactamente el mismo. Además, se debe introducir una restricción a torsión en dos puntos pertenecientes a los ejes de simetría: “Geometry→Physical groups→Add→Point→Torsion Point Constraint→F0”.

Como resultado de este análisis se obtiene un fichero (.TOR) donde se ha calculado la rigidez de la sección a la torsión a temperatura ambiente, es decir, el producto entre el módulo de elasticidad transversal del material (G) y el módulo de torsión (J) de la sección. Este valor se obtiene a una temperatura de 20°C, por tanto, se reduce a la mitad en la sección no protegida para considerar la reducción de la rigidez con la temperatura. En la Tabla 7.1 se recoge el valor de la rigidez calculada por SAFIR y la finalmente considerada.

Tabla 7.1. Rigidez de la sección a la torsión.

SECCIÓN	G·J (SAFIR)	G·J (CONSIDERADO)
IPE400	0,49274·10 ⁵ N·m ²	0,24637·10 ⁵ N·m ²
IPE400 + 1cm de IGNIPLASTER	0,48752·10 ⁵ N·m ²	0,48752·10 ⁵ N·m ²

7.2 Análisis mecánico

Para realizar el análisis mecánico del pórtico de estudio hay que seguir los siguientes pasos con la ayuda del preprocesador “gmsafir”:

1. Definir la geometría del pórtico.
2. Imponer las condiciones de contorno (apoyos y arriostramientos).
3. Definir y asignar los materiales y las secciones.
4. Aplicar las cargas.
5. Mallar.
6. Realizar el cálculo mecánico.

7.2.1 Geometría del pórtico

Para definir la geometría del pórtico (2D o 3D) el preprocesador dispone de las mismas herramientas anteriormente mencionadas en el subapartado 7.1.1 de este documento, simplemente con las opciones de añadir puntos y líneas en el modelo es fácil construir la geometría. Es importante destacar que es necesario añadir un punto en las ubicaciones donde el pórtico esté arriostrado (como en las uniones con las vigas perimetrales o con las correas) y para segmentar una barra en tantas zonas como sea necesaria para aplicar la protección pasiva de forma no uniforme y para aplicar las cargas no uniformemente distribuidas del viento. Por tanto, la definición de la geometría varía en función de la hipótesis de carga considerada y de los arriostramientos modelados.

Además, es muy importante conocer como dispone los ejes locales el preprocesador para orientar correctamente las secciones y ubicar la cara no expuesta al fuego de forma correcta (hacia el exterior). Por un lado, la disposición de ejes en un análisis estructural 2D se muestra en la Figura 7.5.

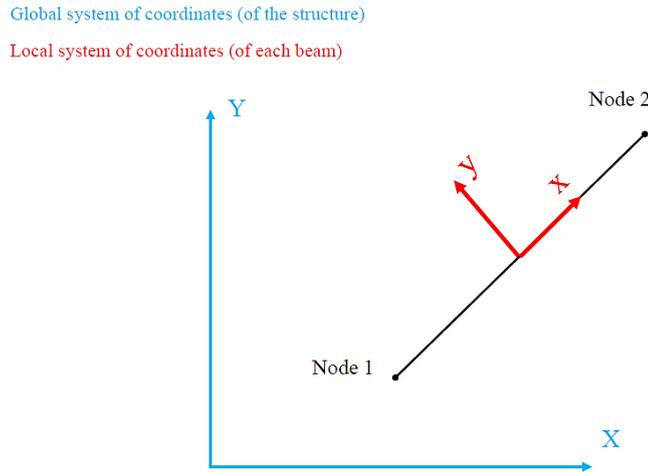


Figura 7.5. Convenio de ejes en un análisis estructural 2D [27].

Como las secciones se han generado en el plano local YZ y la cara no expuesta se encuentra en la parte superior, véase Figura 7.4, para disponer correctamente las barras deben dibujarse en sentido horario.

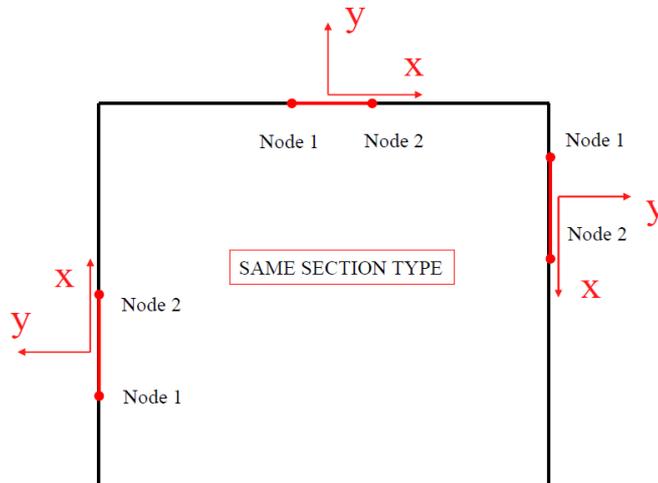


Figura 7.6. Disposición de barras en un análisis estructural 2D [27].

Por otro lado, la disposición de ejes en un análisis estructural 3D se muestra en la Figura 7.7.

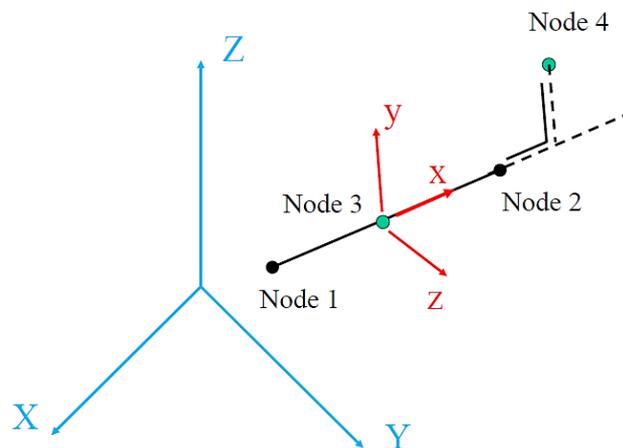


Figura 7.7. Convenio de ejes en un análisis estructural 3D [27].

En el análisis 3D el preprocesador permite asignar directamente la orientación del eje local Y' de una barra en el menú "Geometry→Physical groups→Add→Curve→Beam Section Local Axes", pero primero se debe definir el eje local que se quiere asignar en el menú "Geometry→Physical groups→Add→Curve→New LAX Definition". Si, por ejemplo, se indica que la disposición del eje local es la (0, 0, -1) se está especificando que la dirección del eje local Y' es la misma que la del eje global Z y su sentido es el opuesto. La correcta disposición de los ejes se puede comprobar fácilmente ya que el programa añade un cuarto nodo fuera del elemento que marca la dirección y sentido del eje local Y'.

7.2.2 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno que se deben aplicar al pórtico son, por un lado, empotrar los pilares en sus apoyos y, por otro lado, impedir el desplazamiento fuera del plano en los arriostramientos. Obviamente, en un análisis 2D no es necesario introducir los arriostramientos ya que en el propio análisis se impide el desplazamiento de todos los nodos fuera del plano del pórtico.

Para restringir los movimientos en un punto se accede al menú "Geometry→Physical groups→Add→Point→Block Constraint" y se asigna la función "F0" en todos los movimientos impedidos. Destacar que en un análisis 3D se dispone de 7 grados de libertad: 3 traslaciones, 3 rotaciones y la torsión/alabeo de la sección.

7.2.3 Secciones y materiales

En el análisis mecánico se pueden emplear de nuevo los materiales "STEELEC3EN" e "INSULATION". Sin embargo, para introducir el acero en este análisis se ha decidido emplear el material "STEELSL" de SAFIR. Esta decisión se justifica por que al hacer uso de los elementos finitos tipo viga se tratan todas las secciones como clase 1, lo que permite el desarrollo de una distribución de tensiones completamente plástica en la sección y una redistribución plástica de esfuerzos en la estructura. Por tanto, este tipo de elementos a priori no están adaptados para modelar estructuras con secciones clase 2, 3 y 4. Sin embargo, el material "STEELSL" permite tener en cuenta las inestabilidades locales en este tipo de elementos haciendo uso de una ley constitutiva efectiva del acero donde se ajusta la relación tensión-deformación del Eurocódigo 3 (modelo elastoplástico). En el artículo titulado *Effective stress method to be used in beam finite elements to take local instabilities into account ([28])* se explica detalladamente este nuevo enfoque, que se diferencia del utilizado en el UNE-EN 1993-1-1 que está basado en el cálculo del ancho efectivo. En la Figura 7.8 se muestra las diferencias entre ambos enfoques.

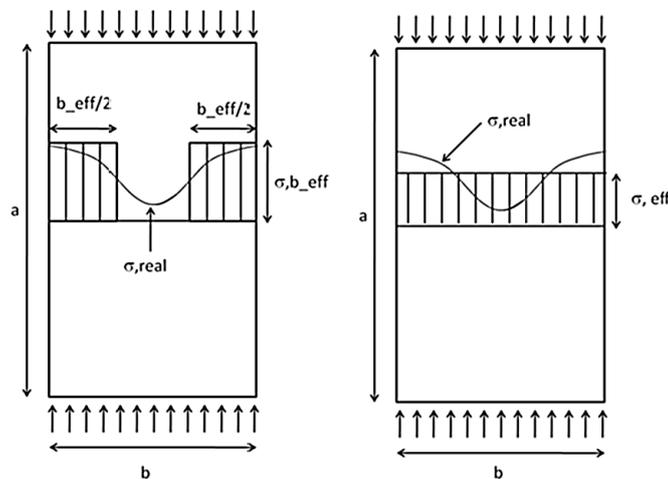


Figura 7.8. Diferencias entre el enfoque del ancho efectivo (izq.) y el enfoque de la tensión efectiva (der.) [28].

Para obtener esta nueva ley efectiva se aplica un factor de reducción k_{sl} al límite elástico, al límite de proporcionalidad y a la deformación correspondiente al inicio de plateau. Debido a que el pandeo local se desarrolla únicamente bajo esfuerzos de compresión, la relación tensión-deformación debe modificarse solo en la parte comprimida y permanecer constante en la parte traccionada. Además, el módulo tangente en el origen de la ley no se modifica ya que las tensiones de compresión bajas no producen inestabilidades. En la Figura 7.9 se muestra la evolución de este factor de reducción con la temperatura y la esbeltez reducida, donde b y t son las dimensiones del elemento estudiado (ala/alma).

$$\bar{\lambda}_\theta = \frac{b/t}{\pi \cdot \sqrt{\frac{E(\theta)}{f_y(\theta)}}} \quad \text{Ec. 7.2}$$

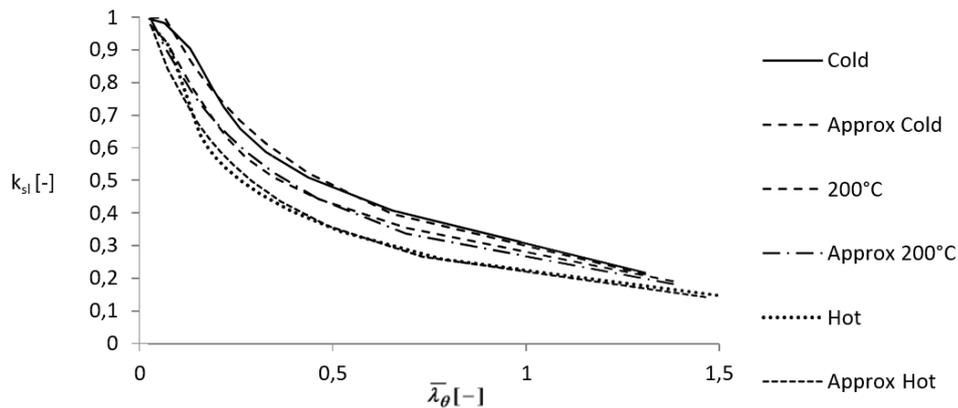


Figura 7.9. Factor de reducción de esbeltez a temperatura ambiente y a alta temperatura [28].

Los parámetros a introducir en el preprocesador para añadir este material accediendo al menú “Geometry→Physical groups→Add→Curve→New Material Definition” son:

- Módulo de Young: 210 GPa.
- Coeficiente de Poisson: 0,3.
- Límite elástico: 275 MPa.
- Temperatura máxima (temperatura máxima más allá de la cual el comportamiento no es reversible durante el enfriamiento): 1200°C
- Tasa de disminución del límite elástico residual cuando la temperatura máxima ha superado el umbral: 0 MPa/K.
- Número de soportes de la placa: 3 para placas salientes (alas) o 4 para placas internas (alma).
- Coeficiente de esbeltez de la placa calculado según lo dispuesto en el Eurocódigo 1993-1-1: 4,79 (ala IPE400) o 38,49 (alma IPE400), véase ecuaciones 7.3 y 7.4.

$$c = \begin{cases} h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 331,0 \text{ mm para alma} \\ \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = 64,7 \text{ mm para ala} \end{cases} \quad \text{Ec. 7.3}$$

$$t = \begin{cases} t_w = 8,6 \text{ mm para alma} \\ t_f = 13,5 \text{ mm para ala} \end{cases} \quad \text{Ec. 7.4}$$

Como los dos últimos parámetros varían en función del alma o las alas del perfil, es necesario incluir dos materiales “STEEL3EN” al modelar la sección en el análisis térmico. Por este motivo se han separado las alas y el alma cuando se ha generado la geometría de la sección.

Además, se debe tener precaución a la hora de introducir los materiales y las secciones en el menú “Geometry→Physical groups→Add→Curve→Beam Section Type” para que la asignación de los mismos en el análisis térmico sea correcta. Para ello, simplemente hay que tener en cuenta que a la hora de definir una sección en el análisis mecánico se deben asignar los materiales en el mismo orden en el que se han definido en el modelo térmico de la sección (el nombre y orden con el que se definan los materiales en el modelo mecánico es indiferente). También se debe disponer el nombre del fichero (.TEM) incluyendo la extensión del archivo, véase Figura 7.10.

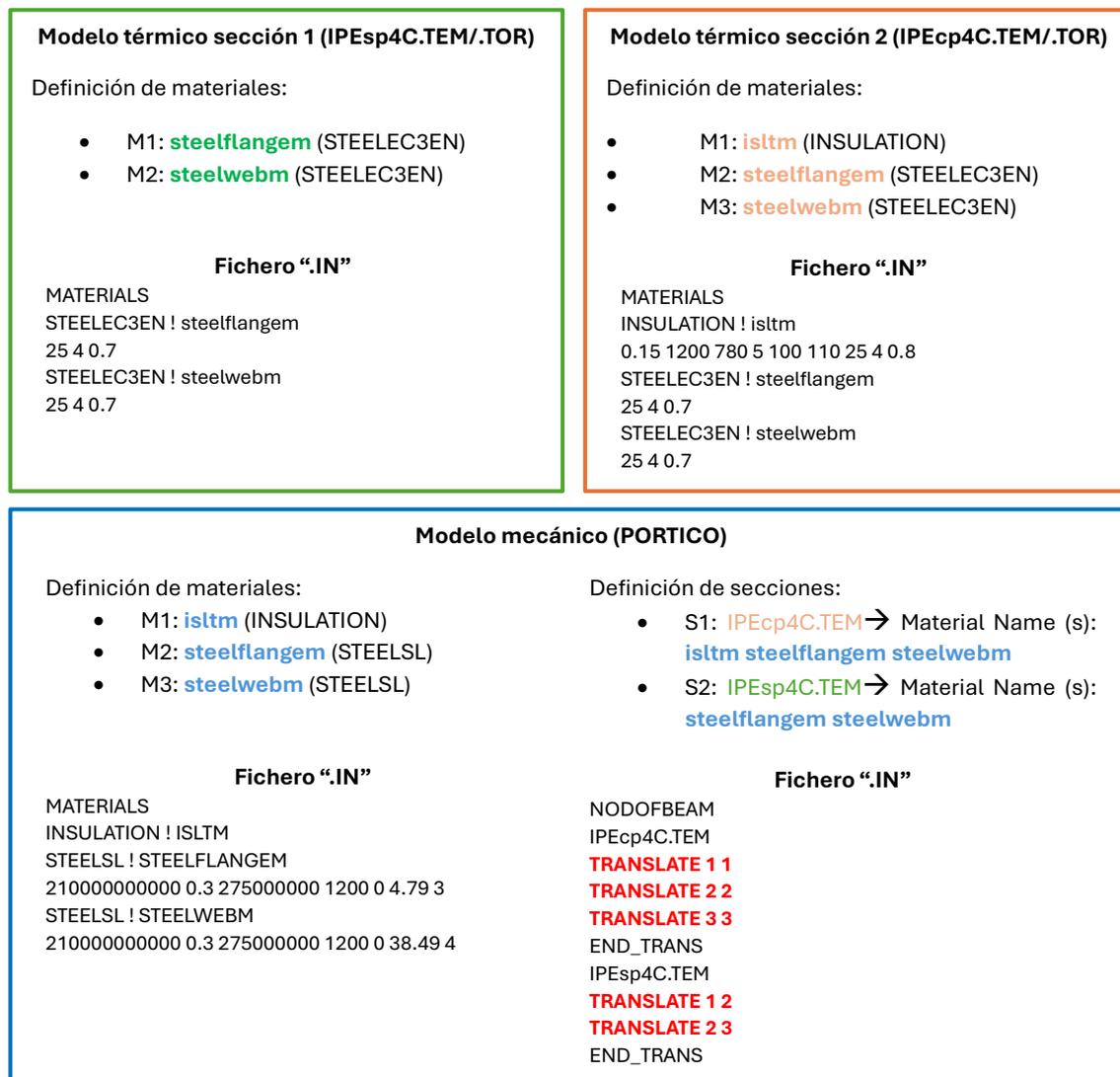


Figura 7.10. Asignación de secciones y materiales entre el análisis térmico y mecánico.

Por último, matizar que la protección pasiva se introduce de nuevo con el material “INSULATION” y no es necesario añadir ninguna información al programa dado que este asume que su resistencia es nula.

7.2.4 Cargas

Como se indica en el subcapítulo 4.3 de este documento, las hipótesis críticas a considerar en el cálculo del pórtico de estudio son:

- $PP + 0,2 \cdot N(EI)$
- $PP + 0,5 \cdot V(180^\circ)H1$

Por un lado, los estados de carga del pórtico para cada una de las hipótesis se muestran en la Figura 7.11 y la Figura 7.12.

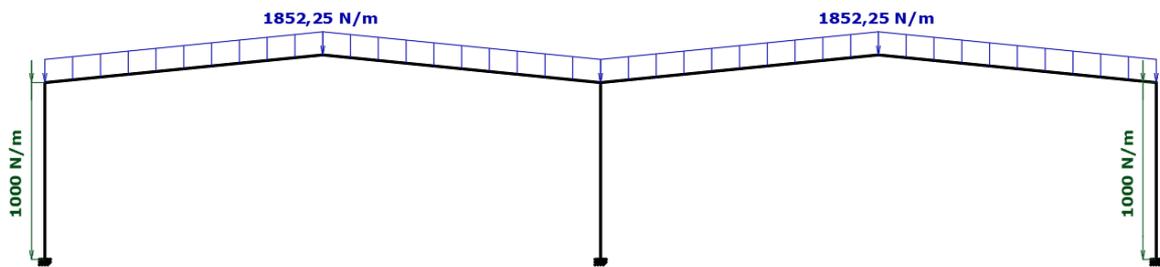


Figura 7.11. Distribución de cargas en la hipótesis PP + 0,2N(EI) para la alineación B.

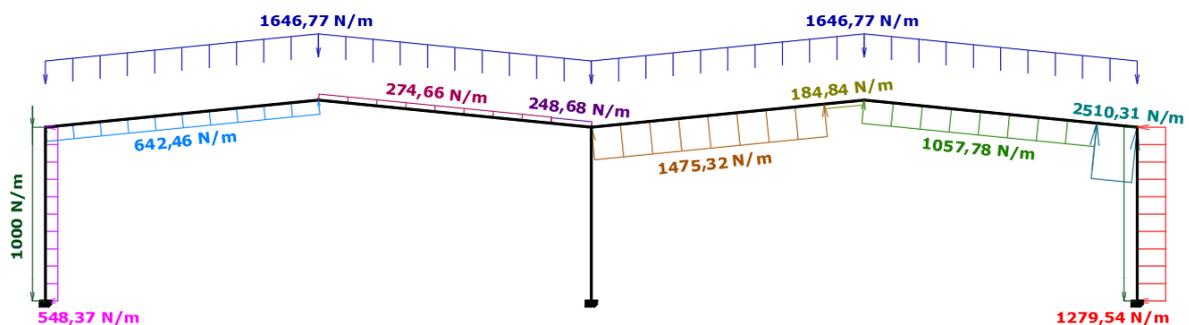


Figura 7.12. Distribución de cargas en la hipótesis PP + 0,5V(180°)H1 para la alineación B.

Para introducir estas cargas se accede al menú “Geometry→Physical groups→Add→Curve→Unif Distr Loads on Beam” y se indica con la opción “F1” su valor en N/m y su sentido (signo) de acuerdo con los ejes globales. Hay que destacar que en el programa se incluyen otras funciones diferentes a “F1” para aplicar las cargas, véase la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Funciones para aplicar cargas en SAFIR.

NOMBRE	FUNCIÓN	USO
F0	$f = 0$	Aplica una carga nula
F1	$f = 1$	Aplica una carga con el valor especificado
F1PS	$f = t$	Aplica una carga con el valor especificado que se incrementa a razón de t(s)
F1000PS	$f = 1000 \cdot t$	Aplica una carga con el valor especificado que se incrementa a razón de 1000·t(s)
FLOAD	$\begin{cases} f = \frac{t}{20} & \text{para } t \leq 20s \\ f = 1 & \text{para } t > 20s \end{cases}$	Aplica de forma gradual la carga especificada durante los veinte primeros segundos

Por otro lado, para considerar el efecto de las imperfecciones geométricas se aplica lo dispuesto en el CTE DB SE-A en su artículo 5.4.1 ([3]): “En estructuras de pórticos, en cada dirección analizada, a efectos de estabilidad, es suficiente considerar un desplome lineal en altura, de valor L/200 si en esa dirección hay sólo dos soportes y una altura, y L/400 si hay al menos cuatro soportes y tres alturas. En casos intermedios puede usarse el valor L/300, siendo L la altura total de la construcción si es constante, y la altura media si es ligeramente variable”. Además, el CE en su artículo 5.3.2 ([10]) dispone que: “Para pórticos en edificación, las imperfecciones de verticalidad se pueden despreciar

cuando la resultante de las acciones horizontales sobre el pórtico sea superior al 15% de la resultante de las acciones verticales sobre el pórtico: $H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}$ ”.

En la hipótesis PP + 0,5 · V(180°)H1 la resultante de las acciones horizontales es superior al 15% de la resultante de las acciones verticales, por tanto, no es necesario incluir una acción puntual en cabeza de pilar para considerar las imperfecciones de verticalidad. Sin embargo, en la hipótesis PP + 0,2 · N(EI), donde no hay acciones horizontales sobre el pórtico, es necesario añadir una acción puntual dada por la ecuación 7.5.

$$H_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{300} = \frac{1852,25 \left(\frac{N}{m}\right) \cdot 50(m) + 1000 \left(\frac{N}{m}\right) \cdot 16(m)}{300} = 362,05N \quad \text{Ec. 7.5}$$

Para introducir esta carga puntual se debe acceder al menú “Geometry→Physical groups→Add→Point→Loads on Node”. El estado de carga finalmente introducido para esta hipótesis se muestra en Figura 7.13.

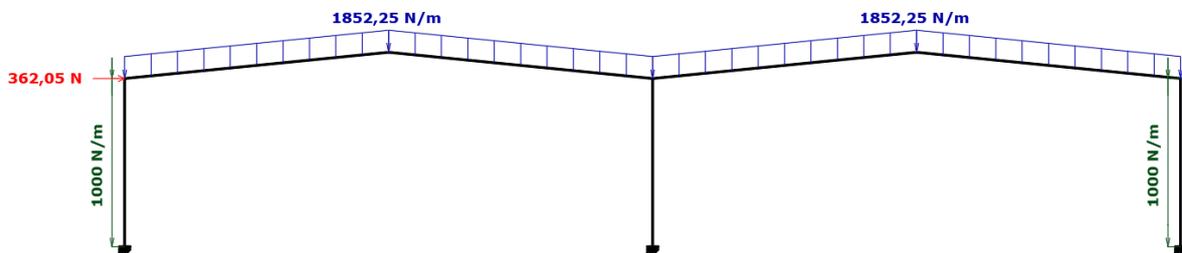


Figura 7.13. Distribución de cargas en la hipótesis PP + 0,2N(EI) considerando imperfecciones geométricas.

7.2.5 Mallado de la estructura

En la estructura se ha trabajado con dos mallas diferentes generadas con el comando “Transfinite Curve” descrito en el subapartado 7.1.4 de este documento. En el primer mallado, cada una de las barras ha sido subdividida en elementos de aproximadamente un metro de longitud. En el segundo mallado, el tamaño de los elementos se ha refinado, reduciéndolo a 25 cm.

Tabla 7.3. Mallados en el análisis mecánico.

MALLADO	TIPO	DISTRIBUCIÓN DE NODOS	TAMAÑO APROXIMADO DEL ELEMENTO
A	1D	Uniforme	25 cm
B	1D	Uniforme	100 cm

Es importante señalar que se han realizado pruebas refinando el mallado hasta un tamaño de elemento de 10 cm sin que se observen variaciones significativas en los resultados obtenidos.

7.2.6 Análisis mecánico

La información que se debe incluir en el menú general para que el preprocesador genere el archivo (.IN) que emplea el software SAFIR es:

- Problem Type: Structural 2D o Structural 3D.
- Consider max displacement: Si se selecciona la opción “YES” la simulación se detendrá cuando el desplazamiento de algún nodo sea superior al especificado. Como se quieren obtener las deformadas completas del pórtico se selecciona la opción “NO”.
- PRECISIÓN: 0,001.

- NGBEAM: Número de fichero (.TEM) distintos utilizados en la simulación.
- NG: Número de puntos de integración para los elementos tipo viga en la dirección longitudinal (2 o 3).
- TIMEPRINT: 0,1s.
- UPTIMEPRINT: 3600s.
- TIMESTEP: Debe ser menor o igual al empleado en el cálculo térmico. Se ha considerado un valor de 0,1s.
- UPTIME: Debe ser menor o igual al empleado en el cálculo térmico. Se ha considerado un valor de 3600s.
- TIMESTEPMIN: 10⁻¹⁰s.
- TIMESTEPMAX: 2s.
- Convergence: COMEBACK.
- Name of the .IN File: Nombre del fichero (.IN) generado.
- Mode: Se puede seleccionar un análisis estático o dinámico por el método numérico de Newmark puro o aproximado.
 - STATIC PURE_NR
 - STATIC APPR_NR
 - DYNAMIC PURE_NR
 - DYNAMIC APPR_NR

Hay que tener en cuenta que, durante el colapso de una estructura, se pueden producir rápidos desplazamientos que no permiten despreciar las fuerzas de inercia y, por tanto, es conveniente realizar un análisis dinámico. En este análisis el equilibrio está descrito por la ecuación 7.6

$$\{F\} = [K] \cdot \{u\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [M] \cdot \{\ddot{u}\} \quad \text{Ec. 7.6}$$

donde:

- $\{u\}$: Vector de desplazamientos nodales.
- $\{\dot{u}\}$: Vector de velocidades nodales.
- $\{\ddot{u}\}$: Vector de aceleraciones nodales.
- $\{F\}$: Vector de fuerzas nodales.
- $[K]$: Matriz de rigidez.
- $[C]$: Matriz de amortiguamiento.
- $[M]$: Matriz de masas.

Para realizar este tipo de análisis hay que introducir en el menú “*Geometry→Physical groups→Add→Curve→Mass on beam*” el peso propio de las barras de la estructura en unidades del S.I (kg/m) y su inercia rotacional. El programa solo activa estas masas cuando las aceleraciones son significativas, por tanto, para facilitar la convergencia en los rápidos procesos de colapso de la estructura (por ejemplo, un fallo por pandeo puede durar menos de un segundo) es conveniente realizar un escalado de masas y utilizar “*TIMESTEPMIN*” muy bajos. Por este motivo, en los modelos mecánicos del pórtico de estudio se ha asignado a todas las barras una masa de 100000 kg/m y una inercia rotacional de 2. Además, se ha empleado un paso de tiempo mínimo de 10⁻¹⁰ segundos.

Una vez presentada toda la información necesaria para llevar a cabo el análisis mecánico del pórtico de estudio, es importante señalar que el objetivo de este análisis es identificar los modos de colapso y el tiempo de resistencia tanto en condiciones no protegidas como cuando solo se protegen los pilares exteriores. De este modo se busca, por un lado, determinar la resistencia real de un pórtico sin protección y, por otro, verificar las mejoras que se pueden obtener al proteger únicamente los

pilares exteriores. Cabe recordar que se está analizando el pórtico de referencia, que está compuesto por pilares y vigas con secciones IPE400.

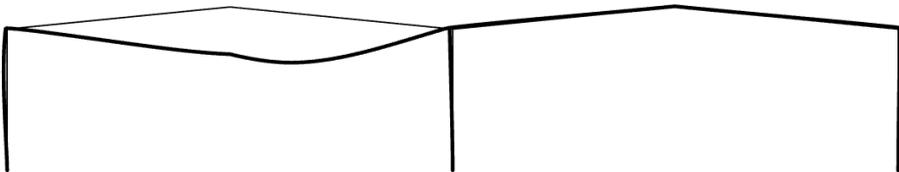
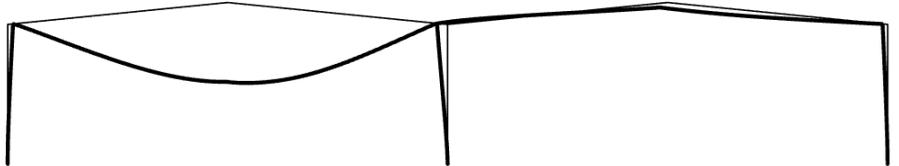
A continuación, se recopila la nomenclatura utilizada en los diversos análisis mecánicos para facilitar una mejor comprensión de los resultados:

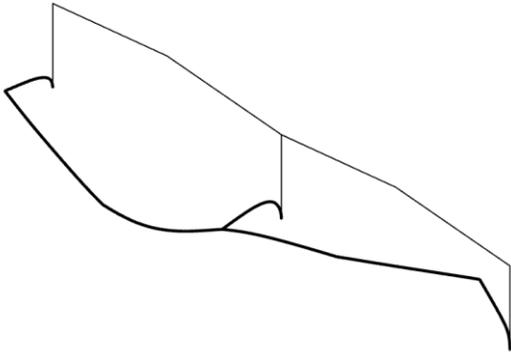
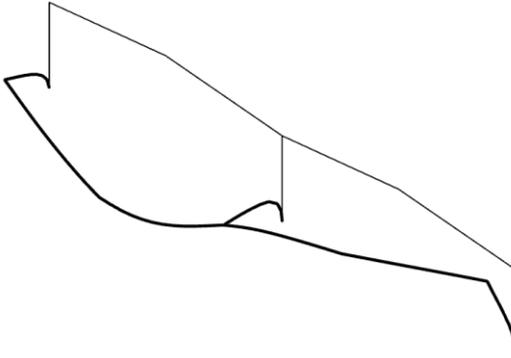
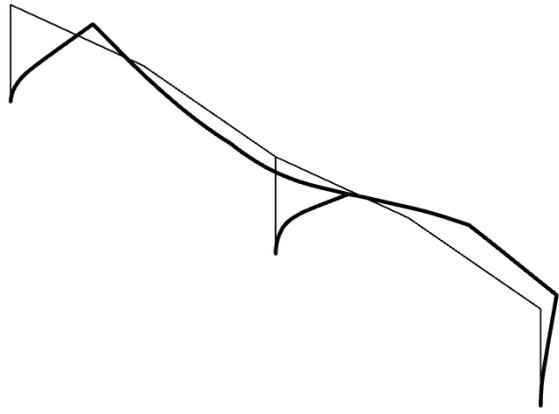
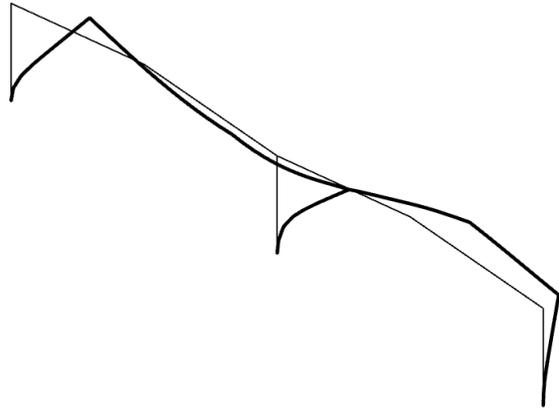
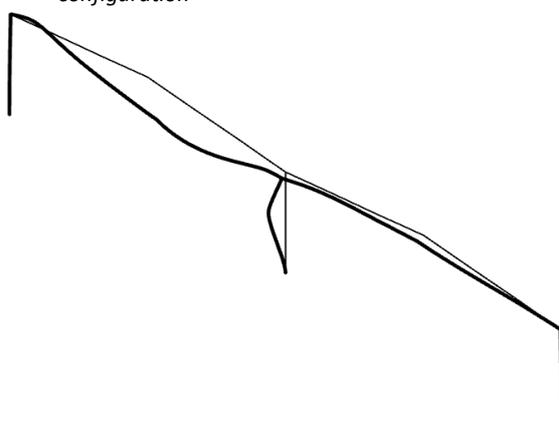
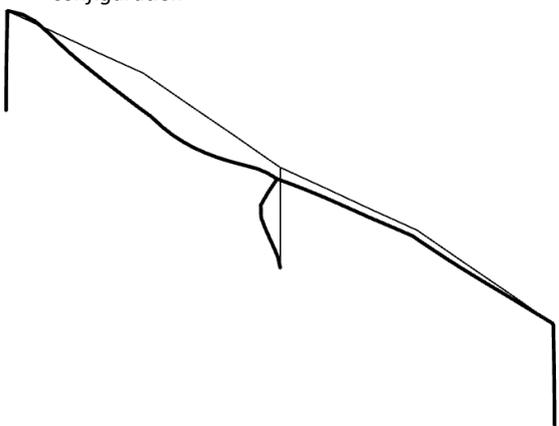
PORTICO / Tipo de análisis / Hipótesis de carga / Protección / Mallado / Arriostramientos

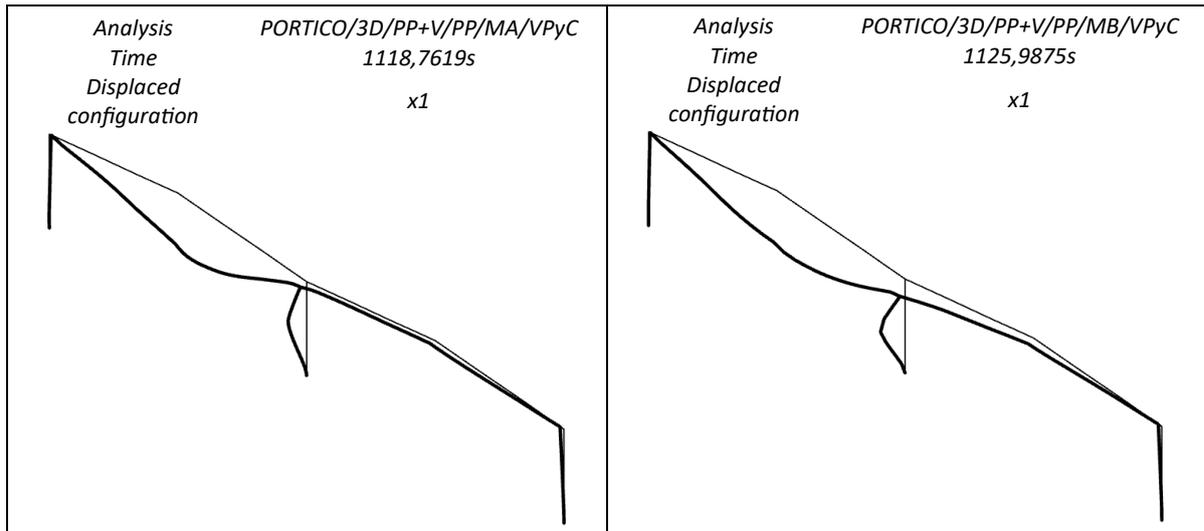
- Tipo de análisis:
 - 2D: Análisis estructural 2D.
 - 3D: Análisis estructural 3D.
- Hipótesis de carga:
 - PP+N: Hipótesis PP + 0,2 · N(EI)
 - PP+V: Hipótesis PP + 0,5 · V(180°)H1
- Protección:
 - NP: Ninguna barra protegida.
 - TP: Todas las barras protegidas.
 - PP: Pilares exteriores protegidos con un centímetro de IGNIPLASTER.
- Mallado:
 - MA: Mallado A.
 - MB: Mallado B.
- Arriostramientos (solo en análisis 3D):
 - NA: No se modelan arriostramientos.
 - AVP: Se modelan los arriostramientos de las vigas perimetrales.
 - AVPyC: Se modelan los arriostramientos de las vigas perimetrales y las correas.

En la Tabla 7.4 se recogen los resultados obtenidos al estudiar la hipótesis de carga PP + 0,5 · V(180°)H1. En estos se puede observar que la ganancia obtenida al proteger únicamente los pilares exteriores es menor a la esperada, ya que el aumento de resistencia alcanzado es de aproximadamente un minuto tanto en el análisis 2D como en el 3D del pórtico sin arriostramiento.

Tabla 7.4. Resultados del análisis mecánico para la hipótesis de carga PP + 0,5V(180°)H1.

ANÁLISIS 2D	
Analysis Time Displaced configuration	PORTICO/2D/PP+V/NP/MA 1178,5813s x1
	
Analysis Time Displaced configuration	PORTICO/2D/PP+V/PP/MA 1232,6125s x1
	

ANÁLISIS 3D	
Mallado A	Mallado B
<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/NP/MA/NA 573,2373s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 	<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/NP/MB/NA 570,7063s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 
<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/PP/MA/NA 639,8823s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 	<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/PP/MB/NA 638,0139s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 
<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/PP/MA/VP 1052,2336s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 	<p>Analysis Time PORTICO/3D/PP+V/PP/MB/VP 1039,3000s</p> <p>Displaced configuration x1</p> 



Sin embargo, es importante señalar que las simulaciones realizadas confirman una de las ventajas de aplicar la protección pasiva únicamente a los pilares exteriores del pórtico. Esta ventaja radica en que, como se muestra en la Figura 7.14, el colapso se produce en el pilar central, lo que provoca que el derrumbe de la estructura se desarrolle hacia el interior, que es lo deseado. De este modo se minimiza el riesgo de que el incendio se propague hacia los edificios adyacentes.

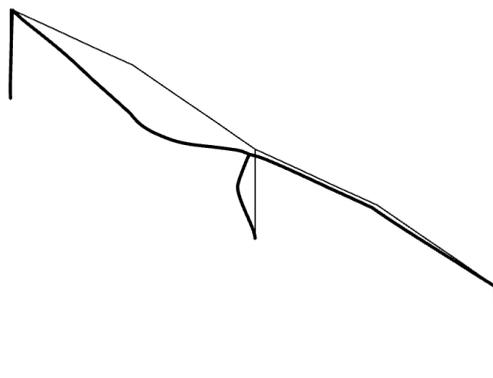


Figura 7.14. Mecanismo de colapso del pórtico arriostrado: hipótesis PP + 0,5V(180°)H1.

Si se selecciona como nodo representativo la cumbrera de la cubierta que no sufre succión por la acción del viento y se muestra su desplazamiento vertical durante el colapso, se puede observar que el análisis 2D marca un límite de resistencia del pórtico. A medida que se introducen arriostramientos en el modelo la resistencia obtenida se aproxima a este límite, véase Figura 7.17. Hay que destacar que, en los análisis recogidos solo se ha incluido el arriostramiento producido por las dos vigas perimetrales y por las correas de la Figura 7.15. Únicamente protegiendo adecuadamente esas correas se puede alcanzar el 95% de la resistencia del pórtico 2D.

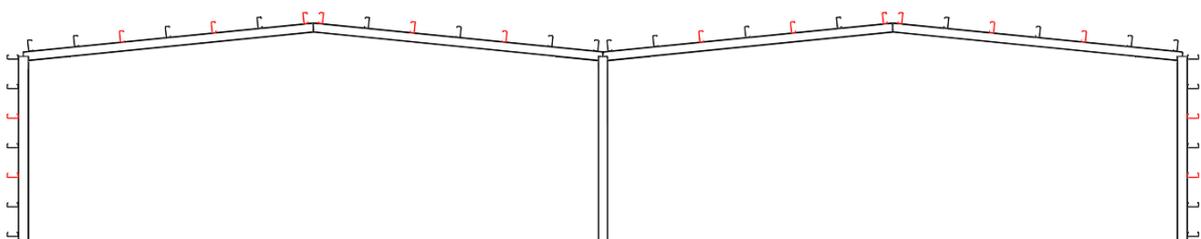


Figura 7.15. Correas con función de arriostramiento consideradas.

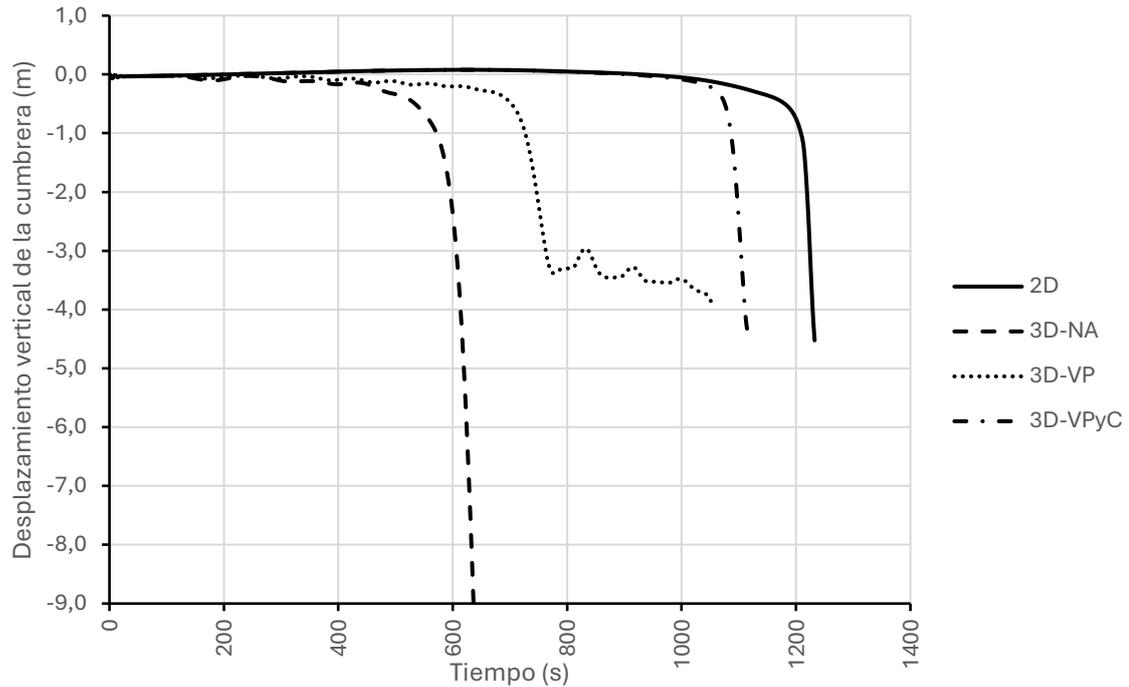
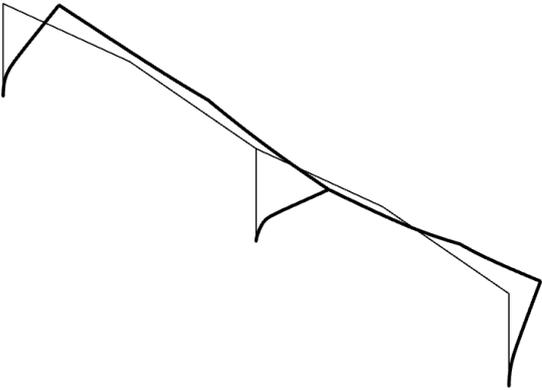
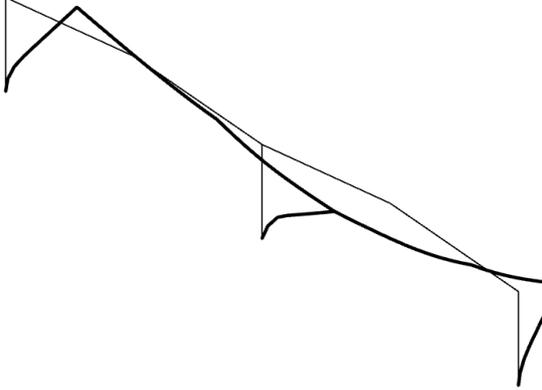
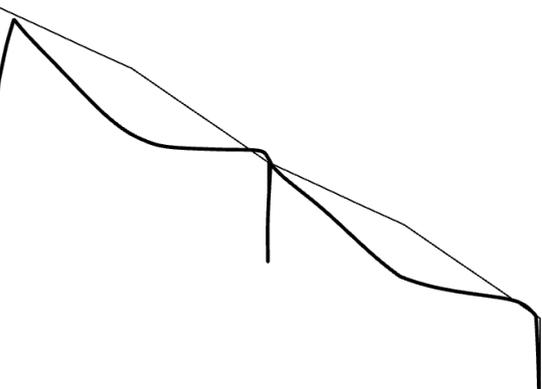
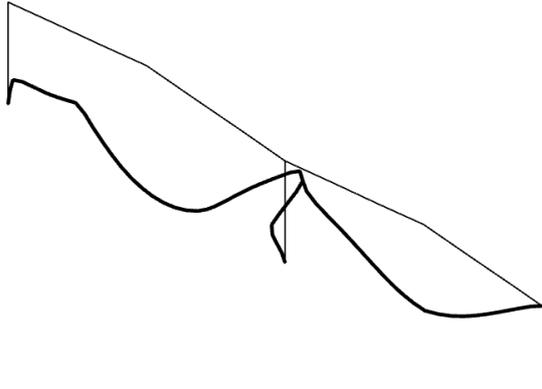
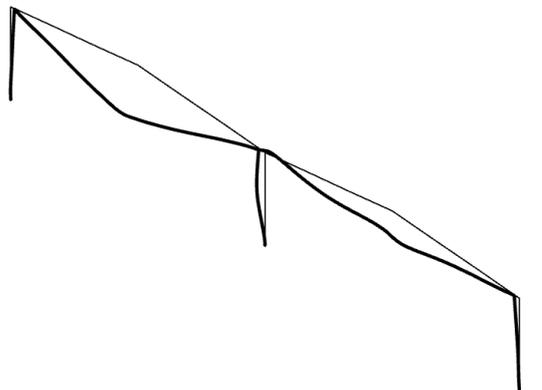
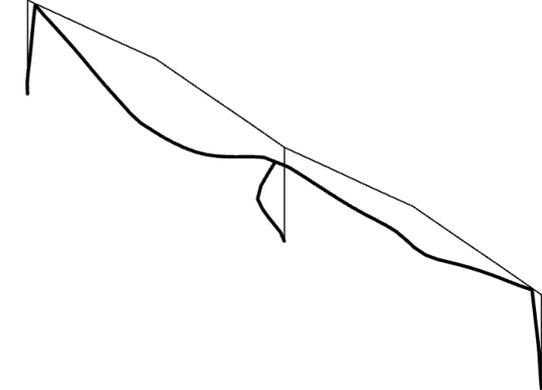


Figura 7.16. Influencia de los arriostramientos en la hipótesis $PP + 0,5V(180^\circ)H1$.

Por otro lado, en la Tabla 7.5 se recogen los resultados obtenidos al estudiar la hipótesis de carga $PP + 0,2 \cdot N(EI)$. Se observa una reducción significativa de la resistencia, por tanto, la hipótesis crítica corresponde a la acción conjunta del peso propio y el valor casi-permanente de la nieve. También se aprecia una influencia notable del mallado, aunque no tanto en el tiempo de resistencia alcanzado, sino más bien en la deformación resultante.

Tabla 7.5. Resultados del análisis mecánico para la hipótesis de carga $PP+0,2N(EI)$.

ANÁLISIS 2D	
Analysis Time Displaced configuration	PORTICO/2D/PP+N/NP/MA 1044,9250s x1
Analysis Time Displaced configuration	PORTICO/2D/PP+N/PP/MA 1070,8625s x1

ANÁLISIS 3D	
Mallado A	Mallado B
<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MA/NA 274,1789s x1</p> 	<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MB/NA 278,9008s x1</p> 
<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MA/VP 869,8891s x1</p> 	<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MB/VP 972,3752s x1</p> 
<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MA/VPyC 1018,6633s x1</p> 	<p>Analysis Time Displaced configuration</p> <p>PORTICO/3D/PP+N/PP/MB/VPyC 1032,6916s x1</p> 

Seleccionando como nodo representativo el posicionado en la cumbrera, se puede observar de nuevo el efecto que tienen los distintos arriostramientos en la respuesta del pórtico, véase Figura 7.17.

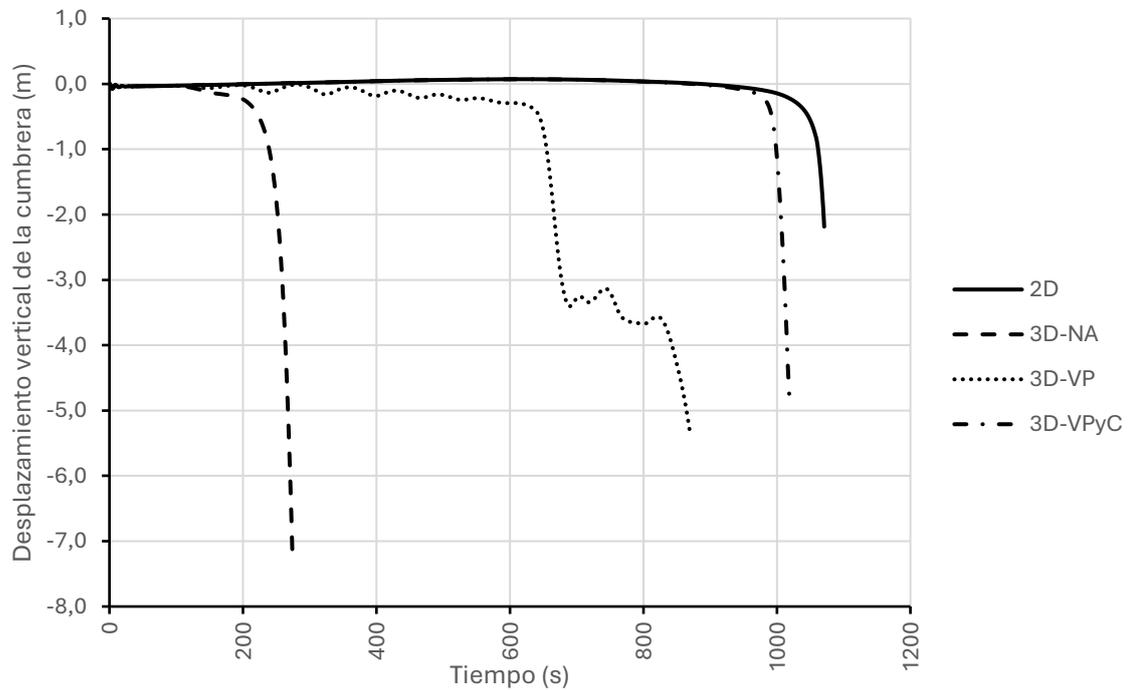


Figura 7.17. Influencia de los arriostramientos en la hipótesis PP + 0,2N(EI).

Por último, se ha realizado una simulación protegiendo todo el pórtico con 1 cm de proyección de mortero IGNIPLASTER para comprobar que efectivamente alcanza la resistencia de los 30 minutos. Para ello se ha simulado la hipótesis crítica PP + 0,2 · N(EI) y se han modelado únicamente los arriostramientos de las vigas perimetrales, los resultados se muestran en la Figura 7.18.

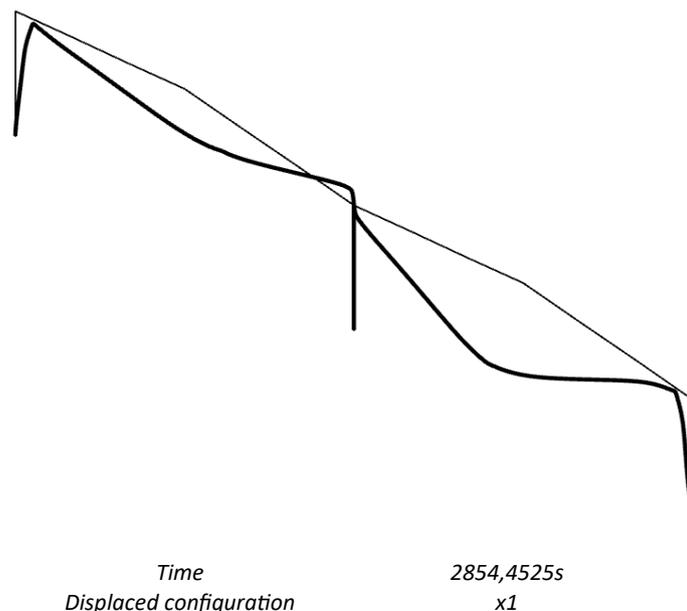


Figura 7.18. Resultados para el pórtico completamente protegido con IGNIPLASTER: hipótesis PP + 0,2N(EI).



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

ANEXO DE NOMENCLATURA

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

MEMORIA DESCRIPTIVA

Capítulo 1: Introducción

En el primer capítulo de la Memoria Descriptiva son de aplicación los siguientes símbolos:

θ_g	temperatura del gas en la proximidad del elemento expuesto al fuego
t	tiempo de exposición al fuego
$R_{fi,d,t}$	valor de cálculo de la resistencia del elemento de acero en el instante de tiempo t
$E_{fi,d,t}$	valor de cálculo del efecto de las acciones en el instante de tiempo t
$E_{fi,d}$	valor de cálculo del efecto de las acciones en el instante inicial
θ_a	temperatura de la superficie del elemento de acero
$\theta_{a,cr}$	temperatura crítica del elemento de acero
$t_{fi,d}$	valor de cálculo del tiempo de resistencia al fuego
$t_{fi,requ}$	tiempo mínimo exigido de resistencia al fuego

Capítulo 3: Alternativas de diseño

En tercer capítulo de la Memoria descriptiva son de aplicación los siguientes símbolos:

L	luz del pórtico
E	altura del pilar
S	separación entre pórticos
θ_0	ángulo inicial de la viga
θ	ángulo de la viga en el momento crítico de colapso
α	ángulo de desviación inicial del pilar
R_1	longitud de la viga desde el extremo final de la cartela hasta el vértice superior del pórtico incluyendo la elongación producida por el incremento de la temperatura
R_2	longitud de la cartela inferior de la viga
G	distancia horizontal entre los extremos de las cartelas inferiores de las vigas del pórtico
Y	altura del extremo final de la cartela inferior de la viga
X_1	distancia horizontal desde la base del pilar hasta el extremo final de la cartela de la viga
X_2	distancia horizontal desde la base del pilar hasta el punto medio de la cartela de la viga
F_1	carga vertical en la viga sobre la longitud R_1

F_2	carga vertical en la viga sobre la longitud R_2
H	carga horizontal resultante en la viga
w_f	carga superficial de la cubierta (cerramientos, instalaciones, correas y vigas)
W_D	carga vertical sobre la base del pilar por el peso de las correas y el cerramiento de la fachada lateral
M_{p1}	momento de la rótula plástica en el extremo final de la cartela de la viga
M_{p2}	momento de la rótula plástica de la viga en el vértice superior del pórtico
M_p	momento plástico de la viga a temperatura ambiente
M_c	momento plástico del pilar a temperatura ambiente
A	coeficiente función del ángulo de la viga en el momento crítico de colapso
B	coeficiente función de la geometría del pórtico
C	coeficiente función de la geometría del pórtico
K	factor corrector para pórticos de más de un vano
V_R	reacción vertical en la base del pilar en el instante crítico de colapso de cubierta
H_R	reacción horizontal en la base del pilar en el instante crítico de colapso de cubierta
OTM	momento en la base del pilar en el instante crítico de colapso de cubierta
$x; y$	coordenadas absolutas cartesianas
$\eta; \xi$	coordenadas locales cartesianas relativas al elemento de referencia
$q_x; q_y$	flujo de calor en la dirección x e y
Q	calor interno liberado
ρ	densidad del material
C	calor específico del material
T	temperatura del material
t	tiempo
$k_x; k_y$	conductividad térmica del material en la dirección x e y
N	función de forma
R	función residuo
Ψ	función de ponderación
W	forma integral de la función residuo
r	residuo
i	subíndice que denota un determinado nodo en un elemento

e	subíndice que denota un determinado elemento
n _i	número de nodos del elemento
n _e	número de elementos
A	área del elemento
S	superficie del elemento
q _n	flujo de calor en la superficie del elemento
h	coeficiente de convección
T _g	temperatura del gas en la proximidad del elemento
T _s	temperatura de la superficie del elemento
σ	constante de Stefan-Boltzman
ε*	emisividad relativa del material
\bar{V}	volumen no deformado del elemento
\bar{S}_{ij}	tensor de tensiones de Piola-Kirchoff de segundo orden
\bar{D}_{ijkl}	tensor que define la ley constitutiva incremental del material
$\delta\bar{E}_{ij}$	tensor del campo virtual de desplazamiento de Green
$\delta\bar{u}_i$	campo virtual de desplazamientos desde la posición deformada del elemento
\bar{f}_i	fuerzas volumétricas aplicadas al cuerpo
E _{xx} ; E _{xy} ; E _{xz}	deformaciones del elemento tipo viga Bernoulli
u; v; w	desplazamientos de la nodeline
ψ	rotación a lo largo del eje longitudinal
ω	función de alabeo
y; z	coordenadas en la sección
y _c ; z _c	coordenadas del centro de torsión de la sección
y ₀ ; z ₀	coordenadas de la nodeline en la sección

ANEXO DE CÁLCULO

Capítulo 1: Cálculo a temperatura ambiente con Cype3D

En el primer capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

q _e	presión estática del viento
q _b	presión dinámica del viento
C _e	coeficiente de exposición

C_p	coeficiente eólico
g	grado de aspereza del entorno
z	altura sobre el terreno de la edificación
F	coeficiente de rugosidad del entorno
k	factor del terreno
L	tamaño del torbellino que se forma por fricción del aire con la superficie del terreno
Z	altura mínima a considerar
q_n	valor característico de la carga de nieve
s_k	valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal
μ	coeficiente de forma del faldón de cubierta
α	pendiente del faldón de cubierta
$\bar{\beta}$	semisuma de las pendientes de los dos faldones que conforman una limahoya
$G_{k,j}$	valor característico de la acción permanente j
$Q_{k,i}$	valor característico de la acción variable i
A_d	valor de cálculo de la acción accidental
$\Psi_{0,i}$	coeficiente de combinación de la acción variable i
$\Psi_{1,i}$	coeficiente frecuente de la acción variable i
$\Psi_{2,i}$	coeficiente casi permanente de la acción variable i
$\gamma_{G,i}$	coeficiente parcial de seguridad de la acción permanente i
$\gamma_{Q,i}$	coeficiente parcial de seguridad de la acción variable i
λ	esbeltez mecánica
λ_{XY} o λ_z	esbeltez mecánica en el plano XY
λ_{XZ} o λ_y	esbeltez mecánica en el plano XZ
λ_{lim}	esbeltez límite
$\bar{\lambda}$	esbeltez reducida
$\bar{\lambda}_{XY}$ o $\bar{\lambda}_z$	esbeltez reducida en el plano XY
$\bar{\lambda}_{XZ}$ o $\bar{\lambda}_y$	esbeltez reducida en el plano XZ
$\bar{\lambda}_{m\acute{a}xima}$	valor límite de la esbeltez reducida
β	coeficiente de pandeo
β_{XY} o β_z	coeficiente de pandeo en el plano XY

β_{xz} o β_y	coeficiente de pandeo en el plano XZ
L_k	longitud efectiva de pandeo
$L_{k,XY}$	longitud efectiva de pandeo en el plano XY
$L_{k,XZ}$	longitud efectiva de pandeo en el plano XZ
i	radio de giro de la sección transversal
E	módulo de Young del acero
L	longitud del elemento
h_T	altura total del pilar interior de mayor altura del pórtico de fachada
h_i	altura del tramo inferior del pilar interior de mayor altura del pórtico de fachada
h_s	altura del tramo superior del pilar interior de mayor altura del pórtico de fachada
$C_{m,XY}$	coeficiente de momento equivalente en el plano XY
$C_{m,XZ}$	coeficiente de momento equivalente en el plano XZ
$C_{m,LT}$	coeficiente de momento equivalente para pandeo lateral
C_1	coeficiente de momento equivalente para pandeo lateral
b/t	relación anchura/espesor
N_t	resistencia a tracción
N_c	resistencia a compresión
M_y	resistencia a flexión (eje y)
M_z	resistencia a flexión (eje Z)
M_yM_z	resistencia a flexión biaxial
V_y	resistencia a corte Y
V_z	resistencia a corte Z
$N_tM_yM_z$	resistencia a tracción y flexión
$N_cM_yM_z$	resistencia a compresión y flexión
$NM_yM_zV_yV_z$	resistencia a cortante, axil y flexión
$M_tNM_yM_zV_yV_z$	resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
x	distancia al origen de la barra
η	coeficiente de aprovechamiento (%)

Capítulo 2: Clasificación de las secciones a temperatura elevada

En el segundo capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

h	canto de la sección transversal en doble T
b	ancho de la sección transversal en doble T

t_w	espesor del alma de la sección transversal en doble T
t_f	espesor de ala de la sección transversal en doble T
r	radio de acuerdo alma-ala de la sección transversal en doble T
A	área de la sección transversal
c	longitud de una parte de la sección transversal
t	espesor de una parte de la sección transversal
$k_{E,\theta}$	factor de reducción del módulo de elasticidad del acero con la temperatura
$k_{y,\theta}$	factor de reducción del límite elástico del acero con la temperatura
$k_{\lambda,\theta}$	factor de mayoración de la esbeltez con la temperatura
ϵ_θ	factor de reducción a alta temperatura
α	posición relativa de la fibra neutra en el elemento comprimido
Ψ	relación de tensiones en los bordes del elemento comprimido
N_{Ed}	axil de cálculo en el elemento comprimido
f_y	límite elástico del acero

Capítulo 3: Trasmisión de calor en estructuras metálicas

En el tercer capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

$[A_m/V]$	masividad de la sección de acero
$[A_m/V]_p$	masividad de la sección de acero con protección pasiva
$[A_m/V]_b$	cociente entre el área de la superficie expuesta al fuego del menor polígono convexo envolvente de la sección y el volumen del acero
θ_g	temperatura del gas en proximidad del elemento expuesto al fuego
θ_a	temperatura de la superficie del elemento de acero
θ_r	temperatura de radiación del ambiente
ρ_a	densidad del acero al carbono
c_a	calor específico del acero al carbono
ρ_p	densidad del material de protección pasiva
c_p	calor específico del material de protección pasiva
d_p	espesor del material de protección pasiva
λ_p	conductividad térmica del material de protección pasiva
\dot{h}_{net}	flujo neto de calor por unidad de superficie
$\dot{h}_{net,c}$	componente de convección del flujo neto de calor

$\dot{h}_{net,r}$	componente de radiación del flujo neto de calor
α_c	coeficiente de transferencia de calor por convección
Φ	factor de configuración
ϵ_f	emisividad del fuego
ϵ_m	emisividad superficial del acero al carbono
σ	constante de Stefan-Boltzmann
k_{sh}	coeficiente de efecto sombra

Capítulo 4: Cálculo en el dominio de la temperatura

En el cuarto capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

G_k	valor característico de las acciones permanentes
$\Psi_{fi,1}$	factor de combinación de la acción variable principal en una situación de cálculo accidental
$Q_{k,1}$	valor característico de la acción variable principal
γ_G	coeficiente parcial de seguridad para las acciones permanentes en una situación de cálculo persistente o transitoria
$\gamma_{Q,1}$	coeficiente parcial de seguridad para la acción variable principal en una situación de cálculo persistente o transitoria
η_{fi}	factor de reducción sobre el efecto de cálculo de las acciones a temperatura ambiente en situación de incendio
θ_{cr}	temperatura crítica
μ_0	grado de utilización para el instante $t = 0$

Capítulo 5: Cálculo en el dominio de la resistencia

En el quinto capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

$N_{fi,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo en situación de incendio
$N_{\theta,Rd,t}$	resistencia de cálculo a tracción a alta temperatura
$N_{\theta,Rd}$	resistencia de cálculo a compresión a alta temperatura
$N_{b,Rd,\theta}$	resistencia de cálculo a pandeo por axil a alta temperatura
$V_{fi,Ed}$	esfuerzo cortante de cálculo en situación de incendio
$V_{\theta,Rd}$	resistencia de cálculo a cortante a alta temperatura
$M_{fi,y,Ed}$	esfuerzo flector de cálculo sobre eje fuerte en situación de incendio
$M_{\theta,Rd,y}$	resistencia de cálculo a flexión sobre eje fuerte a alta temperatura
$M_{b,\theta,Rd}$	resistencia de cálculo a pandeo por flexión a alta temperatura

A_v	área resistente a cortante de la sección transversal
A	área de la sección transversal
A_{eff}	área eficaz de la sección transversal clase 4
I_y	módulo de inercia de la sección transversal respecto al eje fuerte
$I_{y,eff}$	módulo de inercia eficaz de la sección transversal clase 4 respecto al eje fuerte
I_z	módulo de inercia de la sección transversal respecto al eje débil
$I_{z,eff}$	módulo de inercia eficaz de la sección transversal clase 4 respecto al eje débil
I_T	módulo de torsión uniforme de la sección transversal
I_w	módulo de alabeo de la sección transversal
i_y	radio de giro de la sección transversal respecto al eje fuerte
i_z	radio de giro de la sección transversal respecto al eje débil
W_y o $W_{el,y}$	módulo resistente elástico de la sección transversal respecto al eje fuerte
W_z o $W_{el,z}$	módulo resistente elástico de la sección transversal respecto al eje débil
$W_{y,eff}$	módulo resistente elástico eficaz de la sección transversal clase 4 respecto al eje fuerte
$W_{z,eff}$	módulo resistente elástico eficaz de la sección transversal clase 4 respecto al eje débil
$W_{pl,y}$	módulo resistente plástico de la sección transversal respecto al eje fuerte
$W_{pl,z}$	módulo resistente plástico de la sección transversal respecto al eje débil
$e_{N,y}$	desplazamiento del centro de gravedad de la sección eficaz respecto del centro de gravedad de la sección bruta (medido ortogonalmente al eje fuerte)
$i_{f,z}$	radio de giro del ala comprimida equivalente con respecto al eje débil de la sección transversal, constituida por la propia ala comprimida más la tercera parte del área de la parte comprimida del alma
t_w	espesor del alma de la sección transversal en doble T
t_f	espesor del ala de la sección transversal en doble T
h	canto de la sección transversal en doble T
b	ancho de la sección transversal en doble T
r	radio de acuerdo de la sección transversal en doble T
$\sigma_1; \sigma_2$	tensión en el extremo superior/inferior del alma clase 4
Ψ	cociente entre las tensiones en los extremos del alma clase 4
f_y	valor característico del límite elástico del acero a temperatura ambiente
$f_{y,\theta}$	valor característico del límite elástico del acero a alta temperatura

$\gamma_{M,fi}$	coeficiente de seguridad sobre el límite elástico del acero en situación de incendio
E	módulo de elasticidad del acero
G	módulo de elasticidad transversal del acero
$\gamma_{M,fi}$	coeficiente parcial de seguridad del acero en una situación extraordinaria de cálculo
$\bar{\lambda}_p$	esbeltez reducida del elemento clase 4
\bar{b}	ancho del elemento clase 4
t	espesor del elemento clase 4
b_{eff}	ancho eficaz del elemento clase 4
$b_{e1}; b_{e2}$	ancho eficaz del elemento clase 4
b_c	ancho comprimido del elemento clase 4
b_t	ancho traccionado del elemento clase 4
k_σ	coeficiente de abolladura
ε	factor de reducción a temperatura ambiente
ρ	coeficiente de reducción para secciones clase 4
$x_1; x_2$	distancia entre el punto de contacto alma/ala y el borde exterior más cercano de la zona no efectiva del alma clase 4
$k_{E,\theta}$	factor de reducción del módulo de elasticidad del acero con la temperatura
$k_{y,\theta}$	factor de reducción del límite elástico del acero con la temperatura
$k_{\lambda,\theta}$	factor de mayoración de la esbeltez con la temperatura
β_y	coeficiente beta de pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal
β_z	coeficiente beta de pandeo por axil en el plano débil de la sección transversal
$l_{k,y}$	longitud efectiva a pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal
$l_{k,z}$	longitud efectiva a pandeo por axil en el plano débil de la sección transversal
l_{LT}	longitud entre coacciones a pandeo lateral
$\chi_{y,\theta}$	coeficiente de reducción de pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal a alta temperatura
$\chi_{z,\theta}$	coeficiente de reducción de pandeo por axil en el plano débil de la sección transversal a alta temperatura
$\chi_{LT,\theta}$	coeficiente de reducción de pandeo lateral a alta temperatura
λ_y	esbeltez mecánica en el plano fuerte de la sección transversal a temperatura ambiente

λ_z	esbeltez mecánica en el plano débil de la sección transversal a temperatura ambiente
λ_{lim}	esbeltez límite
$\bar{\lambda}_y$	esbeltez reducida en el plano fuerte de la sección transversal a temperatura ambiente
$\bar{\lambda}_z$	esbeltez reducida en el plano débil de la sección transversal a temperatura ambiente
$\bar{\lambda}_{LT}$	esbeltez reducida en pandeo lateral a alta temperatura
$\bar{\lambda}_{y,\theta}$	esbeltez reducida en el plano fuerte de la sección transversal a alta temperatura
$\bar{\lambda}_{z,\theta}$	esbeltez reducida en el plano débil de la sección transversal a alta temperatura
$\bar{\lambda}_{LT,\theta}$	esbeltez reducida en pandeo lateral a alta temperatura
M_{cr}	momento crítico a pandeo lateral
$M_{LT,v}$	componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión uniforme del elemento
$M_{LT,w}$	componente del momento crítico que representa la resistencia por torsión no uniforme del elemento
k	coeficiente de longitud eficaz que depende de las restricciones al giro en los extremos de la barra en el plano de pandeo lateral
k_w	coeficiente de longitud eficaz que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra
z_g	distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes medida en la dirección del eje débil de la sección
z_j	factor de asimetría de la sección
$C_1; C_2; C_3$	coeficientes que dependen de las condiciones de carga y de las coacciones en los extremos
$\alpha_{y,\theta}$	coeficiente de imperfección de pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal a alta temperatura
$\alpha_{z,\theta}$	coeficiente de imperfección de pandeo por axil en el plano débil de la sección transversal a alta temperatura
$\alpha_{LT,\theta}$	coeficiente de imperfección para pandeo lateral a alta temperatura
$\phi_{y,\theta}$	coeficiente de pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal a alta temperatura
$\phi_{z,\theta}$	coeficiente de pandeo por axil en el plano débil de la sección transversal a alta temperatura
$\phi_{LT,\theta}$	coeficiente de pandeo lateral a alta temperatura

κ_1	factor de adaptación para una distribución no uniforme de la temperatura en la sección transversal
κ_2	factor de adaptación para una distribución no uniforme de la temperatura a lo largo de la viga
ρ	factor reductor del límite elástico por la interacción cortante-momento
f'_y	límite elástico reducido por la interacción cortante-momento
k_y	coeficiente de corrección para el pandeo por axil en la comprobación de flexo-compresión (CE)
k_{LT}	coeficiente de corrección para el pandeo lateral en la comprobación de flexo-compresión (CE)
μ_y	coeficiente
μ_{LT}	coeficiente
$\beta_{M,LT}$	coeficiente de momento equivalente uniforme
$\beta_{M,y}$	coeficiente de momento equivalente uniforme
k_y	coeficiente de corrección para el pandeo por axil en la comprobación de flexo-compresión (CTE)
$k_{y,LT}$	coeficiente de corrección para el pandeo lateral en la comprobación de flexo-compresión (CTE)
$C_{m,y}$	coeficiente de momento equivalente para pandeo por axil en el plano fuerte de la sección transversal
$C_{m,LT}$	coeficiente de momento equivalente para pandeo lateral
C_1	coeficiente de momento equivalente para pandeo lateral

Capítulo 6: Cálculo en el dominio plástico

En el sexto capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los símbolos empleados en el tercer capítulo de la Memoria Descriptiva y en el quinto capítulo del Anexo de Cálculo. Además, también se hace uso de los siguientes símbolos:

a_c	garganta del cordón de soldadura
$e; e_1; e_2$	espesor de la placa de refuerzo
$b'; h'$	ancho de la placa de refuerzo
$\eta_R; \eta_y; \eta_z$	coeficientes de comprobación
A_p	área de la superficie eficaz de la placa de anclaje
W_p	módulo resistente de la superficie eficaz de la placa de anclaje
c	anchura suplementaria del apoyo
a	largo de la placa base

b	ancho de la placa base
b'	ancho eficaz de la placa base
e	espesor de la placa base
v	vuelo de la placa de anclaje
e _c	espesor de la cartela de la placa de anclaje
h _c	altura de la cartela de la placa de anclaje
b _p	ancho del pilar
f _{yd}	resistencia de cálculo del acero de la placa base y la cartela
f _{yb}	límite elástico del acero del perno de anclaje
f _{ub}	resistencia última del acero del perno de anclaje
f _{ybd}	resistencia de cálculo del acero del perno de anclaje
f _{jd}	resistencia de cálculo del asiento de la placa base
f _{cd}	resistencia de cálculo del hormigón sobre el que se asienta la placa base
γ _{s,fi}	coeficiente de seguridad del acero del perno de anclaje en situación extraordinaria
γ _{c,fi}	coeficiente de seguridad del hormigón sobre el que se asienta la placa base en situación extraordinaria
γ _{M,0}	coeficiente de seguridad para el límite elástico
γ _{M,2}	coeficiente de seguridad para la resistencia última
N _{Ed} ; V _{Ed} ; M _{Ed}	esfuerzos sobre la placa de anclaje
ε _s	deformación del acero
ε _c	deformación del hormigón
σ _s	tensión del acero
σ _c	tensión del hormigón
E _s	modulo elástico del acero del perno de anclaje
d	distancia entre la fibra más comprimida y el centro de gravedad de los pernos traccionados
x	distancia entre la fibra más comprimida y el eje neutro de la sección
y	ancho del bloque comprimido
T _d	tracción sobre los pernos de anclaje
V _d	cortadura sobre los pernos de anclaje
A ₁ ; A ₂	sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez

I_G	módulo de inercia de la sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez
Y_G	altura del centro de gravedad de la sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez
W_{min}	módulo resistente mínimo de la sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez
W_s	módulo resistente superior de la sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez
W_i	módulo resistente inferior de la sección longitudinal del conjunto placa base y cartela de rigidez
$F_{t,Rd}$	resistencia a tracción de los pernos de anclaje
$F_{v,Rd}$	resistencia a cortadura de los pernos de anclaje
$n_{\phi t}$	número de pernos trabajando a tracción
$n_{\phi c}$	número de pernos trabajando a cortadura
A_{ϕ}	área nominal de un perno
$A_{r\phi}$	área resistente de un perno
A_s	área total necesaria de pernos traccionados
$A_{s,real}$	área total dispuesta de pernos traccionados
$C_{f,d}$	coeficiente de rozamiento entre la placa base y el hormigón
l_a	longitud de anclaje
l_b	longitud básica de anclaje
β	coeficiente de anclaje
m	coeficiente función del hormigón y el acero de los pernos de anclaje
ϕ	diámetro del perno de anclaje
C_{min}	recubrimiento mínimo
$C_{min,durabilidad}$	recubrimiento mínimo por razones de durabilidad
$C_{min,adherencia}$	recubrimiento mínimo por razones de adherencia
ΔC_{dev}	margen de recubrimiento en función del nivel de ejecución
$C_{nom-lateral}$	recubrimiento nominal lateral
$C_{nom-inferior}$	recubrimiento nominal inferior
D o TM	tamaño máximo de árido
ϕ	diámetro de la armadura principal
ϕ_T	diámetro de la armadura transversal

\varnothing_{\max}	diámetro máximo de armadura
a	largo de la zapata
b	ancho de la zapata
h	canto de la zapata
e_g	excentricidad geométrica de la zapata
d	canto útil referido a la armadura principal
ρ_h	densidad del hormigón
$N_{Ed}; V_{Ed}; M_{Ed}$	esfuerzos de cálculo en la base del pilar
P_z	peso de la zapata
$N_T; V_T; M_T$	esfuerzos de cálculo en la base de la zapata
e	excentricidad en la resultante de acciones
γ_R	coeficiente parcial de seguridad del material frente al fallo por deslizamiento
ϕ	ángulo de rozamiento interno entre el cemento y el terreno
ϕ_d	ángulo de rozamiento interno de cálculo entre cemento y terreno
$\gamma_{E,EST}$	coeficiente parcial de seguridad de las acciones estabilizantes
$\gamma_{E,DST}$	coeficiente parcial de seguridad de las acciones desestabilizantes
M_{EST}	momento de las acciones estabilizantes
M_{DST}	momento de las acciones desestabilizantes
M_z	momento del peso propio de la zapata
M_A	momento de las acciones (sin considerar el peso propio de la zapata) sobre la arista exterior
M_B	momento de las acciones (sin considerar el peso propio de la zapata) sobre la arista inferior
$\sigma_{adm,per}$	tensión admisible del terreno en situación persistente o transitoria
$\sigma_{adm,ext}$	tensión admisible del terreno en situación extraordinaria
σ	tensión sobre el terreno (considerando el peso propio de la zapata)
σ_d	tensión sobre el terreno (sin considerar el peso propio de la zapata)
a*	largo equivalente de la zapata
b*	ancho equivalente de la zapata
a_p	largo del pilar (canto de la sección)
a_{pb}	largo de la placa base
v	vuelo del pilar

v_p	vuelo de la placa base
y	vuelo hasta la sección de referencia S1
v_2	vuelo hasta la sección de referencia S2
M_d	esfuerzo de cálculo sobre la superficie de referencia S1
V_d	esfuerzo de cálculo sobre la superficie de referencia S2
T_d	esfuerzo de cálculo sobre la superficie de referencia S3
f_{ck}	resistencia característica del hormigón
f_{yk}	resistencia característica del acero de la armadura
f_{cd}	resistencia de cálculo del hormigón
f_{yd}	resistencia de cálculo del acero de la armadura
f_{ctm}	resistencia media a tracción del hormigón
$f_{ctm,fl}$	resistencia media a flexo-tracción del hormigón
W	módulo resistente de la sección bruta relativo a la fibra más traccionada
z	brazo mecánico de la sección
μ	momento flector adimensional
ρ	cuantía mecánica mínima
$A_s; A_{sT}$	área necesaria de armado principal/transversal
$A_{s,min}; A_{sT,min}$	área mínima de armado principal/transversal
$A_{s,max}; A_{sT,max}$	área máxima de armado principal/transversal
$A_{s,real}; A_{sT,real}$	área total dispuesta de armado principal/transversal
$A_{\emptyset}; A_{\emptyset T}$	sección de una barra del armado principal/transversal
$n; n_T$	número de barras en el armado principal/transversal
$s; s_T$	separación entre ejes de barra en el armado principal/transversal
$D; D_T$	separación entre caras de barra en el armado principal/transversal
$V_{Rd,c}$	valor de cálculo de la resistencia a cortante de un elemento sin armadura de cortante
$C_{Rd,c}$	coeficiente
k	coeficiente
d_p	canto útil de la armadura principal
d_T	canto útil de la armadura transversal
d	semisuma de los cantos útiles de los armados

ρ_{IP}	relación entre el área de acero y de hormigón del armado principal
ρ_{IT}	relación entre el área de acero y de hormigón del armado transversal
ρ_I	media geométrica de las relaciones área acero/área hormigón de los armados
$u_0; u_1$	perímetro de comprobación a punzonamiento
$A_0; A_1$	área encerrada por el perímetro de comprobación a punzonamiento
β	coeficiente función de la localización del pilar
$V_{Ed}^{u0}; V_{Ed}^{u1}$	valor de cálculo del esfuerzo neto de punzonamiento
$V_{Rd,max}$	valor de cálculo de la resistencia máxima a punzonamiento
$V_{Rd,c}$	valor de cálculo de la resistencia a punzonamiento, sin armadura, en la sección crítica
l_b	longitud básica de anclaje
$l_{b,neto}$	longitud neta de anclaje
β	coeficiente función del dispositivo de anclaje utilizado
L	longitud de la prolongación vertical del anclaje

Capítulo 7: Cálculo en el dominio del tiempo

En el séptimo capítulo del Anexo de Cálculo son de aplicación los siguientes símbolos:

k_{sl}	factor de reducción para elementos no plásticos
b o c	longitud del elemento estudiado (alma/ala)
t	espesor del elemento estudiado (alma/ala)
H_{ed}	resultante de las acciones horizontales sobre el pórtico
V_{ed}	resultante de las acciones verticales sobre el pórtico
$\{u\}$	vector de desplazamientos nodales
$\{\dot{u}\}$	vector de velocidades nodales
$\{\ddot{u}\}$	vector de aceleraciones nodales
$\{F\}$	vector de fuerzas nodales
$[K]$	matriz de rigidez
$[C]$	matriz de amortiguamiento
$[M]$	matriz de masas



ANEXO DE SAFIR

1	NOMENCLATURA.....	2
2	ANÁLISIS DE LA SECCIÓN	2
2.1	IPE/cp/4C.....	2
2.2	IPE/cp/4C-t	32
3	ANÁLISIS DEL PÓRTICO.....	59
3.1	PORTICO/2D/PP+N/PP/MA	59
3.2	PORTICO/3D/PP+N/PP/MA/NA.....	82

ANEXO DE SAFIR

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

1 NOMENCLATURA

En este capítulo se recoge, por un lado, la nomenclatura empleada en los análisis térmicos y torsionales de la sección, y, por otro lado, la nomenclatura utilizada en los diversos análisis mecánicos del pórtico:

IPE / Protección / Exposición / -t

- Protección:
 - cp: Sección protegida con un centímetro de IGNIPLASTER.
 - sp: Sección no protegida.
- Exposición:
 - 3C: Sección expuesta en tres caras.
 - 4C: Sección expuesta en cuatro caras.
- Los ficheros de los análisis torsionales deben ir sucedidos por “-t”.

PORTICO / Tipo de análisis / Hipótesis de carga / Protección / Mallado / Arriostramientos

- Tipo de análisis:
 - 2D: Análisis estructural 2D.
 - 3D: Análisis estructural 3D.
- Hipótesis de carga:
 - PP+N: Hipótesis PP + 0,2 · N(EI)
 - PP+V: Hipótesis PP + 0,5 · V(180°)H1
- Protección:
 - NP: Ninguna barra protegida.
 - TP: Todas las barras protegidas con un centímetro de IGNIPLASTER.
 - PP: Pilares exteriores protegidos con un centímetro de IGNIPLASTER.
- Mallado:
 - MA: Mallado A.
 - MB: Mallado B.
- Arriostramientos (solo en análisis 3D):
 - NA: No se modelan arriostramientos.
 - AVP: Se modelan los arriostramientos de las vigas perimetrales.
 - AVPyC: Se modelan los arriostramientos de las vigas perimetrales y las correas.

2 ANÁLISIS DE LA SECCIÓN

En este capítulo se recogen a modo de ejemplo los ficheros de entrada (.IN) a partir de los cuales se pueden obtener, con el software SAFIR, los resultados térmicos y torsionales recogidos en el Anexo de Cálculo para la sección protegida expuesta en sus cuatro caras.

2.1 IPE/cp/4C

```
InputFile created with GMSH-SAFIR Interface : Ver. 2024-04-23
Safir_Thermal_Analysis
Mesh_from_G4S-Mesher
NNODE 638
NDIM 2
NDOFMAX 1
TEMPERAT
TETA 0.9
TINITIAL 20
```

```
COMEBACK 0.0001
DIAG_CAPA
MAKE.TEM
NMAT 3
ELEMENTS
SOLID 1086
NG 2
NVOID 0
END_ELEM
NODES
NODE 1 0.165500 0.004300
NODE 2 0.165500 0.025300
NODE 3 0.186500 0.025300
NODE 4 0.186500 0.090000
NODE 5 0.200000 0.090000
NODE 6 0.155500 0.014300
NODE 7 0.155500 0.035300
NODE 8 0.176500 0.035300
NODE 9 0.176500 0.100000
NODE 10 0.210000 0.100000
NODE 11 0.155500 -0.014300
NODE 12 0.165500 -0.004300
NODE 13 0.176500 -0.035300
NODE 14 0.176500 -0.100000
NODE 15 0.186500 -0.025300
NODE 16 0.186500 -0.090000
NODE 17 0.200000 -0.090000
NODE 18 0.210000 -0.100000
NODE 19 0.200000 0.000000
NODE 20 0.186500 0.000000
NODE 21 0.210000 0.000000
NODE 22 -0.155500 0.014300
NODE 23 -0.155500 -0.014300
NODE 24 -0.165500 0.004300
NODE 25 -0.165500 -0.004300
NODE 26 -0.176500 0.035300
NODE 27 -0.176500 0.100000
NODE 28 -0.176500 -0.035300
NODE 29 -0.186500 0.025300
NODE 30 -0.186500 0.090000
NODE 31 -0.186500 0.000000
NODE 32 -0.200000 0.090000
NODE 33 -0.186500 -0.025300
NODE 34 -0.176500 -0.100000
NODE 35 -0.210000 0.100000
NODE 36 -0.186500 -0.090000
NODE 37 -0.200000 0.000000
NODE 38 -0.210000 0.000000
NODE 39 -0.200000 -0.090000
NODE 40 -0.210000 -0.100000
NODE 41 0.000000 0.004300
NODE 42 0.000000 0.014300
NODE 43 0.000000 -0.014300
NODE 44 0.000000 -0.004300
NODE 45 0.008275 0.004300
NODE 46 0.016550 0.004300
NODE 47 0.024825 0.004300
NODE 48 0.033100 0.004300
NODE 49 0.041375 0.004300
NODE 50 0.049650 0.004300
NODE 51 0.057925 0.004300
NODE 52 0.066200 0.004300
NODE 53 0.074475 0.004300
NODE 54 0.082750 0.004300
NODE 55 0.091025 0.004300
NODE 56 0.099300 0.004300
```

NODE 57 0.107575 0.004300
NODE 58 0.115850 0.004300
NODE 59 0.124125 0.004300
NODE 60 0.132400 0.004300
NODE 61 0.140675 0.004300
NODE 62 0.148950 0.004300
NODE 63 0.157225 0.004300
NODE 64 0.186500 0.034543
NODE 65 0.186500 0.043786
NODE 66 0.186500 0.053029
NODE 67 0.186500 0.062271
NODE 68 0.186500 0.071514
NODE 69 0.186500 0.080757
NODE 70 0.193250 0.090000
NODE 71 0.200000 0.081000
NODE 72 0.200000 0.072000
NODE 73 0.200000 0.063000
NODE 74 0.200000 0.054000
NODE 75 0.200000 0.045000
NODE 76 0.200000 0.036000
NODE 77 0.200000 0.027000
NODE 78 0.200000 0.018000
NODE 79 0.200000 0.009000
NODE 80 0.186500 0.008433
NODE 81 0.186500 0.016867
NODE 82 0.173536 0.005899
NODE 83 0.180349 0.010451
NODE 84 0.184901 0.017264
NODE 85 0.008184 0.014300
NODE 86 0.016368 0.014300
NODE 87 0.024553 0.014300
NODE 88 0.032737 0.014300
NODE 89 0.040921 0.014300
NODE 90 0.049105 0.014300
NODE 91 0.057289 0.014300
NODE 92 0.065474 0.014300
NODE 93 0.073658 0.014300
NODE 94 0.081842 0.014300
NODE 95 0.090026 0.014300
NODE 96 0.098211 0.014300
NODE 97 0.106395 0.014300
NODE 98 0.114579 0.014300
NODE 99 0.122763 0.014300
NODE 100 0.130947 0.014300
NODE 101 0.139132 0.014300
NODE 102 0.147316 0.014300
NODE 103 0.176500 0.044543
NODE 104 0.176500 0.053786
NODE 105 0.176500 0.063029
NODE 106 0.176500 0.072271
NODE 107 0.176500 0.081514
NODE 108 0.176500 0.090757
NODE 109 0.184875 0.100000
NODE 110 0.193250 0.100000
NODE 111 0.201625 0.100000
NODE 112 0.210000 0.090909
NODE 113 0.210000 0.081818
NODE 114 0.210000 0.072727
NODE 115 0.210000 0.063636
NODE 116 0.210000 0.054545
NODE 117 0.210000 0.045455
NODE 118 0.210000 0.036364
NODE 119 0.210000 0.027273
NODE 120 0.210000 0.018182
NODE 121 0.210000 0.009091
NODE 122 0.161989 0.015328

NODE 123 0.167843 0.018311
NODE 124 0.172489 0.022957
NODE 125 0.175472 0.028811
NODE 126 0.008184 -0.014300
NODE 127 0.016368 -0.014300
NODE 128 0.024553 -0.014300
NODE 129 0.032737 -0.014300
NODE 130 0.040921 -0.014300
NODE 131 0.049105 -0.014300
NODE 132 0.057289 -0.014300
NODE 133 0.065474 -0.014300
NODE 134 0.073658 -0.014300
NODE 135 0.081842 -0.014300
NODE 136 0.090026 -0.014300
NODE 137 0.098211 -0.014300
NODE 138 0.106395 -0.014300
NODE 139 0.114579 -0.014300
NODE 140 0.122763 -0.014300
NODE 141 0.130947 -0.014300
NODE 142 0.139132 -0.014300
NODE 143 0.147316 -0.014300
NODE 144 0.008275 -0.004300
NODE 145 0.016550 -0.004300
NODE 146 0.024825 -0.004300
NODE 147 0.033100 -0.004300
NODE 148 0.041375 -0.004300
NODE 149 0.049650 -0.004300
NODE 150 0.057925 -0.004300
NODE 151 0.066200 -0.004300
NODE 152 0.074475 -0.004300
NODE 153 0.082750 -0.004300
NODE 154 0.091025 -0.004300
NODE 155 0.099300 -0.004300
NODE 156 0.107575 -0.004300
NODE 157 0.115850 -0.004300
NODE 158 0.124125 -0.004300
NODE 159 0.132400 -0.004300
NODE 160 0.140675 -0.004300
NODE 161 0.148950 -0.004300
NODE 162 0.157225 -0.004300
NODE 163 0.176500 -0.044543
NODE 164 0.176500 -0.053786
NODE 165 0.176500 -0.063029
NODE 166 0.176500 -0.072271
NODE 167 0.176500 -0.081514
NODE 168 0.176500 -0.090757
NODE 169 0.161989 -0.015328
NODE 170 0.167843 -0.018311
NODE 171 0.172489 -0.022957
NODE 172 0.175472 -0.028811
NODE 173 0.186500 -0.034543
NODE 174 0.186500 -0.043786
NODE 175 0.186500 -0.053029
NODE 176 0.186500 -0.062271
NODE 177 0.186500 -0.071514
NODE 178 0.186500 -0.080757
NODE 179 0.173536 -0.005899
NODE 180 0.180349 -0.010451
NODE 181 0.184901 -0.017264
NODE 182 0.186500 -0.008433
NODE 183 0.186500 -0.016867
NODE 184 0.193250 -0.090000
NODE 185 0.184875 -0.100000
NODE 186 0.193250 -0.100000
NODE 187 0.201625 -0.100000
NODE 188 0.200000 -0.081000

NODE 189 0.200000 -0.072000
NODE 190 0.200000 -0.063000
NODE 191 0.200000 -0.054000
NODE 192 0.200000 -0.045000
NODE 193 0.200000 -0.036000
NODE 194 0.200000 -0.027000
NODE 195 0.200000 -0.018000
NODE 196 0.200000 -0.009000
NODE 197 0.210000 -0.090909
NODE 198 0.210000 -0.081818
NODE 199 0.210000 -0.072727
NODE 200 0.210000 -0.063636
NODE 201 0.210000 -0.054545
NODE 202 0.210000 -0.045455
NODE 203 0.210000 -0.036364
NODE 204 0.210000 -0.027273
NODE 205 0.210000 -0.018182
NODE 206 0.210000 -0.009091
NODE 207 -0.008184 0.014300
NODE 208 -0.016368 0.014300
NODE 209 -0.024553 0.014300
NODE 210 -0.032737 0.014300
NODE 211 -0.040921 0.014300
NODE 212 -0.049105 0.014300
NODE 213 -0.057289 0.014300
NODE 214 -0.065474 0.014300
NODE 215 -0.073658 0.014300
NODE 216 -0.081842 0.014300
NODE 217 -0.090026 0.014300
NODE 218 -0.098211 0.014300
NODE 219 -0.106395 0.014300
NODE 220 -0.114579 0.014300
NODE 221 -0.122763 0.014300
NODE 222 -0.130947 0.014300
NODE 223 -0.139132 0.014300
NODE 224 -0.147316 0.014300
NODE 225 -0.008184 -0.014300
NODE 226 -0.016368 -0.014300
NODE 227 -0.024553 -0.014300
NODE 228 -0.032737 -0.014300
NODE 229 -0.040921 -0.014300
NODE 230 -0.049105 -0.014300
NODE 231 -0.057289 -0.014300
NODE 232 -0.065474 -0.014300
NODE 233 -0.073658 -0.014300
NODE 234 -0.081842 -0.014300
NODE 235 -0.090026 -0.014300
NODE 236 -0.098211 -0.014300
NODE 237 -0.106395 -0.014300
NODE 238 -0.114579 -0.014300
NODE 239 -0.122763 -0.014300
NODE 240 -0.130947 -0.014300
NODE 241 -0.139132 -0.014300
NODE 242 -0.147316 -0.014300
NODE 243 -0.008275 0.004300
NODE 244 -0.016550 0.004300
NODE 245 -0.024825 0.004300
NODE 246 -0.033100 0.004300
NODE 247 -0.041375 0.004300
NODE 248 -0.049650 0.004300
NODE 249 -0.057925 0.004300
NODE 250 -0.066200 0.004300
NODE 251 -0.074475 0.004300
NODE 252 -0.082750 0.004300
NODE 253 -0.091025 0.004300
NODE 254 -0.099300 0.004300

NODE 255 -0.107575 0.004300
NODE 256 -0.115850 0.004300
NODE 257 -0.124125 0.004300
NODE 258 -0.132400 0.004300
NODE 259 -0.140675 0.004300
NODE 260 -0.148950 0.004300
NODE 261 -0.157225 0.004300
NODE 262 -0.008275 -0.004300
NODE 263 -0.016550 -0.004300
NODE 264 -0.024825 -0.004300
NODE 265 -0.033100 -0.004300
NODE 266 -0.041375 -0.004300
NODE 267 -0.049650 -0.004300
NODE 268 -0.057925 -0.004300
NODE 269 -0.066200 -0.004300
NODE 270 -0.074475 -0.004300
NODE 271 -0.082750 -0.004300
NODE 272 -0.091025 -0.004300
NODE 273 -0.099300 -0.004300
NODE 274 -0.107575 -0.004300
NODE 275 -0.115850 -0.004300
NODE 276 -0.124125 -0.004300
NODE 277 -0.132400 -0.004300
NODE 278 -0.140675 -0.004300
NODE 279 -0.148950 -0.004300
NODE 280 -0.157225 -0.004300
NODE 281 -0.176500 0.044543
NODE 282 -0.176500 0.053786
NODE 283 -0.176500 0.063029
NODE 284 -0.176500 0.072271
NODE 285 -0.176500 0.081514
NODE 286 -0.176500 0.090757
NODE 287 -0.161989 0.015328
NODE 288 -0.167843 0.018311
NODE 289 -0.172489 0.022957
NODE 290 -0.175472 0.028811
NODE 291 -0.161989 -0.015328
NODE 292 -0.167843 -0.018311
NODE 293 -0.172489 -0.022957
NODE 294 -0.175472 -0.028811
NODE 295 -0.186500 0.034543
NODE 296 -0.186500 0.043786
NODE 297 -0.186500 0.053029
NODE 298 -0.186500 0.062271
NODE 299 -0.186500 0.071514
NODE 300 -0.186500 0.080757
NODE 301 -0.173536 0.005899
NODE 302 -0.180349 0.010451
NODE 303 -0.184901 0.017264
NODE 304 -0.186500 0.008433
NODE 305 -0.186500 0.016867
NODE 306 -0.193250 0.090000
NODE 307 -0.186500 -0.008433
NODE 308 -0.186500 -0.016867
NODE 309 -0.173536 -0.005899
NODE 310 -0.180349 -0.010451
NODE 311 -0.184901 -0.017264
NODE 312 -0.176500 -0.044543
NODE 313 -0.176500 -0.053786
NODE 314 -0.176500 -0.063029
NODE 315 -0.176500 -0.072271
NODE 316 -0.176500 -0.081514
NODE 317 -0.176500 -0.090757
NODE 318 -0.184875 0.100000
NODE 319 -0.193250 0.100000
NODE 320 -0.201625 0.100000

NODE 321 -0.186500 -0.034543
NODE 322 -0.186500 -0.043786
NODE 323 -0.186500 -0.053029
NODE 324 -0.186500 -0.062271
NODE 325 -0.186500 -0.071514
NODE 326 -0.186500 -0.080757
NODE 327 -0.200000 0.081000
NODE 328 -0.200000 0.072000
NODE 329 -0.200000 0.063000
NODE 330 -0.200000 0.054000
NODE 331 -0.200000 0.045000
NODE 332 -0.200000 0.036000
NODE 333 -0.200000 0.027000
NODE 334 -0.200000 0.018000
NODE 335 -0.200000 0.009000
NODE 336 -0.210000 0.090909
NODE 337 -0.210000 0.081818
NODE 338 -0.210000 0.072727
NODE 339 -0.210000 0.063636
NODE 340 -0.210000 0.054545
NODE 341 -0.210000 0.045455
NODE 342 -0.210000 0.036364
NODE 343 -0.210000 0.027273
NODE 344 -0.210000 0.018182
NODE 345 -0.210000 0.009091
NODE 346 -0.193250 -0.090000
NODE 347 -0.200000 -0.081000
NODE 348 -0.200000 -0.072000
NODE 349 -0.200000 -0.063000
NODE 350 -0.200000 -0.054000
NODE 351 -0.200000 -0.045000
NODE 352 -0.200000 -0.036000
NODE 353 -0.200000 -0.027000
NODE 354 -0.200000 -0.018000
NODE 355 -0.200000 -0.009000
NODE 356 -0.184875 -0.100000
NODE 357 -0.193250 -0.100000
NODE 358 -0.201625 -0.100000
NODE 359 -0.210000 -0.090909
NODE 360 -0.210000 -0.081818
NODE 361 -0.210000 -0.072727
NODE 362 -0.210000 -0.063636
NODE 363 -0.210000 -0.054545
NODE 364 -0.210000 -0.045455
NODE 365 -0.210000 -0.036364
NODE 366 -0.210000 -0.027273
NODE 367 -0.210000 -0.018182
NODE 368 -0.210000 -0.009091
NODE 369 0.193222 0.004311
NODE 370 0.193218 -0.004295
NODE 371 0.193194 0.012949
NODE 372 0.193194 -0.012946
NODE 373 0.193161 -0.021672
NODE 374 0.193162 0.021673
NODE 375 0.193332 0.076319
NODE 376 0.193332 -0.076319
NODE 377 0.193301 -0.067267
NODE 378 0.193301 0.067267
NODE 379 0.193294 -0.030836
NODE 380 0.193294 0.030836
NODE 381 0.193307 -0.058178
NODE 382 0.193307 0.058178
NODE 383 0.193318 0.049082
NODE 384 0.193318 -0.049082
NODE 385 0.193269 0.039874
NODE 386 0.193269 -0.039874

NODE 387 0.193628 -0.083252
NODE 388 0.193628 0.083252
NODE 389 -0.193222 0.004311
NODE 390 -0.193218 -0.004295
NODE 391 -0.193194 0.012949
NODE 392 -0.193194 -0.012946
NODE 393 -0.193162 0.021673
NODE 394 -0.193161 -0.021672
NODE 395 -0.193332 -0.076319
NODE 396 -0.193332 0.076319
NODE 397 -0.193301 -0.067267
NODE 398 -0.193301 0.067267
NODE 399 -0.193294 -0.030836
NODE 400 -0.193294 0.030836
NODE 401 -0.193307 -0.058178
NODE 402 -0.193307 0.058178
NODE 403 -0.193318 0.049082
NODE 404 -0.193318 -0.049082
NODE 405 -0.193269 0.039874
NODE 406 -0.193269 -0.039874
NODE 407 -0.193628 -0.083252
NODE 408 -0.193628 0.083252
NODE 409 -0.179573 0.003536
NODE 410 0.179573 -0.003536
NODE 411 -0.179648 -0.003549
NODE 412 0.179648 0.003549
NODE 413 -0.171731 -0.000001
NODE 414 0.171731 0.000001
NODE 415 -0.161362 -0.000000
NODE 416 0.161363 -0.000000
NODE 417 -0.144812 -0.000000
NODE 418 0.144813 -0.000000
NODE 419 -0.111713 -0.000000
NODE 420 0.086888 -0.000000
NODE 421 0.103438 -0.000000
NODE 422 0.095163 -0.000000
NODE 423 0.111713 -0.000000
NODE 424 0.119988 -0.000000
NODE 425 0.136538 -0.000000
NODE 426 0.153088 -0.000000
NODE 427 -0.086888 0.000000
NODE 428 -0.095163 -0.000000
NODE 429 -0.103438 -0.000000
NODE 430 -0.119988 -0.000000
NODE 431 -0.136538 -0.000000
NODE 432 -0.153088 -0.000000
NODE 433 -0.053788 0.000000
NODE 434 -0.037238 -0.000000
NODE 435 -0.045513 -0.000000
NODE 436 -0.128263 -0.000000
NODE 437 0.053788 -0.000000
NODE 438 0.062063 0.000000
NODE 439 0.078613 -0.000000
NODE 440 0.128263 -0.000000
NODE 441 -0.012413 0.000000
NODE 442 -0.062063 -0.000000
NODE 443 -0.078613 -0.000000
NODE 444 0.045513 0.000000
NODE 445 0.037238 0.000000
NODE 446 -0.070338 -0.000000
NODE 447 0.012413 -0.000000
NODE 448 0.070338 -0.000000
NODE 449 -0.028963 -0.000000
NODE 450 0.028963 0.000000
NODE 451 -0.020688 -0.000000
NODE 452 0.004138 -0.000000

NODE 453 -0.004138 -0.000000
NODE 454 0.020688 -0.000000
NODE 455 0.174190 0.016610
NODE 456 0.174236 -0.016564
NODE 457 -0.174190 0.016610
NODE 458 -0.174190 -0.016610
NODE 459 -0.167500 -0.011749
NODE 460 0.179051 -0.023300
NODE 461 -0.179051 0.023300
NODE 462 0.167500 -0.011749
NODE 463 -0.167500 0.011749
NODE 464 -0.179051 -0.023300
NODE 465 0.179051 0.023300
NODE 466 0.167500 0.011749
NODE 467 0.159854 -0.009969
NODE 468 -0.159854 -0.009969
NODE 469 -0.159854 0.009969
NODE 470 0.159854 0.009969
NODE 471 -0.180867 -0.031196
NODE 472 0.180974 -0.031070
NODE 473 -0.180867 0.031196
NODE 474 0.180867 0.031196
NODE 475 -0.189524 0.094925
NODE 476 0.189524 -0.094925
NODE 477 -0.189524 -0.094925
NODE 478 0.196928 -0.094917
NODE 479 -0.196928 -0.094917
NODE 480 0.189524 0.094925
NODE 481 0.196928 0.094917
NODE 482 -0.196928 0.094917
NODE 483 -0.204643 0.094377
NODE 484 -0.204643 -0.094377
NODE 485 0.204643 0.094377
NODE 486 0.204643 -0.094377
NODE 487 -0.182513 0.093636
NODE 488 0.182100 -0.094056
NODE 489 -0.182513 -0.093636
NODE 490 0.182100 0.094056
NODE 491 0.151408 -0.009835
NODE 492 -0.151408 -0.009835
NODE 493 -0.151408 0.009835
NODE 494 0.151408 0.009835
NODE 495 -0.181448 0.039629
NODE 496 0.181359 -0.039734
NODE 497 -0.181295 -0.039803
NODE 498 0.181448 0.039629
NODE 499 0.004107 0.009306
NODE 500 -0.004105 0.009307
NODE 501 -0.004107 -0.009306
NODE 502 0.004105 -0.009307
NODE 503 -0.012324 -0.009313
NODE 504 0.012324 -0.009313
NODE 505 -0.012324 0.009313
NODE 506 0.012324 0.009313
NODE 507 0.204724 0.085570
NODE 508 0.204724 -0.085570
NODE 509 -0.204724 0.085570
NODE 510 -0.204724 -0.085570
NODE 511 0.181546 -0.085663
NODE 512 -0.181179 -0.086136
NODE 513 -0.181456 0.085794
NODE 514 0.181701 0.085492
NODE 515 -0.020544 0.009320
NODE 516 -0.020544 -0.009320
NODE 517 0.020544 -0.009320
NODE 518 0.020544 0.009320

NODE 519 -0.028765 0.009327
NODE 520 -0.028765 -0.009327
NODE 521 0.028765 -0.009327
NODE 522 0.028765 0.009327
NODE 523 -0.036985 0.009334
NODE 524 -0.036985 -0.009334
NODE 525 0.036985 -0.009334
NODE 526 0.036985 0.009334
NODE 527 -0.045206 0.009340
NODE 528 -0.045206 -0.009340
NODE 529 0.045206 -0.009340
NODE 530 0.045206 0.009340
NODE 531 -0.053426 -0.009347
NODE 532 -0.053426 0.009347
NODE 533 0.053426 -0.009347
NODE 534 0.053426 0.009347
NODE 535 0.061647 0.009353
NODE 536 -0.061647 0.009353
NODE 537 0.061647 -0.009353
NODE 538 -0.061647 -0.009353
NODE 539 0.069867 -0.009359
NODE 540 0.069867 0.009359
NODE 541 -0.069867 0.009359
NODE 542 -0.069867 -0.009359
NODE 543 -0.078088 0.009365
NODE 544 0.078088 -0.009365
NODE 545 0.078088 0.009365
NODE 546 -0.078088 -0.009365
NODE 547 0.086308 -0.009371
NODE 548 -0.086308 0.009371
NODE 549 -0.086308 -0.009371
NODE 550 0.086308 0.009371
NODE 551 0.094529 -0.009376
NODE 552 -0.094529 -0.009376
NODE 553 0.094529 0.009376
NODE 554 -0.094529 0.009376
NODE 555 0.102749 -0.009382
NODE 556 -0.102749 0.009382
NODE 557 0.102749 0.009382
NODE 558 -0.102749 -0.009382
NODE 559 0.110970 -0.009387
NODE 560 -0.110970 -0.009387
NODE 561 0.110970 0.009387
NODE 562 -0.110970 0.009387
NODE 563 -0.119190 -0.009392
NODE 564 0.119190 -0.009392
NODE 565 0.119190 0.009392
NODE 566 -0.119190 0.009392
NODE 567 -0.204993 0.004515
NODE 568 0.204993 0.004515
NODE 569 0.204992 -0.004513
NODE 570 -0.204992 -0.004513
NODE 571 0.127411 0.009397
NODE 572 0.127411 -0.009397
NODE 573 -0.127411 -0.009397
NODE 574 -0.127411 0.009397
NODE 575 0.204986 0.013548
NODE 576 0.204985 -0.013548
NODE 577 -0.204986 0.013548
NODE 578 -0.204985 -0.013548
NODE 579 0.135631 -0.009402
NODE 580 0.135631 0.009402
NODE 581 -0.135631 -0.009402
NODE 582 -0.135631 0.009402
NODE 583 0.143852 0.009406
NODE 584 0.143852 -0.009406

NODE 585 -0.143852 0.009406
NODE 586 -0.143852 -0.009406
NODE 587 -0.204978 -0.022584
NODE 588 0.204978 -0.022584
NODE 589 -0.204978 0.022584
NODE 590 0.204978 0.022584
NODE 591 -0.204970 -0.031620
NODE 592 0.204970 -0.031620
NODE 593 -0.204970 0.031620
NODE 594 0.204970 0.031620
NODE 595 -0.204963 0.040656
NODE 596 0.204963 0.040656
NODE 597 0.204963 -0.040656
NODE 598 -0.204963 -0.040656
NODE 599 0.204955 0.049693
NODE 600 -0.204955 -0.049693
NODE 601 0.204955 -0.049693
NODE 602 -0.204955 0.049693
NODE 603 0.204948 0.058729
NODE 604 0.204948 -0.058729
NODE 605 -0.204948 0.058729
NODE 606 -0.204948 -0.058729
NODE 607 0.204941 0.067765
NODE 608 0.204941 -0.067765
NODE 609 -0.204941 0.067765
NODE 610 -0.204941 -0.067765
NODE 611 0.204944 0.076813
NODE 612 0.204944 -0.076813
NODE 613 -0.204944 0.076813
NODE 614 -0.204944 -0.076813
NODE 615 -0.173894 0.011177
NODE 616 -0.173894 -0.011177
NODE 617 0.179634 -0.016895
NODE 618 0.173905 -0.011166
NODE 619 -0.179623 -0.016906
NODE 620 -0.179623 0.016906
NODE 621 0.179623 0.016906
NODE 622 0.173894 0.011177
NODE 623 -0.181821 0.066893
NODE 624 0.181760 0.076206
NODE 625 0.181179 -0.058407
NODE 626 -0.181500 -0.058029
NODE 627 0.181490 0.067283
NODE 628 -0.181545 0.048737
NODE 629 -0.181625 0.076365
NODE 630 0.181179 -0.067650
NODE 631 0.181454 -0.076562
NODE 632 -0.181500 -0.076514
NODE 633 -0.181561 0.057957
NODE 634 -0.181500 -0.067271
NODE 635 0.181438 0.048863
NODE 636 0.181488 0.058043
NODE 637 0.181268 -0.049061
NODE 638 -0.181466 -0.048829
NODELINE 0 0 0 0
YC_ZC 0 0 0 0
FIXATIONS
END_FIX
NODOFSOLID
ELEM 1 70 388 4 0 2 0.0
ELEM 2 16 387 184 0 2 0.0
ELEM 3 178 387 16 0 2 0.0
ELEM 4 4 388 69 0 2 0.0
ELEM 5 5 388 70 0 2 0.0
ELEM 6 184 387 17 0 2 0.0
ELEM 7 71 388 5 0 2 0.0

ELEM 8 17 387 188 0 2 0.0
ELEM 9 193 386 379 0 2 0.0
ELEM 10 380 385 76 0 2 0.0
ELEM 11 379 386 173 0 2 0.0
ELEM 12 64 385 380 0 2 0.0
ELEM 13 77 380 76 0 2 0.0
ELEM 14 193 379 194 0 2 0.0
ELEM 15 78 374 77 0 2 0.0
ELEM 16 194 373 195 0 2 0.0
ELEM 17 374 380 77 0 2 0.0
ELEM 18 194 379 373 0 2 0.0
ELEM 19 79 371 78 0 2 0.0
ELEM 20 195 372 196 0 2 0.0
ELEM 21 65 385 64 0 2 0.0
ELEM 22 173 386 174 0 2 0.0
ELEM 23 66 383 65 0 2 0.0
ELEM 24 174 384 175 0 2 0.0
ELEM 25 80 369 20 0 2 0.0
ELEM 26 20 370 182 0 2 0.0
ELEM 27 19 369 79 0 2 0.0
ELEM 28 196 370 19 0 2 0.0
ELEM 29 67 382 66 0 2 0.0
ELEM 30 175 381 176 0 2 0.0
ELEM 31 383 385 65 0 2 0.0
ELEM 32 174 386 384 0 2 0.0
ELEM 33 371 374 78 0 2 0.0
ELEM 34 195 373 372 0 2 0.0
ELEM 35 81 371 80 0 2 0.0
ELEM 36 182 372 183 0 2 0.0
ELEM 37 176 377 177 0 2 0.0
ELEM 38 68 378 67 0 2 0.0
ELEM 39 369 370 20 0 2 0.0
ELEM 40 15 379 173 0 2 0.0
ELEM 41 64 380 3 0 2 0.0
ELEM 42 382 383 66 0 2 0.0
ELEM 43 175 384 381 0 2 0.0
ELEM 44 370 372 182 0 2 0.0
ELEM 45 80 371 369 0 2 0.0
ELEM 46 177 376 178 0 2 0.0
ELEM 47 69 375 68 0 2 0.0
ELEM 48 373 379 15 0 2 0.0
ELEM 49 3 380 374 0 2 0.0
ELEM 50 3 374 81 0 2 0.0
ELEM 51 183 373 15 0 2 0.0
ELEM 52 176 381 377 0 2 0.0
ELEM 53 378 382 67 0 2 0.0
ELEM 54 188 376 189 0 2 0.0
ELEM 55 72 375 71 0 2 0.0
ELEM 56 196 372 370 0 2 0.0
ELEM 57 369 371 79 0 2 0.0
ELEM 58 81 374 371 0 2 0.0
ELEM 59 372 373 183 0 2 0.0
ELEM 60 177 377 376 0 2 0.0
ELEM 61 375 378 68 0 2 0.0
ELEM 62 189 377 190 0 2 0.0
ELEM 63 73 378 72 0 2 0.0
ELEM 64 72 378 375 0 2 0.0
ELEM 65 376 377 189 0 2 0.0
ELEM 66 74 382 73 0 2 0.0
ELEM 67 190 381 191 0 2 0.0
ELEM 68 19 370 369 0 2 0.0
ELEM 69 377 381 190 0 2 0.0
ELEM 70 73 382 378 0 2 0.0
ELEM 71 191 384 192 0 2 0.0
ELEM 72 75 383 74 0 2 0.0
ELEM 73 381 384 191 0 2 0.0

ELEM 74 74 383 382 0 2 0.0
ELEM 75 76 385 75 0 2 0.0
ELEM 76 192 386 193 0 2 0.0
ELEM 77 384 386 192 0 2 0.0
ELEM 78 75 385 383 0 2 0.0
ELEM 79 376 387 178 0 2 0.0
ELEM 80 69 388 375 0 2 0.0
ELEM 81 375 388 71 0 2 0.0
ELEM 82 188 387 376 0 2 0.0
ELEM 83 30 408 306 0 2 0.0
ELEM 84 346 407 36 0 2 0.0
ELEM 85 36 407 326 0 2 0.0
ELEM 86 300 408 30 0 2 0.0
ELEM 87 306 408 32 0 2 0.0
ELEM 88 39 407 346 0 2 0.0
ELEM 89 32 408 327 0 2 0.0
ELEM 90 347 407 39 0 2 0.0
ELEM 91 332 405 400 0 2 0.0
ELEM 92 399 406 352 0 2 0.0
ELEM 93 400 405 295 0 2 0.0
ELEM 94 321 406 399 0 2 0.0
ELEM 95 353 399 352 0 2 0.0
ELEM 96 332 400 333 0 2 0.0
ELEM 97 333 393 334 0 2 0.0
ELEM 98 354 394 353 0 2 0.0
ELEM 99 394 399 353 0 2 0.0
ELEM 100 333 400 393 0 2 0.0
ELEM 101 334 391 335 0 2 0.0
ELEM 102 355 392 354 0 2 0.0
ELEM 103 295 405 296 0 2 0.0
ELEM 104 322 406 321 0 2 0.0
ELEM 105 323 404 322 0 2 0.0
ELEM 106 296 403 297 0 2 0.0
ELEM 107 31 389 304 0 2 0.0
ELEM 108 307 390 31 0 2 0.0
ELEM 109 335 389 37 0 2 0.0
ELEM 110 37 390 355 0 2 0.0
ELEM 111 324 401 323 0 2 0.0
ELEM 112 297 402 298 0 2 0.0
ELEM 113 296 405 403 0 2 0.0
ELEM 114 404 406 322 0 2 0.0
ELEM 115 392 394 354 0 2 0.0
ELEM 116 334 393 391 0 2 0.0
ELEM 117 304 391 305 0 2 0.0
ELEM 118 308 392 307 0 2 0.0
ELEM 119 325 397 324 0 2 0.0
ELEM 120 298 398 299 0 2 0.0
ELEM 121 31 390 389 0 2 0.0
ELEM 122 29 400 295 0 2 0.0
ELEM 123 321 399 33 0 2 0.0
ELEM 124 401 404 323 0 2 0.0
ELEM 125 297 403 402 0 2 0.0
ELEM 126 389 391 304 0 2 0.0
ELEM 127 307 392 390 0 2 0.0
ELEM 128 299 396 300 0 2 0.0
ELEM 129 326 395 325 0 2 0.0
ELEM 130 393 400 29 0 2 0.0
ELEM 131 33 399 394 0 2 0.0
ELEM 132 305 393 29 0 2 0.0
ELEM 133 33 394 308 0 2 0.0
ELEM 134 298 402 398 0 2 0.0
ELEM 135 397 401 324 0 2 0.0
ELEM 136 327 396 328 0 2 0.0
ELEM 137 348 395 347 0 2 0.0
ELEM 138 335 391 389 0 2 0.0
ELEM 139 390 392 355 0 2 0.0

ELEM 140 308 394 392 0 2 0.0
ELEM 141 391 393 305 0 2 0.0
ELEM 142 395 397 325 0 2 0.0
ELEM 143 299 398 396 0 2 0.0
ELEM 144 349 397 348 0 2 0.0
ELEM 145 328 398 329 0 2 0.0
ELEM 146 348 397 395 0 2 0.0
ELEM 147 396 398 328 0 2 0.0
ELEM 148 329 402 330 0 2 0.0
ELEM 149 350 401 349 0 2 0.0
ELEM 150 389 390 37 0 2 0.0
ELEM 151 398 402 329 0 2 0.0
ELEM 152 349 401 397 0 2 0.0
ELEM 153 330 403 331 0 2 0.0
ELEM 154 351 404 350 0 2 0.0
ELEM 155 402 403 330 0 2 0.0
ELEM 156 350 404 401 0 2 0.0
ELEM 157 331 405 332 0 2 0.0
ELEM 158 352 406 351 0 2 0.0
ELEM 159 403 405 331 0 2 0.0
ELEM 160 351 406 404 0 2 0.0
ELEM 161 396 408 300 0 2 0.0
ELEM 162 326 407 395 0 2 0.0
ELEM 163 395 407 347 0 2 0.0
ELEM 164 327 408 396 0 2 0.0
ELEM 165 410 414 412 0 3 0.0
ELEM 166 409 413 411 0 3 0.0
ELEM 167 412 414 82 0 3 0.0
ELEM 168 411 413 309 0 3 0.0
ELEM 169 301 413 409 0 3 0.0
ELEM 170 179 414 410 0 3 0.0
ELEM 171 31 411 307 0 3 0.0
ELEM 172 20 412 80 0 3 0.0
ELEM 173 307 411 310 0 3 0.0
ELEM 174 80 412 83 0 3 0.0
ELEM 175 302 409 304 0 3 0.0
ELEM 176 180 410 182 0 3 0.0
ELEM 177 304 409 31 0 3 0.0
ELEM 178 182 410 20 0 3 0.0
ELEM 179 310 411 309 0 3 0.0
ELEM 180 83 412 82 0 3 0.0
ELEM 181 301 409 302 0 3 0.0
ELEM 182 179 410 180 0 3 0.0
ELEM 183 25 413 24 0 3 0.0
ELEM 184 1 414 12 0 3 0.0
ELEM 185 24 415 25 0 3 0.0
ELEM 186 12 416 1 0 3 0.0
ELEM 187 409 411 31 0 3 0.0
ELEM 188 410 412 20 0 3 0.0
ELEM 189 309 413 25 0 3 0.0
ELEM 190 24 413 301 0 3 0.0
ELEM 191 82 414 1 0 3 0.0
ELEM 192 12 414 179 0 3 0.0
ELEM 193 261 415 24 0 3 0.0
ELEM 194 25 415 280 0 3 0.0
ELEM 195 162 416 12 0 3 0.0
ELEM 196 1 416 63 0 3 0.0
ELEM 197 261 432 415 0 3 0.0
ELEM 198 415 432 280 0 3 0.0
ELEM 199 416 426 63 0 3 0.0
ELEM 200 162 426 416 0 3 0.0
ELEM 201 417 432 260 0 3 0.0
ELEM 202 273 429 428 0 3 0.0
ELEM 203 279 432 417 0 3 0.0
ELEM 204 428 429 254 0 3 0.0
ELEM 205 62 426 418 0 3 0.0

ELEM 206 59 440 424 0 3 0.0
ELEM 207 418 426 161 0 3 0.0
ELEM 208 431 436 277 0 3 0.0
ELEM 209 258 436 431 0 3 0.0
ELEM 210 424 440 158 0 3 0.0
ELEM 211 57 423 421 0 3 0.0
ELEM 212 420 422 154 0 3 0.0
ELEM 213 421 423 156 0 3 0.0
ELEM 214 55 422 420 0 3 0.0
ELEM 215 425 440 60 0 3 0.0
ELEM 216 62 418 61 0 3 0.0
ELEM 217 160 418 161 0 3 0.0
ELEM 218 259 417 260 0 3 0.0
ELEM 219 279 417 278 0 3 0.0
ELEM 220 157 424 158 0 3 0.0
ELEM 221 256 430 257 0 3 0.0
ELEM 222 268 442 433 0 3 0.0
ELEM 223 251 446 443 0 3 0.0
ELEM 224 443 446 270 0 3 0.0
ELEM 225 159 440 425 0 3 0.0
ELEM 226 434 435 247 0 3 0.0
ELEM 227 252 443 427 0 3 0.0
ELEM 228 266 435 434 0 3 0.0
ELEM 229 158 440 159 0 3 0.0
ELEM 230 433 442 249 0 3 0.0
ELEM 231 257 436 258 0 3 0.0
ELEM 232 144 447 145 0 3 0.0
ELEM 233 243 441 244 0 3 0.0
ELEM 234 263 441 262 0 3 0.0
ELEM 235 445 450 48 0 3 0.0
ELEM 236 152 448 439 0 3 0.0
ELEM 237 255 419 256 0 3 0.0
ELEM 238 273 428 272 0 3 0.0
ELEM 239 275 430 419 0 3 0.0
ELEM 240 52 448 438 0 3 0.0
ELEM 241 56 422 55 0 3 0.0
ELEM 242 57 421 56 0 3 0.0
ELEM 243 59 424 58 0 3 0.0
ELEM 244 149 444 437 0 3 0.0
ELEM 245 153 420 154 0 3 0.0
ELEM 246 154 422 155 0 3 0.0
ELEM 247 156 423 157 0 3 0.0
ELEM 248 252 427 253 0 3 0.0
ELEM 249 253 428 254 0 3 0.0
ELEM 250 449 451 264 0 3 0.0
ELEM 251 274 429 273 0 3 0.0
ELEM 252 276 430 275 0 3 0.0
ELEM 253 50 444 49 0 3 0.0
ELEM 254 149 437 150 0 3 0.0
ELEM 255 441 451 244 0 3 0.0
ELEM 256 248 433 249 0 3 0.0
ELEM 257 268 433 267 0 3 0.0
ELEM 258 427 443 271 0 3 0.0
ELEM 259 447 452 45 0 3 0.0
ELEM 260 52 438 51 0 3 0.0
ELEM 261 144 452 447 0 3 0.0
ELEM 262 447 454 145 0 3 0.0
ELEM 263 147 450 445 0 3 0.0
ELEM 264 243 453 441 0 3 0.0
ELEM 265 245 451 449 0 3 0.0
ELEM 266 441 453 262 0 3 0.0
ELEM 267 269 442 268 0 3 0.0
ELEM 268 47 454 46 0 3 0.0
ELEM 269 54 439 53 0 3 0.0
ELEM 270 146 454 450 0 3 0.0
ELEM 271 147 445 148 0 3 0.0

ELEM 272 438 448 151 0 3 0.0
ELEM 273 152 439 153 0 3 0.0
ELEM 274 246 434 247 0 3 0.0
ELEM 275 251 443 252 0 3 0.0
ELEM 276 263 451 441 0 3 0.0
ELEM 277 266 434 265 0 3 0.0
ELEM 278 271 443 270 0 3 0.0
ELEM 279 45 452 41 0 3 0.0
ELEM 280 46 454 447 0 3 0.0
ELEM 281 49 445 48 0 3 0.0
ELEM 282 276 436 430 0 3 0.0
ELEM 283 450 454 47 0 3 0.0
ELEM 284 439 448 53 0 3 0.0
ELEM 285 151 448 152 0 3 0.0
ELEM 286 250 446 251 0 3 0.0
ELEM 287 270 446 269 0 3 0.0
ELEM 288 44 453 452 0 3 0.0
ELEM 289 51 437 50 0 3 0.0
ELEM 290 61 425 60 0 3 0.0
ELEM 291 63 426 62 0 3 0.0
ELEM 292 159 425 160 0 3 0.0
ELEM 293 161 426 162 0 3 0.0
ELEM 294 246 449 434 0 3 0.0
ELEM 295 258 431 259 0 3 0.0
ELEM 296 260 432 261 0 3 0.0
ELEM 297 278 431 277 0 3 0.0
ELEM 298 280 432 279 0 3 0.0
ELEM 299 46 447 45 0 3 0.0
ELEM 300 437 444 50 0 3 0.0
ELEM 301 53 448 52 0 3 0.0
ELEM 302 146 450 147 0 3 0.0
ELEM 303 148 444 149 0 3 0.0
ELEM 304 245 449 246 0 3 0.0
ELEM 305 247 435 248 0 3 0.0
ELEM 306 265 449 264 0 3 0.0
ELEM 307 267 435 266 0 3 0.0
ELEM 308 41 453 243 0 3 0.0
ELEM 309 452 453 41 0 3 0.0
ELEM 310 44 452 144 0 3 0.0
ELEM 311 262 453 44 0 3 0.0
ELEM 312 145 454 146 0 3 0.0
ELEM 313 244 451 245 0 3 0.0
ELEM 314 264 451 263 0 3 0.0
ELEM 315 48 450 47 0 3 0.0
ELEM 316 437 438 150 0 3 0.0
ELEM 317 150 438 151 0 3 0.0
ELEM 318 51 438 437 0 3 0.0
ELEM 319 60 440 59 0 3 0.0
ELEM 320 249 442 250 0 3 0.0
ELEM 321 277 436 276 0 3 0.0
ELEM 322 148 445 444 0 3 0.0
ELEM 323 430 436 257 0 3 0.0
ELEM 324 434 449 265 0 3 0.0
ELEM 325 421 422 56 0 3 0.0
ELEM 326 155 422 421 0 3 0.0
ELEM 327 419 430 256 0 3 0.0
ELEM 328 433 435 267 0 3 0.0
ELEM 329 55 420 54 0 3 0.0
ELEM 330 58 423 57 0 3 0.0
ELEM 331 155 421 156 0 3 0.0
ELEM 332 254 429 255 0 3 0.0
ELEM 333 272 427 271 0 3 0.0
ELEM 334 275 419 274 0 3 0.0
ELEM 335 444 445 49 0 3 0.0
ELEM 336 248 435 433 0 3 0.0
ELEM 337 420 439 54 0 3 0.0

ELEM 338 269 446 442 0 3 0.0
ELEM 339 153 439 420 0 3 0.0
ELEM 340 272 428 427 0 3 0.0
ELEM 341 427 428 253 0 3 0.0
ELEM 342 442 446 250 0 3 0.0
ELEM 343 160 425 418 0 3 0.0
ELEM 344 419 429 274 0 3 0.0
ELEM 345 259 431 417 0 3 0.0
ELEM 346 418 425 61 0 3 0.0
ELEM 347 255 429 419 0 3 0.0
ELEM 348 417 431 278 0 3 0.0
ELEM 349 423 424 157 0 3 0.0
ELEM 350 58 424 423 0 3 0.0
ELEM 351 84 3 81 0 3 0.0
ELEM 352 29 303 305 0 3 0.0
ELEM 353 311 33 308 0 3 0.0
ELEM 354 183 15 181 0 3 0.0
ELEM 355 80 84 81 0 3 0.0
ELEM 356 80 83 84 0 3 0.0
ELEM 357 181 180 182 0 3 0.0
ELEM 358 183 181 182 0 3 0.0
ELEM 359 304 303 302 0 3 0.0
ELEM 360 305 303 304 0 3 0.0
ELEM 361 308 307 311 0 3 0.0
ELEM 362 311 307 310 0 3 0.0
ELEM 363 462 467 12 0 1 0.0
ELEM 364 463 469 24 0 1 0.0
ELEM 365 25 468 459 0 1 0.0
ELEM 366 1 470 466 0 1 0.0
ELEM 367 458 459 292 0 1 0.0
ELEM 368 288 463 457 0 1 0.0
ELEM 369 456 460 171 0 1 0.0
ELEM 370 457 461 289 0 1 0.0
ELEM 371 293 464 458 0 1 0.0
ELEM 372 170 462 456 0 1 0.0
ELEM 373 124 465 455 0 1 0.0
ELEM 374 455 466 123 0 1 0.0
ELEM 375 15 460 181 0 1 0.0
ELEM 376 29 461 303 0 1 0.0
ELEM 377 179 462 12 0 1 0.0
ELEM 378 301 463 24 0 1 0.0
ELEM 379 311 464 33 0 1 0.0
ELEM 380 25 459 309 0 1 0.0
ELEM 381 1 466 82 0 1 0.0
ELEM 382 84 465 3 0 1 0.0
ELEM 383 13 496 163 0 1 0.0
ELEM 384 464 471 33 0 1 0.0
ELEM 385 15 472 460 0 1 0.0
ELEM 386 29 473 461 0 1 0.0
ELEM 387 465 474 3 0 1 0.0
ELEM 388 169 467 462 0 1 0.0
ELEM 389 459 468 291 0 1 0.0
ELEM 390 287 469 463 0 1 0.0
ELEM 391 466 470 122 0 1 0.0
ELEM 392 30 513 300 0 1 0.0
ELEM 393 326 512 36 0 1 0.0
ELEM 394 473 495 26 0 1 0.0
ELEM 395 28 497 471 0 1 0.0
ELEM 396 8 498 474 0 1 0.0
ELEM 397 312 497 28 0 1 0.0
ELEM 398 26 495 281 0 1 0.0
ELEM 399 103 498 8 0 1 0.0
ELEM 400 488 511 16 0 1 0.0
ELEM 401 4 514 490 0 1 0.0
ELEM 402 32 509 483 0 1 0.0
ELEM 403 484 510 39 0 1 0.0

ELEM 404 17 508 486 0 1 0.0
ELEM 405 485 507 5 0 1 0.0
ELEM 406 16 511 178 0 1 0.0
ELEM 407 69 514 4 0 1 0.0
ELEM 408 294 471 464 0 1 0.0
ELEM 409 461 473 290 0 1 0.0
ELEM 410 460 472 172 0 1 0.0
ELEM 411 125 474 465 0 1 0.0
ELEM 412 455 621 83 0 1 0.0
ELEM 413 83 622 455 0 1 0.0
ELEM 414 310 616 458 0 1 0.0
ELEM 415 456 618 180 0 1 0.0
ELEM 416 457 615 302 0 1 0.0
ELEM 417 458 619 310 0 1 0.0
ELEM 418 180 617 456 0 1 0.0
ELEM 419 302 620 457 0 1 0.0
ELEM 420 5 507 71 0 1 0.0
ELEM 421 188 508 17 0 1 0.0
ELEM 422 327 509 32 0 1 0.0
ELEM 423 39 510 347 0 1 0.0
ELEM 424 468 492 23 0 1 0.0
ELEM 425 22 493 469 0 1 0.0
ELEM 426 11 491 467 0 1 0.0
ELEM 427 470 494 6 0 1 0.0
ELEM 428 496 637 163 0 1 0.0
ELEM 429 174 637 496 0 1 0.0
ELEM 430 513 629 300 0 1 0.0
ELEM 431 285 629 513 0 1 0.0
ELEM 432 463 615 457 0 1 0.0
ELEM 433 458 616 459 0 1 0.0
ELEM 434 456 617 460 0 1 0.0
ELEM 435 462 618 456 0 1 0.0
ELEM 436 464 619 458 0 1 0.0
ELEM 437 457 620 461 0 1 0.0
ELEM 438 465 621 455 0 1 0.0
ELEM 439 455 622 466 0 1 0.0
ELEM 440 63 494 470 0 1 0.0
ELEM 441 280 492 468 0 1 0.0
ELEM 442 469 493 261 0 1 0.0
ELEM 443 467 491 162 0 1 0.0
ELEM 444 288 457 289 0 1 0.0
ELEM 445 293 458 292 0 1 0.0
ELEM 446 170 456 171 0 1 0.0
ELEM 447 124 455 123 0 1 0.0
ELEM 448 171 460 172 0 1 0.0
ELEM 449 292 459 291 0 1 0.0
ELEM 450 294 464 293 0 1 0.0
ELEM 451 169 462 170 0 1 0.0
ELEM 452 287 463 288 0 1 0.0
ELEM 453 289 461 290 0 1 0.0
ELEM 454 123 466 122 0 1 0.0
ELEM 455 125 465 124 0 1 0.0
ELEM 456 173 472 15 0 1 0.0
ELEM 457 33 471 321 0 1 0.0
ELEM 458 295 473 29 0 1 0.0
ELEM 459 3 474 64 0 1 0.0
ELEM 460 12 467 162 0 1 0.0
ELEM 461 24 469 261 0 1 0.0
ELEM 462 280 468 25 0 1 0.0
ELEM 463 63 470 1 0 1 0.0
ELEM 464 459 616 309 0 1 0.0
ELEM 465 179 618 462 0 1 0.0
ELEM 466 301 615 463 0 1 0.0
ELEM 467 311 619 464 0 1 0.0
ELEM 468 460 617 181 0 1 0.0
ELEM 469 461 620 303 0 1 0.0

ELEM 470 466 622 82 0 1 0.0
ELEM 471 84 621 465 0 1 0.0
ELEM 472 23 492 242 0 1 0.0
ELEM 473 224 493 22 0 1 0.0
ELEM 474 143 491 11 0 1 0.0
ELEM 475 6 494 102 0 1 0.0
ELEM 476 162 491 161 0 1 0.0
ELEM 477 261 493 260 0 1 0.0
ELEM 478 279 492 280 0 1 0.0
ELEM 479 62 494 63 0 1 0.0
ELEM 480 472 496 13 0 1 0.0
ELEM 481 487 513 30 0 1 0.0
ELEM 482 36 512 489 0 1 0.0
ELEM 483 491 584 161 0 1 0.0
ELEM 484 493 585 260 0 1 0.0
ELEM 485 279 586 492 0 1 0.0
ELEM 486 62 583 494 0 1 0.0
ELEM 487 632 634 315 0 1 0.0
ELEM 488 325 634 632 0 1 0.0
ELEM 489 104 636 635 0 1 0.0
ELEM 490 635 636 66 0 1 0.0
ELEM 491 4 490 480 0 1 0.0
ELEM 492 476 488 16 0 1 0.0
ELEM 493 36 489 477 0 1 0.0
ELEM 494 475 487 30 0 1 0.0
ELEM 495 481 485 5 0 1 0.0
ELEM 496 17 486 478 0 1 0.0
ELEM 497 479 484 39 0 1 0.0
ELEM 498 32 483 482 0 1 0.0
ELEM 499 286 487 27 0 1 0.0
ELEM 500 34 489 317 0 1 0.0
ELEM 501 168 488 14 0 1 0.0
ELEM 502 9 490 108 0 1 0.0
ELEM 503 35 483 336 0 1 0.0
ELEM 504 18 486 197 0 1 0.0
ELEM 505 359 484 40 0 1 0.0
ELEM 506 112 485 10 0 1 0.0
ELEM 507 483 509 336 0 1 0.0
ELEM 508 359 510 484 0 1 0.0
ELEM 509 486 508 197 0 1 0.0
ELEM 510 112 507 485 0 1 0.0
ELEM 511 168 511 488 0 1 0.0
ELEM 512 490 514 108 0 1 0.0
ELEM 513 474 498 64 0 1 0.0
ELEM 514 295 495 473 0 1 0.0
ELEM 515 471 497 321 0 1 0.0
ELEM 516 161 584 160 0 1 0.0
ELEM 517 61 583 62 0 1 0.0
ELEM 518 260 585 259 0 1 0.0
ELEM 519 278 586 279 0 1 0.0
ELEM 520 321 497 322 0 1 0.0
ELEM 521 296 495 295 0 1 0.0
ELEM 522 497 638 322 0 1 0.0
ELEM 523 64 498 65 0 1 0.0
ELEM 524 360 510 359 0 1 0.0
ELEM 525 113 507 112 0 1 0.0
ELEM 526 336 509 337 0 1 0.0
ELEM 527 197 508 198 0 1 0.0
ELEM 528 259 582 258 0 1 0.0
ELEM 529 277 581 278 0 1 0.0
ELEM 530 60 580 61 0 1 0.0
ELEM 531 160 579 159 0 1 0.0
ELEM 532 326 632 512 0 1 0.0
ELEM 533 167 511 168 0 1 0.0
ELEM 534 108 514 107 0 1 0.0
ELEM 535 514 624 107 0 1 0.0

ELEM 536 10 485 111 0 1 0.0
ELEM 537 187 486 18 0 1 0.0
ELEM 538 40 484 358 0 1 0.0
ELEM 539 320 483 35 0 1 0.0
ELEM 540 276 573 277 0 1 0.0
ELEM 541 59 571 60 0 1 0.0
ELEM 542 258 574 257 0 1 0.0
ELEM 543 159 572 158 0 1 0.0
ELEM 544 581 586 278 0 1 0.0
ELEM 545 259 585 582 0 1 0.0
ELEM 546 580 583 61 0 1 0.0
ELEM 547 160 584 579 0 1 0.0
ELEM 548 110 480 109 0 1 0.0
ELEM 549 111 481 110 0 1 0.0
ELEM 550 185 476 186 0 1 0.0
ELEM 551 358 479 357 0 1 0.0
ELEM 552 186 478 187 0 1 0.0
ELEM 553 319 482 320 0 1 0.0
ELEM 554 357 477 356 0 1 0.0
ELEM 555 318 475 319 0 1 0.0
ELEM 556 58 565 59 0 1 0.0
ELEM 557 158 564 157 0 1 0.0
ELEM 558 275 563 276 0 1 0.0
ELEM 559 257 566 256 0 1 0.0
ELEM 560 27 487 318 0 1 0.0
ELEM 561 356 489 34 0 1 0.0
ELEM 562 14 488 185 0 1 0.0
ELEM 563 109 490 9 0 1 0.0
ELEM 564 159 579 572 0 1 0.0
ELEM 565 571 580 60 0 1 0.0
ELEM 566 258 582 574 0 1 0.0
ELEM 567 573 581 277 0 1 0.0
ELEM 568 509 613 337 0 1 0.0
ELEM 569 113 611 507 0 1 0.0
ELEM 570 360 614 510 0 1 0.0
ELEM 571 508 612 198 0 1 0.0
ELEM 572 309 616 310 0 1 0.0
ELEM 573 302 615 301 0 1 0.0
ELEM 574 180 618 179 0 1 0.0
ELEM 575 303 620 302 0 1 0.0
ELEM 576 310 619 311 0 1 0.0
ELEM 577 181 617 180 0 1 0.0
ELEM 578 83 621 84 0 1 0.0
ELEM 579 82 622 83 0 1 0.0
ELEM 580 274 560 275 0 1 0.0
ELEM 581 256 562 255 0 1 0.0
ELEM 582 57 561 58 0 1 0.0
ELEM 583 157 559 156 0 1 0.0
ELEM 584 174 496 173 0 1 0.0
ELEM 585 291 468 23 0 1 0.0
ELEM 586 11 467 169 0 1 0.0
ELEM 587 22 469 287 0 1 0.0
ELEM 588 122 470 6 0 1 0.0
ELEM 589 312 638 497 0 1 0.0
ELEM 590 565 571 59 0 1 0.0
ELEM 591 158 572 564 0 1 0.0
ELEM 592 563 573 276 0 1 0.0
ELEM 593 257 574 566 0 1 0.0
ELEM 594 28 471 294 0 1 0.0
ELEM 595 290 473 26 0 1 0.0
ELEM 596 172 472 13 0 1 0.0
ELEM 597 8 474 125 0 1 0.0
ELEM 598 255 556 254 0 1 0.0
ELEM 599 156 555 155 0 1 0.0
ELEM 600 273 558 274 0 1 0.0
ELEM 601 56 557 57 0 1 0.0

ELEM 602 285 513 286 0 1 0.0
ELEM 603 317 512 316 0 1 0.0
ELEM 604 512 632 316 0 1 0.0
ELEM 605 69 624 514 0 1 0.0
ELEM 606 256 566 562 0 1 0.0
ELEM 607 560 563 275 0 1 0.0
ELEM 608 157 564 559 0 1 0.0
ELEM 609 561 565 58 0 1 0.0
ELEM 610 55 553 56 0 1 0.0
ELEM 611 155 551 154 0 1 0.0
ELEM 612 272 552 273 0 1 0.0
ELEM 613 254 554 253 0 1 0.0
ELEM 614 156 559 555 0 1 0.0
ELEM 615 557 561 57 0 1 0.0
ELEM 616 255 562 556 0 1 0.0
ELEM 617 558 560 274 0 1 0.0
ELEM 618 480 490 109 0 1 0.0
ELEM 619 185 488 476 0 1 0.0
ELEM 620 318 487 475 0 1 0.0
ELEM 621 477 489 356 0 1 0.0
ELEM 622 54 550 55 0 1 0.0
ELEM 623 271 549 272 0 1 0.0
ELEM 624 154 547 153 0 1 0.0
ELEM 625 253 548 252 0 1 0.0
ELEM 626 111 485 481 0 1 0.0
ELEM 627 478 486 187 0 1 0.0
ELEM 628 358 484 479 0 1 0.0
ELEM 629 482 483 320 0 1 0.0
ELEM 630 155 555 551 0 1 0.0
ELEM 631 553 557 56 0 1 0.0
ELEM 632 254 556 554 0 1 0.0
ELEM 633 552 558 273 0 1 0.0
ELEM 634 53 545 54 0 1 0.0
ELEM 635 252 543 251 0 1 0.0
ELEM 636 270 546 271 0 1 0.0
ELEM 637 153 544 152 0 1 0.0
ELEM 638 507 611 71 0 1 0.0
ELEM 639 327 613 509 0 1 0.0
ELEM 640 188 612 508 0 1 0.0
ELEM 641 510 614 347 0 1 0.0
ELEM 642 32 482 306 0 1 0.0
ELEM 643 306 475 30 0 1 0.0
ELEM 644 184 476 16 0 1 0.0
ELEM 645 36 477 346 0 1 0.0
ELEM 646 17 478 184 0 1 0.0
ELEM 647 346 479 39 0 1 0.0
ELEM 648 4 480 70 0 1 0.0
ELEM 649 70 481 5 0 1 0.0
ELEM 650 152 539 151 0 1 0.0
ELEM 651 251 541 250 0 1 0.0
ELEM 652 269 542 270 0 1 0.0
ELEM 653 52 540 53 0 1 0.0
ELEM 654 549 552 272 0 1 0.0
ELEM 655 253 554 548 0 1 0.0
ELEM 656 550 553 55 0 1 0.0
ELEM 657 154 551 547 0 1 0.0
ELEM 658 151 537 150 0 1 0.0
ELEM 659 250 536 249 0 1 0.0
ELEM 660 51 535 52 0 1 0.0
ELEM 661 268 538 269 0 1 0.0
ELEM 662 545 550 54 0 1 0.0
ELEM 663 153 547 544 0 1 0.0
ELEM 664 252 548 543 0 1 0.0
ELEM 665 546 549 271 0 1 0.0
ELEM 666 249 532 248 0 1 0.0
ELEM 667 267 531 268 0 1 0.0

ELEM 668 150 533 149 0 1 0.0
ELEM 669 50 534 51 0 1 0.0
ELEM 670 152 544 539 0 1 0.0
ELEM 671 540 545 53 0 1 0.0
ELEM 672 251 543 541 0 1 0.0
ELEM 673 542 546 270 0 1 0.0
ELEM 674 49 530 50 0 1 0.0
ELEM 675 248 527 247 0 1 0.0
ELEM 676 266 528 267 0 1 0.0
ELEM 677 149 529 148 0 1 0.0
ELEM 678 143 584 491 0 1 0.0
ELEM 679 224 585 493 0 1 0.0
ELEM 680 492 586 242 0 1 0.0
ELEM 681 494 583 102 0 1 0.0
ELEM 682 535 540 52 0 1 0.0
ELEM 683 538 542 269 0 1 0.0
ELEM 684 151 539 537 0 1 0.0
ELEM 685 250 541 536 0 1 0.0
ELEM 686 247 523 246 0 1 0.0
ELEM 687 265 524 266 0 1 0.0
ELEM 688 48 526 49 0 1 0.0
ELEM 689 148 525 147 0 1 0.0
ELEM 690 249 536 532 0 1 0.0
ELEM 691 531 538 268 0 1 0.0
ELEM 692 150 537 533 0 1 0.0
ELEM 693 534 535 51 0 1 0.0
ELEM 694 147 521 146 0 1 0.0
ELEM 695 246 519 245 0 1 0.0
ELEM 696 264 520 265 0 1 0.0
ELEM 697 47 522 48 0 1 0.0
ELEM 698 263 516 264 0 1 0.0
ELEM 699 46 518 47 0 1 0.0
ELEM 700 146 517 145 0 1 0.0
ELEM 701 245 515 244 0 1 0.0
ELEM 702 528 531 267 0 1 0.0
ELEM 703 248 532 527 0 1 0.0
ELEM 704 149 533 529 0 1 0.0
ELEM 705 530 534 50 0 1 0.0
ELEM 706 244 505 243 0 1 0.0
ELEM 707 262 503 263 0 1 0.0
ELEM 708 145 504 144 0 1 0.0
ELEM 709 45 506 46 0 1 0.0
ELEM 710 524 528 266 0 1 0.0
ELEM 711 148 529 525 0 1 0.0
ELEM 712 247 527 523 0 1 0.0
ELEM 713 526 530 49 0 1 0.0
ELEM 714 41 499 45 0 1 0.0
ELEM 715 243 500 41 0 1 0.0
ELEM 716 144 502 44 0 1 0.0
ELEM 717 44 501 262 0 1 0.0
ELEM 718 522 526 48 0 1 0.0
ELEM 719 246 523 519 0 1 0.0
ELEM 720 147 525 521 0 1 0.0
ELEM 721 520 524 265 0 1 0.0
ELEM 722 85 499 42 0 1 0.0
ELEM 723 42 500 207 0 1 0.0
ELEM 724 43 502 126 0 1 0.0
ELEM 725 225 501 43 0 1 0.0
ELEM 726 516 520 264 0 1 0.0
ELEM 727 245 519 515 0 1 0.0
ELEM 728 146 521 517 0 1 0.0
ELEM 729 518 522 47 0 1 0.0
ELEM 730 126 504 127 0 1 0.0
ELEM 731 226 503 225 0 1 0.0
ELEM 732 207 505 208 0 1 0.0
ELEM 733 86 506 85 0 1 0.0

ELEM 734 499 500 42 0 1 0.0
ELEM 735 501 502 43 0 1 0.0
ELEM 736 225 503 501 0 1 0.0
ELEM 737 500 505 207 0 1 0.0
ELEM 738 502 504 126 0 1 0.0
ELEM 739 85 506 499 0 1 0.0
ELEM 740 337 613 338 0 1 0.0
ELEM 741 198 612 199 0 1 0.0
ELEM 742 361 614 360 0 1 0.0
ELEM 743 114 611 113 0 1 0.0
ELEM 744 208 515 209 0 1 0.0
ELEM 745 87 518 86 0 1 0.0
ELEM 746 127 517 128 0 1 0.0
ELEM 747 227 516 226 0 1 0.0
ELEM 748 244 515 505 0 1 0.0
ELEM 749 503 516 263 0 1 0.0
ELEM 750 145 517 504 0 1 0.0
ELEM 751 506 518 46 0 1 0.0
ELEM 752 226 516 503 0 1 0.0
ELEM 753 504 517 127 0 1 0.0
ELEM 754 505 515 208 0 1 0.0
ELEM 755 86 518 506 0 1 0.0
ELEM 756 209 519 210 0 1 0.0
ELEM 757 128 521 129 0 1 0.0
ELEM 758 228 520 227 0 1 0.0
ELEM 759 88 522 87 0 1 0.0
ELEM 760 338 609 339 0 1 0.0
ELEM 761 362 610 361 0 1 0.0
ELEM 762 115 607 114 0 1 0.0
ELEM 763 199 608 200 0 1 0.0
ELEM 764 243 505 500 0 1 0.0
ELEM 765 501 503 262 0 1 0.0
ELEM 766 144 504 502 0 1 0.0
ELEM 767 499 506 45 0 1 0.0
ELEM 768 227 520 516 0 1 0.0
ELEM 769 517 521 128 0 1 0.0
ELEM 770 515 519 209 0 1 0.0
ELEM 771 87 522 518 0 1 0.0
ELEM 772 89 526 88 0 1 0.0
ELEM 773 129 525 130 0 1 0.0
ELEM 774 210 523 211 0 1 0.0
ELEM 775 229 524 228 0 1 0.0
ELEM 776 116 603 115 0 1 0.0
ELEM 777 363 606 362 0 1 0.0
ELEM 778 339 605 340 0 1 0.0
ELEM 779 200 604 201 0 1 0.0
ELEM 780 41 500 499 0 1 0.0
ELEM 781 44 502 501 0 1 0.0
ELEM 782 130 529 131 0 1 0.0
ELEM 783 211 527 212 0 1 0.0
ELEM 784 230 528 229 0 1 0.0
ELEM 785 90 530 89 0 1 0.0
ELEM 786 521 525 129 0 1 0.0
ELEM 787 88 526 522 0 1 0.0
ELEM 788 228 524 520 0 1 0.0
ELEM 789 519 523 210 0 1 0.0
ELEM 790 623 629 284 0 1 0.0
ELEM 791 176 630 625 0 1 0.0
ELEM 792 176 625 175 0 1 0.0
ELEM 793 177 630 176 0 1 0.0
ELEM 794 66 636 67 0 1 0.0
ELEM 795 175 637 174 0 1 0.0
ELEM 796 178 631 177 0 1 0.0
ELEM 797 628 633 282 0 1 0.0
ELEM 798 315 634 314 0 1 0.0
ELEM 799 281 628 282 0 1 0.0

ELEM 800 625 637 175 0 1 0.0
ELEM 801 283 623 284 0 1 0.0
ELEM 802 282 633 283 0 1 0.0
ELEM 803 177 631 630 0 1 0.0
ELEM 804 322 638 323 0 1 0.0
ELEM 805 323 626 324 0 1 0.0
ELEM 806 325 632 326 0 1 0.0
ELEM 807 284 629 285 0 1 0.0
ELEM 808 323 638 626 0 1 0.0
ELEM 809 624 627 106 0 1 0.0
ELEM 810 104 635 103 0 1 0.0
ELEM 811 107 624 106 0 1 0.0
ELEM 812 106 627 105 0 1 0.0
ELEM 813 283 633 623 0 1 0.0
ELEM 814 117 599 116 0 1 0.0
ELEM 815 340 602 341 0 1 0.0
ELEM 816 364 600 363 0 1 0.0
ELEM 817 201 601 202 0 1 0.0
ELEM 818 91 534 90 0 1 0.0
ELEM 819 131 533 132 0 1 0.0
ELEM 820 212 532 213 0 1 0.0
ELEM 821 231 531 230 0 1 0.0
ELEM 822 525 529 130 0 1 0.0
ELEM 823 89 530 526 0 1 0.0
ELEM 824 229 528 524 0 1 0.0
ELEM 825 523 527 211 0 1 0.0
ELEM 826 118 596 117 0 1 0.0
ELEM 827 202 597 203 0 1 0.0
ELEM 828 341 595 342 0 1 0.0
ELEM 829 365 598 364 0 1 0.0
ELEM 830 92 535 91 0 1 0.0
ELEM 831 213 536 214 0 1 0.0
ELEM 832 132 537 133 0 1 0.0
ELEM 833 232 538 231 0 1 0.0
ELEM 834 529 533 131 0 1 0.0
ELEM 835 230 531 528 0 1 0.0
ELEM 836 527 532 212 0 1 0.0
ELEM 837 90 534 530 0 1 0.0
ELEM 838 203 592 204 0 1 0.0
ELEM 839 342 593 343 0 1 0.0
ELEM 840 366 591 365 0 1 0.0
ELEM 841 119 594 118 0 1 0.0
ELEM 842 93 540 92 0 1 0.0
ELEM 843 233 542 232 0 1 0.0
ELEM 844 214 541 215 0 1 0.0
ELEM 845 133 539 134 0 1 0.0
ELEM 846 231 538 531 0 1 0.0
ELEM 847 533 537 132 0 1 0.0
ELEM 848 532 536 213 0 1 0.0
ELEM 849 91 535 534 0 1 0.0
ELEM 850 338 613 609 0 1 0.0
ELEM 851 610 614 361 0 1 0.0
ELEM 852 607 611 114 0 1 0.0
ELEM 853 199 612 608 0 1 0.0
ELEM 854 367 587 366 0 1 0.0
ELEM 855 343 589 344 0 1 0.0
ELEM 856 204 588 205 0 1 0.0
ELEM 857 120 590 119 0 1 0.0
ELEM 858 134 544 135 0 1 0.0
ELEM 859 215 543 216 0 1 0.0
ELEM 860 94 545 93 0 1 0.0
ELEM 861 234 546 233 0 1 0.0
ELEM 862 92 540 535 0 1 0.0
ELEM 863 232 542 538 0 1 0.0
ELEM 864 537 539 133 0 1 0.0
ELEM 865 536 541 214 0 1 0.0

ELEM 866 368 578 367 0 1 0.0
ELEM 867 344 577 345 0 1 0.0
ELEM 868 205 576 206 0 1 0.0
ELEM 869 121 575 120 0 1 0.0
ELEM 870 216 548 217 0 1 0.0
ELEM 871 235 549 234 0 1 0.0
ELEM 872 135 547 136 0 1 0.0
ELEM 873 95 550 94 0 1 0.0
ELEM 874 603 607 115 0 1 0.0
ELEM 875 606 610 362 0 1 0.0
ELEM 876 339 609 605 0 1 0.0
ELEM 877 200 608 604 0 1 0.0
ELEM 878 539 544 134 0 1 0.0
ELEM 879 233 546 542 0 1 0.0
ELEM 880 541 543 215 0 1 0.0
ELEM 881 93 545 540 0 1 0.0
ELEM 882 38 570 368 0 1 0.0
ELEM 883 345 567 38 0 1 0.0
ELEM 884 21 568 121 0 1 0.0
ELEM 885 206 569 21 0 1 0.0
ELEM 886 236 552 235 0 1 0.0
ELEM 887 217 554 218 0 1 0.0
ELEM 888 136 551 137 0 1 0.0
ELEM 889 96 553 95 0 1 0.0
ELEM 890 94 550 545 0 1 0.0
ELEM 891 544 547 135 0 1 0.0
ELEM 892 543 548 216 0 1 0.0
ELEM 893 234 549 546 0 1 0.0
ELEM 894 97 557 96 0 1 0.0
ELEM 895 218 556 219 0 1 0.0
ELEM 896 137 555 138 0 1 0.0
ELEM 897 237 558 236 0 1 0.0
ELEM 898 201 604 601 0 1 0.0
ELEM 899 340 605 602 0 1 0.0
ELEM 900 600 606 363 0 1 0.0
ELEM 901 599 603 116 0 1 0.0
ELEM 902 235 552 549 0 1 0.0
ELEM 903 548 554 217 0 1 0.0
ELEM 904 95 553 550 0 1 0.0
ELEM 905 547 551 136 0 1 0.0
ELEM 906 98 561 97 0 1 0.0
ELEM 907 238 560 237 0 1 0.0
ELEM 908 138 559 139 0 1 0.0
ELEM 909 219 562 220 0 1 0.0
ELEM 910 220 566 221 0 1 0.0
ELEM 911 239 563 238 0 1 0.0
ELEM 912 99 565 98 0 1 0.0
ELEM 913 139 564 140 0 1 0.0
ELEM 914 551 555 137 0 1 0.0
ELEM 915 96 557 553 0 1 0.0
ELEM 916 236 558 552 0 1 0.0
ELEM 917 554 556 218 0 1 0.0
ELEM 918 79 568 19 0 1 0.0
ELEM 919 19 569 196 0 1 0.0
ELEM 920 37 567 335 0 1 0.0
ELEM 921 355 570 37 0 1 0.0
ELEM 922 596 599 117 0 1 0.0
ELEM 923 598 600 364 0 1 0.0
ELEM 924 202 601 597 0 1 0.0
ELEM 925 341 602 595 0 1 0.0
ELEM 926 100 571 99 0 1 0.0
ELEM 927 240 573 239 0 1 0.0
ELEM 928 140 572 141 0 1 0.0
ELEM 929 221 574 222 0 1 0.0
ELEM 930 97 561 557 0 1 0.0
ELEM 931 555 559 138 0 1 0.0

ELEM 932 237 560 558 0 1 0.0
ELEM 933 556 562 219 0 1 0.0
ELEM 934 241 581 240 0 1 0.0
ELEM 935 141 579 142 0 1 0.0
ELEM 936 101 580 100 0 1 0.0
ELEM 937 222 582 223 0 1 0.0
ELEM 938 78 575 79 0 1 0.0
ELEM 939 196 576 195 0 1 0.0
ELEM 940 335 577 334 0 1 0.0
ELEM 941 354 578 355 0 1 0.0
ELEM 942 238 563 560 0 1 0.0
ELEM 943 562 566 220 0 1 0.0
ELEM 944 559 564 139 0 1 0.0
ELEM 945 98 565 561 0 1 0.0
ELEM 946 223 585 224 0 1 0.0
ELEM 947 242 586 241 0 1 0.0
ELEM 948 102 583 101 0 1 0.0
ELEM 949 142 584 143 0 1 0.0
ELEM 950 203 597 592 0 1 0.0
ELEM 951 342 595 593 0 1 0.0
ELEM 952 591 598 365 0 1 0.0
ELEM 953 594 596 118 0 1 0.0
ELEM 954 195 588 194 0 1 0.0
ELEM 955 77 590 78 0 1 0.0
ELEM 956 334 589 333 0 1 0.0
ELEM 957 353 587 354 0 1 0.0
ELEM 958 564 572 140 0 1 0.0
ELEM 959 99 571 565 0 1 0.0
ELEM 960 566 574 221 0 1 0.0
ELEM 961 239 573 563 0 1 0.0
ELEM 962 37 570 567 0 1 0.0
ELEM 963 568 569 19 0 1 0.0
ELEM 964 569 576 196 0 1 0.0
ELEM 965 79 575 568 0 1 0.0
ELEM 966 567 577 335 0 1 0.0
ELEM 967 355 578 570 0 1 0.0
ELEM 968 572 579 141 0 1 0.0
ELEM 969 100 580 571 0 1 0.0
ELEM 970 240 581 573 0 1 0.0
ELEM 971 574 582 222 0 1 0.0
ELEM 972 76 594 77 0 1 0.0
ELEM 973 352 591 353 0 1 0.0
ELEM 974 333 593 332 0 1 0.0
ELEM 975 194 592 193 0 1 0.0
ELEM 976 343 593 589 0 1 0.0
ELEM 977 587 591 366 0 1 0.0
ELEM 978 590 594 119 0 1 0.0
ELEM 979 204 592 588 0 1 0.0
ELEM 980 582 585 223 0 1 0.0
ELEM 981 241 586 581 0 1 0.0
ELEM 982 101 583 580 0 1 0.0
ELEM 983 579 584 142 0 1 0.0
ELEM 984 75 596 76 0 1 0.0
ELEM 985 351 598 352 0 1 0.0
ELEM 986 332 595 331 0 1 0.0
ELEM 987 193 597 192 0 1 0.0
ELEM 988 576 588 195 0 1 0.0
ELEM 989 577 589 334 0 1 0.0
ELEM 990 354 587 578 0 1 0.0
ELEM 991 78 590 575 0 1 0.0
ELEM 992 74 599 75 0 1 0.0
ELEM 993 350 600 351 0 1 0.0
ELEM 994 192 601 191 0 1 0.0
ELEM 995 331 602 330 0 1 0.0
ELEM 996 77 594 590 0 1 0.0
ELEM 997 589 593 333 0 1 0.0

ELEM 998 353 591 587 0 1 0.0
ELEM 999 588 592 194 0 1 0.0
ELEM 1000 205 588 576 0 1 0.0
ELEM 1001 578 587 367 0 1 0.0
ELEM 1002 344 589 577 0 1 0.0
ELEM 1003 575 590 120 0 1 0.0
ELEM 1004 73 603 74 0 1 0.0
ELEM 1005 191 604 190 0 1 0.0
ELEM 1006 349 606 350 0 1 0.0
ELEM 1007 330 605 329 0 1 0.0
ELEM 1008 299 629 623 0 1 0.0
ELEM 1009 68 627 624 0 1 0.0
ELEM 1010 625 630 165 0 1 0.0
ELEM 1011 68 624 69 0 1 0.0
ELEM 1012 299 623 298 0 1 0.0
ELEM 1013 324 634 325 0 1 0.0
ELEM 1014 65 635 66 0 1 0.0
ELEM 1015 297 628 296 0 1 0.0
ELEM 1016 298 633 297 0 1 0.0
ELEM 1017 166 631 167 0 1 0.0
ELEM 1018 313 638 312 0 1 0.0
ELEM 1019 300 629 299 0 1 0.0
ELEM 1020 314 626 313 0 1 0.0
ELEM 1021 163 637 164 0 1 0.0
ELEM 1022 165 630 166 0 1 0.0
ELEM 1023 297 633 628 0 1 0.0
ELEM 1024 67 627 68 0 1 0.0
ELEM 1025 164 625 165 0 1 0.0
ELEM 1026 630 631 166 0 1 0.0
ELEM 1027 105 636 104 0 1 0.0
ELEM 1028 316 632 315 0 1 0.0
ELEM 1029 626 638 313 0 1 0.0
ELEM 1030 164 637 625 0 1 0.0
ELEM 1031 623 633 298 0 1 0.0
ELEM 1032 592 597 193 0 1 0.0
ELEM 1033 76 596 594 0 1 0.0
ELEM 1034 352 598 591 0 1 0.0
ELEM 1035 593 595 332 0 1 0.0
ELEM 1036 190 608 189 0 1 0.0
ELEM 1037 72 607 73 0 1 0.0
ELEM 1038 329 609 328 0 1 0.0
ELEM 1039 348 610 349 0 1 0.0
ELEM 1040 71 611 72 0 1 0.0
ELEM 1041 189 612 188 0 1 0.0
ELEM 1042 328 613 327 0 1 0.0
ELEM 1043 347 614 348 0 1 0.0
ELEM 1044 206 576 569 0 1 0.0
ELEM 1045 345 577 567 0 1 0.0
ELEM 1046 570 578 368 0 1 0.0
ELEM 1047 568 575 121 0 1 0.0
ELEM 1048 597 601 192 0 1 0.0
ELEM 1049 595 602 331 0 1 0.0
ELEM 1050 75 599 596 0 1 0.0
ELEM 1051 351 600 598 0 1 0.0
ELEM 1052 21 569 568 0 1 0.0
ELEM 1053 567 570 38 0 1 0.0
ELEM 1054 601 604 191 0 1 0.0
ELEM 1055 74 603 599 0 1 0.0
ELEM 1056 350 606 600 0 1 0.0
ELEM 1057 602 605 330 0 1 0.0
ELEM 1058 605 609 329 0 1 0.0
ELEM 1059 604 608 190 0 1 0.0
ELEM 1060 73 607 603 0 1 0.0
ELEM 1061 349 610 606 0 1 0.0
ELEM 1062 477 479 346 0 1 0.0
ELEM 1063 306 482 475 0 1 0.0

ELEM 1064 184 478 476 0 1 0.0
ELEM 1065 480 481 70 0 1 0.0
ELEM 1066 348 614 610 0 1 0.0
ELEM 1067 608 612 189 0 1 0.0
ELEM 1068 609 613 328 0 1 0.0
ELEM 1069 72 611 607 0 1 0.0
ELEM 1070 286 513 487 0 1 0.0
ELEM 1071 489 512 317 0 1 0.0
ELEM 1072 495 628 281 0 1 0.0
ELEM 1073 296 628 495 0 1 0.0
ELEM 1074 498 635 65 0 1 0.0
ELEM 1075 103 635 498 0 1 0.0
ELEM 1076 173 496 472 0 1 0.0
ELEM 1077 511 631 178 0 1 0.0
ELEM 1078 167 631 511 0 1 0.0
ELEM 1079 67 636 627 0 1 0.0
ELEM 1080 627 636 105 0 1 0.0
ELEM 1081 314 634 626 0 1 0.0
ELEM 1082 626 634 324 0 1 0.0
ELEM 1083 357 479 477 0 1 0.0
ELEM 1084 475 482 319 0 1 0.0
ELEM 1085 476 478 186 0 1 0.0
ELEM 1086 110 481 480 0 1 0.0
FRONTIER
F 383 NO NO FISO NO
F 397 NO NO FISO NO
F 398 NO NO FISO NO
F 399 NO NO FISO NO
F 444 NO NO FISO NO
F 445 NO NO FISO NO
F 446 NO NO FISO NO
F 447 NO NO FISO NO
F 448 NO NO FISO NO
F 449 NO NO FISO NO
F 450 NO NO FISO NO
F 451 NO NO FISO NO
F 452 NO NO FISO NO
F 453 NO NO FISO NO
F 454 NO NO FISO NO
F 455 NO NO FISO NO
F 472 NO NO FISO NO
F 473 NO NO FISO NO
F 474 NO NO FISO NO
F 475 NO NO FISO NO
F 499 NO NO FISO NO
F 500 NO NO FISO NO
F 501 NO NO FISO NO
F 502 NO NO FISO NO
F 503 NO NO FISO NO
F 504 NO NO FISO NO
F 505 NO NO FISO NO
F 506 NO NO FISO NO
F 524 NO NO FISO NO
F 525 NO NO FISO NO
F 526 NO NO FISO NO
F 527 NO NO FISO NO
F 533 NO NO FISO NO
F 534 NO NO FISO NO
F 536 NO NO FISO NO
F 537 NO NO FISO NO
F 538 NO NO FISO NO
F 539 NO NO FISO NO
F 548 NO NO FISO NO
F 549 NO NO FISO NO
F 550 NO NO FISO NO
F 551 NO NO FISO NO

F 552 NO NO FISO NO
F 553 NO NO FISO NO
F 554 NO NO FISO NO
F 555 NO NO FISO NO
F 560 NO NO FISO NO
F 561 NO NO FISO NO
F 562 NO NO FISO NO
F 563 NO NO FISO NO
F 585 NO NO FISO NO
F 586 NO NO FISO NO
F 587 NO NO FISO NO
F 588 NO NO FISO NO
F 594 NO NO FISO NO
F 595 NO NO FISO NO
F 596 NO NO FISO NO
F 597 NO NO FISO NO
F 602 NO NO FISO NO
F 603 NO NO FISO NO
F 722 NO NO FISO NO
F 723 NO NO FISO NO
F 724 NO NO FISO NO
F 725 NO NO FISO NO
F 730 NO NO FISO NO
F 731 NO NO FISO NO
F 732 NO NO FISO NO
F 733 NO NO FISO NO
F 740 NO NO FISO NO
F 741 NO NO FISO NO
F 742 NO NO FISO NO
F 743 NO NO FISO NO
F 744 NO NO FISO NO
F 745 NO NO FISO NO
F 746 NO NO FISO NO
F 747 NO NO FISO NO
F 756 NO NO FISO NO
F 757 NO NO FISO NO
F 758 NO NO FISO NO
F 759 NO NO FISO NO
F 760 NO NO FISO NO
F 761 NO NO FISO NO
F 762 NO NO FISO NO
F 763 NO NO FISO NO
F 772 NO NO FISO NO
F 773 NO NO FISO NO
F 774 NO NO FISO NO
F 775 NO NO FISO NO
F 776 NO NO FISO NO
F 777 NO NO FISO NO
F 778 NO NO FISO NO
F 779 NO NO FISO NO
F 782 NO NO FISO NO
F 783 NO NO FISO NO
F 784 NO NO FISO NO
F 785 NO NO FISO NO
F 798 NO NO FISO NO
F 799 NO NO FISO NO
F 801 NO NO FISO NO
F 802 NO NO FISO NO
F 807 NO NO FISO NO
F 810 NO NO FISO NO
F 811 NO NO FISO NO
F 812 NO NO FISO NO
F 814 NO NO FISO NO
F 815 NO NO FISO NO
F 816 NO NO FISO NO
F 817 NO NO FISO NO

F 818 NO NO FISO NO
F 819 NO NO FISO NO
F 820 NO NO FISO NO
F 821 NO NO FISO NO
F 826 NO NO FISO NO
F 827 NO NO FISO NO
F 828 NO NO FISO NO
F 829 NO NO FISO NO
F 830 NO NO FISO NO
F 831 NO NO FISO NO
F 832 NO NO FISO NO
F 833 NO NO FISO NO
F 838 NO NO FISO NO
F 839 NO NO FISO NO
F 840 NO NO FISO NO
F 841 NO NO FISO NO
F 842 NO NO FISO NO
F 843 NO NO FISO NO
F 844 NO NO FISO NO
F 845 NO NO FISO NO
F 854 NO NO FISO NO
F 855 NO NO FISO NO
F 856 NO NO FISO NO
F 857 NO NO FISO NO
F 858 NO NO FISO NO
F 859 NO NO FISO NO
F 860 NO NO FISO NO
F 861 NO NO FISO NO
F 866 NO NO FISO NO
F 867 NO NO FISO NO
F 868 NO NO FISO NO
F 869 NO NO FISO NO
F 870 NO NO FISO NO
F 871 NO NO FISO NO
F 872 NO NO FISO NO
F 873 NO NO FISO NO
F 882 NO NO FISO NO
F 883 NO NO FISO NO
F 884 NO NO FISO NO
F 885 NO NO FISO NO
F 886 NO NO FISO NO
F 887 NO NO FISO NO
F 888 NO NO FISO NO
F 889 NO NO FISO NO
F 894 NO NO FISO NO
F 895 NO NO FISO NO
F 896 NO NO FISO NO
F 897 NO NO FISO NO
F 906 NO NO FISO NO
F 907 NO NO FISO NO
F 908 NO NO FISO NO
F 909 NO NO FISO NO
F 910 NO NO FISO NO
F 911 NO NO FISO NO
F 912 NO NO FISO NO
F 913 NO NO FISO NO
F 926 NO NO FISO NO
F 927 NO NO FISO NO
F 928 NO NO FISO NO
F 929 NO NO FISO NO
F 934 NO NO FISO NO
F 935 NO NO FISO NO
F 936 NO NO FISO NO
F 937 NO NO FISO NO
F 946 NO NO FISO NO
F 947 NO NO FISO NO

```
F 948 NO NO FISO NO
F 949 NO NO FISO NO
F 1017 NO NO FISO NO
F 1018 NO NO FISO NO
F 1020 NO NO FISO NO
F 1021 NO NO FISO NO
F 1022 NO NO FISO NO
F 1025 NO NO FISO NO
F 1027 NO NO FISO NO
F 1028 NO NO FISO NO
END_FRONT
SYMMETRY
END_SYM
PRECISION 0.001
MATERIALS
INSULATION ! isltm
0.15 1200 780 5 100 110 25 4 0.8
STEELEC3EN ! steelflangem
25 4 0.7
STEELEC3EN ! steelwebm
25 4 0.7
TIME
0.1 3600.0 10.0
END_TIME
IMPRESSION
TIMEPRINT
0.1 3600.0
END_TIMEPR
```

2.2 IPE/cp/4C-t

InputFile created with GMSH-SAFIR Interface : Ver. 2024-04-23

```
Safir_Thermal_Analysis
Mesh_from_G4S-Mesher
NNODE 638
NDIM 2
NDOFMAX 1
TORSION
NMAT 3
ELEMENTS
SOLID 1086
NG 2
NVOID 0
END_ELEM
NODES
NODE 1 0.165500 0.004300
NODE 2 0.165500 0.025300
NODE 3 0.186500 0.025300
NODE 4 0.186500 0.090000
NODE 5 0.200000 0.090000
NODE 6 0.155500 0.014300
NODE 7 0.155500 0.035300
NODE 8 0.176500 0.035300
NODE 9 0.176500 0.100000
NODE 10 0.210000 0.100000
NODE 11 0.155500 -0.014300
NODE 12 0.165500 -0.004300
NODE 13 0.176500 -0.035300
NODE 14 0.176500 -0.100000
NODE 15 0.186500 -0.025300
NODE 16 0.186500 -0.090000
NODE 17 0.200000 -0.090000
NODE 18 0.210000 -0.100000
NODE 19 0.200000 0.000000
NODE 20 0.186500 0.000000
NODE 21 0.210000 0.000000
```

```
NODE 22 -0.155500 0.014300
NODE 23 -0.155500 -0.014300
NODE 24 -0.165500 0.004300
NODE 25 -0.165500 -0.004300
NODE 26 -0.176500 0.035300
NODE 27 -0.176500 0.100000
NODE 28 -0.176500 -0.035300
NODE 29 -0.186500 0.025300
NODE 30 -0.186500 0.090000
NODE 31 -0.186500 0.000000
NODE 32 -0.200000 0.090000
NODE 33 -0.186500 -0.025300
NODE 34 -0.176500 -0.100000
NODE 35 -0.210000 0.100000
NODE 36 -0.186500 -0.090000
NODE 37 -0.200000 0.000000
NODE 38 -0.210000 0.000000
NODE 39 -0.200000 -0.090000
NODE 40 -0.210000 -0.100000
NODE 41 0.000000 0.004300
NODE 42 0.000000 0.014300
NODE 43 0.000000 -0.014300
NODE 44 0.000000 -0.004300
NODE 45 0.008275 0.004300
NODE 46 0.016550 0.004300
NODE 47 0.024825 0.004300
NODE 48 0.033100 0.004300
NODE 49 0.041375 0.004300
NODE 50 0.049650 0.004300
NODE 51 0.057925 0.004300
NODE 52 0.066200 0.004300
NODE 53 0.074475 0.004300
NODE 54 0.082750 0.004300
NODE 55 0.091025 0.004300
NODE 56 0.099300 0.004300
NODE 57 0.107575 0.004300
NODE 58 0.115850 0.004300
NODE 59 0.124125 0.004300
NODE 60 0.132400 0.004300
NODE 61 0.140675 0.004300
NODE 62 0.148950 0.004300
NODE 63 0.157225 0.004300
NODE 64 0.186500 0.034543
NODE 65 0.186500 0.043786
NODE 66 0.186500 0.053029
NODE 67 0.186500 0.062271
NODE 68 0.186500 0.071514
NODE 69 0.186500 0.080757
NODE 70 0.193250 0.090000
NODE 71 0.200000 0.081000
NODE 72 0.200000 0.072000
NODE 73 0.200000 0.063000
NODE 74 0.200000 0.054000
NODE 75 0.200000 0.045000
NODE 76 0.200000 0.036000
NODE 77 0.200000 0.027000
NODE 78 0.200000 0.018000
NODE 79 0.200000 0.009000
NODE 80 0.186500 0.008433
NODE 81 0.186500 0.016867
NODE 82 0.173536 0.005899
NODE 83 0.180349 0.010451
NODE 84 0.184901 0.017264
NODE 85 0.008184 0.014300
NODE 86 0.016368 0.014300
NODE 87 0.024553 0.014300
```

NODE 88 0.032737 0.014300
NODE 89 0.040921 0.014300
NODE 90 0.049105 0.014300
NODE 91 0.057289 0.014300
NODE 92 0.065474 0.014300
NODE 93 0.073658 0.014300
NODE 94 0.081842 0.014300
NODE 95 0.090026 0.014300
NODE 96 0.098211 0.014300
NODE 97 0.106395 0.014300
NODE 98 0.114579 0.014300
NODE 99 0.122763 0.014300
NODE 100 0.130947 0.014300
NODE 101 0.139132 0.014300
NODE 102 0.147316 0.014300
NODE 103 0.176500 0.044543
NODE 104 0.176500 0.053786
NODE 105 0.176500 0.063029
NODE 106 0.176500 0.072271
NODE 107 0.176500 0.081514
NODE 108 0.176500 0.090757
NODE 109 0.184875 0.100000
NODE 110 0.193250 0.100000
NODE 111 0.201625 0.100000
NODE 112 0.210000 0.090909
NODE 113 0.210000 0.081818
NODE 114 0.210000 0.072727
NODE 115 0.210000 0.063636
NODE 116 0.210000 0.054545
NODE 117 0.210000 0.045455
NODE 118 0.210000 0.036364
NODE 119 0.210000 0.027273
NODE 120 0.210000 0.018182
NODE 121 0.210000 0.009091
NODE 122 0.161989 0.015328
NODE 123 0.167843 0.018311
NODE 124 0.172489 0.022957
NODE 125 0.175472 0.028811
NODE 126 0.008184 -0.014300
NODE 127 0.016368 -0.014300
NODE 128 0.024553 -0.014300
NODE 129 0.032737 -0.014300
NODE 130 0.040921 -0.014300
NODE 131 0.049105 -0.014300
NODE 132 0.057289 -0.014300
NODE 133 0.065474 -0.014300
NODE 134 0.073658 -0.014300
NODE 135 0.081842 -0.014300
NODE 136 0.090026 -0.014300
NODE 137 0.098211 -0.014300
NODE 138 0.106395 -0.014300
NODE 139 0.114579 -0.014300
NODE 140 0.122763 -0.014300
NODE 141 0.130947 -0.014300
NODE 142 0.139132 -0.014300
NODE 143 0.147316 -0.014300
NODE 144 0.008275 -0.004300
NODE 145 0.016550 -0.004300
NODE 146 0.024825 -0.004300
NODE 147 0.033100 -0.004300
NODE 148 0.041375 -0.004300
NODE 149 0.049650 -0.004300
NODE 150 0.057925 -0.004300
NODE 151 0.066200 -0.004300
NODE 152 0.074475 -0.004300
NODE 153 0.082750 -0.004300

NODE 154 0.091025 -0.004300
NODE 155 0.099300 -0.004300
NODE 156 0.107575 -0.004300
NODE 157 0.115850 -0.004300
NODE 158 0.124125 -0.004300
NODE 159 0.132400 -0.004300
NODE 160 0.140675 -0.004300
NODE 161 0.148950 -0.004300
NODE 162 0.157225 -0.004300
NODE 163 0.176500 -0.044543
NODE 164 0.176500 -0.053786
NODE 165 0.176500 -0.063029
NODE 166 0.176500 -0.072271
NODE 167 0.176500 -0.081514
NODE 168 0.176500 -0.090757
NODE 169 0.161989 -0.015328
NODE 170 0.167843 -0.018311
NODE 171 0.172489 -0.022957
NODE 172 0.175472 -0.028811
NODE 173 0.186500 -0.034543
NODE 174 0.186500 -0.043786
NODE 175 0.186500 -0.053029
NODE 176 0.186500 -0.062271
NODE 177 0.186500 -0.071514
NODE 178 0.186500 -0.080757
NODE 179 0.173536 -0.005899
NODE 180 0.180349 -0.010451
NODE 181 0.184901 -0.017264
NODE 182 0.186500 -0.008433
NODE 183 0.186500 -0.016867
NODE 184 0.193250 -0.090000
NODE 185 0.184875 -0.100000
NODE 186 0.193250 -0.100000
NODE 187 0.201625 -0.100000
NODE 188 0.200000 -0.081000
NODE 189 0.200000 -0.072000
NODE 190 0.200000 -0.063000
NODE 191 0.200000 -0.054000
NODE 192 0.200000 -0.045000
NODE 193 0.200000 -0.036000
NODE 194 0.200000 -0.027000
NODE 195 0.200000 -0.018000
NODE 196 0.200000 -0.009000
NODE 197 0.210000 -0.090909
NODE 198 0.210000 -0.081818
NODE 199 0.210000 -0.072727
NODE 200 0.210000 -0.063636
NODE 201 0.210000 -0.054545
NODE 202 0.210000 -0.045455
NODE 203 0.210000 -0.036364
NODE 204 0.210000 -0.027273
NODE 205 0.210000 -0.018182
NODE 206 0.210000 -0.009091
NODE 207 -0.008184 0.014300
NODE 208 -0.016368 0.014300
NODE 209 -0.024553 0.014300
NODE 210 -0.032737 0.014300
NODE 211 -0.040921 0.014300
NODE 212 -0.049105 0.014300
NODE 213 -0.057289 0.014300
NODE 214 -0.065474 0.014300
NODE 215 -0.073658 0.014300
NODE 216 -0.081842 0.014300
NODE 217 -0.090026 0.014300
NODE 218 -0.098211 0.014300
NODE 219 -0.106395 0.014300

NODE 220 -0.114579 0.014300
NODE 221 -0.122763 0.014300
NODE 222 -0.130947 0.014300
NODE 223 -0.139132 0.014300
NODE 224 -0.147316 0.014300
NODE 225 -0.008184 -0.014300
NODE 226 -0.016368 -0.014300
NODE 227 -0.024553 -0.014300
NODE 228 -0.032737 -0.014300
NODE 229 -0.040921 -0.014300
NODE 230 -0.049105 -0.014300
NODE 231 -0.057289 -0.014300
NODE 232 -0.065474 -0.014300
NODE 233 -0.073658 -0.014300
NODE 234 -0.081842 -0.014300
NODE 235 -0.090026 -0.014300
NODE 236 -0.098211 -0.014300
NODE 237 -0.106395 -0.014300
NODE 238 -0.114579 -0.014300
NODE 239 -0.122763 -0.014300
NODE 240 -0.130947 -0.014300
NODE 241 -0.139132 -0.014300
NODE 242 -0.147316 -0.014300
NODE 243 -0.008275 0.004300
NODE 244 -0.016550 0.004300
NODE 245 -0.024825 0.004300
NODE 246 -0.033100 0.004300
NODE 247 -0.041375 0.004300
NODE 248 -0.049650 0.004300
NODE 249 -0.057925 0.004300
NODE 250 -0.066200 0.004300
NODE 251 -0.074475 0.004300
NODE 252 -0.082750 0.004300
NODE 253 -0.091025 0.004300
NODE 254 -0.099300 0.004300
NODE 255 -0.107575 0.004300
NODE 256 -0.115850 0.004300
NODE 257 -0.124125 0.004300
NODE 258 -0.132400 0.004300
NODE 259 -0.140675 0.004300
NODE 260 -0.148950 0.004300
NODE 261 -0.157225 0.004300
NODE 262 -0.008275 -0.004300
NODE 263 -0.016550 -0.004300
NODE 264 -0.024825 -0.004300
NODE 265 -0.033100 -0.004300
NODE 266 -0.041375 -0.004300
NODE 267 -0.049650 -0.004300
NODE 268 -0.057925 -0.004300
NODE 269 -0.066200 -0.004300
NODE 270 -0.074475 -0.004300
NODE 271 -0.082750 -0.004300
NODE 272 -0.091025 -0.004300
NODE 273 -0.099300 -0.004300
NODE 274 -0.107575 -0.004300
NODE 275 -0.115850 -0.004300
NODE 276 -0.124125 -0.004300
NODE 277 -0.132400 -0.004300
NODE 278 -0.140675 -0.004300
NODE 279 -0.148950 -0.004300
NODE 280 -0.157225 -0.004300
NODE 281 -0.176500 0.044543
NODE 282 -0.176500 0.053786
NODE 283 -0.176500 0.063029
NODE 284 -0.176500 0.072271
NODE 285 -0.176500 0.081514

NODE 286 -0.176500 0.090757
NODE 287 -0.161989 0.015328
NODE 288 -0.167843 0.018311
NODE 289 -0.172489 0.022957
NODE 290 -0.175472 0.028811
NODE 291 -0.161989 -0.015328
NODE 292 -0.167843 -0.018311
NODE 293 -0.172489 -0.022957
NODE 294 -0.175472 -0.028811
NODE 295 -0.186500 0.034543
NODE 296 -0.186500 0.043786
NODE 297 -0.186500 0.053029
NODE 298 -0.186500 0.062271
NODE 299 -0.186500 0.071514
NODE 300 -0.186500 0.080757
NODE 301 -0.173536 0.005899
NODE 302 -0.180349 0.010451
NODE 303 -0.184901 0.017264
NODE 304 -0.186500 0.008433
NODE 305 -0.186500 0.016867
NODE 306 -0.193250 0.090000
NODE 307 -0.186500 -0.008433
NODE 308 -0.186500 -0.016867
NODE 309 -0.173536 -0.005899
NODE 310 -0.180349 -0.010451
NODE 311 -0.184901 -0.017264
NODE 312 -0.176500 -0.044543
NODE 313 -0.176500 -0.053786
NODE 314 -0.176500 -0.063029
NODE 315 -0.176500 -0.072271
NODE 316 -0.176500 -0.081514
NODE 317 -0.176500 -0.090757
NODE 318 -0.184875 0.100000
NODE 319 -0.193250 0.100000
NODE 320 -0.201625 0.100000
NODE 321 -0.186500 -0.034543
NODE 322 -0.186500 -0.043786
NODE 323 -0.186500 -0.053029
NODE 324 -0.186500 -0.062271
NODE 325 -0.186500 -0.071514
NODE 326 -0.186500 -0.080757
NODE 327 -0.200000 0.081000
NODE 328 -0.200000 0.072000
NODE 329 -0.200000 0.063000
NODE 330 -0.200000 0.054000
NODE 331 -0.200000 0.045000
NODE 332 -0.200000 0.036000
NODE 333 -0.200000 0.027000
NODE 334 -0.200000 0.018000
NODE 335 -0.200000 0.009000
NODE 336 -0.210000 0.090909
NODE 337 -0.210000 0.081818
NODE 338 -0.210000 0.072727
NODE 339 -0.210000 0.063636
NODE 340 -0.210000 0.054545
NODE 341 -0.210000 0.045455
NODE 342 -0.210000 0.036364
NODE 343 -0.210000 0.027273
NODE 344 -0.210000 0.018182
NODE 345 -0.210000 0.009091
NODE 346 -0.193250 -0.090000
NODE 347 -0.200000 -0.081000
NODE 348 -0.200000 -0.072000
NODE 349 -0.200000 -0.063000
NODE 350 -0.200000 -0.054000
NODE 351 -0.200000 -0.045000

NODE 352 -0.200000 -0.036000
NODE 353 -0.200000 -0.027000
NODE 354 -0.200000 -0.018000
NODE 355 -0.200000 -0.009000
NODE 356 -0.184875 -0.100000
NODE 357 -0.193250 -0.100000
NODE 358 -0.201625 -0.100000
NODE 359 -0.210000 -0.090909
NODE 360 -0.210000 -0.081818
NODE 361 -0.210000 -0.072727
NODE 362 -0.210000 -0.063636
NODE 363 -0.210000 -0.054545
NODE 364 -0.210000 -0.045455
NODE 365 -0.210000 -0.036364
NODE 366 -0.210000 -0.027273
NODE 367 -0.210000 -0.018182
NODE 368 -0.210000 -0.009091
NODE 369 0.193222 0.004311
NODE 370 0.193218 -0.004295
NODE 371 0.193194 0.012949
NODE 372 0.193194 -0.012946
NODE 373 0.193161 -0.021672
NODE 374 0.193162 0.021673
NODE 375 0.193332 0.076319
NODE 376 0.193332 -0.076319
NODE 377 0.193301 -0.067267
NODE 378 0.193301 0.067267
NODE 379 0.193294 -0.030836
NODE 380 0.193294 0.030836
NODE 381 0.193307 -0.058178
NODE 382 0.193307 0.058178
NODE 383 0.193318 0.049082
NODE 384 0.193318 -0.049082
NODE 385 0.193269 0.039874
NODE 386 0.193269 -0.039874
NODE 387 0.193628 -0.083252
NODE 388 0.193628 0.083252
NODE 389 -0.193222 0.004311
NODE 390 -0.193218 -0.004295
NODE 391 -0.193194 0.012949
NODE 392 -0.193194 -0.012946
NODE 393 -0.193162 0.021673
NODE 394 -0.193161 -0.021672
NODE 395 -0.193332 -0.076319
NODE 396 -0.193332 0.076319
NODE 397 -0.193301 -0.067267
NODE 398 -0.193301 0.067267
NODE 399 -0.193294 -0.030836
NODE 400 -0.193294 0.030836
NODE 401 -0.193307 -0.058178
NODE 402 -0.193307 0.058178
NODE 403 -0.193318 0.049082
NODE 404 -0.193318 -0.049082
NODE 405 -0.193269 0.039874
NODE 406 -0.193269 -0.039874
NODE 407 -0.193628 -0.083252
NODE 408 -0.193628 0.083252
NODE 409 -0.179573 0.003536
NODE 410 0.179573 -0.003536
NODE 411 -0.179648 -0.003549
NODE 412 0.179648 0.003549
NODE 413 -0.171731 -0.000001
NODE 414 0.171731 0.000001
NODE 415 -0.161362 -0.000000
NODE 416 0.161363 -0.000000
NODE 417 -0.144812 -0.000000

NODE 418 0.144813 -0.000000
NODE 419 -0.111713 -0.000000
NODE 420 0.086888 -0.000000
NODE 421 0.103438 -0.000000
NODE 422 0.095163 -0.000000
NODE 423 0.111713 -0.000000
NODE 424 0.119988 -0.000000
NODE 425 0.136538 -0.000000
NODE 426 0.153088 -0.000000
NODE 427 -0.086888 0.000000
NODE 428 -0.095163 -0.000000
NODE 429 -0.103438 -0.000000
NODE 430 -0.119988 -0.000000
NODE 431 -0.136538 -0.000000
NODE 432 -0.153088 -0.000000
NODE 433 -0.053788 0.000000
NODE 434 -0.037238 -0.000000
NODE 435 -0.045513 -0.000000
NODE 436 -0.128263 -0.000000
NODE 437 0.053788 -0.000000
NODE 438 0.062063 0.000000
NODE 439 0.078613 -0.000000
NODE 440 0.128263 -0.000000
NODE 441 -0.012413 0.000000
NODE 442 -0.062063 -0.000000
NODE 443 -0.078613 -0.000000
NODE 444 0.045513 0.000000
NODE 445 0.037238 0.000000
NODE 446 -0.070338 -0.000000
NODE 447 0.012413 -0.000000
NODE 448 0.070338 -0.000000
NODE 449 -0.028963 -0.000000
NODE 450 0.028963 0.000000
NODE 451 -0.020688 -0.000000
NODE 452 0.004138 -0.000000
NODE 453 -0.004138 -0.000000
NODE 454 0.020688 -0.000000
NODE 455 0.174190 0.016610
NODE 456 0.174236 -0.016564
NODE 457 -0.174190 0.016610
NODE 458 -0.174190 -0.016610
NODE 459 -0.167500 -0.011749
NODE 460 0.179051 -0.023300
NODE 461 -0.179051 0.023300
NODE 462 0.167500 -0.011749
NODE 463 -0.167500 0.011749
NODE 464 -0.179051 -0.023300
NODE 465 0.179051 0.023300
NODE 466 0.167500 0.011749
NODE 467 0.159854 -0.009969
NODE 468 -0.159854 -0.009969
NODE 469 -0.159854 0.009969
NODE 470 0.159854 0.009969
NODE 471 -0.180867 -0.031196
NODE 472 0.180974 -0.031070
NODE 473 -0.180867 0.031196
NODE 474 0.180867 0.031196
NODE 475 -0.189524 0.094925
NODE 476 0.189524 -0.094925
NODE 477 -0.189524 -0.094925
NODE 478 0.196928 -0.094917
NODE 479 -0.196928 -0.094917
NODE 480 0.189524 0.094925
NODE 481 0.196928 0.094917
NODE 482 -0.196928 0.094917
NODE 483 -0.204643 0.094377

NODE 484 -0.204643 -0.094377
NODE 485 0.204643 0.094377
NODE 486 0.204643 -0.094377
NODE 487 -0.182513 0.093636
NODE 488 0.182100 -0.094056
NODE 489 -0.182513 -0.093636
NODE 490 0.182100 0.094056
NODE 491 0.151408 -0.009835
NODE 492 -0.151408 -0.009835
NODE 493 -0.151408 0.009835
NODE 494 0.151408 0.009835
NODE 495 -0.181448 0.039629
NODE 496 0.181359 -0.039734
NODE 497 -0.181295 -0.039803
NODE 498 0.181448 0.039629
NODE 499 0.004107 0.009306
NODE 500 -0.004105 0.009307
NODE 501 -0.004107 -0.009306
NODE 502 0.004105 -0.009307
NODE 503 -0.012324 -0.009313
NODE 504 0.012324 -0.009313
NODE 505 -0.012324 0.009313
NODE 506 0.012324 0.009313
NODE 507 0.204724 0.085570
NODE 508 0.204724 -0.085570
NODE 509 -0.204724 0.085570
NODE 510 -0.204724 -0.085570
NODE 511 0.181546 -0.085663
NODE 512 -0.181179 -0.086136
NODE 513 -0.181456 0.085794
NODE 514 0.181701 0.085492
NODE 515 -0.020544 0.009320
NODE 516 -0.020544 -0.009320
NODE 517 0.020544 -0.009320
NODE 518 0.020544 0.009320
NODE 519 -0.028765 0.009327
NODE 520 -0.028765 -0.009327
NODE 521 0.028765 -0.009327
NODE 522 0.028765 0.009327
NODE 523 -0.036985 0.009334
NODE 524 -0.036985 -0.009334
NODE 525 0.036985 -0.009334
NODE 526 0.036985 0.009334
NODE 527 -0.045206 0.009340
NODE 528 -0.045206 -0.009340
NODE 529 0.045206 -0.009340
NODE 530 0.045206 0.009340
NODE 531 -0.053426 -0.009347
NODE 532 -0.053426 0.009347
NODE 533 0.053426 -0.009347
NODE 534 0.053426 0.009347
NODE 535 0.061647 0.009353
NODE 536 -0.061647 0.009353
NODE 537 0.061647 -0.009353
NODE 538 -0.061647 -0.009353
NODE 539 0.069867 -0.009359
NODE 540 0.069867 0.009359
NODE 541 -0.069867 0.009359
NODE 542 -0.069867 -0.009359
NODE 543 -0.078088 0.009365
NODE 544 0.078088 -0.009365
NODE 545 0.078088 0.009365
NODE 546 -0.078088 -0.009365
NODE 547 0.086308 -0.009371
NODE 548 -0.086308 0.009371
NODE 549 -0.086308 -0.009371

NODE 550 0.086308 0.009371
NODE 551 0.094529 -0.009376
NODE 552 -0.094529 -0.009376
NODE 553 0.094529 0.009376
NODE 554 -0.094529 0.009376
NODE 555 0.102749 -0.009382
NODE 556 -0.102749 0.009382
NODE 557 0.102749 0.009382
NODE 558 -0.102749 -0.009382
NODE 559 0.110970 -0.009387
NODE 560 -0.110970 -0.009387
NODE 561 0.110970 0.009387
NODE 562 -0.110970 0.009387
NODE 563 -0.119190 -0.009392
NODE 564 0.119190 -0.009392
NODE 565 0.119190 0.009392
NODE 566 -0.119190 0.009392
NODE 567 -0.204993 0.004515
NODE 568 0.204993 0.004515
NODE 569 0.204992 -0.004513
NODE 570 -0.204992 -0.004513
NODE 571 0.127411 0.009397
NODE 572 0.127411 -0.009397
NODE 573 -0.127411 -0.009397
NODE 574 -0.127411 0.009397
NODE 575 0.204986 0.013548
NODE 576 0.204985 -0.013548
NODE 577 -0.204986 0.013548
NODE 578 -0.204985 -0.013548
NODE 579 0.135631 -0.009402
NODE 580 0.135631 0.009402
NODE 581 -0.135631 -0.009402
NODE 582 -0.135631 0.009402
NODE 583 0.143852 0.009406
NODE 584 0.143852 -0.009406
NODE 585 -0.143852 0.009406
NODE 586 -0.143852 -0.009406
NODE 587 -0.204978 -0.022584
NODE 588 0.204978 -0.022584
NODE 589 -0.204978 0.022584
NODE 590 0.204978 0.022584
NODE 591 -0.204970 -0.031620
NODE 592 0.204970 -0.031620
NODE 593 -0.204970 0.031620
NODE 594 0.204970 0.031620
NODE 595 -0.204963 0.040656
NODE 596 0.204963 0.040656
NODE 597 0.204963 -0.040656
NODE 598 -0.204963 -0.040656
NODE 599 0.204955 0.049693
NODE 600 -0.204955 -0.049693
NODE 601 0.204955 -0.049693
NODE 602 -0.204955 0.049693
NODE 603 0.204948 0.058729
NODE 604 0.204948 -0.058729
NODE 605 -0.204948 0.058729
NODE 606 -0.204948 -0.058729
NODE 607 0.204941 0.067765
NODE 608 0.204941 -0.067765
NODE 609 -0.204941 0.067765
NODE 610 -0.204941 -0.067765
NODE 611 0.204944 0.076813
NODE 612 0.204944 -0.076813
NODE 613 -0.204944 0.076813
NODE 614 -0.204944 -0.076813
NODE 615 -0.173894 0.011177

NODE 616 -0.173894 -0.011177
NODE 617 0.179634 -0.016895
NODE 618 0.173905 -0.011166
NODE 619 -0.179623 -0.016906
NODE 620 -0.179623 0.016906
NODE 621 0.179623 0.016906
NODE 622 0.173894 0.011177
NODE 623 -0.181821 0.066893
NODE 624 0.181760 0.076206
NODE 625 0.181179 -0.058407
NODE 626 -0.181500 -0.058029
NODE 627 0.181490 0.067283
NODE 628 -0.181545 0.048737
NODE 629 -0.181625 0.076365
NODE 630 0.181179 -0.067650
NODE 631 0.181454 -0.076562
NODE 632 -0.181500 -0.076514
NODE 633 -0.181561 0.057957
NODE 634 -0.181500 -0.067271
NODE 635 0.181438 0.048863
NODE 636 0.181488 0.058043
NODE 637 0.181268 -0.049061
NODE 638 -0.181466 -0.048829
NODELINE 0.0 0.0
YC_ZC 0.0 0.0
FIXATIONS
BLOCK 21 FO
BLOCK 42 FO
END_FIX
NODOSOLID
ELEM 1 70 388 4 0 2 0.0
ELEM 2 16 387 184 0 2 0.0
ELEM 3 178 387 16 0 2 0.0
ELEM 4 4 388 69 0 2 0.0
ELEM 5 5 388 70 0 2 0.0
ELEM 6 184 387 17 0 2 0.0
ELEM 7 71 388 5 0 2 0.0
ELEM 8 17 387 188 0 2 0.0
ELEM 9 193 386 379 0 2 0.0
ELEM 10 380 385 76 0 2 0.0
ELEM 11 379 386 173 0 2 0.0
ELEM 12 64 385 380 0 2 0.0
ELEM 13 77 380 76 0 2 0.0
ELEM 14 193 379 194 0 2 0.0
ELEM 15 78 374 77 0 2 0.0
ELEM 16 194 373 195 0 2 0.0
ELEM 17 374 380 77 0 2 0.0
ELEM 18 194 379 373 0 2 0.0
ELEM 19 79 371 78 0 2 0.0
ELEM 20 195 372 196 0 2 0.0
ELEM 21 65 385 64 0 2 0.0
ELEM 22 173 386 174 0 2 0.0
ELEM 23 66 383 65 0 2 0.0
ELEM 24 174 384 175 0 2 0.0
ELEM 25 80 369 20 0 2 0.0
ELEM 26 20 370 182 0 2 0.0
ELEM 27 19 369 79 0 2 0.0
ELEM 28 196 370 19 0 2 0.0
ELEM 29 67 382 66 0 2 0.0
ELEM 30 175 381 176 0 2 0.0
ELEM 31 383 385 65 0 2 0.0
ELEM 32 174 386 384 0 2 0.0
ELEM 33 371 374 78 0 2 0.0
ELEM 34 195 373 372 0 2 0.0
ELEM 35 81 371 80 0 2 0.0
ELEM 36 182 372 183 0 2 0.0

ELEM 37 176 377 177 0 2 0.0
ELEM 38 68 378 67 0 2 0.0
ELEM 39 369 370 20 0 2 0.0
ELEM 40 15 379 173 0 2 0.0
ELEM 41 64 380 3 0 2 0.0
ELEM 42 382 383 66 0 2 0.0
ELEM 43 175 384 381 0 2 0.0
ELEM 44 370 372 182 0 2 0.0
ELEM 45 80 371 369 0 2 0.0
ELEM 46 177 376 178 0 2 0.0
ELEM 47 69 375 68 0 2 0.0
ELEM 48 373 379 15 0 2 0.0
ELEM 49 3 380 374 0 2 0.0
ELEM 50 3 374 81 0 2 0.0
ELEM 51 183 373 15 0 2 0.0
ELEM 52 176 381 377 0 2 0.0
ELEM 53 378 382 67 0 2 0.0
ELEM 54 188 376 189 0 2 0.0
ELEM 55 72 375 71 0 2 0.0
ELEM 56 196 372 370 0 2 0.0
ELEM 57 369 371 79 0 2 0.0
ELEM 58 81 374 371 0 2 0.0
ELEM 59 372 373 183 0 2 0.0
ELEM 60 177 377 376 0 2 0.0
ELEM 61 375 378 68 0 2 0.0
ELEM 62 189 377 190 0 2 0.0
ELEM 63 73 378 72 0 2 0.0
ELEM 64 72 378 375 0 2 0.0
ELEM 65 376 377 189 0 2 0.0
ELEM 66 74 382 73 0 2 0.0
ELEM 67 190 381 191 0 2 0.0
ELEM 68 19 370 369 0 2 0.0
ELEM 69 377 381 190 0 2 0.0
ELEM 70 73 382 378 0 2 0.0
ELEM 71 191 384 192 0 2 0.0
ELEM 72 75 383 74 0 2 0.0
ELEM 73 381 384 191 0 2 0.0
ELEM 74 74 383 382 0 2 0.0
ELEM 75 76 385 75 0 2 0.0
ELEM 76 192 386 193 0 2 0.0
ELEM 77 384 386 192 0 2 0.0
ELEM 78 75 385 383 0 2 0.0
ELEM 79 376 387 178 0 2 0.0
ELEM 80 69 388 375 0 2 0.0
ELEM 81 375 388 71 0 2 0.0
ELEM 82 188 387 376 0 2 0.0
ELEM 83 30 408 306 0 2 0.0
ELEM 84 346 407 36 0 2 0.0
ELEM 85 36 407 326 0 2 0.0
ELEM 86 300 408 30 0 2 0.0
ELEM 87 306 408 32 0 2 0.0
ELEM 88 39 407 346 0 2 0.0
ELEM 89 32 408 327 0 2 0.0
ELEM 90 347 407 39 0 2 0.0
ELEM 91 332 405 400 0 2 0.0
ELEM 92 399 406 352 0 2 0.0
ELEM 93 400 405 295 0 2 0.0
ELEM 94 321 406 399 0 2 0.0
ELEM 95 353 399 352 0 2 0.0
ELEM 96 332 400 333 0 2 0.0
ELEM 97 333 393 334 0 2 0.0
ELEM 98 354 394 353 0 2 0.0
ELEM 99 394 399 353 0 2 0.0
ELEM 100 333 400 393 0 2 0.0
ELEM 101 334 391 335 0 2 0.0
ELEM 102 355 392 354 0 2 0.0

ELEM 103 295 405 296 0 2 0.0
ELEM 104 322 406 321 0 2 0.0
ELEM 105 323 404 322 0 2 0.0
ELEM 106 296 403 297 0 2 0.0
ELEM 107 31 389 304 0 2 0.0
ELEM 108 307 390 31 0 2 0.0
ELEM 109 335 389 37 0 2 0.0
ELEM 110 37 390 355 0 2 0.0
ELEM 111 324 401 323 0 2 0.0
ELEM 112 297 402 298 0 2 0.0
ELEM 113 296 405 403 0 2 0.0
ELEM 114 404 406 322 0 2 0.0
ELEM 115 392 394 354 0 2 0.0
ELEM 116 334 393 391 0 2 0.0
ELEM 117 304 391 305 0 2 0.0
ELEM 118 308 392 307 0 2 0.0
ELEM 119 325 397 324 0 2 0.0
ELEM 120 298 398 299 0 2 0.0
ELEM 121 31 390 389 0 2 0.0
ELEM 122 29 400 295 0 2 0.0
ELEM 123 321 399 33 0 2 0.0
ELEM 124 401 404 323 0 2 0.0
ELEM 125 297 403 402 0 2 0.0
ELEM 126 389 391 304 0 2 0.0
ELEM 127 307 392 390 0 2 0.0
ELEM 128 299 396 300 0 2 0.0
ELEM 129 326 395 325 0 2 0.0
ELEM 130 393 400 29 0 2 0.0
ELEM 131 33 399 394 0 2 0.0
ELEM 132 305 393 29 0 2 0.0
ELEM 133 33 394 308 0 2 0.0
ELEM 134 298 402 398 0 2 0.0
ELEM 135 397 401 324 0 2 0.0
ELEM 136 327 396 328 0 2 0.0
ELEM 137 348 395 347 0 2 0.0
ELEM 138 335 391 389 0 2 0.0
ELEM 139 390 392 355 0 2 0.0
ELEM 140 308 394 392 0 2 0.0
ELEM 141 391 393 305 0 2 0.0
ELEM 142 395 397 325 0 2 0.0
ELEM 143 299 398 396 0 2 0.0
ELEM 144 349 397 348 0 2 0.0
ELEM 145 328 398 329 0 2 0.0
ELEM 146 348 397 395 0 2 0.0
ELEM 147 396 398 328 0 2 0.0
ELEM 148 329 402 330 0 2 0.0
ELEM 149 350 401 349 0 2 0.0
ELEM 150 389 390 37 0 2 0.0
ELEM 151 398 402 329 0 2 0.0
ELEM 152 349 401 397 0 2 0.0
ELEM 153 330 403 331 0 2 0.0
ELEM 154 351 404 350 0 2 0.0
ELEM 155 402 403 330 0 2 0.0
ELEM 156 350 404 401 0 2 0.0
ELEM 157 331 405 332 0 2 0.0
ELEM 158 352 406 351 0 2 0.0
ELEM 159 403 405 331 0 2 0.0
ELEM 160 351 406 404 0 2 0.0
ELEM 161 396 408 300 0 2 0.0
ELEM 162 326 407 395 0 2 0.0
ELEM 163 395 407 347 0 2 0.0
ELEM 164 327 408 396 0 2 0.0
ELEM 165 410 414 412 0 3 0.0
ELEM 166 409 413 411 0 3 0.0
ELEM 167 412 414 82 0 3 0.0
ELEM 168 411 413 309 0 3 0.0

ELEM 169 301 413 409 0 3 0.0
ELEM 170 179 414 410 0 3 0.0
ELEM 171 31 411 307 0 3 0.0
ELEM 172 20 412 80 0 3 0.0
ELEM 173 307 411 310 0 3 0.0
ELEM 174 80 412 83 0 3 0.0
ELEM 175 302 409 304 0 3 0.0
ELEM 176 180 410 182 0 3 0.0
ELEM 177 304 409 31 0 3 0.0
ELEM 178 182 410 20 0 3 0.0
ELEM 179 310 411 309 0 3 0.0
ELEM 180 83 412 82 0 3 0.0
ELEM 181 301 409 302 0 3 0.0
ELEM 182 179 410 180 0 3 0.0
ELEM 183 25 413 24 0 3 0.0
ELEM 184 1 414 12 0 3 0.0
ELEM 185 24 415 25 0 3 0.0
ELEM 186 12 416 1 0 3 0.0
ELEM 187 409 411 31 0 3 0.0
ELEM 188 410 412 20 0 3 0.0
ELEM 189 309 413 25 0 3 0.0
ELEM 190 24 413 301 0 3 0.0
ELEM 191 82 414 1 0 3 0.0
ELEM 192 12 414 179 0 3 0.0
ELEM 193 261 415 24 0 3 0.0
ELEM 194 25 415 280 0 3 0.0
ELEM 195 162 416 12 0 3 0.0
ELEM 196 1 416 63 0 3 0.0
ELEM 197 261 432 415 0 3 0.0
ELEM 198 415 432 280 0 3 0.0
ELEM 199 416 426 63 0 3 0.0
ELEM 200 162 426 416 0 3 0.0
ELEM 201 417 432 260 0 3 0.0
ELEM 202 273 429 428 0 3 0.0
ELEM 203 279 432 417 0 3 0.0
ELEM 204 428 429 254 0 3 0.0
ELEM 205 62 426 418 0 3 0.0
ELEM 206 59 440 424 0 3 0.0
ELEM 207 418 426 161 0 3 0.0
ELEM 208 431 436 277 0 3 0.0
ELEM 209 258 436 431 0 3 0.0
ELEM 210 424 440 158 0 3 0.0
ELEM 211 57 423 421 0 3 0.0
ELEM 212 420 422 154 0 3 0.0
ELEM 213 421 423 156 0 3 0.0
ELEM 214 55 422 420 0 3 0.0
ELEM 215 425 440 60 0 3 0.0
ELEM 216 62 418 61 0 3 0.0
ELEM 217 160 418 161 0 3 0.0
ELEM 218 259 417 260 0 3 0.0
ELEM 219 279 417 278 0 3 0.0
ELEM 220 157 424 158 0 3 0.0
ELEM 221 256 430 257 0 3 0.0
ELEM 222 268 442 433 0 3 0.0
ELEM 223 251 446 443 0 3 0.0
ELEM 224 443 446 270 0 3 0.0
ELEM 225 159 440 425 0 3 0.0
ELEM 226 434 435 247 0 3 0.0
ELEM 227 252 443 427 0 3 0.0
ELEM 228 266 435 434 0 3 0.0
ELEM 229 158 440 159 0 3 0.0
ELEM 230 433 442 249 0 3 0.0
ELEM 231 257 436 258 0 3 0.0
ELEM 232 144 447 145 0 3 0.0
ELEM 233 243 441 244 0 3 0.0
ELEM 234 263 441 262 0 3 0.0

ELEM 235 445 450 48 0 3 0.0
ELEM 236 152 448 439 0 3 0.0
ELEM 237 255 419 256 0 3 0.0
ELEM 238 273 428 272 0 3 0.0
ELEM 239 275 430 419 0 3 0.0
ELEM 240 52 448 438 0 3 0.0
ELEM 241 56 422 55 0 3 0.0
ELEM 242 57 421 56 0 3 0.0
ELEM 243 59 424 58 0 3 0.0
ELEM 244 149 444 437 0 3 0.0
ELEM 245 153 420 154 0 3 0.0
ELEM 246 154 422 155 0 3 0.0
ELEM 247 156 423 157 0 3 0.0
ELEM 248 252 427 253 0 3 0.0
ELEM 249 253 428 254 0 3 0.0
ELEM 250 449 451 264 0 3 0.0
ELEM 251 274 429 273 0 3 0.0
ELEM 252 276 430 275 0 3 0.0
ELEM 253 50 444 49 0 3 0.0
ELEM 254 149 437 150 0 3 0.0
ELEM 255 441 451 244 0 3 0.0
ELEM 256 248 433 249 0 3 0.0
ELEM 257 268 433 267 0 3 0.0
ELEM 258 427 443 271 0 3 0.0
ELEM 259 447 452 45 0 3 0.0
ELEM 260 52 438 51 0 3 0.0
ELEM 261 144 452 447 0 3 0.0
ELEM 262 447 454 145 0 3 0.0
ELEM 263 147 450 445 0 3 0.0
ELEM 264 243 453 441 0 3 0.0
ELEM 265 245 451 449 0 3 0.0
ELEM 266 441 453 262 0 3 0.0
ELEM 267 269 442 268 0 3 0.0
ELEM 268 47 454 46 0 3 0.0
ELEM 269 54 439 53 0 3 0.0
ELEM 270 146 454 450 0 3 0.0
ELEM 271 147 445 148 0 3 0.0
ELEM 272 438 448 151 0 3 0.0
ELEM 273 152 439 153 0 3 0.0
ELEM 274 246 434 247 0 3 0.0
ELEM 275 251 443 252 0 3 0.0
ELEM 276 263 451 441 0 3 0.0
ELEM 277 266 434 265 0 3 0.0
ELEM 278 271 443 270 0 3 0.0
ELEM 279 45 452 41 0 3 0.0
ELEM 280 46 454 447 0 3 0.0
ELEM 281 49 445 48 0 3 0.0
ELEM 282 276 436 430 0 3 0.0
ELEM 283 450 454 47 0 3 0.0
ELEM 284 439 448 53 0 3 0.0
ELEM 285 151 448 152 0 3 0.0
ELEM 286 250 446 251 0 3 0.0
ELEM 287 270 446 269 0 3 0.0
ELEM 288 44 453 452 0 3 0.0
ELEM 289 51 437 50 0 3 0.0
ELEM 290 61 425 60 0 3 0.0
ELEM 291 63 426 62 0 3 0.0
ELEM 292 159 425 160 0 3 0.0
ELEM 293 161 426 162 0 3 0.0
ELEM 294 246 449 434 0 3 0.0
ELEM 295 258 431 259 0 3 0.0
ELEM 296 260 432 261 0 3 0.0
ELEM 297 278 431 277 0 3 0.0
ELEM 298 280 432 279 0 3 0.0
ELEM 299 46 447 45 0 3 0.0
ELEM 300 437 444 50 0 3 0.0

ELEM 301 53 448 52 0 3 0.0
ELEM 302 146 450 147 0 3 0.0
ELEM 303 148 444 149 0 3 0.0
ELEM 304 245 449 246 0 3 0.0
ELEM 305 247 435 248 0 3 0.0
ELEM 306 265 449 264 0 3 0.0
ELEM 307 267 435 266 0 3 0.0
ELEM 308 41 453 243 0 3 0.0
ELEM 309 452 453 41 0 3 0.0
ELEM 310 44 452 144 0 3 0.0
ELEM 311 262 453 44 0 3 0.0
ELEM 312 145 454 146 0 3 0.0
ELEM 313 244 451 245 0 3 0.0
ELEM 314 264 451 263 0 3 0.0
ELEM 315 48 450 47 0 3 0.0
ELEM 316 437 438 150 0 3 0.0
ELEM 317 150 438 151 0 3 0.0
ELEM 318 51 438 437 0 3 0.0
ELEM 319 60 440 59 0 3 0.0
ELEM 320 249 442 250 0 3 0.0
ELEM 321 277 436 276 0 3 0.0
ELEM 322 148 445 444 0 3 0.0
ELEM 323 430 436 257 0 3 0.0
ELEM 324 434 449 265 0 3 0.0
ELEM 325 421 422 56 0 3 0.0
ELEM 326 155 422 421 0 3 0.0
ELEM 327 419 430 256 0 3 0.0
ELEM 328 433 435 267 0 3 0.0
ELEM 329 55 420 54 0 3 0.0
ELEM 330 58 423 57 0 3 0.0
ELEM 331 155 421 156 0 3 0.0
ELEM 332 254 429 255 0 3 0.0
ELEM 333 272 427 271 0 3 0.0
ELEM 334 275 419 274 0 3 0.0
ELEM 335 444 445 49 0 3 0.0
ELEM 336 248 435 433 0 3 0.0
ELEM 337 420 439 54 0 3 0.0
ELEM 338 269 446 442 0 3 0.0
ELEM 339 153 439 420 0 3 0.0
ELEM 340 272 428 427 0 3 0.0
ELEM 341 427 428 253 0 3 0.0
ELEM 342 442 446 250 0 3 0.0
ELEM 343 160 425 418 0 3 0.0
ELEM 344 419 429 274 0 3 0.0
ELEM 345 259 431 417 0 3 0.0
ELEM 346 418 425 61 0 3 0.0
ELEM 347 255 429 419 0 3 0.0
ELEM 348 417 431 278 0 3 0.0
ELEM 349 423 424 157 0 3 0.0
ELEM 350 58 424 423 0 3 0.0
ELEM 351 84 3 81 0 3 0.0
ELEM 352 29 303 305 0 3 0.0
ELEM 353 311 33 308 0 3 0.0
ELEM 354 183 15 181 0 3 0.0
ELEM 355 80 84 81 0 3 0.0
ELEM 356 80 83 84 0 3 0.0
ELEM 357 181 180 182 0 3 0.0
ELEM 358 183 181 182 0 3 0.0
ELEM 359 304 303 302 0 3 0.0
ELEM 360 305 303 304 0 3 0.0
ELEM 361 308 307 311 0 3 0.0
ELEM 362 311 307 310 0 3 0.0
ELEM 363 462 467 12 0 1 0.0
ELEM 364 463 469 24 0 1 0.0
ELEM 365 25 468 459 0 1 0.0
ELEM 366 1 470 466 0 1 0.0

ELEM 367 458 459 292 0 1 0.0
ELEM 368 288 463 457 0 1 0.0
ELEM 369 456 460 171 0 1 0.0
ELEM 370 457 461 289 0 1 0.0
ELEM 371 293 464 458 0 1 0.0
ELEM 372 170 462 456 0 1 0.0
ELEM 373 124 465 455 0 1 0.0
ELEM 374 455 466 123 0 1 0.0
ELEM 375 15 460 181 0 1 0.0
ELEM 376 29 461 303 0 1 0.0
ELEM 377 179 462 12 0 1 0.0
ELEM 378 301 463 24 0 1 0.0
ELEM 379 311 464 33 0 1 0.0
ELEM 380 25 459 309 0 1 0.0
ELEM 381 1 466 82 0 1 0.0
ELEM 382 84 465 3 0 1 0.0
ELEM 383 13 496 163 0 1 0.0
ELEM 384 464 471 33 0 1 0.0
ELEM 385 15 472 460 0 1 0.0
ELEM 386 29 473 461 0 1 0.0
ELEM 387 465 474 3 0 1 0.0
ELEM 388 169 467 462 0 1 0.0
ELEM 389 459 468 291 0 1 0.0
ELEM 390 287 469 463 0 1 0.0
ELEM 391 466 470 122 0 1 0.0
ELEM 392 30 513 300 0 1 0.0
ELEM 393 326 512 36 0 1 0.0
ELEM 394 473 495 26 0 1 0.0
ELEM 395 28 497 471 0 1 0.0
ELEM 396 8 498 474 0 1 0.0
ELEM 397 312 497 28 0 1 0.0
ELEM 398 26 495 281 0 1 0.0
ELEM 399 103 498 8 0 1 0.0
ELEM 400 488 511 16 0 1 0.0
ELEM 401 4 514 490 0 1 0.0
ELEM 402 32 509 483 0 1 0.0
ELEM 403 484 510 39 0 1 0.0
ELEM 404 17 508 486 0 1 0.0
ELEM 405 485 507 5 0 1 0.0
ELEM 406 16 511 178 0 1 0.0
ELEM 407 69 514 4 0 1 0.0
ELEM 408 294 471 464 0 1 0.0
ELEM 409 461 473 290 0 1 0.0
ELEM 410 460 472 172 0 1 0.0
ELEM 411 125 474 465 0 1 0.0
ELEM 412 455 621 83 0 1 0.0
ELEM 413 83 622 455 0 1 0.0
ELEM 414 310 616 458 0 1 0.0
ELEM 415 456 618 180 0 1 0.0
ELEM 416 457 615 302 0 1 0.0
ELEM 417 458 619 310 0 1 0.0
ELEM 418 180 617 456 0 1 0.0
ELEM 419 302 620 457 0 1 0.0
ELEM 420 5 507 71 0 1 0.0
ELEM 421 188 508 17 0 1 0.0
ELEM 422 327 509 32 0 1 0.0
ELEM 423 39 510 347 0 1 0.0
ELEM 424 468 492 23 0 1 0.0
ELEM 425 22 493 469 0 1 0.0
ELEM 426 11 491 467 0 1 0.0
ELEM 427 470 494 6 0 1 0.0
ELEM 428 496 637 163 0 1 0.0
ELEM 429 174 637 496 0 1 0.0
ELEM 430 513 629 300 0 1 0.0
ELEM 431 285 629 513 0 1 0.0
ELEM 432 463 615 457 0 1 0.0

ELEM 433 458 616 459 0 1 0.0
ELEM 434 456 617 460 0 1 0.0
ELEM 435 462 618 456 0 1 0.0
ELEM 436 464 619 458 0 1 0.0
ELEM 437 457 620 461 0 1 0.0
ELEM 438 465 621 455 0 1 0.0
ELEM 439 455 622 466 0 1 0.0
ELEM 440 63 494 470 0 1 0.0
ELEM 441 280 492 468 0 1 0.0
ELEM 442 469 493 261 0 1 0.0
ELEM 443 467 491 162 0 1 0.0
ELEM 444 288 457 289 0 1 0.0
ELEM 445 293 458 292 0 1 0.0
ELEM 446 170 456 171 0 1 0.0
ELEM 447 124 455 123 0 1 0.0
ELEM 448 171 460 172 0 1 0.0
ELEM 449 292 459 291 0 1 0.0
ELEM 450 294 464 293 0 1 0.0
ELEM 451 169 462 170 0 1 0.0
ELEM 452 287 463 288 0 1 0.0
ELEM 453 289 461 290 0 1 0.0
ELEM 454 123 466 122 0 1 0.0
ELEM 455 125 465 124 0 1 0.0
ELEM 456 173 472 15 0 1 0.0
ELEM 457 33 471 321 0 1 0.0
ELEM 458 295 473 29 0 1 0.0
ELEM 459 3 474 64 0 1 0.0
ELEM 460 12 467 162 0 1 0.0
ELEM 461 24 469 261 0 1 0.0
ELEM 462 280 468 25 0 1 0.0
ELEM 463 63 470 1 0 1 0.0
ELEM 464 459 616 309 0 1 0.0
ELEM 465 179 618 462 0 1 0.0
ELEM 466 301 615 463 0 1 0.0
ELEM 467 311 619 464 0 1 0.0
ELEM 468 460 617 181 0 1 0.0
ELEM 469 461 620 303 0 1 0.0
ELEM 470 466 622 82 0 1 0.0
ELEM 471 84 621 465 0 1 0.0
ELEM 472 23 492 242 0 1 0.0
ELEM 473 224 493 22 0 1 0.0
ELEM 474 143 491 11 0 1 0.0
ELEM 475 6 494 102 0 1 0.0
ELEM 476 162 491 161 0 1 0.0
ELEM 477 261 493 260 0 1 0.0
ELEM 478 279 492 280 0 1 0.0
ELEM 479 62 494 63 0 1 0.0
ELEM 480 472 496 13 0 1 0.0
ELEM 481 487 513 30 0 1 0.0
ELEM 482 36 512 489 0 1 0.0
ELEM 483 491 584 161 0 1 0.0
ELEM 484 493 585 260 0 1 0.0
ELEM 485 279 586 492 0 1 0.0
ELEM 486 62 583 494 0 1 0.0
ELEM 487 632 634 315 0 1 0.0
ELEM 488 325 634 632 0 1 0.0
ELEM 489 104 636 635 0 1 0.0
ELEM 490 635 636 66 0 1 0.0
ELEM 491 4 490 480 0 1 0.0
ELEM 492 476 488 16 0 1 0.0
ELEM 493 36 489 477 0 1 0.0
ELEM 494 475 487 30 0 1 0.0
ELEM 495 481 485 5 0 1 0.0
ELEM 496 17 486 478 0 1 0.0
ELEM 497 479 484 39 0 1 0.0
ELEM 498 32 483 482 0 1 0.0

ELEM 499 286 487 27 0 1 0.0
ELEM 500 34 489 317 0 1 0.0
ELEM 501 168 488 14 0 1 0.0
ELEM 502 9 490 108 0 1 0.0
ELEM 503 35 483 336 0 1 0.0
ELEM 504 18 486 197 0 1 0.0
ELEM 505 359 484 40 0 1 0.0
ELEM 506 112 485 10 0 1 0.0
ELEM 507 483 509 336 0 1 0.0
ELEM 508 359 510 484 0 1 0.0
ELEM 509 486 508 197 0 1 0.0
ELEM 510 112 507 485 0 1 0.0
ELEM 511 168 511 488 0 1 0.0
ELEM 512 490 514 108 0 1 0.0
ELEM 513 474 498 64 0 1 0.0
ELEM 514 295 495 473 0 1 0.0
ELEM 515 471 497 321 0 1 0.0
ELEM 516 161 584 160 0 1 0.0
ELEM 517 61 583 62 0 1 0.0
ELEM 518 260 585 259 0 1 0.0
ELEM 519 278 586 279 0 1 0.0
ELEM 520 321 497 322 0 1 0.0
ELEM 521 296 495 295 0 1 0.0
ELEM 522 497 638 322 0 1 0.0
ELEM 523 64 498 65 0 1 0.0
ELEM 524 360 510 359 0 1 0.0
ELEM 525 113 507 112 0 1 0.0
ELEM 526 336 509 337 0 1 0.0
ELEM 527 197 508 198 0 1 0.0
ELEM 528 259 582 258 0 1 0.0
ELEM 529 277 581 278 0 1 0.0
ELEM 530 60 580 61 0 1 0.0
ELEM 531 160 579 159 0 1 0.0
ELEM 532 326 632 512 0 1 0.0
ELEM 533 167 511 168 0 1 0.0
ELEM 534 108 514 107 0 1 0.0
ELEM 535 514 624 107 0 1 0.0
ELEM 536 10 485 111 0 1 0.0
ELEM 537 187 486 18 0 1 0.0
ELEM 538 40 484 358 0 1 0.0
ELEM 539 320 483 35 0 1 0.0
ELEM 540 276 573 277 0 1 0.0
ELEM 541 59 571 60 0 1 0.0
ELEM 542 258 574 257 0 1 0.0
ELEM 543 159 572 158 0 1 0.0
ELEM 544 581 586 278 0 1 0.0
ELEM 545 259 585 582 0 1 0.0
ELEM 546 580 583 61 0 1 0.0
ELEM 547 160 584 579 0 1 0.0
ELEM 548 110 480 109 0 1 0.0
ELEM 549 111 481 110 0 1 0.0
ELEM 550 185 476 186 0 1 0.0
ELEM 551 358 479 357 0 1 0.0
ELEM 552 186 478 187 0 1 0.0
ELEM 553 319 482 320 0 1 0.0
ELEM 554 357 477 356 0 1 0.0
ELEM 555 318 475 319 0 1 0.0
ELEM 556 58 565 59 0 1 0.0
ELEM 557 158 564 157 0 1 0.0
ELEM 558 275 563 276 0 1 0.0
ELEM 559 257 566 256 0 1 0.0
ELEM 560 27 487 318 0 1 0.0
ELEM 561 356 489 34 0 1 0.0
ELEM 562 14 488 185 0 1 0.0
ELEM 563 109 490 9 0 1 0.0
ELEM 564 159 579 572 0 1 0.0

ELEM 565 571 580 60 0 1 0.0
ELEM 566 258 582 574 0 1 0.0
ELEM 567 573 581 277 0 1 0.0
ELEM 568 509 613 337 0 1 0.0
ELEM 569 113 611 507 0 1 0.0
ELEM 570 360 614 510 0 1 0.0
ELEM 571 508 612 198 0 1 0.0
ELEM 572 309 616 310 0 1 0.0
ELEM 573 302 615 301 0 1 0.0
ELEM 574 180 618 179 0 1 0.0
ELEM 575 303 620 302 0 1 0.0
ELEM 576 310 619 311 0 1 0.0
ELEM 577 181 617 180 0 1 0.0
ELEM 578 83 621 84 0 1 0.0
ELEM 579 82 622 83 0 1 0.0
ELEM 580 274 560 275 0 1 0.0
ELEM 581 256 562 255 0 1 0.0
ELEM 582 57 561 58 0 1 0.0
ELEM 583 157 559 156 0 1 0.0
ELEM 584 174 496 173 0 1 0.0
ELEM 585 291 468 23 0 1 0.0
ELEM 586 11 467 169 0 1 0.0
ELEM 587 22 469 287 0 1 0.0
ELEM 588 122 470 6 0 1 0.0
ELEM 589 312 638 497 0 1 0.0
ELEM 590 565 571 59 0 1 0.0
ELEM 591 158 572 564 0 1 0.0
ELEM 592 563 573 276 0 1 0.0
ELEM 593 257 574 566 0 1 0.0
ELEM 594 28 471 294 0 1 0.0
ELEM 595 290 473 26 0 1 0.0
ELEM 596 172 472 13 0 1 0.0
ELEM 597 8 474 125 0 1 0.0
ELEM 598 255 556 254 0 1 0.0
ELEM 599 156 555 155 0 1 0.0
ELEM 600 273 558 274 0 1 0.0
ELEM 601 56 557 57 0 1 0.0
ELEM 602 285 513 286 0 1 0.0
ELEM 603 317 512 316 0 1 0.0
ELEM 604 512 632 316 0 1 0.0
ELEM 605 69 624 514 0 1 0.0
ELEM 606 256 566 562 0 1 0.0
ELEM 607 560 563 275 0 1 0.0
ELEM 608 157 564 559 0 1 0.0
ELEM 609 561 565 58 0 1 0.0
ELEM 610 55 553 56 0 1 0.0
ELEM 611 155 551 154 0 1 0.0
ELEM 612 272 552 273 0 1 0.0
ELEM 613 254 554 253 0 1 0.0
ELEM 614 156 559 555 0 1 0.0
ELEM 615 557 561 57 0 1 0.0
ELEM 616 255 562 556 0 1 0.0
ELEM 617 558 560 274 0 1 0.0
ELEM 618 480 490 109 0 1 0.0
ELEM 619 185 488 476 0 1 0.0
ELEM 620 318 487 475 0 1 0.0
ELEM 621 477 489 356 0 1 0.0
ELEM 622 54 550 55 0 1 0.0
ELEM 623 271 549 272 0 1 0.0
ELEM 624 154 547 153 0 1 0.0
ELEM 625 253 548 252 0 1 0.0
ELEM 626 111 485 481 0 1 0.0
ELEM 627 478 486 187 0 1 0.0
ELEM 628 358 484 479 0 1 0.0
ELEM 629 482 483 320 0 1 0.0
ELEM 630 155 555 551 0 1 0.0

ELEM 631 553 557 56 0 1 0.0
ELEM 632 254 556 554 0 1 0.0
ELEM 633 552 558 273 0 1 0.0
ELEM 634 53 545 54 0 1 0.0
ELEM 635 252 543 251 0 1 0.0
ELEM 636 270 546 271 0 1 0.0
ELEM 637 153 544 152 0 1 0.0
ELEM 638 507 611 71 0 1 0.0
ELEM 639 327 613 509 0 1 0.0
ELEM 640 188 612 508 0 1 0.0
ELEM 641 510 614 347 0 1 0.0
ELEM 642 32 482 306 0 1 0.0
ELEM 643 306 475 30 0 1 0.0
ELEM 644 184 476 16 0 1 0.0
ELEM 645 36 477 346 0 1 0.0
ELEM 646 17 478 184 0 1 0.0
ELEM 647 346 479 39 0 1 0.0
ELEM 648 4 480 70 0 1 0.0
ELEM 649 70 481 5 0 1 0.0
ELEM 650 152 539 151 0 1 0.0
ELEM 651 251 541 250 0 1 0.0
ELEM 652 269 542 270 0 1 0.0
ELEM 653 52 540 53 0 1 0.0
ELEM 654 549 552 272 0 1 0.0
ELEM 655 253 554 548 0 1 0.0
ELEM 656 550 553 55 0 1 0.0
ELEM 657 154 551 547 0 1 0.0
ELEM 658 151 537 150 0 1 0.0
ELEM 659 250 536 249 0 1 0.0
ELEM 660 51 535 52 0 1 0.0
ELEM 661 268 538 269 0 1 0.0
ELEM 662 545 550 54 0 1 0.0
ELEM 663 153 547 544 0 1 0.0
ELEM 664 252 548 543 0 1 0.0
ELEM 665 546 549 271 0 1 0.0
ELEM 666 249 532 248 0 1 0.0
ELEM 667 267 531 268 0 1 0.0
ELEM 668 150 533 149 0 1 0.0
ELEM 669 50 534 51 0 1 0.0
ELEM 670 152 544 539 0 1 0.0
ELEM 671 540 545 53 0 1 0.0
ELEM 672 251 543 541 0 1 0.0
ELEM 673 542 546 270 0 1 0.0
ELEM 674 49 530 50 0 1 0.0
ELEM 675 248 527 247 0 1 0.0
ELEM 676 266 528 267 0 1 0.0
ELEM 677 149 529 148 0 1 0.0
ELEM 678 143 584 491 0 1 0.0
ELEM 679 224 585 493 0 1 0.0
ELEM 680 492 586 242 0 1 0.0
ELEM 681 494 583 102 0 1 0.0
ELEM 682 535 540 52 0 1 0.0
ELEM 683 538 542 269 0 1 0.0
ELEM 684 151 539 537 0 1 0.0
ELEM 685 250 541 536 0 1 0.0
ELEM 686 247 523 246 0 1 0.0
ELEM 687 265 524 266 0 1 0.0
ELEM 688 48 526 49 0 1 0.0
ELEM 689 148 525 147 0 1 0.0
ELEM 690 249 536 532 0 1 0.0
ELEM 691 531 538 268 0 1 0.0
ELEM 692 150 537 533 0 1 0.0
ELEM 693 534 535 51 0 1 0.0
ELEM 694 147 521 146 0 1 0.0
ELEM 695 246 519 245 0 1 0.0
ELEM 696 264 520 265 0 1 0.0

ELEM 697 47 522 48 0 1 0.0
ELEM 698 263 516 264 0 1 0.0
ELEM 699 46 518 47 0 1 0.0
ELEM 700 146 517 145 0 1 0.0
ELEM 701 245 515 244 0 1 0.0
ELEM 702 528 531 267 0 1 0.0
ELEM 703 248 532 527 0 1 0.0
ELEM 704 149 533 529 0 1 0.0
ELEM 705 530 534 50 0 1 0.0
ELEM 706 244 505 243 0 1 0.0
ELEM 707 262 503 263 0 1 0.0
ELEM 708 145 504 144 0 1 0.0
ELEM 709 45 506 46 0 1 0.0
ELEM 710 524 528 266 0 1 0.0
ELEM 711 148 529 525 0 1 0.0
ELEM 712 247 527 523 0 1 0.0
ELEM 713 526 530 49 0 1 0.0
ELEM 714 41 499 45 0 1 0.0
ELEM 715 243 500 41 0 1 0.0
ELEM 716 144 502 44 0 1 0.0
ELEM 717 44 501 262 0 1 0.0
ELEM 718 522 526 48 0 1 0.0
ELEM 719 246 523 519 0 1 0.0
ELEM 720 147 525 521 0 1 0.0
ELEM 721 520 524 265 0 1 0.0
ELEM 722 85 499 42 0 1 0.0
ELEM 723 42 500 207 0 1 0.0
ELEM 724 43 502 126 0 1 0.0
ELEM 725 225 501 43 0 1 0.0
ELEM 726 516 520 264 0 1 0.0
ELEM 727 245 519 515 0 1 0.0
ELEM 728 146 521 517 0 1 0.0
ELEM 729 518 522 47 0 1 0.0
ELEM 730 126 504 127 0 1 0.0
ELEM 731 226 503 225 0 1 0.0
ELEM 732 207 505 208 0 1 0.0
ELEM 733 86 506 85 0 1 0.0
ELEM 734 499 500 42 0 1 0.0
ELEM 735 501 502 43 0 1 0.0
ELEM 736 225 503 501 0 1 0.0
ELEM 737 500 505 207 0 1 0.0
ELEM 738 502 504 126 0 1 0.0
ELEM 739 85 506 499 0 1 0.0
ELEM 740 337 613 338 0 1 0.0
ELEM 741 198 612 199 0 1 0.0
ELEM 742 361 614 360 0 1 0.0
ELEM 743 114 611 113 0 1 0.0
ELEM 744 208 515 209 0 1 0.0
ELEM 745 87 518 86 0 1 0.0
ELEM 746 127 517 128 0 1 0.0
ELEM 747 227 516 226 0 1 0.0
ELEM 748 244 515 505 0 1 0.0
ELEM 749 503 516 263 0 1 0.0
ELEM 750 145 517 504 0 1 0.0
ELEM 751 506 518 46 0 1 0.0
ELEM 752 226 516 503 0 1 0.0
ELEM 753 504 517 127 0 1 0.0
ELEM 754 505 515 208 0 1 0.0
ELEM 755 86 518 506 0 1 0.0
ELEM 756 209 519 210 0 1 0.0
ELEM 757 128 521 129 0 1 0.0
ELEM 758 228 520 227 0 1 0.0
ELEM 759 88 522 87 0 1 0.0
ELEM 760 338 609 339 0 1 0.0
ELEM 761 362 610 361 0 1 0.0
ELEM 762 115 607 114 0 1 0.0

ELEM 763 199 608 200 0 1 0.0
ELEM 764 243 505 500 0 1 0.0
ELEM 765 501 503 262 0 1 0.0
ELEM 766 144 504 502 0 1 0.0
ELEM 767 499 506 45 0 1 0.0
ELEM 768 227 520 516 0 1 0.0
ELEM 769 517 521 128 0 1 0.0
ELEM 770 515 519 209 0 1 0.0
ELEM 771 87 522 518 0 1 0.0
ELEM 772 89 526 88 0 1 0.0
ELEM 773 129 525 130 0 1 0.0
ELEM 774 210 523 211 0 1 0.0
ELEM 775 229 524 228 0 1 0.0
ELEM 776 116 603 115 0 1 0.0
ELEM 777 363 606 362 0 1 0.0
ELEM 778 339 605 340 0 1 0.0
ELEM 779 200 604 201 0 1 0.0
ELEM 780 41 500 499 0 1 0.0
ELEM 781 44 502 501 0 1 0.0
ELEM 782 130 529 131 0 1 0.0
ELEM 783 211 527 212 0 1 0.0
ELEM 784 230 528 229 0 1 0.0
ELEM 785 90 530 89 0 1 0.0
ELEM 786 521 525 129 0 1 0.0
ELEM 787 88 526 522 0 1 0.0
ELEM 788 228 524 520 0 1 0.0
ELEM 789 519 523 210 0 1 0.0
ELEM 790 623 629 284 0 1 0.0
ELEM 791 176 630 625 0 1 0.0
ELEM 792 176 625 175 0 1 0.0
ELEM 793 177 630 176 0 1 0.0
ELEM 794 66 636 67 0 1 0.0
ELEM 795 175 637 174 0 1 0.0
ELEM 796 178 631 177 0 1 0.0
ELEM 797 628 633 282 0 1 0.0
ELEM 798 315 634 314 0 1 0.0
ELEM 799 281 628 282 0 1 0.0
ELEM 800 625 637 175 0 1 0.0
ELEM 801 283 623 284 0 1 0.0
ELEM 802 282 633 283 0 1 0.0
ELEM 803 177 631 630 0 1 0.0
ELEM 804 322 638 323 0 1 0.0
ELEM 805 323 626 324 0 1 0.0
ELEM 806 325 632 326 0 1 0.0
ELEM 807 284 629 285 0 1 0.0
ELEM 808 323 638 626 0 1 0.0
ELEM 809 624 627 106 0 1 0.0
ELEM 810 104 635 103 0 1 0.0
ELEM 811 107 624 106 0 1 0.0
ELEM 812 106 627 105 0 1 0.0
ELEM 813 283 633 623 0 1 0.0
ELEM 814 117 599 116 0 1 0.0
ELEM 815 340 602 341 0 1 0.0
ELEM 816 364 600 363 0 1 0.0
ELEM 817 201 601 202 0 1 0.0
ELEM 818 91 534 90 0 1 0.0
ELEM 819 131 533 132 0 1 0.0
ELEM 820 212 532 213 0 1 0.0
ELEM 821 231 531 230 0 1 0.0
ELEM 822 525 529 130 0 1 0.0
ELEM 823 89 530 526 0 1 0.0
ELEM 824 229 528 524 0 1 0.0
ELEM 825 523 527 211 0 1 0.0
ELEM 826 118 596 117 0 1 0.0
ELEM 827 202 597 203 0 1 0.0
ELEM 828 341 595 342 0 1 0.0

ELEM 829 365 598 364 0 1 0.0
ELEM 830 92 535 91 0 1 0.0
ELEM 831 213 536 214 0 1 0.0
ELEM 832 132 537 133 0 1 0.0
ELEM 833 232 538 231 0 1 0.0
ELEM 834 529 533 131 0 1 0.0
ELEM 835 230 531 528 0 1 0.0
ELEM 836 527 532 212 0 1 0.0
ELEM 837 90 534 530 0 1 0.0
ELEM 838 203 592 204 0 1 0.0
ELEM 839 342 593 343 0 1 0.0
ELEM 840 366 591 365 0 1 0.0
ELEM 841 119 594 118 0 1 0.0
ELEM 842 93 540 92 0 1 0.0
ELEM 843 233 542 232 0 1 0.0
ELEM 844 214 541 215 0 1 0.0
ELEM 845 133 539 134 0 1 0.0
ELEM 846 231 538 531 0 1 0.0
ELEM 847 533 537 132 0 1 0.0
ELEM 848 532 536 213 0 1 0.0
ELEM 849 91 535 534 0 1 0.0
ELEM 850 338 613 609 0 1 0.0
ELEM 851 610 614 361 0 1 0.0
ELEM 852 607 611 114 0 1 0.0
ELEM 853 199 612 608 0 1 0.0
ELEM 854 367 587 366 0 1 0.0
ELEM 855 343 589 344 0 1 0.0
ELEM 856 204 588 205 0 1 0.0
ELEM 857 120 590 119 0 1 0.0
ELEM 858 134 544 135 0 1 0.0
ELEM 859 215 543 216 0 1 0.0
ELEM 860 94 545 93 0 1 0.0
ELEM 861 234 546 233 0 1 0.0
ELEM 862 92 540 535 0 1 0.0
ELEM 863 232 542 538 0 1 0.0
ELEM 864 537 539 133 0 1 0.0
ELEM 865 536 541 214 0 1 0.0
ELEM 866 368 578 367 0 1 0.0
ELEM 867 344 577 345 0 1 0.0
ELEM 868 205 576 206 0 1 0.0
ELEM 869 121 575 120 0 1 0.0
ELEM 870 216 548 217 0 1 0.0
ELEM 871 235 549 234 0 1 0.0
ELEM 872 135 547 136 0 1 0.0
ELEM 873 95 550 94 0 1 0.0
ELEM 874 603 607 115 0 1 0.0
ELEM 875 606 610 362 0 1 0.0
ELEM 876 339 609 605 0 1 0.0
ELEM 877 200 608 604 0 1 0.0
ELEM 878 539 544 134 0 1 0.0
ELEM 879 233 546 542 0 1 0.0
ELEM 880 541 543 215 0 1 0.0
ELEM 881 93 545 540 0 1 0.0
ELEM 882 38 570 368 0 1 0.0
ELEM 883 345 567 38 0 1 0.0
ELEM 884 21 568 121 0 1 0.0
ELEM 885 206 569 21 0 1 0.0
ELEM 886 236 552 235 0 1 0.0
ELEM 887 217 554 218 0 1 0.0
ELEM 888 136 551 137 0 1 0.0
ELEM 889 96 553 95 0 1 0.0
ELEM 890 94 550 545 0 1 0.0
ELEM 891 544 547 135 0 1 0.0
ELEM 892 543 548 216 0 1 0.0
ELEM 893 234 549 546 0 1 0.0
ELEM 894 97 557 96 0 1 0.0

ELEM 895 218 556 219 0 1 0.0
ELEM 896 137 555 138 0 1 0.0
ELEM 897 237 558 236 0 1 0.0
ELEM 898 201 604 601 0 1 0.0
ELEM 899 340 605 602 0 1 0.0
ELEM 900 600 606 363 0 1 0.0
ELEM 901 599 603 116 0 1 0.0
ELEM 902 235 552 549 0 1 0.0
ELEM 903 548 554 217 0 1 0.0
ELEM 904 95 553 550 0 1 0.0
ELEM 905 547 551 136 0 1 0.0
ELEM 906 98 561 97 0 1 0.0
ELEM 907 238 560 237 0 1 0.0
ELEM 908 138 559 139 0 1 0.0
ELEM 909 219 562 220 0 1 0.0
ELEM 910 220 566 221 0 1 0.0
ELEM 911 239 563 238 0 1 0.0
ELEM 912 99 565 98 0 1 0.0
ELEM 913 139 564 140 0 1 0.0
ELEM 914 551 555 137 0 1 0.0
ELEM 915 96 557 553 0 1 0.0
ELEM 916 236 558 552 0 1 0.0
ELEM 917 554 556 218 0 1 0.0
ELEM 918 79 568 19 0 1 0.0
ELEM 919 19 569 196 0 1 0.0
ELEM 920 37 567 335 0 1 0.0
ELEM 921 355 570 37 0 1 0.0
ELEM 922 596 599 117 0 1 0.0
ELEM 923 598 600 364 0 1 0.0
ELEM 924 202 601 597 0 1 0.0
ELEM 925 341 602 595 0 1 0.0
ELEM 926 100 571 99 0 1 0.0
ELEM 927 240 573 239 0 1 0.0
ELEM 928 140 572 141 0 1 0.0
ELEM 929 221 574 222 0 1 0.0
ELEM 930 97 561 557 0 1 0.0
ELEM 931 555 559 138 0 1 0.0
ELEM 932 237 560 558 0 1 0.0
ELEM 933 556 562 219 0 1 0.0
ELEM 934 241 581 240 0 1 0.0
ELEM 935 141 579 142 0 1 0.0
ELEM 936 101 580 100 0 1 0.0
ELEM 937 222 582 223 0 1 0.0
ELEM 938 78 575 79 0 1 0.0
ELEM 939 196 576 195 0 1 0.0
ELEM 940 335 577 334 0 1 0.0
ELEM 941 354 578 355 0 1 0.0
ELEM 942 238 563 560 0 1 0.0
ELEM 943 562 566 220 0 1 0.0
ELEM 944 559 564 139 0 1 0.0
ELEM 945 98 565 561 0 1 0.0
ELEM 946 223 585 224 0 1 0.0
ELEM 947 242 586 241 0 1 0.0
ELEM 948 102 583 101 0 1 0.0
ELEM 949 142 584 143 0 1 0.0
ELEM 950 203 597 592 0 1 0.0
ELEM 951 342 595 593 0 1 0.0
ELEM 952 591 598 365 0 1 0.0
ELEM 953 594 596 118 0 1 0.0
ELEM 954 195 588 194 0 1 0.0
ELEM 955 77 590 78 0 1 0.0
ELEM 956 334 589 333 0 1 0.0
ELEM 957 353 587 354 0 1 0.0
ELEM 958 564 572 140 0 1 0.0
ELEM 959 99 571 565 0 1 0.0
ELEM 960 566 574 221 0 1 0.0

ELEM 961 239 573 563 0 1 0.0
ELEM 962 37 570 567 0 1 0.0
ELEM 963 568 569 19 0 1 0.0
ELEM 964 569 576 196 0 1 0.0
ELEM 965 79 575 568 0 1 0.0
ELEM 966 567 577 335 0 1 0.0
ELEM 967 355 578 570 0 1 0.0
ELEM 968 572 579 141 0 1 0.0
ELEM 969 100 580 571 0 1 0.0
ELEM 970 240 581 573 0 1 0.0
ELEM 971 574 582 222 0 1 0.0
ELEM 972 76 594 77 0 1 0.0
ELEM 973 352 591 353 0 1 0.0
ELEM 974 333 593 332 0 1 0.0
ELEM 975 194 592 193 0 1 0.0
ELEM 976 343 593 589 0 1 0.0
ELEM 977 587 591 366 0 1 0.0
ELEM 978 590 594 119 0 1 0.0
ELEM 979 204 592 588 0 1 0.0
ELEM 980 582 585 223 0 1 0.0
ELEM 981 241 586 581 0 1 0.0
ELEM 982 101 583 580 0 1 0.0
ELEM 983 579 584 142 0 1 0.0
ELEM 984 75 596 76 0 1 0.0
ELEM 985 351 598 352 0 1 0.0
ELEM 986 332 595 331 0 1 0.0
ELEM 987 193 597 192 0 1 0.0
ELEM 988 576 588 195 0 1 0.0
ELEM 989 577 589 334 0 1 0.0
ELEM 990 354 587 578 0 1 0.0
ELEM 991 78 590 575 0 1 0.0
ELEM 992 74 599 75 0 1 0.0
ELEM 993 350 600 351 0 1 0.0
ELEM 994 192 601 191 0 1 0.0
ELEM 995 331 602 330 0 1 0.0
ELEM 996 77 594 590 0 1 0.0
ELEM 997 589 593 333 0 1 0.0
ELEM 998 353 591 587 0 1 0.0
ELEM 999 588 592 194 0 1 0.0
ELEM 1000 205 588 576 0 1 0.0
ELEM 1001 578 587 367 0 1 0.0
ELEM 1002 344 589 577 0 1 0.0
ELEM 1003 575 590 120 0 1 0.0
ELEM 1004 73 603 74 0 1 0.0
ELEM 1005 191 604 190 0 1 0.0
ELEM 1006 349 606 350 0 1 0.0
ELEM 1007 330 605 329 0 1 0.0
ELEM 1008 299 629 623 0 1 0.0
ELEM 1009 68 627 624 0 1 0.0
ELEM 1010 625 630 165 0 1 0.0
ELEM 1011 68 624 69 0 1 0.0
ELEM 1012 299 623 298 0 1 0.0
ELEM 1013 324 634 325 0 1 0.0
ELEM 1014 65 635 66 0 1 0.0
ELEM 1015 297 628 296 0 1 0.0
ELEM 1016 298 633 297 0 1 0.0
ELEM 1017 166 631 167 0 1 0.0
ELEM 1018 313 638 312 0 1 0.0
ELEM 1019 300 629 299 0 1 0.0
ELEM 1020 314 626 313 0 1 0.0
ELEM 1021 163 637 164 0 1 0.0
ELEM 1022 165 630 166 0 1 0.0
ELEM 1023 297 633 628 0 1 0.0
ELEM 1024 67 627 68 0 1 0.0
ELEM 1025 164 625 165 0 1 0.0
ELEM 1026 630 631 166 0 1 0.0

ELEM 1027 105 636 104 0 1 0.0
ELEM 1028 316 632 315 0 1 0.0
ELEM 1029 626 638 313 0 1 0.0
ELEM 1030 164 637 625 0 1 0.0
ELEM 1031 623 633 298 0 1 0.0
ELEM 1032 592 597 193 0 1 0.0
ELEM 1033 76 596 594 0 1 0.0
ELEM 1034 352 598 591 0 1 0.0
ELEM 1035 593 595 332 0 1 0.0
ELEM 1036 190 608 189 0 1 0.0
ELEM 1037 72 607 73 0 1 0.0
ELEM 1038 329 609 328 0 1 0.0
ELEM 1039 348 610 349 0 1 0.0
ELEM 1040 71 611 72 0 1 0.0
ELEM 1041 189 612 188 0 1 0.0
ELEM 1042 328 613 327 0 1 0.0
ELEM 1043 347 614 348 0 1 0.0
ELEM 1044 206 576 569 0 1 0.0
ELEM 1045 345 577 567 0 1 0.0
ELEM 1046 570 578 368 0 1 0.0
ELEM 1047 568 575 121 0 1 0.0
ELEM 1048 597 601 192 0 1 0.0
ELEM 1049 595 602 331 0 1 0.0
ELEM 1050 75 599 596 0 1 0.0
ELEM 1051 351 600 598 0 1 0.0
ELEM 1052 21 569 568 0 1 0.0
ELEM 1053 567 570 38 0 1 0.0
ELEM 1054 601 604 191 0 1 0.0
ELEM 1055 74 603 599 0 1 0.0
ELEM 1056 350 606 600 0 1 0.0
ELEM 1057 602 605 330 0 1 0.0
ELEM 1058 605 609 329 0 1 0.0
ELEM 1059 604 608 190 0 1 0.0
ELEM 1060 73 607 603 0 1 0.0
ELEM 1061 349 610 606 0 1 0.0
ELEM 1062 477 479 346 0 1 0.0
ELEM 1063 306 482 475 0 1 0.0
ELEM 1064 184 478 476 0 1 0.0
ELEM 1065 480 481 70 0 1 0.0
ELEM 1066 348 614 610 0 1 0.0
ELEM 1067 608 612 189 0 1 0.0
ELEM 1068 609 613 328 0 1 0.0
ELEM 1069 72 611 607 0 1 0.0
ELEM 1070 286 513 487 0 1 0.0
ELEM 1071 489 512 317 0 1 0.0
ELEM 1072 495 628 281 0 1 0.0
ELEM 1073 296 628 495 0 1 0.0
ELEM 1074 498 635 65 0 1 0.0
ELEM 1075 103 635 498 0 1 0.0
ELEM 1076 173 496 472 0 1 0.0
ELEM 1077 511 631 178 0 1 0.0
ELEM 1078 167 631 511 0 1 0.0
ELEM 1079 67 636 627 0 1 0.0
ELEM 1080 627 636 105 0 1 0.0
ELEM 1081 314 634 626 0 1 0.0
ELEM 1082 626 634 324 0 1 0.0
ELEM 1083 357 479 477 0 1 0.0
ELEM 1084 475 482 319 0 1 0.0
ELEM 1085 476 478 186 0 1 0.0
ELEM 1086 110 481 480 0 1 0.0
SYMMETRY
END_SYM
PRECISION 0.001
MATERIALS
INSULATION ! isltm
STEELEC3EN ! steelflangem

210000000000 0.3
STEELEC3EN ! steelwebm
210000000000 0.3

3 ANÁLISIS DEL PÓRTICO

En este capítulo se recogen a modo de ejemplo los ficheros de entrada (.IN) a partir de los cuales se pueden obtener, con el software SAFIR, los resultados de los análisis mecánicos 2D y 3D del pórtico no arriostrado con los pilares protegidos en la hipótesis de carga $PP + 0,2 \cdot N(EI)$.

3.1 PORTICO/2D/PP+N/PP/MA

InputFile created with GMSH-SAFIR Interface : Ver. 2024-04-23
Safir_Structural_Analysis
Mesh_from_G4S-Mesher

NNODE 593
NDIM 2
NDOFMAX 3
DYNAMIC PURE_NR
NLOAD 1
HYDROST 0
OBLIQUE 0
COMEBACK 1e-10
NMAT 3
ELEMENTS
BEAM 296 3
NG 2
NFIBER 1086
END_ELEM
NODES
NODE 1 0.000000 0.000000
NODE 2 0.000000 8.000000
NODE 3 12.500000 9.250000
NODE 4 25.000000 8.000000
NODE 5 25.000000 0.000000
NODE 6 37.500000 9.250000
NODE 7 50.000000 8.000000
NODE 8 50.000000 0.000000
NODE 9 0.000000 0.250000
NODE 10 0.000000 0.500000
NODE 11 0.000000 0.750000
NODE 12 0.000000 1.000000
NODE 13 0.000000 1.250000
NODE 14 0.000000 1.500000
NODE 15 0.000000 1.750000
NODE 16 0.000000 2.000000
NODE 17 0.000000 2.250000
NODE 18 0.000000 2.500000
NODE 19 0.000000 2.750000
NODE 20 0.000000 3.000000
NODE 21 0.000000 3.250000
NODE 22 0.000000 3.500000
NODE 23 0.000000 3.750000
NODE 24 0.000000 4.000000
NODE 25 0.000000 4.250000
NODE 26 0.000000 4.500000
NODE 27 0.000000 4.750000
NODE 28 0.000000 5.000000
NODE 29 0.000000 5.250000
NODE 30 0.000000 5.500000
NODE 31 0.000000 5.750000
NODE 32 0.000000 6.000000
NODE 33 0.000000 6.250000

NODE 34 0.000000 6.500000
NODE 35 0.000000 6.750000
NODE 36 0.000000 7.000000
NODE 37 0.000000 7.250000
NODE 38 0.000000 7.500000
NODE 39 0.000000 7.750000
NODE 40 0.250000 8.025000
NODE 41 0.500000 8.050000
NODE 42 0.750000 8.075000
NODE 43 1.000000 8.100000
NODE 44 1.250000 8.125000
NODE 45 1.500000 8.150000
NODE 46 1.750000 8.175000
NODE 47 2.000000 8.200000
NODE 48 2.250000 8.225000
NODE 49 2.500000 8.250000
NODE 50 2.750000 8.275000
NODE 51 3.000000 8.300000
NODE 52 3.250000 8.325000
NODE 53 3.500000 8.350000
NODE 54 3.750000 8.375000
NODE 55 4.000000 8.400000
NODE 56 4.250000 8.425000
NODE 57 4.500000 8.450000
NODE 58 4.750000 8.475000
NODE 59 5.000000 8.500000
NODE 60 5.250000 8.525000
NODE 61 5.500000 8.550000
NODE 62 5.750000 8.575000
NODE 63 6.000000 8.600000
NODE 64 6.250000 8.625000
NODE 65 6.500000 8.650000
NODE 66 6.750000 8.675000
NODE 67 7.000000 8.700000
NODE 68 7.250000 8.725000
NODE 69 7.500000 8.750000
NODE 70 7.750000 8.775000
NODE 71 8.000000 8.800000
NODE 72 8.250000 8.825000
NODE 73 8.500000 8.850000
NODE 74 8.750000 8.875000
NODE 75 9.000000 8.900000
NODE 76 9.250000 8.925000
NODE 77 9.500000 8.950000
NODE 78 9.750000 8.975000
NODE 79 10.000000 9.000000
NODE 80 10.250000 9.025000
NODE 81 10.500000 9.050000
NODE 82 10.750000 9.075000
NODE 83 11.000000 9.100000
NODE 84 11.250000 9.125000
NODE 85 11.500000 9.150000
NODE 86 11.750000 9.175000
NODE 87 12.000000 9.200000
NODE 88 12.250000 9.225000
NODE 89 12.500000 9.250000
NODE 90 13.000000 9.200000
NODE 91 13.250000 9.175000
NODE 92 13.500000 9.150000
NODE 93 13.750000 9.125000
NODE 94 14.000000 9.100000
NODE 95 14.250000 9.075000
NODE 96 14.500000 9.050000
NODE 97 14.750000 9.025000
NODE 98 15.000000 9.000000
NODE 99 15.250000 8.975000

NODE 100 15.500000 8.950000
NODE 101 15.750000 8.925000
NODE 102 16.000000 8.900000
NODE 103 16.250000 8.875000
NODE 104 16.500000 8.850000
NODE 105 16.750000 8.825000
NODE 106 17.000000 8.800000
NODE 107 17.250000 8.775000
NODE 108 17.500000 8.750000
NODE 109 17.750000 8.725000
NODE 110 18.000000 8.700000
NODE 111 18.250000 8.675000
NODE 112 18.500000 8.650000
NODE 113 18.750000 8.625000
NODE 114 19.000000 8.600000
NODE 115 19.250000 8.575000
NODE 116 19.500000 8.550000
NODE 117 19.750000 8.525000
NODE 118 20.000000 8.500000
NODE 119 20.250000 8.475000
NODE 120 20.500000 8.450000
NODE 121 20.750000 8.425000
NODE 122 21.000000 8.400000
NODE 123 21.250000 8.375000
NODE 124 21.500000 8.350000
NODE 125 21.750000 8.325000
NODE 126 22.000000 8.300000
NODE 127 22.250000 8.275000
NODE 128 22.500000 8.250000
NODE 129 22.750000 8.225000
NODE 130 23.000000 8.200000
NODE 131 23.250000 8.175000
NODE 132 23.500000 8.150000
NODE 133 23.750000 8.125000
NODE 134 24.000000 8.100000
NODE 135 24.250000 8.075000
NODE 136 24.500000 8.050000
NODE 137 24.750000 8.025000
NODE 138 25.000000 7.750000
NODE 139 25.000000 7.500000
NODE 140 25.000000 7.250000
NODE 141 25.000000 7.000000
NODE 142 25.000000 6.750000
NODE 143 25.000000 6.500000
NODE 144 25.000000 6.250000
NODE 145 25.000000 6.000000
NODE 146 25.000000 5.750000
NODE 147 25.000000 5.500000
NODE 148 25.000000 5.250000
NODE 149 25.000000 5.000000
NODE 150 25.000000 4.750000
NODE 151 25.000000 4.500000
NODE 152 25.000000 4.250000
NODE 153 25.000000 4.000000
NODE 154 25.000000 3.750000
NODE 155 25.000000 3.500000
NODE 156 25.000000 3.250000
NODE 157 25.000000 3.000000
NODE 158 25.000000 2.750000
NODE 159 25.000000 2.500000
NODE 160 25.000000 2.250000
NODE 161 25.000000 2.000000
NODE 162 25.000000 1.750000
NODE 163 25.000000 1.500000
NODE 164 25.000000 1.250000
NODE 165 25.000000 1.000000

NODE 166 25.000000 0.750000
NODE 167 25.000000 0.500000
NODE 168 25.000000 0.250000
NODE 169 25.250000 8.025000
NODE 170 25.500000 8.050000
NODE 171 25.750000 8.075000
NODE 172 26.000000 8.100000
NODE 173 26.250000 8.125000
NODE 174 26.500000 8.150000
NODE 175 26.750000 8.175000
NODE 176 27.000000 8.200000
NODE 177 27.250000 8.225000
NODE 178 27.500000 8.250000
NODE 179 27.750000 8.275000
NODE 180 28.000000 8.300000
NODE 181 28.250000 8.325000
NODE 182 28.500000 8.350000
NODE 183 28.750000 8.375000
NODE 184 29.000000 8.400000
NODE 185 29.250000 8.425000
NODE 186 29.500000 8.450000
NODE 187 29.750000 8.475000
NODE 188 30.000000 8.500000
NODE 189 30.250000 8.525000
NODE 190 30.500000 8.550000
NODE 191 30.750000 8.575000
NODE 192 31.000000 8.600000
NODE 193 31.250000 8.625000
NODE 194 31.500000 8.650000
NODE 195 31.750000 8.675000
NODE 196 32.000000 8.700000
NODE 197 32.250000 8.725000
NODE 198 32.500000 8.750000
NODE 199 32.750000 8.775000
NODE 200 33.000000 8.800000
NODE 201 33.250000 8.825000
NODE 202 33.500000 8.850000
NODE 203 33.750000 8.875000
NODE 204 34.000000 8.900000
NODE 205 34.250000 8.925000
NODE 206 34.500000 8.950000
NODE 207 34.750000 8.975000
NODE 208 35.000000 9.000000
NODE 209 35.250000 9.025000
NODE 210 35.500000 9.050000
NODE 211 35.750000 9.075000
NODE 212 36.000000 9.100000
NODE 213 36.250000 9.125000
NODE 214 36.500000 9.150000
NODE 215 36.750000 9.175000
NODE 216 37.000000 9.200000
NODE 217 37.250000 9.225000
NODE 218 37.500000 9.250000
NODE 219 38.000000 9.200000
NODE 220 38.250000 9.175000
NODE 221 38.500000 9.150000
NODE 222 38.750000 9.125000
NODE 223 39.000000 9.100000
NODE 224 39.250000 9.075000
NODE 225 39.500000 9.050000
NODE 226 39.750000 9.025000
NODE 227 40.000000 9.000000
NODE 228 40.250000 8.975000
NODE 229 40.500000 8.950000
NODE 230 40.750000 8.925000
NODE 231 41.000000 8.900000

NODE 232 41.250000 8.875000
NODE 233 41.500000 8.850000
NODE 234 41.750000 8.825000
NODE 235 42.000000 8.800000
NODE 236 42.250000 8.775000
NODE 237 42.500000 8.750000
NODE 238 42.750000 8.725000
NODE 239 43.000000 8.700000
NODE 240 43.250000 8.675000
NODE 241 43.500000 8.650000
NODE 242 43.750000 8.625000
NODE 243 44.000000 8.600000
NODE 244 44.250000 8.575000
NODE 245 44.500000 8.550000
NODE 246 44.750000 8.525000
NODE 247 45.000000 8.500000
NODE 248 45.250000 8.475000
NODE 249 45.500000 8.450000
NODE 250 45.750000 8.425000
NODE 251 46.000000 8.400000
NODE 252 46.250000 8.375000
NODE 253 46.500000 8.350000
NODE 254 46.750000 8.325000
NODE 255 47.000000 8.300000
NODE 256 47.250000 8.275000
NODE 257 47.500000 8.250000
NODE 258 47.750000 8.225000
NODE 259 48.000000 8.200000
NODE 260 48.250000 8.175000
NODE 261 48.500000 8.150000
NODE 262 48.750000 8.125000
NODE 263 49.000000 8.100000
NODE 264 49.250000 8.075000
NODE 265 49.500000 8.050000
NODE 266 49.750000 8.025000
NODE 267 50.000000 7.750000
NODE 268 50.000000 7.500000
NODE 269 50.000000 7.250000
NODE 270 50.000000 7.000000
NODE 271 50.000000 6.750000
NODE 272 50.000000 6.500000
NODE 273 50.000000 6.250000
NODE 274 50.000000 6.000000
NODE 275 50.000000 5.750000
NODE 276 50.000000 5.500000
NODE 277 50.000000 5.250000
NODE 278 50.000000 5.000000
NODE 279 50.000000 4.750000
NODE 280 50.000000 4.500000
NODE 281 50.000000 4.250000
NODE 282 50.000000 4.000000
NODE 283 50.000000 3.750000
NODE 284 50.000000 3.500000
NODE 285 50.000000 3.250000
NODE 286 50.000000 3.000000
NODE 287 50.000000 2.750000
NODE 288 50.000000 2.500000
NODE 289 50.000000 2.250000
NODE 290 50.000000 2.000000
NODE 291 50.000000 1.750000
NODE 292 50.000000 1.500000
NODE 293 50.000000 1.250000
NODE 294 50.000000 1.000000
NODE 295 50.000000 0.750000
NODE 296 50.000000 0.500000
NODE 297 50.000000 0.250000

NODE 298 0.000000 0.125000
NODE 299 0.000000 0.375000
NODE 300 0.000000 0.625000
NODE 301 0.000000 0.875000
NODE 302 0.000000 1.125000
NODE 303 0.000000 1.375000
NODE 304 0.000000 1.625000
NODE 305 0.000000 1.875000
NODE 306 0.000000 2.125000
NODE 307 0.000000 2.375000
NODE 308 0.000000 2.625000
NODE 309 0.000000 2.875000
NODE 310 0.000000 3.125000
NODE 311 0.000000 3.375000
NODE 312 0.000000 3.625000
NODE 313 0.000000 3.875000
NODE 314 0.000000 4.125000
NODE 315 0.000000 4.375000
NODE 316 0.000000 4.625000
NODE 317 0.000000 4.875000
NODE 318 0.000000 5.125000
NODE 319 0.000000 5.375000
NODE 320 0.000000 5.625000
NODE 321 0.000000 5.875000
NODE 322 0.000000 6.125000
NODE 323 0.000000 6.375000
NODE 324 0.000000 6.625000
NODE 325 0.000000 6.875000
NODE 326 0.000000 7.125000
NODE 327 0.000000 7.375000
NODE 328 0.000000 7.625000
NODE 329 0.000000 7.875000
NODE 330 0.125000 8.012500
NODE 331 0.375000 8.037500
NODE 332 0.625000 8.062500
NODE 333 0.875000 8.087500
NODE 334 1.125000 8.112500
NODE 335 1.375000 8.137500
NODE 336 1.625000 8.162500
NODE 337 1.875000 8.187500
NODE 338 2.125000 8.212500
NODE 339 2.375000 8.237500
NODE 340 2.625000 8.262500
NODE 341 2.875000 8.287500
NODE 342 3.125000 8.312500
NODE 343 3.375000 8.337500
NODE 344 3.625000 8.362500
NODE 345 3.875000 8.387500
NODE 346 4.125000 8.412500
NODE 347 4.375000 8.437500
NODE 348 4.625000 8.462500
NODE 349 4.875000 8.487500
NODE 350 5.125000 8.512500
NODE 351 5.375000 8.537500
NODE 352 5.625000 8.562500
NODE 353 5.875000 8.587500
NODE 354 6.125000 8.612500
NODE 355 6.375000 8.637500
NODE 356 6.625000 8.662500
NODE 357 6.875000 8.687500
NODE 358 7.125000 8.712500
NODE 359 7.375000 8.737500
NODE 360 7.625000 8.762500
NODE 361 7.875000 8.787500
NODE 362 8.125000 8.812500
NODE 363 8.375000 8.837500

NODE 364 8.625000 8.862500
NODE 365 8.875000 8.887500
NODE 366 9.125000 8.912500
NODE 367 9.375000 8.937500
NODE 368 9.625000 8.962500
NODE 369 9.875000 8.987500
NODE 370 10.125000 9.012500
NODE 371 10.375000 9.037500
NODE 372 10.625000 9.062500
NODE 373 10.875000 9.087500
NODE 374 11.125000 9.112500
NODE 375 11.375000 9.137500
NODE 376 11.625000 9.162500
NODE 377 11.875000 9.187500
NODE 378 12.125000 9.212500
NODE 379 12.375000 9.237500
NODE 380 12.625000 9.237500
NODE 381 12.875000 9.212500
NODE 382 13.125000 9.187500
NODE 383 13.375000 9.162500
NODE 384 13.625000 9.137500
NODE 385 13.875000 9.112500
NODE 386 14.125000 9.087500
NODE 387 14.375000 9.062500
NODE 388 14.625000 9.037500
NODE 389 14.875000 9.012500
NODE 390 15.125000 8.987500
NODE 391 15.375000 8.962500
NODE 392 15.625000 8.937500
NODE 393 15.875000 8.912500
NODE 394 16.125000 8.887500
NODE 395 16.375000 8.862500
NODE 396 16.625000 8.837500
NODE 397 16.875000 8.812500
NODE 398 17.125000 8.787500
NODE 399 17.375000 8.762500
NODE 400 17.625000 8.737500
NODE 401 17.875000 8.712500
NODE 402 18.125000 8.687500
NODE 403 18.375000 8.662500
NODE 404 18.625000 8.637500
NODE 405 18.875000 8.612500
NODE 406 19.125000 8.587500
NODE 407 19.375000 8.562500
NODE 408 19.625000 8.537500
NODE 409 19.875000 8.512500
NODE 410 20.125000 8.487500
NODE 411 20.375000 8.462500
NODE 412 20.625000 8.437500
NODE 413 20.875000 8.412500
NODE 414 21.125000 8.387500
NODE 415 21.375000 8.362500
NODE 416 21.625000 8.337500
NODE 417 21.875000 8.312500
NODE 418 22.125000 8.287500
NODE 419 22.375000 8.262500
NODE 420 22.625000 8.237500
NODE 421 22.875000 8.212500
NODE 422 23.125000 8.187500
NODE 423 23.375000 8.162500
NODE 424 23.625000 8.137500
NODE 425 23.875000 8.112500
NODE 426 24.125000 8.087500
NODE 427 24.375000 8.062500
NODE 428 24.625000 8.037500
NODE 429 24.875000 8.012500

NODE 430 25.000000 7.875000
NODE 431 25.000000 7.625000
NODE 432 25.000000 7.375000
NODE 433 25.000000 7.125000
NODE 434 25.000000 6.875000
NODE 435 25.000000 6.625000
NODE 436 25.000000 6.375000
NODE 437 25.000000 6.125000
NODE 438 25.000000 5.875000
NODE 439 25.000000 5.625000
NODE 440 25.000000 5.375000
NODE 441 25.000000 5.125000
NODE 442 25.000000 4.875000
NODE 443 25.000000 4.625000
NODE 444 25.000000 4.375000
NODE 445 25.000000 4.125000
NODE 446 25.000000 3.875000
NODE 447 25.000000 3.625000
NODE 448 25.000000 3.375000
NODE 449 25.000000 3.125000
NODE 450 25.000000 2.875000
NODE 451 25.000000 2.625000
NODE 452 25.000000 2.375000
NODE 453 25.000000 2.125000
NODE 454 25.000000 1.875000
NODE 455 25.000000 1.625000
NODE 456 25.000000 1.375000
NODE 457 25.000000 1.125000
NODE 458 25.000000 0.875000
NODE 459 25.000000 0.625000
NODE 460 25.000000 0.375000
NODE 461 25.000000 0.125000
NODE 462 25.125000 8.012500
NODE 463 25.375000 8.037500
NODE 464 25.625000 8.062500
NODE 465 25.875000 8.087500
NODE 466 26.125000 8.112500
NODE 467 26.375000 8.137500
NODE 468 26.625000 8.162500
NODE 469 26.875000 8.187500
NODE 470 27.125000 8.212500
NODE 471 27.375000 8.237500
NODE 472 27.625000 8.262500
NODE 473 27.875000 8.287500
NODE 474 28.125000 8.312500
NODE 475 28.375000 8.337500
NODE 476 28.625000 8.362500
NODE 477 28.875000 8.387500
NODE 478 29.125000 8.412500
NODE 479 29.375000 8.437500
NODE 480 29.625000 8.462500
NODE 481 29.875000 8.487500
NODE 482 30.125000 8.512500
NODE 483 30.375000 8.537500
NODE 484 30.625000 8.562500
NODE 485 30.875000 8.587500
NODE 486 31.125000 8.612500
NODE 487 31.375000 8.637500
NODE 488 31.625000 8.662500
NODE 489 31.875000 8.687500
NODE 490 32.125000 8.712500
NODE 491 32.375000 8.737500
NODE 492 32.625000 8.762500
NODE 493 32.875000 8.787500
NODE 494 33.125000 8.812500
NODE 495 33.375000 8.837500

NODE 496 33.625000 8.862500
NODE 497 33.875000 8.887500
NODE 498 34.125000 8.912500
NODE 499 34.375000 8.937500
NODE 500 34.625000 8.962500
NODE 501 34.875000 8.987500
NODE 502 35.125000 9.012500
NODE 503 35.375000 9.037500
NODE 504 35.625000 9.062500
NODE 505 35.875000 9.087500
NODE 506 36.125000 9.112500
NODE 507 36.375000 9.137500
NODE 508 36.625000 9.162500
NODE 509 36.875000 9.187500
NODE 510 37.125000 9.212500
NODE 511 37.375000 9.237500
NODE 512 37.625000 9.237500
NODE 513 37.875000 9.212500
NODE 514 38.125000 9.187500
NODE 515 38.375000 9.162500
NODE 516 38.625000 9.137500
NODE 517 38.875000 9.112500
NODE 518 39.125000 9.087500
NODE 519 39.375000 9.062500
NODE 520 39.625000 9.037500
NODE 521 39.875000 9.012500
NODE 522 40.125000 8.987500
NODE 523 40.375000 8.962500
NODE 524 40.625000 8.937500
NODE 525 40.875000 8.912500
NODE 526 41.125000 8.887500
NODE 527 41.375000 8.862500
NODE 528 41.625000 8.837500
NODE 529 41.875000 8.812500
NODE 530 42.125000 8.787500
NODE 531 42.375000 8.762500
NODE 532 42.625000 8.737500
NODE 533 42.875000 8.712500
NODE 534 43.125000 8.687500
NODE 535 43.375000 8.662500
NODE 536 43.625000 8.637500
NODE 537 43.875000 8.612500
NODE 538 44.125000 8.587500
NODE 539 44.375000 8.562500
NODE 540 44.625000 8.537500
NODE 541 44.875000 8.512500
NODE 542 45.125000 8.487500
NODE 543 45.375000 8.462500
NODE 544 45.625000 8.437500
NODE 545 45.875000 8.412500
NODE 546 46.125000 8.387500
NODE 547 46.375000 8.362500
NODE 548 46.625000 8.337500
NODE 549 46.875000 8.312500
NODE 550 47.125000 8.287500
NODE 551 47.375000 8.262500
NODE 552 47.625000 8.237500
NODE 553 47.875000 8.212500
NODE 554 48.125000 8.187500
NODE 555 48.375000 8.162500
NODE 556 48.625000 8.137500
NODE 557 48.875000 8.112500
NODE 558 49.125000 8.087500
NODE 559 49.375000 8.062500
NODE 560 49.625000 8.037500
NODE 561 49.875000 8.012500

NODE 562 50.000000 7.875000
NODE 563 50.000000 7.625000
NODE 564 50.000000 7.375000
NODE 565 50.000000 7.125000
NODE 566 50.000000 6.875000
NODE 567 50.000000 6.625000
NODE 568 50.000000 6.375000
NODE 569 50.000000 6.125000
NODE 570 50.000000 5.875000
NODE 571 50.000000 5.625000
NODE 572 50.000000 5.375000
NODE 573 50.000000 5.125000
NODE 574 50.000000 4.875000
NODE 575 50.000000 4.625000
NODE 576 50.000000 4.375000
NODE 577 50.000000 4.125000
NODE 578 50.000000 3.875000
NODE 579 50.000000 3.625000
NODE 580 50.000000 3.375000
NODE 581 50.000000 3.125000
NODE 582 50.000000 2.875000
NODE 583 50.000000 2.625000
NODE 584 50.000000 2.375000
NODE 585 50.000000 2.125000
NODE 586 50.000000 1.875000
NODE 587 50.000000 1.625000
NODE 588 50.000000 1.375000
NODE 589 50.000000 1.125000
NODE 590 50.000000 0.875000
NODE 591 50.000000 0.625000
NODE 592 50.000000 0.375000
NODE 593 50.000000 0.125000
FIXATIONS
BLOCK 1 FO FO FO
BLOCK 5 FO FO FO
BLOCK 8 FO FO FO
END_FIX
NODOFBEM
IPEcp3C.TEM
TRANSLATE 1 1
TRANSLATE 2 2
TRANSLATE 3 3
END_TRANS
IPEsp3C.TEM
TRANSLATE 1 2
TRANSLATE 2 3
END_TRANS
IPEsp4C.TEM
TRANSLATE 1 2
TRANSLATE 2 3
END_TRANS
ELEM 1 1 298 9 1
ELEM 2 9 299 10 1
ELEM 3 10 300 11 1
ELEM 4 11 301 12 1
ELEM 5 12 302 13 1
ELEM 6 13 303 14 1
ELEM 7 14 304 15 1
ELEM 8 15 305 16 1
ELEM 9 16 306 17 1
ELEM 10 17 307 18 1
ELEM 11 18 308 19 1
ELEM 12 19 309 20 1
ELEM 13 20 310 21 1
ELEM 14 21 311 22 1
ELEM 15 22 312 23 1

ELEM 16 23 313 24 1
ELEM 17 24 314 25 1
ELEM 18 25 315 26 1
ELEM 19 26 316 27 1
ELEM 20 27 317 28 1
ELEM 21 28 318 29 1
ELEM 22 29 319 30 1
ELEM 23 30 320 31 1
ELEM 24 31 321 32 1
ELEM 25 32 322 33 1
ELEM 26 33 323 34 1
ELEM 27 34 324 35 1
ELEM 28 35 325 36 1
ELEM 29 36 326 37 1
ELEM 30 37 327 38 1
ELEM 31 38 328 39 1
ELEM 32 39 329 2 1
ELEM 33 2 330 40 2
ELEM 34 40 331 41 2
ELEM 35 41 332 42 2
ELEM 36 42 333 43 2
ELEM 37 43 334 44 2
ELEM 38 44 335 45 2
ELEM 39 45 336 46 2
ELEM 40 46 337 47 2
ELEM 41 47 338 48 2
ELEM 42 48 339 49 2
ELEM 43 49 340 50 2
ELEM 44 50 341 51 2
ELEM 45 51 342 52 2
ELEM 46 52 343 53 2
ELEM 47 53 344 54 2
ELEM 48 54 345 55 2
ELEM 49 55 346 56 2
ELEM 50 56 347 57 2
ELEM 51 57 348 58 2
ELEM 52 58 349 59 2
ELEM 53 59 350 60 2
ELEM 54 60 351 61 2
ELEM 55 61 352 62 2
ELEM 56 62 353 63 2
ELEM 57 63 354 64 2
ELEM 58 64 355 65 2
ELEM 59 65 356 66 2
ELEM 60 66 357 67 2
ELEM 61 67 358 68 2
ELEM 62 68 359 69 2
ELEM 63 69 360 70 2
ELEM 64 70 361 71 2
ELEM 65 71 362 72 2
ELEM 66 72 363 73 2
ELEM 67 73 364 74 2
ELEM 68 74 365 75 2
ELEM 69 75 366 76 2
ELEM 70 76 367 77 2
ELEM 71 77 368 78 2
ELEM 72 78 369 79 2
ELEM 73 79 370 80 2
ELEM 74 80 371 81 2
ELEM 75 81 372 82 2
ELEM 76 82 373 83 2
ELEM 77 83 374 84 2
ELEM 78 84 375 85 2
ELEM 79 85 376 86 2
ELEM 80 86 377 87 2
ELEM 81 87 378 88 2

ELEM 82 88 379 3 2
ELEM 83 3 380 89 2
ELEM 84 89 381 90 2
ELEM 85 90 382 91 2
ELEM 86 91 383 92 2
ELEM 87 92 384 93 2
ELEM 88 93 385 94 2
ELEM 89 94 386 95 2
ELEM 90 95 387 96 2
ELEM 91 96 388 97 2
ELEM 92 97 389 98 2
ELEM 93 98 390 99 2
ELEM 94 99 391 100 2
ELEM 95 100 392 101 2
ELEM 96 101 393 102 2
ELEM 97 102 394 103 2
ELEM 98 103 395 104 2
ELEM 99 104 396 105 2
ELEM 100 105 397 106 2
ELEM 101 106 398 107 2
ELEM 102 107 399 108 2
ELEM 103 108 400 109 2
ELEM 104 109 401 110 2
ELEM 105 110 402 111 2
ELEM 106 111 403 112 2
ELEM 107 112 404 113 2
ELEM 108 113 405 114 2
ELEM 109 114 406 115 2
ELEM 110 115 407 116 2
ELEM 111 116 408 117 2
ELEM 112 117 409 118 2
ELEM 113 118 410 119 2
ELEM 114 119 411 120 2
ELEM 115 120 412 121 2
ELEM 116 121 413 122 2
ELEM 117 122 414 123 2
ELEM 118 123 415 124 2
ELEM 119 124 416 125 2
ELEM 120 125 417 126 2
ELEM 121 126 418 127 2
ELEM 122 127 419 128 2
ELEM 123 128 420 129 2
ELEM 124 129 421 130 2
ELEM 125 130 422 131 2
ELEM 126 131 423 132 2
ELEM 127 132 424 133 2
ELEM 128 133 425 134 2
ELEM 129 134 426 135 2
ELEM 130 135 427 136 2
ELEM 131 136 428 137 2
ELEM 132 137 429 4 2
ELEM 133 4 430 138 3
ELEM 134 138 431 139 3
ELEM 135 139 432 140 3
ELEM 136 140 433 141 3
ELEM 137 141 434 142 3
ELEM 138 142 435 143 3
ELEM 139 143 436 144 3
ELEM 140 144 437 145 3
ELEM 141 145 438 146 3
ELEM 142 146 439 147 3
ELEM 143 147 440 148 3
ELEM 144 148 441 149 3
ELEM 145 149 442 150 3
ELEM 146 150 443 151 3
ELEM 147 151 444 152 3

ELEM 148 152 445 153 3
ELEM 149 153 446 154 3
ELEM 150 154 447 155 3
ELEM 151 155 448 156 3
ELEM 152 156 449 157 3
ELEM 153 157 450 158 3
ELEM 154 158 451 159 3
ELEM 155 159 452 160 3
ELEM 156 160 453 161 3
ELEM 157 161 454 162 3
ELEM 158 162 455 163 3
ELEM 159 163 456 164 3
ELEM 160 164 457 165 3
ELEM 161 165 458 166 3
ELEM 162 166 459 167 3
ELEM 163 167 460 168 3
ELEM 164 168 461 5 3
ELEM 165 4 462 169 2
ELEM 166 169 463 170 2
ELEM 167 170 464 171 2
ELEM 168 171 465 172 2
ELEM 169 172 466 173 2
ELEM 170 173 467 174 2
ELEM 171 174 468 175 2
ELEM 172 175 469 176 2
ELEM 173 176 470 177 2
ELEM 174 177 471 178 2
ELEM 175 178 472 179 2
ELEM 176 179 473 180 2
ELEM 177 180 474 181 2
ELEM 178 181 475 182 2
ELEM 179 182 476 183 2
ELEM 180 183 477 184 2
ELEM 181 184 478 185 2
ELEM 182 185 479 186 2
ELEM 183 186 480 187 2
ELEM 184 187 481 188 2
ELEM 185 188 482 189 2
ELEM 186 189 483 190 2
ELEM 187 190 484 191 2
ELEM 188 191 485 192 2
ELEM 189 192 486 193 2
ELEM 190 193 487 194 2
ELEM 191 194 488 195 2
ELEM 192 195 489 196 2
ELEM 193 196 490 197 2
ELEM 194 197 491 198 2
ELEM 195 198 492 199 2
ELEM 196 199 493 200 2
ELEM 197 200 494 201 2
ELEM 198 201 495 202 2
ELEM 199 202 496 203 2
ELEM 200 203 497 204 2
ELEM 201 204 498 205 2
ELEM 202 205 499 206 2
ELEM 203 206 500 207 2
ELEM 204 207 501 208 2
ELEM 205 208 502 209 2
ELEM 206 209 503 210 2
ELEM 207 210 504 211 2
ELEM 208 211 505 212 2
ELEM 209 212 506 213 2
ELEM 210 213 507 214 2
ELEM 211 214 508 215 2
ELEM 212 215 509 216 2
ELEM 213 216 510 217 2

ELEM 214 217 511 6 2
ELEM 215 6 512 218 2
ELEM 216 218 513 219 2
ELEM 217 219 514 220 2
ELEM 218 220 515 221 2
ELEM 219 221 516 222 2
ELEM 220 222 517 223 2
ELEM 221 223 518 224 2
ELEM 222 224 519 225 2
ELEM 223 225 520 226 2
ELEM 224 226 521 227 2
ELEM 225 227 522 228 2
ELEM 226 228 523 229 2
ELEM 227 229 524 230 2
ELEM 228 230 525 231 2
ELEM 229 231 526 232 2
ELEM 230 232 527 233 2
ELEM 231 233 528 234 2
ELEM 232 234 529 235 2
ELEM 233 235 530 236 2
ELEM 234 236 531 237 2
ELEM 235 237 532 238 2
ELEM 236 238 533 239 2
ELEM 237 239 534 240 2
ELEM 238 240 535 241 2
ELEM 239 241 536 242 2
ELEM 240 242 537 243 2
ELEM 241 243 538 244 2
ELEM 242 244 539 245 2
ELEM 243 245 540 246 2
ELEM 244 246 541 247 2
ELEM 245 247 542 248 2
ELEM 246 248 543 249 2
ELEM 247 249 544 250 2
ELEM 248 250 545 251 2
ELEM 249 251 546 252 2
ELEM 250 252 547 253 2
ELEM 251 253 548 254 2
ELEM 252 254 549 255 2
ELEM 253 255 550 256 2
ELEM 254 256 551 257 2
ELEM 255 257 552 258 2
ELEM 256 258 553 259 2
ELEM 257 259 554 260 2
ELEM 258 260 555 261 2
ELEM 259 261 556 262 2
ELEM 260 262 557 263 2
ELEM 261 263 558 264 2
ELEM 262 264 559 265 2
ELEM 263 265 560 266 2
ELEM 264 266 561 7 2
ELEM 265 7 562 267 1
ELEM 266 267 563 268 1
ELEM 267 268 564 269 1
ELEM 268 269 565 270 1
ELEM 269 270 566 271 1
ELEM 270 271 567 272 1
ELEM 271 272 568 273 1
ELEM 272 273 569 274 1
ELEM 273 274 570 275 1
ELEM 274 275 571 276 1
ELEM 275 276 572 277 1
ELEM 276 277 573 278 1
ELEM 277 278 574 279 1
ELEM 278 279 575 280 1
ELEM 279 280 576 281 1

ELEM 280 281 577 282 1
ELEM 281 282 578 283 1
ELEM 282 283 579 284 1
ELEM 283 284 580 285 1
ELEM 284 285 581 286 1
ELEM 285 286 582 287 1
ELEM 286 287 583 288 1
ELEM 287 288 584 289 1
ELEM 288 289 585 290 1
ELEM 289 290 586 291 1
ELEM 290 291 587 292 1
ELEM 291 292 588 293 1
ELEM 292 293 589 294 1
ELEM 293 294 590 295 1
ELEM 294 295 591 296 1
ELEM 295 296 592 297 1
ELEM 296 297 593 8 1
PRECISION 0.001
LOADS
FUNCTION F1
NODELOAD 2 362.05 0.0 0.0
DISTRBEAM 1 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 2 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 3 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 4 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 5 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 6 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 7 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 8 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 9 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 10 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 11 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 12 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 13 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 14 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 15 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 16 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 17 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 18 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 19 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 20 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 21 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 22 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 23 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 24 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 25 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 26 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 27 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 28 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 29 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 30 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 31 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 32 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 33 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 34 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 35 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 36 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 37 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 38 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 39 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 40 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 41 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 42 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 43 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 44 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 45 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 46 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 47 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 48 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 49 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 50 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 51 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 52 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 53 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 54 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 55 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 56 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 57 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 58 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 59 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 60 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 61 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 62 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 63 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 64 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 65 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 66 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 67 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 68 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 69 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 70 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 71 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 72 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 73 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 74 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 75 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 76 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 77 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 78 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 79 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 80 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 81 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 82 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 83 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 84 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 85 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 86 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 87 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 88 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 89 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 90 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 91 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 92 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 93 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 94 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 95 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 96 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 97 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 98 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 99 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 100 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 101 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 102 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 103 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 104 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 105 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 106 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 107 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 108 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 109 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 110 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 111 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 112 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 113 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 114 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 115 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 116 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 117 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 118 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 119 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 120 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 121 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 122 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 123 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 124 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 125 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 126 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 127 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 128 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 129 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 130 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 131 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 132 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 133 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 134 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 135 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 136 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 137 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 138 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 139 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 140 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 141 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 142 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 143 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 144 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 145 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 146 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 147 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 148 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 149 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 150 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 151 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 152 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 153 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 154 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 155 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 156 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 157 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 158 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 159 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 160 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 161 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 162 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 163 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 164 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 165 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 166 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 167 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 168 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 169 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 170 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 171 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 172 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 173 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 174 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 175 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 176 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 177 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 178 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 179 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 180 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 181 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 182 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 183 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 184 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 185 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 186 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 187 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 188 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 189 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 190 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 191 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 192 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 193 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 194 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 195 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 196 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 197 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 198 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 199 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 200 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 201 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 202 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 203 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 204 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 205 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 206 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 207 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 208 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 209 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 210 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 211 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 212 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 213 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 214 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 215 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 216 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 217 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 218 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 219 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 220 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 221 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 222 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 223 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 224 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 225 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 226 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 227 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 228 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 229 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 230 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 231 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 232 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 233 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 234 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 235 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 236 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 237 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 238 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 239 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 240 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 241 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 242 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 243 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 244 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 245 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 246 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 247 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 248 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 249 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 250 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 251 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 252 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 253 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 254 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 255 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 256 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 257 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 258 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 259 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 260 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 261 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 262 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 263 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 264 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 265 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 266 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 267 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 268 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 269 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 270 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 271 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 272 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 273 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 274 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 275 0.0 -1000.0

DISTRBEAM 276 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 277 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 278 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 279 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 280 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 281 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 282 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 283 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 284 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 285 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 286 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 287 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 288 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 289 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 290 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 291 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 292 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 293 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 294 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 295 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 296 0.0 -1000.0
END_LOAD
MASS
M_BEAM 1 100000.0
M_BEAM 2 100000.0
M_BEAM 3 100000.0
M_BEAM 4 100000.0
M_BEAM 5 100000.0
M_BEAM 6 100000.0
M_BEAM 7 100000.0
M_BEAM 8 100000.0
M_BEAM 9 100000.0
M_BEAM 10 100000.0
M_BEAM 11 100000.0
M_BEAM 12 100000.0
M_BEAM 13 100000.0
M_BEAM 14 100000.0
M_BEAM 15 100000.0
M_BEAM 16 100000.0
M_BEAM 17 100000.0
M_BEAM 18 100000.0
M_BEAM 19 100000.0
M_BEAM 20 100000.0
M_BEAM 21 100000.0
M_BEAM 22 100000.0
M_BEAM 23 100000.0
M_BEAM 24 100000.0
M_BEAM 25 100000.0
M_BEAM 26 100000.0
M_BEAM 27 100000.0
M_BEAM 28 100000.0
M_BEAM 29 100000.0
M_BEAM 30 100000.0
M_BEAM 31 100000.0
M_BEAM 32 100000.0
M_BEAM 33 100000.0
M_BEAM 34 100000.0
M_BEAM 35 100000.0
M_BEAM 36 100000.0
M_BEAM 37 100000.0
M_BEAM 38 100000.0
M_BEAM 39 100000.0
M_BEAM 40 100000.0
M_BEAM 41 100000.0
M_BEAM 42 100000.0
M_BEAM 43 100000.0

M_BEAM 44 100000.0
M_BEAM 45 100000.0
M_BEAM 46 100000.0
M_BEAM 47 100000.0
M_BEAM 48 100000.0
M_BEAM 49 100000.0
M_BEAM 50 100000.0
M_BEAM 51 100000.0
M_BEAM 52 100000.0
M_BEAM 53 100000.0
M_BEAM 54 100000.0
M_BEAM 55 100000.0
M_BEAM 56 100000.0
M_BEAM 57 100000.0
M_BEAM 58 100000.0
M_BEAM 59 100000.0
M_BEAM 60 100000.0
M_BEAM 61 100000.0
M_BEAM 62 100000.0
M_BEAM 63 100000.0
M_BEAM 64 100000.0
M_BEAM 65 100000.0
M_BEAM 66 100000.0
M_BEAM 67 100000.0
M_BEAM 68 100000.0
M_BEAM 69 100000.0
M_BEAM 70 100000.0
M_BEAM 71 100000.0
M_BEAM 72 100000.0
M_BEAM 73 100000.0
M_BEAM 74 100000.0
M_BEAM 75 100000.0
M_BEAM 76 100000.0
M_BEAM 77 100000.0
M_BEAM 78 100000.0
M_BEAM 79 100000.0
M_BEAM 80 100000.0
M_BEAM 81 100000.0
M_BEAM 82 100000.0
M_BEAM 83 100000.0
M_BEAM 84 100000.0
M_BEAM 85 100000.0
M_BEAM 86 100000.0
M_BEAM 87 100000.0
M_BEAM 88 100000.0
M_BEAM 89 100000.0
M_BEAM 90 100000.0
M_BEAM 91 100000.0
M_BEAM 92 100000.0
M_BEAM 93 100000.0
M_BEAM 94 100000.0
M_BEAM 95 100000.0
M_BEAM 96 100000.0
M_BEAM 97 100000.0
M_BEAM 98 100000.0
M_BEAM 99 100000.0
M_BEAM 100 100000.0
M_BEAM 101 100000.0
M_BEAM 102 100000.0
M_BEAM 103 100000.0
M_BEAM 104 100000.0
M_BEAM 105 100000.0
M_BEAM 106 100000.0
M_BEAM 107 100000.0
M_BEAM 108 100000.0
M_BEAM 109 100000.0

M_BEAM 110 100000.0
M_BEAM 111 100000.0
M_BEAM 112 100000.0
M_BEAM 113 100000.0
M_BEAM 114 100000.0
M_BEAM 115 100000.0
M_BEAM 116 100000.0
M_BEAM 117 100000.0
M_BEAM 118 100000.0
M_BEAM 119 100000.0
M_BEAM 120 100000.0
M_BEAM 121 100000.0
M_BEAM 122 100000.0
M_BEAM 123 100000.0
M_BEAM 124 100000.0
M_BEAM 125 100000.0
M_BEAM 126 100000.0
M_BEAM 127 100000.0
M_BEAM 128 100000.0
M_BEAM 129 100000.0
M_BEAM 130 100000.0
M_BEAM 131 100000.0
M_BEAM 132 100000.0
M_BEAM 133 100000.0
M_BEAM 134 100000.0
M_BEAM 135 100000.0
M_BEAM 136 100000.0
M_BEAM 137 100000.0
M_BEAM 138 100000.0
M_BEAM 139 100000.0
M_BEAM 140 100000.0
M_BEAM 141 100000.0
M_BEAM 142 100000.0
M_BEAM 143 100000.0
M_BEAM 144 100000.0
M_BEAM 145 100000.0
M_BEAM 146 100000.0
M_BEAM 147 100000.0
M_BEAM 148 100000.0
M_BEAM 149 100000.0
M_BEAM 150 100000.0
M_BEAM 151 100000.0
M_BEAM 152 100000.0
M_BEAM 153 100000.0
M_BEAM 154 100000.0
M_BEAM 155 100000.0
M_BEAM 156 100000.0
M_BEAM 157 100000.0
M_BEAM 158 100000.0
M_BEAM 159 100000.0
M_BEAM 160 100000.0
M_BEAM 161 100000.0
M_BEAM 162 100000.0
M_BEAM 163 100000.0
M_BEAM 164 100000.0
M_BEAM 165 100000.0
M_BEAM 166 100000.0
M_BEAM 167 100000.0
M_BEAM 168 100000.0
M_BEAM 169 100000.0
M_BEAM 170 100000.0
M_BEAM 171 100000.0
M_BEAM 172 100000.0
M_BEAM 173 100000.0
M_BEAM 174 100000.0
M_BEAM 175 100000.0

M_BEAM 176 100000.0
M_BEAM 177 100000.0
M_BEAM 178 100000.0
M_BEAM 179 100000.0
M_BEAM 180 100000.0
M_BEAM 181 100000.0
M_BEAM 182 100000.0
M_BEAM 183 100000.0
M_BEAM 184 100000.0
M_BEAM 185 100000.0
M_BEAM 186 100000.0
M_BEAM 187 100000.0
M_BEAM 188 100000.0
M_BEAM 189 100000.0
M_BEAM 190 100000.0
M_BEAM 191 100000.0
M_BEAM 192 100000.0
M_BEAM 193 100000.0
M_BEAM 194 100000.0
M_BEAM 195 100000.0
M_BEAM 196 100000.0
M_BEAM 197 100000.0
M_BEAM 198 100000.0
M_BEAM 199 100000.0
M_BEAM 200 100000.0
M_BEAM 201 100000.0
M_BEAM 202 100000.0
M_BEAM 203 100000.0
M_BEAM 204 100000.0
M_BEAM 205 100000.0
M_BEAM 206 100000.0
M_BEAM 207 100000.0
M_BEAM 208 100000.0
M_BEAM 209 100000.0
M_BEAM 210 100000.0
M_BEAM 211 100000.0
M_BEAM 212 100000.0
M_BEAM 213 100000.0
M_BEAM 214 100000.0
M_BEAM 215 100000.0
M_BEAM 216 100000.0
M_BEAM 217 100000.0
M_BEAM 218 100000.0
M_BEAM 219 100000.0
M_BEAM 220 100000.0
M_BEAM 221 100000.0
M_BEAM 222 100000.0
M_BEAM 223 100000.0
M_BEAM 224 100000.0
M_BEAM 225 100000.0
M_BEAM 226 100000.0
M_BEAM 227 100000.0
M_BEAM 228 100000.0
M_BEAM 229 100000.0
M_BEAM 230 100000.0
M_BEAM 231 100000.0
M_BEAM 232 100000.0
M_BEAM 233 100000.0
M_BEAM 234 100000.0
M_BEAM 235 100000.0
M_BEAM 236 100000.0
M_BEAM 237 100000.0
M_BEAM 238 100000.0
M_BEAM 239 100000.0
M_BEAM 240 100000.0
M_BEAM 241 100000.0

M_BEAM 242 100000.0
M_BEAM 243 100000.0
M_BEAM 244 100000.0
M_BEAM 245 100000.0
M_BEAM 246 100000.0
M_BEAM 247 100000.0
M_BEAM 248 100000.0
M_BEAM 249 100000.0
M_BEAM 250 100000.0
M_BEAM 251 100000.0
M_BEAM 252 100000.0
M_BEAM 253 100000.0
M_BEAM 254 100000.0
M_BEAM 255 100000.0
M_BEAM 256 100000.0
M_BEAM 257 100000.0
M_BEAM 258 100000.0
M_BEAM 259 100000.0
M_BEAM 260 100000.0
M_BEAM 261 100000.0
M_BEAM 262 100000.0
M_BEAM 263 100000.0
M_BEAM 264 100000.0
M_BEAM 265 100000.0
M_BEAM 266 100000.0
M_BEAM 267 100000.0
M_BEAM 268 100000.0
M_BEAM 269 100000.0
M_BEAM 270 100000.0
M_BEAM 271 100000.0
M_BEAM 272 100000.0
M_BEAM 273 100000.0
M_BEAM 274 100000.0
M_BEAM 275 100000.0
M_BEAM 276 100000.0
M_BEAM 277 100000.0
M_BEAM 278 100000.0
M_BEAM 279 100000.0
M_BEAM 280 100000.0
M_BEAM 281 100000.0
M_BEAM 282 100000.0
M_BEAM 283 100000.0
M_BEAM 284 100000.0
M_BEAM 285 100000.0
M_BEAM 286 100000.0
M_BEAM 287 100000.0
M_BEAM 288 100000.0
M_BEAM 289 100000.0
M_BEAM 290 100000.0
M_BEAM 291 100000.0
M_BEAM 292 100000.0
M_BEAM 293 100000.0
M_BEAM 294 100000.0
M_BEAM 295 100000.0
M_BEAM 296 100000.0
END_MASS
MATERIALS
INSULATION ! ISLTM
STEELSL ! STEELFLANGEM
210000000000 0.3 275000000 1200 0 4.79 3
STEELSL ! STEELWEBM
210000000000 0.3 275000000 1200 0 38.49 4
TIME
0.1 3600.0 2.0
END_TIME
EPSTH

IMPRESSION
TIMEPRINT
0.1 3600.0
END_TIMEPR
PRINTDEPL
0
PRINTREACT
PRINTMN

3.2 PORTICO/3D/PP+N/PP/MA/NA

InputFile created with GMSH-SAFIR Interface : Ver. 2024-04-23
Safir_Structural_Analysis
Mesh_from_G45-Mesher

NNODE 600
NDIM 3
NDOFMAX 7
DYNAMIC PURE_NR
NLOAD 1
HYDROST 0
OBLIQUE 0
COMEBACK 1e-10
NMAT 3
ELEMENTS
BEAM 290 3
NG 2
NFIBER 1086
END_ELEM
NODES
NODE 1 0.000000 0.000000 0.000000
NODE 2 0.000000 0.000000 2.940000
NODE 3 0.000000 0.000000 5.440000
NODE 4 0.000000 0.000000 8.000000
NODE 5 0.000000 4.260000 8.430000
NODE 6 0.000000 8.430000 8.820000
NODE 7 0.000000 12.500000 9.250000
NODE 8 0.000000 16.760000 8.820000
NODE 9 0.000000 20.930000 8.430000
NODE 10 0.000000 25.000000 8.000000
NODE 11 0.000000 25.000000 0.000000
NODE 12 0.000000 29.260000 8.430000
NODE 13 0.000000 33.430000 8.820000
NODE 14 0.000000 37.500000 9.250000
NODE 15 0.000000 41.760000 8.820000
NODE 16 0.000000 45.930000 8.430000
NODE 17 0.000000 50.000000 8.000000
NODE 18 0.000000 50.000000 5.440000
NODE 19 0.000000 50.000000 2.940000
NODE 20 0.000000 50.000000 0.000000
NODE 21 0.000000 0.000000 0.267273
NODE 22 0.000000 0.000000 0.534545
NODE 23 0.000000 0.000000 0.801818
NODE 24 0.000000 0.000000 1.069091
NODE 25 0.000000 0.000000 1.336364
NODE 26 0.000000 0.000000 1.603636
NODE 27 0.000000 0.000000 1.870909
NODE 28 0.000000 0.000000 2.138182
NODE 29 0.000000 0.000000 2.405455
NODE 30 0.000000 0.000000 2.672727
NODE 31 0.000000 0.000000 3.167273
NODE 32 0.000000 0.000000 3.394545
NODE 33 0.000000 0.000000 3.621818
NODE 34 0.000000 0.000000 3.849091
NODE 35 0.000000 0.000000 4.076364
NODE 36 0.000000 0.000000 4.303636

NODE 37 0.000000 0.000000 4.530909
NODE 38 0.000000 0.000000 4.758182
NODE 39 0.000000 0.000000 4.985455
NODE 40 0.000000 0.000000 5.212727
NODE 41 0.000000 0.000000 5.440000
NODE 42 0.000000 0.000000 5.667273
NODE 43 0.000000 0.000000 5.894545
NODE 44 0.000000 0.000000 6.121818
NODE 45 0.000000 0.000000 6.349091
NODE 46 0.000000 0.000000 6.576364
NODE 47 0.000000 0.000000 6.803636
NODE 48 0.000000 0.000000 7.030909
NODE 49 0.000000 0.000000 7.258182
NODE 50 0.000000 0.000000 7.485455
NODE 51 0.000000 0.266250 8.026875
NODE 52 0.000000 0.532500 8.053750
NODE 53 0.000000 0.798750 8.080625
NODE 54 0.000000 1.065000 8.107500
NODE 55 0.000000 1.331250 8.134375
NODE 56 0.000000 1.597500 8.161250
NODE 57 0.000000 1.863750 8.188125
NODE 58 0.000000 2.130000 8.215000
NODE 59 0.000000 2.396250 8.241875
NODE 60 0.000000 2.662500 8.268750
NODE 61 0.000000 2.928750 8.295625
NODE 62 0.000000 3.195000 8.322500
NODE 63 0.000000 3.461250 8.349375
NODE 64 0.000000 3.727500 8.376250
NODE 65 0.000000 3.993750 8.403125
NODE 66 0.000000 4.260000 8.430000
NODE 67 0.000000 4.526250 8.456875
NODE 68 0.000000 4.792500 8.483750
NODE 69 0.000000 5.058750 8.510625
NODE 70 0.000000 5.325000 8.537500
NODE 71 0.000000 5.591250 8.564375
NODE 72 0.000000 5.857500 8.591250
NODE 73 0.000000 6.123750 8.618125
NODE 74 0.000000 6.390000 8.645000
NODE 75 0.000000 6.656250 8.671875
NODE 76 0.000000 6.922500 8.698750
NODE 77 0.000000 7.188750 8.725625
NODE 78 0.000000 7.455000 8.752500
NODE 79 0.000000 7.721250 8.779375
NODE 80 0.000000 7.987500 8.806250
NODE 81 0.000000 8.253750 8.833125
NODE 82 0.000000 8.520000 8.860000
NODE 83 0.000000 8.786250 8.886875
NODE 84 0.000000 9.052500 8.913750
NODE 85 0.000000 9.318750 8.940625
NODE 86 0.000000 9.585000 8.967500
NODE 87 0.000000 9.851250 8.994375
NODE 88 0.000000 10.117500 9.021250
NODE 89 0.000000 10.383750 9.048125
NODE 90 0.000000 10.650000 9.075000
NODE 91 0.000000 10.916250 9.101875
NODE 92 0.000000 11.182500 9.128750
NODE 93 0.000000 11.448750 9.155625
NODE 94 0.000000 11.715000 9.182500
NODE 95 0.000000 11.981250 9.209375
NODE 96 0.000000 12.247500 9.236250
NODE 97 0.000000 12.513750 9.263125
NODE 98 0.000000 12.780000 9.290000
NODE 99 0.000000 13.046250 9.316875
NODE 100 0.000000 13.312500 9.343750
NODE 101 0.000000 13.578750 9.370625
NODE 102 0.000000 13.845000 9.397500

NODE 103 0.000000 14.630000 9.035000
NODE 104 0.000000 14.896250 9.008125
NODE 105 0.000000 15.162500 8.981250
NODE 106 0.000000 15.428750 8.954375
NODE 107 0.000000 15.695000 8.927500
NODE 108 0.000000 15.961250 8.900625
NODE 109 0.000000 16.227500 8.873750
NODE 110 0.000000 16.493750 8.846875
NODE 111 0.000000 17.020625 8.795625
NODE 112 0.000000 17.281250 8.771250
NODE 113 0.000000 17.541875 8.746875
NODE 114 0.000000 17.802500 8.722500
NODE 115 0.000000 18.063125 8.698125
NODE 116 0.000000 18.323750 8.673750
NODE 117 0.000000 18.584375 8.649375
NODE 118 0.000000 18.845000 8.625000
NODE 119 0.000000 19.105625 8.600625
NODE 120 0.000000 19.366250 8.576250
NODE 121 0.000000 19.626875 8.551875
NODE 122 0.000000 19.887500 8.527500
NODE 123 0.000000 20.148125 8.503125
NODE 124 0.000000 20.408750 8.478750
NODE 125 0.000000 20.669375 8.454375
NODE 126 0.000000 21.184375 8.403125
NODE 127 0.000000 21.438750 8.376250
NODE 128 0.000000 21.693125 8.349375
NODE 129 0.000000 21.947500 8.322500
NODE 130 0.000000 22.201875 8.295625
NODE 131 0.000000 22.456250 8.268750
NODE 132 0.000000 22.710625 8.241875
NODE 133 0.000000 22.965000 8.215000
NODE 134 0.000000 23.219375 8.188125
NODE 135 0.000000 23.473750 8.161250
NODE 136 0.000000 23.728125 8.134375
NODE 137 0.000000 23.982500 8.107500
NODE 138 0.000000 24.236875 8.080625
NODE 139 0.000000 24.491250 8.053750
NODE 140 0.000000 24.745625 8.026875
NODE 141 0.000000 25.000000 7.999375
NODE 142 0.000000 25.000000 7.500000
NODE 143 0.000000 25.000000 7.250000
NODE 144 0.000000 25.000000 7.000000
NODE 145 0.000000 25.000000 6.750000
NODE 146 0.000000 25.000000 6.500000
NODE 147 0.000000 25.000000 6.250000
NODE 148 0.000000 25.000000 6.000000
NODE 149 0.000000 25.000000 5.750000
NODE 150 0.000000 25.000000 5.500000
NODE 151 0.000000 25.000000 5.250000
NODE 152 0.000000 25.000000 5.000000
NODE 153 0.000000 25.000000 4.750000
NODE 154 0.000000 25.000000 4.500000
NODE 155 0.000000 25.000000 4.250000
NODE 156 0.000000 25.000000 4.000000
NODE 157 0.000000 25.000000 3.750000
NODE 158 0.000000 25.000000 3.500000
NODE 159 0.000000 25.000000 3.250000
NODE 160 0.000000 25.000000 3.000000
NODE 161 0.000000 25.000000 2.750000
NODE 162 0.000000 25.000000 2.500000
NODE 163 0.000000 25.000000 2.250000
NODE 164 0.000000 25.000000 2.000000
NODE 165 0.000000 25.000000 1.750000
NODE 166 0.000000 25.000000 1.500000
NODE 167 0.000000 25.000000 1.250000
NODE 168 0.000000 25.000000 1.000000

NODE 169 0.000000 25.000000 0.750000
NODE 170 0.000000 25.000000 0.500000
NODE 171 0.000000 25.000000 0.250000
NODE 172 0.000000 25.266250 8.026875
NODE 173 0.000000 25.532500 8.053750
NODE 174 0.000000 25.798750 8.080625
NODE 175 0.000000 26.065000 8.107500
NODE 176 0.000000 26.331250 8.134375
NODE 177 0.000000 26.597500 8.161250
NODE 178 0.000000 26.863750 8.188125
NODE 179 0.000000 27.130000 8.215000
NODE 180 0.000000 27.396250 8.241875
NODE 181 0.000000 27.662500 8.268750
NODE 182 0.000000 27.928750 8.295625
NODE 183 0.000000 28.195000 8.322500
NODE 184 0.000000 28.461250 8.349375
NODE 185 0.000000 28.727500 8.376250
NODE 186 0.000000 28.993750 8.403125
NODE 187 0.000000 29.260000 8.430000
NODE 188 0.000000 29.526250 8.456875
NODE 189 0.000000 30.041875 8.503125
NODE 190 0.000000 30.302500 8.527500
NODE 191 0.000000 30.563125 8.551875
NODE 192 0.000000 30.823750 8.576250
NODE 193 0.000000 31.084375 8.600625
NODE 194 0.000000 31.345000 8.625000
NODE 195 0.000000 31.605625 8.649375
NODE 196 0.000000 31.866250 8.673750
NODE 197 0.000000 32.126875 8.698125
NODE 198 0.000000 32.387500 8.722500
NODE 199 0.000000 32.648125 8.746875
NODE 200 0.000000 32.908750 8.771250
NODE 201 0.000000 33.169375 8.795625
NODE 202 0.000000 33.430000 8.819375
NODE 203 0.000000 33.690625 8.843750
NODE 204 0.000000 33.951250 8.868125
NODE 205 0.000000 34.211875 8.892500
NODE 206 0.000000 34.472500 8.916875
NODE 207 0.000000 34.733125 8.941250
NODE 208 0.000000 35.210625 9.008125
NODE 209 0.000000 35.465000 9.035000
NODE 210 0.000000 35.719375 9.061875
NODE 211 0.000000 35.973750 9.088750
NODE 212 0.000000 36.228125 9.115625
NODE 213 0.000000 36.482500 9.142500
NODE 214 0.000000 36.736875 9.169375
NODE 215 0.000000 36.991250 9.196250
NODE 216 0.000000 37.245625 9.223125
NODE 217 0.000000 37.500000 9.250000
NODE 218 0.000000 38.032500 9.296250
NODE 219 0.000000 38.298750 9.342500
NODE 220 0.000000 38.565000 9.388750
NODE 221 0.000000 38.831250 9.435000
NODE 222 0.000000 39.097500 9.481250
NODE 223 0.000000 39.363750 9.527500
NODE 224 0.000000 39.630000 9.573750
NODE 225 0.000000 39.896250 9.620000
NODE 226 0.000000 40.162500 9.666250
NODE 227 0.000000 40.428750 9.712500
NODE 228 0.000000 40.695000 9.758750
NODE 229 0.000000 40.961250 9.805000
NODE 230 0.000000 41.227500 9.851250
NODE 231 0.000000 41.493750 9.897500
NODE 232 0.000000 42.020625 9.993750
NODE 233 0.000000 42.281250 8.771250
NODE 234 0.000000 42.541875 8.746875

NODE 235 0.000000 42.802500 8.722500
NODE 236 0.000000 43.063125 8.698125
NODE 237 0.000000 43.323750 8.673750
NODE 238 0.000000 43.584375 8.649375
NODE 239 0.000000 43.845000 8.625000
NODE 240 0.000000 44.105625 8.600625
NODE 241 0.000000 44.366250 8.576250
NODE 242 0.000000 44.626875 8.551875
NODE 243 0.000000 44.887500 8.527500
NODE 244 0.000000 45.148125 8.503125
NODE 245 0.000000 45.408750 8.478750
NODE 246 0.000000 45.669375 8.454375
NODE 247 0.000000 46.184375 8.403125
NODE 248 0.000000 46.438750 8.376250
NODE 249 0.000000 46.693125 8.349375
NODE 250 0.000000 46.947500 8.322500
NODE 251 0.000000 47.201875 8.295625
NODE 252 0.000000 47.456250 8.268750
NODE 253 0.000000 47.710625 8.241875
NODE 254 0.000000 47.965000 8.215000
NODE 255 0.000000 48.219375 8.188125
NODE 256 0.000000 48.473750 8.161250
NODE 257 0.000000 48.728125 8.134375
NODE 258 0.000000 48.982500 8.107500
NODE 259 0.000000 49.236875 8.080625
NODE 260 0.000000 49.491250 8.053750
NODE 261 0.000000 49.745625 8.026875
NODE 262 0.000000 50.000000 7.767273
NODE 263 0.000000 50.000000 7.534545
NODE 264 0.000000 50.000000 7.301818
NODE 265 0.000000 50.000000 7.069091
NODE 266 0.000000 50.000000 6.836364
NODE 267 0.000000 50.000000 6.603636
NODE 268 0.000000 50.000000 6.370909
NODE 269 0.000000 50.000000 6.138182
NODE 270 0.000000 50.000000 5.905455
NODE 271 0.000000 50.000000 5.672727
NODE 272 0.000000 50.000000 5.212727
NODE 273 0.000000 50.000000 4.985455
NODE 274 0.000000 50.000000 4.758182
NODE 275 0.000000 50.000000 4.530909
NODE 276 0.000000 50.000000 4.303636
NODE 277 0.000000 50.000000 4.076364
NODE 278 0.000000 50.000000 3.849091
NODE 279 0.000000 50.000000 3.621818
NODE 280 0.000000 50.000000 3.394545
NODE 281 0.000000 50.000000 3.167273
NODE 282 0.000000 50.000000 2.672727
NODE 283 0.000000 50.000000 2.405455
NODE 284 0.000000 50.000000 2.138182
NODE 285 0.000000 50.000000 1.870909
NODE 286 0.000000 50.000000 1.603636
NODE 287 0.000000 50.000000 1.336364
NODE 288 0.000000 50.000000 1.069091
NODE 289 0.000000 50.000000 0.801818
NODE 290 0.000000 50.000000 0.534545
NODE 291 0.000000 50.000000 0.267273
NODE 292 0.000000 0.000000 0.133636
NODE 293 0.000000 -1.000000 0.133636
NODE 294 0.000000 0.000000 0.400909
NODE 295 0.000000 0.000000 0.668182
NODE 296 0.000000 0.000000 0.935455
NODE 297 0.000000 0.000000 1.202727
NODE 298 0.000000 0.000000 1.470000
NODE 299 0.000000 0.000000 1.737273
NODE 300 0.000000 0.000000 2.004545

NODE 301 0.000000 0.000000 2.271818
NODE 302 0.000000 0.000000 2.539091
NODE 303 0.000000 0.000000 2.806364
NODE 304 0.000000 0.000000 3.053636
NODE 305 0.000000 -1.000000 3.053636
NODE 306 0.000000 0.000000 3.280909
NODE 307 0.000000 0.000000 3.508182
NODE 308 0.000000 0.000000 3.735455
NODE 309 0.000000 0.000000 3.962727
NODE 310 0.000000 0.000000 4.190000
NODE 311 0.000000 0.000000 4.417273
NODE 312 0.000000 0.000000 4.644545
NODE 313 0.000000 0.000000 4.871818
NODE 314 0.000000 0.000000 5.099091
NODE 315 0.000000 0.000000 5.326364
NODE 316 0.000000 0.000000 5.553636
NODE 317 0.000000 -1.000000 5.553636
NODE 318 0.000000 0.000000 5.780909
NODE 319 0.000000 0.000000 6.021818
NODE 320 0.000000 0.000000 6.254545
NODE 321 0.000000 0.000000 6.487273
NODE 322 0.000000 0.000000 6.720000
NODE 323 0.000000 0.000000 6.952727
NODE 324 0.000000 0.000000 7.185455
NODE 325 0.000000 0.000000 7.418182
NODE 326 0.000000 0.000000 7.650909
NODE 327 0.000000 0.000000 7.883636
NODE 328 0.000000 0.133125 8.013438
NODE 329 0.000000 0.033204 9.003352
NODE 330 0.000000 0.399375 8.040313
NODE 331 0.000000 0.665625 8.067187
NODE 332 0.000000 0.931875 8.094062
NODE 333 0.000000 1.198125 8.120938
NODE 334 0.000000 1.464375 8.147813
NODE 335 0.000000 1.730625 8.174688
NODE 336 0.000000 1.996875 8.201562
NODE 337 0.000000 2.263125 8.228438
NODE 338 0.000000 2.529375 8.255313
NODE 339 0.000000 2.795625 8.282187
NODE 340 0.000000 3.061875 8.309062
NODE 341 0.000000 3.328125 8.335938
NODE 342 0.000000 3.594375 8.362813
NODE 343 0.000000 3.860625 8.389688
NODE 344 0.000000 4.126875 8.416562
NODE 345 0.000000 4.393125 8.442187
NODE 346 0.000000 4.297598 9.433516
NODE 347 0.000000 4.650938 8.466563
NODE 348 0.000000 4.911563 8.490938
NODE 349 0.000000 5.172188 8.515313
NODE 350 0.000000 5.432813 8.539687
NODE 351 0.000000 5.693438 8.564063
NODE 352 0.000000 5.954063 8.588438
NODE 353 0.000000 6.214688 8.612813
NODE 354 0.000000 6.475313 8.637187
NODE 355 0.000000 6.735938 8.661563
NODE 356 0.000000 6.996563 8.685938
NODE 357 0.000000 7.257188 8.710313
NODE 358 0.000000 7.517813 8.734687
NODE 359 0.000000 7.778438 8.759063
NODE 360 0.000000 8.039062 8.783438
NODE 361 0.000000 8.299688 8.807813
NODE 362 0.000000 8.557188 8.833438
NODE 363 0.000000 8.452703 9.822399
NODE 364 0.000000 8.811563 8.860313
NODE 365 0.000000 9.065938 8.887187
NODE 366 0.000000 9.320313 8.914062

NODE 367 0.000000 9.574688 8.940938
NODE 368 0.000000 9.829063 8.967813
NODE 369 0.000000 10.083438 8.994688
NODE 370 0.000000 10.337813 9.021562
NODE 371 0.000000 10.592188 9.048438
NODE 372 0.000000 10.846563 9.075313
NODE 373 0.000000 11.100938 9.102187
NODE 374 0.000000 11.355313 9.129062
NODE 375 0.000000 11.609687 9.155938
NODE 376 0.000000 11.864063 9.182813
NODE 377 0.000000 12.118438 9.209688
NODE 378 0.000000 12.372813 9.236562
NODE 379 0.000000 12.633125 9.263562
NODE 380 0.000000 12.733046 10.226477
NODE 381 0.000000 12.899375 9.209687
NODE 382 0.000000 13.165625 9.182813
NODE 383 0.000000 13.431875 9.155938
NODE 384 0.000000 13.698125 9.129062
NODE 385 0.000000 13.964375 9.102187
NODE 386 0.000000 14.230625 9.075312
NODE 387 0.000000 14.496875 9.048438
NODE 388 0.000000 14.763125 9.021562
NODE 389 0.000000 15.029375 8.994687
NODE 390 0.000000 15.295625 8.967813
NODE 391 0.000000 15.561875 8.940938
NODE 392 0.000000 15.828125 8.914062
NODE 393 0.000000 16.094375 8.887187
NODE 394 0.000000 16.360625 8.860312
NODE 395 0.000000 16.626875 8.833438
NODE 396 0.000000 16.890313 8.807813
NODE 397 0.000000 16.983027 9.799141
NODE 398 0.000000 17.150938 8.783437
NODE 399 0.000000 17.411563 8.759062
NODE 400 0.000000 17.672188 8.734687
NODE 401 0.000000 17.932813 8.710313
NODE 402 0.000000 18.193438 8.685937
NODE 403 0.000000 18.454063 8.661562
NODE 404 0.000000 18.714688 8.637187
NODE 405 0.000000 18.975313 8.612813
NODE 406 0.000000 19.235938 8.588437
NODE 407 0.000000 19.496563 8.564062
NODE 408 0.000000 19.757188 8.539687
NODE 409 0.000000 20.017813 8.515313
NODE 410 0.000000 20.278438 8.490937
NODE 411 0.000000 20.539062 8.466562
NODE 412 0.000000 20.799687 8.442187
NODE 413 0.000000 21.057187 8.416562
NODE 414 0.000000 21.161672 9.405524
NODE 415 0.000000 21.311563 8.389687
NODE 416 0.000000 21.565938 8.362813
NODE 417 0.000000 21.820312 8.335938
NODE 418 0.000000 22.074688 8.309062
NODE 419 0.000000 22.329062 8.282187
NODE 420 0.000000 22.583438 8.255312
NODE 421 0.000000 22.837813 8.228438
NODE 422 0.000000 23.092188 8.201562
NODE 423 0.000000 23.346563 8.174687
NODE 424 0.000000 23.600938 8.147813
NODE 425 0.000000 23.855313 8.120938
NODE 426 0.000000 24.109687 8.094062
NODE 427 0.000000 24.364063 8.067187
NODE 428 0.000000 24.618437 8.040312
NODE 429 0.000000 24.872813 8.013438
NODE 430 0.000000 25.000000 7.875000
NODE 431 0.000000 26.000000 7.875000
NODE 432 0.000000 25.000000 7.625000

NODE 433 0.000000 25.000000 7.375000
NODE 434 0.000000 25.000000 7.125000
NODE 435 0.000000 25.000000 6.875000
NODE 436 0.000000 25.000000 6.625000
NODE 437 0.000000 25.000000 6.375000
NODE 438 0.000000 25.000000 6.125000
NODE 439 0.000000 25.000000 5.875000
NODE 440 0.000000 25.000000 5.625000
NODE 441 0.000000 25.000000 5.375000
NODE 442 0.000000 25.000000 5.125000
NODE 443 0.000000 25.000000 4.875000
NODE 444 0.000000 25.000000 4.625000
NODE 445 0.000000 25.000000 4.375000
NODE 446 0.000000 25.000000 4.125000
NODE 447 0.000000 25.000000 3.875000
NODE 448 0.000000 25.000000 3.625000
NODE 449 0.000000 25.000000 3.375000
NODE 450 0.000000 25.000000 3.125000
NODE 451 0.000000 25.000000 2.875000
NODE 452 0.000000 25.000000 2.625000
NODE 453 0.000000 25.000000 2.375000
NODE 454 0.000000 25.000000 2.125000
NODE 455 0.000000 25.000000 1.875000
NODE 456 0.000000 25.000000 1.625000
NODE 457 0.000000 25.000000 1.375000
NODE 458 0.000000 25.000000 1.125000
NODE 459 0.000000 25.000000 0.875000
NODE 460 0.000000 25.000000 0.625000
NODE 461 0.000000 25.000000 0.375000
NODE 462 0.000000 25.000000 0.125000
NODE 463 0.000000 25.133125 8.013438
NODE 464 0.000000 25.033204 9.003352
NODE 465 0.000000 25.399375 8.040313
NODE 466 0.000000 25.665625 8.067187
NODE 467 0.000000 25.931875 8.094062
NODE 468 0.000000 26.198125 8.120938
NODE 469 0.000000 26.464375 8.147813
NODE 470 0.000000 26.730625 8.174688
NODE 471 0.000000 26.996875 8.201562
NODE 472 0.000000 27.263125 8.228438
NODE 473 0.000000 27.529375 8.255313
NODE 474 0.000000 27.795625 8.282187
NODE 475 0.000000 28.061875 8.309062
NODE 476 0.000000 28.328125 8.335938
NODE 477 0.000000 28.594375 8.362813
NODE 478 0.000000 28.860625 8.389688
NODE 479 0.000000 29.126875 8.416562
NODE 480 0.000000 29.390313 8.442187
NODE 481 0.000000 29.297598 9.433516
NODE 482 0.000000 29.650938 8.466563
NODE 483 0.000000 29.911563 8.490938
NODE 484 0.000000 30.172188 8.515313
NODE 485 0.000000 30.432813 8.539687
NODE 486 0.000000 30.693438 8.564063
NODE 487 0.000000 30.954063 8.588438
NODE 488 0.000000 31.214688 8.612813
NODE 489 0.000000 31.475313 8.637187
NODE 490 0.000000 31.735938 8.661563
NODE 491 0.000000 31.996563 8.685938
NODE 492 0.000000 32.257188 8.710313
NODE 493 0.000000 32.517813 8.734687
NODE 494 0.000000 32.778437 8.759063
NODE 495 0.000000 33.039062 8.783438
NODE 496 0.000000 33.299688 8.807813
NODE 497 0.000000 33.557187 8.833438
NODE 498 0.000000 33.452703 9.822399

NODE 499 0.000000 33.811563 8.860313
NODE 500 0.000000 34.065938 8.887187
NODE 501 0.000000 34.320312 8.914062
NODE 502 0.000000 34.574688 8.940938
NODE 503 0.000000 34.829063 8.967813
NODE 504 0.000000 35.083438 8.994688
NODE 505 0.000000 35.337812 9.021562
NODE 506 0.000000 35.592188 9.048438
NODE 507 0.000000 35.846563 9.075313
NODE 508 0.000000 36.100938 9.102187
NODE 509 0.000000 36.355312 9.129062
NODE 510 0.000000 36.609687 9.155938
NODE 511 0.000000 36.864063 9.182813
NODE 512 0.000000 37.118437 9.209688
NODE 513 0.000000 37.372813 9.236562
NODE 514 0.000000 37.633125 9.263438
NODE 515 0.000000 37.733046 10.226477
NODE 516 0.000000 37.899375 9.209687
NODE 517 0.000000 38.165625 9.182813
NODE 518 0.000000 38.431875 9.155938
NODE 519 0.000000 38.698125 9.129062
NODE 520 0.000000 38.964375 9.102187
NODE 521 0.000000 39.230625 9.075312
NODE 522 0.000000 39.496875 9.048438
NODE 523 0.000000 39.763125 9.021562
NODE 524 0.000000 40.029375 8.994687
NODE 525 0.000000 40.295625 8.967813
NODE 526 0.000000 40.561875 8.940938
NODE 527 0.000000 40.828125 8.914062
NODE 528 0.000000 41.094375 8.887187
NODE 529 0.000000 41.360625 8.860312
NODE 530 0.000000 41.626875 8.833438
NODE 531 0.000000 41.890312 8.807813
NODE 532 0.000000 41.983027 9.799141
NODE 533 0.000000 42.150937 8.783438
NODE 534 0.000000 42.411563 8.759063
NODE 535 0.000000 42.672187 8.734687
NODE 536 0.000000 42.932812 8.710313
NODE 537 0.000000 43.193438 8.685938
NODE 538 0.000000 43.454062 8.661563
NODE 539 0.000000 43.714687 8.637187
NODE 540 0.000000 43.975313 8.612813
NODE 541 0.000000 44.235937 8.588438
NODE 542 0.000000 44.496562 8.564063
NODE 543 0.000000 44.757188 8.539687
NODE 544 0.000000 45.017812 8.515313
NODE 545 0.000000 45.278437 8.490938
NODE 546 0.000000 45.539062 8.466563
NODE 547 0.000000 45.799688 8.442187
NODE 548 0.000000 46.057187 8.416562
NODE 549 0.000000 46.161672 9.405524
NODE 550 0.000000 46.311563 8.389687
NODE 551 0.000000 46.565938 8.362813
NODE 552 0.000000 46.820312 8.335938
NODE 553 0.000000 47.074688 8.309062
NODE 554 0.000000 47.329063 8.282187
NODE 555 0.000000 47.583438 8.255312
NODE 556 0.000000 47.837812 8.228438
NODE 557 0.000000 48.092188 8.201562
NODE 558 0.000000 48.346563 8.174687
NODE 559 0.000000 48.600938 8.147813
NODE 560 0.000000 48.855312 8.120938
NODE 561 0.000000 49.109687 8.094062
NODE 562 0.000000 49.364063 8.067187
NODE 563 0.000000 49.618437 8.040312
NODE 564 0.000000 49.872813 8.013438

NODE 565 0.000000 50.000000 7.883636
NODE 566 0.000000 51.000000 7.883636
NODE 567 0.000000 50.000000 7.650909
NODE 568 0.000000 50.000000 7.418182
NODE 569 0.000000 50.000000 7.185455
NODE 570 0.000000 50.000000 6.952727
NODE 571 0.000000 50.000000 6.720000
NODE 572 0.000000 50.000000 6.487273
NODE 573 0.000000 50.000000 6.254545
NODE 574 0.000000 50.000000 6.021818
NODE 575 0.000000 50.000000 5.789091
NODE 576 0.000000 50.000000 5.556364
NODE 577 0.000000 50.000000 5.323636
NODE 578 0.000000 51.000000 5.323636
NODE 579 0.000000 50.000000 5.099091
NODE 580 0.000000 50.000000 4.871818
NODE 581 0.000000 50.000000 4.644545
NODE 582 0.000000 50.000000 4.417273
NODE 583 0.000000 50.000000 4.190000
NODE 584 0.000000 50.000000 3.962727
NODE 585 0.000000 50.000000 3.735455
NODE 586 0.000000 50.000000 3.508182
NODE 587 0.000000 50.000000 3.280909
NODE 588 0.000000 50.000000 3.053636
NODE 589 0.000000 50.000000 2.806364
NODE 590 0.000000 51.000000 2.806364
NODE 591 0.000000 50.000000 2.539091
NODE 592 0.000000 50.000000 2.271818
NODE 593 0.000000 50.000000 2.004545
NODE 594 0.000000 50.000000 1.737273
NODE 595 0.000000 50.000000 1.470000
NODE 596 0.000000 50.000000 1.202727
NODE 597 0.000000 50.000000 0.935455
NODE 598 0.000000 50.000000 0.668182
NODE 599 0.000000 50.000000 0.400909
NODE 600 0.000000 50.000000 0.133636
FIXATIONS
BLOCK 1 F0 F0 F0 F0 F0 F0
BLOCK 11 F0 F0 F0 F0 F0 F0
BLOCK 20 F0 F0 F0 F0 F0 F0
END_FIX
NODOFBEAM
IPecp3C.TEM
TRANSLATE 1 1
TRANSLATE 2 2
TRANSLATE 3 3
END_TRANS
IPEsp3C.TEM
TRANSLATE 1 2
TRANSLATE 2 3
END_TRANS
IPEsp4C.TEM
TRANSLATE 1 2
TRANSLATE 2 3
END_TRANS
ELEM 1 1 292 21 293 1
ELEM 2 21 294 22 293 1
ELEM 3 22 295 23 293 1
ELEM 4 23 296 24 293 1
ELEM 5 24 297 25 293 1
ELEM 6 25 298 26 293 1
ELEM 7 26 299 27 293 1
ELEM 8 27 300 28 293 1
ELEM 9 28 301 29 293 1
ELEM 10 29 302 30 293 1
ELEM 11 30 303 2 293 1

ELEM 12 2 304 31 305 1
ELEM 13 31 306 32 305 1
ELEM 14 32 307 33 305 1
ELEM 15 33 308 34 305 1
ELEM 16 34 309 35 305 1
ELEM 17 35 310 36 305 1
ELEM 18 36 311 37 305 1
ELEM 19 37 312 38 305 1
ELEM 20 38 313 39 305 1
ELEM 21 39 314 40 305 1
ELEM 22 40 315 3 305 1
ELEM 23 3 316 41 317 1
ELEM 24 41 318 42 317 1
ELEM 25 42 319 43 317 1
ELEM 26 43 320 44 317 1
ELEM 27 44 321 45 317 1
ELEM 28 45 322 46 317 1
ELEM 29 46 323 47 317 1
ELEM 30 47 324 48 317 1
ELEM 31 48 325 49 317 1
ELEM 32 49 326 50 317 1
ELEM 33 50 327 4 317 1
ELEM 34 4 328 51 329 2
ELEM 35 51 330 52 329 2
ELEM 36 52 331 53 329 2
ELEM 37 53 332 54 329 2
ELEM 38 54 333 55 329 2
ELEM 39 55 334 56 329 2
ELEM 40 56 335 57 329 2
ELEM 41 57 336 58 329 2
ELEM 42 58 337 59 329 2
ELEM 43 59 338 60 329 2
ELEM 44 60 339 61 329 2
ELEM 45 61 340 62 329 2
ELEM 46 62 341 63 329 2
ELEM 47 63 342 64 329 2
ELEM 48 64 343 65 329 2
ELEM 49 65 344 5 329 2
ELEM 50 5 345 66 346 2
ELEM 51 66 347 67 346 2
ELEM 52 67 348 68 346 2
ELEM 53 68 349 69 346 2
ELEM 54 69 350 70 346 2
ELEM 55 70 351 71 346 2
ELEM 56 71 352 72 346 2
ELEM 57 72 353 73 346 2
ELEM 58 73 354 74 346 2
ELEM 59 74 355 75 346 2
ELEM 60 75 356 76 346 2
ELEM 61 76 357 77 346 2
ELEM 62 77 358 78 346 2
ELEM 63 78 359 79 346 2
ELEM 64 79 360 80 346 2
ELEM 65 80 361 6 346 2
ELEM 66 6 362 81 363 2
ELEM 67 81 364 82 363 2
ELEM 68 82 365 83 363 2
ELEM 69 83 366 84 363 2
ELEM 70 84 367 85 363 2
ELEM 71 85 368 86 363 2
ELEM 72 86 369 87 363 2
ELEM 73 87 370 88 363 2
ELEM 74 88 371 89 363 2
ELEM 75 89 372 90 363 2
ELEM 76 90 373 91 363 2
ELEM 77 91 374 92 363 2

ELEM 78 92 375 93 363 2
ELEM 79 93 376 94 363 2
ELEM 80 94 377 95 363 2
ELEM 81 95 378 7 363 2
ELEM 82 7 379 96 380 2
ELEM 83 96 381 97 380 2
ELEM 84 97 382 98 380 2
ELEM 85 98 383 99 380 2
ELEM 86 99 384 100 380 2
ELEM 87 100 385 101 380 2
ELEM 88 101 386 102 380 2
ELEM 89 102 387 103 380 2
ELEM 90 103 388 104 380 2
ELEM 91 104 389 105 380 2
ELEM 92 105 390 106 380 2
ELEM 93 106 391 107 380 2
ELEM 94 107 392 108 380 2
ELEM 95 108 393 109 380 2
ELEM 96 109 394 110 380 2
ELEM 97 110 395 8 380 2
ELEM 98 8 396 111 397 2
ELEM 99 111 398 112 397 2
ELEM 100 112 399 113 397 2
ELEM 101 113 400 114 397 2
ELEM 102 114 401 115 397 2
ELEM 103 115 402 116 397 2
ELEM 104 116 403 117 397 2
ELEM 105 117 404 118 397 2
ELEM 106 118 405 119 397 2
ELEM 107 119 406 120 397 2
ELEM 108 120 407 121 397 2
ELEM 109 121 408 122 397 2
ELEM 110 122 409 123 397 2
ELEM 111 123 410 124 397 2
ELEM 112 124 411 125 397 2
ELEM 113 125 412 9 397 2
ELEM 114 9 413 126 414 2
ELEM 115 126 415 127 414 2
ELEM 116 127 416 128 414 2
ELEM 117 128 417 129 414 2
ELEM 118 129 418 130 414 2
ELEM 119 130 419 131 414 2
ELEM 120 131 420 132 414 2
ELEM 121 132 421 133 414 2
ELEM 122 133 422 134 414 2
ELEM 123 134 423 135 414 2
ELEM 124 135 424 136 414 2
ELEM 125 136 425 137 414 2
ELEM 126 137 426 138 414 2
ELEM 127 138 427 139 414 2
ELEM 128 139 428 140 414 2
ELEM 129 140 429 10 414 2
ELEM 130 10 430 141 431 3
ELEM 131 141 432 142 431 3
ELEM 132 142 433 143 431 3
ELEM 133 143 434 144 431 3
ELEM 134 144 435 145 431 3
ELEM 135 145 436 146 431 3
ELEM 136 146 437 147 431 3
ELEM 137 147 438 148 431 3
ELEM 138 148 439 149 431 3
ELEM 139 149 440 150 431 3
ELEM 140 150 441 151 431 3
ELEM 141 151 442 152 431 3
ELEM 142 152 443 153 431 3
ELEM 143 153 444 154 431 3

ELEM 144 154 445 155 431 3
ELEM 145 155 446 156 431 3
ELEM 146 156 447 157 431 3
ELEM 147 157 448 158 431 3
ELEM 148 158 449 159 431 3
ELEM 149 159 450 160 431 3
ELEM 150 160 451 161 431 3
ELEM 151 161 452 162 431 3
ELEM 152 162 453 163 431 3
ELEM 153 163 454 164 431 3
ELEM 154 164 455 165 431 3
ELEM 155 165 456 166 431 3
ELEM 156 166 457 167 431 3
ELEM 157 167 458 168 431 3
ELEM 158 168 459 169 431 3
ELEM 159 169 460 170 431 3
ELEM 160 170 461 171 431 3
ELEM 161 171 462 11 431 3
ELEM 162 10 463 172 464 2
ELEM 163 172 465 173 464 2
ELEM 164 173 466 174 464 2
ELEM 165 174 467 175 464 2
ELEM 166 175 468 176 464 2
ELEM 167 176 469 177 464 2
ELEM 168 177 470 178 464 2
ELEM 169 178 471 179 464 2
ELEM 170 179 472 180 464 2
ELEM 171 180 473 181 464 2
ELEM 172 181 474 182 464 2
ELEM 173 182 475 183 464 2
ELEM 174 183 476 184 464 2
ELEM 175 184 477 185 464 2
ELEM 176 185 478 186 464 2
ELEM 177 186 479 12 464 2
ELEM 178 12 480 187 481 2
ELEM 179 187 482 188 481 2
ELEM 180 188 483 189 481 2
ELEM 181 189 484 190 481 2
ELEM 182 190 485 191 481 2
ELEM 183 191 486 192 481 2
ELEM 184 192 487 193 481 2
ELEM 185 193 488 194 481 2
ELEM 186 194 489 195 481 2
ELEM 187 195 490 196 481 2
ELEM 188 196 491 197 481 2
ELEM 189 197 492 198 481 2
ELEM 190 198 493 199 481 2
ELEM 191 199 494 200 481 2
ELEM 192 200 495 201 481 2
ELEM 193 201 496 13 481 2
ELEM 194 13 497 202 498 2
ELEM 195 202 499 203 498 2
ELEM 196 203 500 204 498 2
ELEM 197 204 501 205 498 2
ELEM 198 205 502 206 498 2
ELEM 199 206 503 207 498 2
ELEM 200 207 504 208 498 2
ELEM 201 208 505 209 498 2
ELEM 202 209 506 210 498 2
ELEM 203 210 507 211 498 2
ELEM 204 211 508 212 498 2
ELEM 205 212 509 213 498 2
ELEM 206 213 510 214 498 2
ELEM 207 214 511 215 498 2
ELEM 208 215 512 216 498 2
ELEM 209 216 513 14 498 2

ELEM 210 14 514 217 515 2
ELEM 211 217 516 218 515 2
ELEM 212 218 517 219 515 2
ELEM 213 219 518 220 515 2
ELEM 214 220 519 221 515 2
ELEM 215 221 520 222 515 2
ELEM 216 222 521 223 515 2
ELEM 217 223 522 224 515 2
ELEM 218 224 523 225 515 2
ELEM 219 225 524 226 515 2
ELEM 220 226 525 227 515 2
ELEM 221 227 526 228 515 2
ELEM 222 228 527 229 515 2
ELEM 223 229 528 230 515 2
ELEM 224 230 529 231 515 2
ELEM 225 231 530 15 515 2
ELEM 226 15 531 232 532 2
ELEM 227 232 533 233 532 2
ELEM 228 233 534 234 532 2
ELEM 229 234 535 235 532 2
ELEM 230 235 536 236 532 2
ELEM 231 236 537 237 532 2
ELEM 232 237 538 238 532 2
ELEM 233 238 539 239 532 2
ELEM 234 239 540 240 532 2
ELEM 235 240 541 241 532 2
ELEM 236 241 542 242 532 2
ELEM 237 242 543 243 532 2
ELEM 238 243 544 244 532 2
ELEM 239 244 545 245 532 2
ELEM 240 245 546 246 532 2
ELEM 241 246 547 16 532 2
ELEM 242 16 548 247 549 2
ELEM 243 247 550 248 549 2
ELEM 244 248 551 249 549 2
ELEM 245 249 552 250 549 2
ELEM 246 250 553 251 549 2
ELEM 247 251 554 252 549 2
ELEM 248 252 555 253 549 2
ELEM 249 253 556 254 549 2
ELEM 250 254 557 255 549 2
ELEM 251 255 558 256 549 2
ELEM 252 256 559 257 549 2
ELEM 253 257 560 258 549 2
ELEM 254 258 561 259 549 2
ELEM 255 259 562 260 549 2
ELEM 256 260 563 261 549 2
ELEM 257 261 564 17 549 2
ELEM 258 17 565 262 566 1
ELEM 259 262 567 263 566 1
ELEM 260 263 568 264 566 1
ELEM 261 264 569 265 566 1
ELEM 262 265 570 266 566 1
ELEM 263 266 571 267 566 1
ELEM 264 267 572 268 566 1
ELEM 265 268 573 269 566 1
ELEM 266 269 574 270 566 1
ELEM 267 270 575 271 566 1
ELEM 268 271 576 18 566 1
ELEM 269 18 577 272 578 1
ELEM 270 272 579 273 578 1
ELEM 271 273 580 274 578 1
ELEM 272 274 581 275 578 1
ELEM 273 275 582 276 578 1
ELEM 274 276 583 277 578 1
ELEM 275 277 584 278 578 1

ELEM 276 278 585 279 578 1
ELEM 277 279 586 280 578 1
ELEM 278 280 587 281 578 1
ELEM 279 281 588 19 578 1
ELEM 280 19 589 282 590 1
ELEM 281 282 591 283 590 1
ELEM 282 283 592 284 590 1
ELEM 283 284 593 285 590 1
ELEM 284 285 594 286 590 1
ELEM 285 286 595 287 590 1
ELEM 286 287 596 288 590 1
ELEM 287 288 597 289 590 1
ELEM 288 289 598 290 590 1
ELEM 289 290 599 291 590 1
ELEM 290 291 600 20 590 1
PRECISION 0.001
LOADS
FUNCTION F1
NODELOAD 4 0.0 362.05 0.0 0.0 0.0 0.0
DISTRBEAM 1 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 2 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 3 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 4 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 5 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 6 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 7 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 8 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 9 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 10 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 11 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 12 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 13 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 14 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 15 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 16 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 17 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 18 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 19 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 20 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 21 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 22 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 23 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 24 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 25 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 26 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 27 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 28 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 29 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 30 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 31 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 32 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 33 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 34 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 35 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 36 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 37 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 38 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 39 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 40 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 41 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 42 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 43 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 44 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 45 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 46 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 47 0.0 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 48 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 49 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 50 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 51 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 52 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 53 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 54 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 55 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 56 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 57 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 58 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 59 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 60 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 61 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 62 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 63 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 64 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 65 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 66 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 67 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 68 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 69 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 70 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 71 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 72 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 73 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 74 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 75 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 76 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 77 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 78 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 79 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 80 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 81 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 82 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 83 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 84 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 85 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 86 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 87 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 88 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 89 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 90 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 91 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 92 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 93 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 94 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 95 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 96 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 97 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 98 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 99 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 100 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 101 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 102 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 103 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 104 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 105 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 106 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 107 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 108 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 109 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 110 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 111 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 112 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 113 0.0 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 114 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 115 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 116 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 117 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 118 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 119 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 120 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 121 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 122 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 123 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 124 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 125 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 126 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 127 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 128 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 129 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 162 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 163 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 164 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 165 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 166 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 167 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 168 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 169 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 170 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 171 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 172 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 173 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 174 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 175 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 176 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 177 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 178 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 179 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 180 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 181 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 182 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 183 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 184 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 185 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 186 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 187 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 188 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 189 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 190 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 191 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 192 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 193 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 194 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 195 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 196 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 197 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 198 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 199 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 200 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 201 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 202 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 203 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 204 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 205 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 206 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 207 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 208 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 209 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 210 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 211 0.0 0.0 -1852.25

DISTRBEAM 212 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 213 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 214 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 215 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 216 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 217 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 218 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 219 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 220 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 221 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 222 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 223 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 224 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 225 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 226 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 227 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 228 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 229 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 230 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 231 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 232 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 233 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 234 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 235 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 236 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 237 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 238 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 239 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 240 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 241 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 242 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 243 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 244 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 245 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 246 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 247 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 248 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 249 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 250 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 251 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 252 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 253 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 254 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 255 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 256 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 257 0.0 0.0 -1852.25
DISTRBEAM 258 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 259 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 260 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 261 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 262 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 263 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 264 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 265 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 266 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 267 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 268 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 269 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 270 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 271 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 272 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 273 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 274 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 275 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 276 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 277 0.0 0.0 -1000.0

DISTRBEAM 278 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 279 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 280 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 281 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 282 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 283 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 284 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 285 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 286 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 287 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 288 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 289 0.0 0.0 -1000.0
DISTRBEAM 290 0.0 0.0 -1000.0
END_LOAD
MASS
M_BEAM 1 100000.0 2.0
M_BEAM 2 100000.0 2.0
M_BEAM 3 100000.0 2.0
M_BEAM 4 100000.0 2.0
M_BEAM 5 100000.0 2.0
M_BEAM 6 100000.0 2.0
M_BEAM 7 100000.0 2.0
M_BEAM 8 100000.0 2.0
M_BEAM 9 100000.0 2.0
M_BEAM 10 100000.0 2.0
M_BEAM 11 100000.0 2.0
M_BEAM 12 100000.0 2.0
M_BEAM 13 100000.0 2.0
M_BEAM 14 100000.0 2.0
M_BEAM 15 100000.0 2.0
M_BEAM 16 100000.0 2.0
M_BEAM 17 100000.0 2.0
M_BEAM 18 100000.0 2.0
M_BEAM 19 100000.0 2.0
M_BEAM 20 100000.0 2.0
M_BEAM 21 100000.0 2.0
M_BEAM 22 100000.0 2.0
M_BEAM 23 100000.0 2.0
M_BEAM 24 100000.0 2.0
M_BEAM 25 100000.0 2.0
M_BEAM 26 100000.0 2.0
M_BEAM 27 100000.0 2.0
M_BEAM 28 100000.0 2.0
M_BEAM 29 100000.0 2.0
M_BEAM 30 100000.0 2.0
M_BEAM 31 100000.0 2.0
M_BEAM 32 100000.0 2.0
M_BEAM 33 100000.0 2.0
M_BEAM 34 100000.0 2.0
M_BEAM 35 100000.0 2.0
M_BEAM 36 100000.0 2.0
M_BEAM 37 100000.0 2.0
M_BEAM 38 100000.0 2.0
M_BEAM 39 100000.0 2.0
M_BEAM 40 100000.0 2.0
M_BEAM 41 100000.0 2.0
M_BEAM 42 100000.0 2.0
M_BEAM 43 100000.0 2.0
M_BEAM 44 100000.0 2.0
M_BEAM 45 100000.0 2.0
M_BEAM 46 100000.0 2.0
M_BEAM 47 100000.0 2.0
M_BEAM 48 100000.0 2.0
M_BEAM 49 100000.0 2.0
M_BEAM 50 100000.0 2.0
M_BEAM 51 100000.0 2.0

M_BEAM 52 100000.0 2.0
M_BEAM 53 100000.0 2.0
M_BEAM 54 100000.0 2.0
M_BEAM 55 100000.0 2.0
M_BEAM 56 100000.0 2.0
M_BEAM 57 100000.0 2.0
M_BEAM 58 100000.0 2.0
M_BEAM 59 100000.0 2.0
M_BEAM 60 100000.0 2.0
M_BEAM 61 100000.0 2.0
M_BEAM 62 100000.0 2.0
M_BEAM 63 100000.0 2.0
M_BEAM 64 100000.0 2.0
M_BEAM 65 100000.0 2.0
M_BEAM 66 100000.0 2.0
M_BEAM 67 100000.0 2.0
M_BEAM 68 100000.0 2.0
M_BEAM 69 100000.0 2.0
M_BEAM 70 100000.0 2.0
M_BEAM 71 100000.0 2.0
M_BEAM 72 100000.0 2.0
M_BEAM 73 100000.0 2.0
M_BEAM 74 100000.0 2.0
M_BEAM 75 100000.0 2.0
M_BEAM 76 100000.0 2.0
M_BEAM 77 100000.0 2.0
M_BEAM 78 100000.0 2.0
M_BEAM 79 100000.0 2.0
M_BEAM 80 100000.0 2.0
M_BEAM 81 100000.0 2.0
M_BEAM 82 100000.0 2.0
M_BEAM 83 100000.0 2.0
M_BEAM 84 100000.0 2.0
M_BEAM 85 100000.0 2.0
M_BEAM 86 100000.0 2.0
M_BEAM 87 100000.0 2.0
M_BEAM 88 100000.0 2.0
M_BEAM 89 100000.0 2.0
M_BEAM 90 100000.0 2.0
M_BEAM 91 100000.0 2.0
M_BEAM 92 100000.0 2.0
M_BEAM 93 100000.0 2.0
M_BEAM 94 100000.0 2.0
M_BEAM 95 100000.0 2.0
M_BEAM 96 100000.0 2.0
M_BEAM 97 100000.0 2.0
M_BEAM 98 100000.0 2.0
M_BEAM 99 100000.0 2.0
M_BEAM 100 100000.0 2.0
M_BEAM 101 100000.0 2.0
M_BEAM 102 100000.0 2.0
M_BEAM 103 100000.0 2.0
M_BEAM 104 100000.0 2.0
M_BEAM 105 100000.0 2.0
M_BEAM 106 100000.0 2.0
M_BEAM 107 100000.0 2.0
M_BEAM 108 100000.0 2.0
M_BEAM 109 100000.0 2.0
M_BEAM 110 100000.0 2.0
M_BEAM 111 100000.0 2.0
M_BEAM 112 100000.0 2.0
M_BEAM 113 100000.0 2.0
M_BEAM 114 100000.0 2.0
M_BEAM 115 100000.0 2.0
M_BEAM 116 100000.0 2.0
M_BEAM 117 100000.0 2.0

M_BEAM 118 100000.0 2.0
M_BEAM 119 100000.0 2.0
M_BEAM 120 100000.0 2.0
M_BEAM 121 100000.0 2.0
M_BEAM 122 100000.0 2.0
M_BEAM 123 100000.0 2.0
M_BEAM 124 100000.0 2.0
M_BEAM 125 100000.0 2.0
M_BEAM 126 100000.0 2.0
M_BEAM 127 100000.0 2.0
M_BEAM 128 100000.0 2.0
M_BEAM 129 100000.0 2.0
M_BEAM 130 100000.0 2.0
M_BEAM 131 100000.0 2.0
M_BEAM 132 100000.0 2.0
M_BEAM 133 100000.0 2.0
M_BEAM 134 100000.0 2.0
M_BEAM 135 100000.0 2.0
M_BEAM 136 100000.0 2.0
M_BEAM 137 100000.0 2.0
M_BEAM 138 100000.0 2.0
M_BEAM 139 100000.0 2.0
M_BEAM 140 100000.0 2.0
M_BEAM 141 100000.0 2.0
M_BEAM 142 100000.0 2.0
M_BEAM 143 100000.0 2.0
M_BEAM 144 100000.0 2.0
M_BEAM 145 100000.0 2.0
M_BEAM 146 100000.0 2.0
M_BEAM 147 100000.0 2.0
M_BEAM 148 100000.0 2.0
M_BEAM 149 100000.0 2.0
M_BEAM 150 100000.0 2.0
M_BEAM 151 100000.0 2.0
M_BEAM 152 100000.0 2.0
M_BEAM 153 100000.0 2.0
M_BEAM 154 100000.0 2.0
M_BEAM 155 100000.0 2.0
M_BEAM 156 100000.0 2.0
M_BEAM 157 100000.0 2.0
M_BEAM 158 100000.0 2.0
M_BEAM 159 100000.0 2.0
M_BEAM 160 100000.0 2.0
M_BEAM 161 100000.0 2.0
M_BEAM 162 100000.0 2.0
M_BEAM 163 100000.0 2.0
M_BEAM 164 100000.0 2.0
M_BEAM 165 100000.0 2.0
M_BEAM 166 100000.0 2.0
M_BEAM 167 100000.0 2.0
M_BEAM 168 100000.0 2.0
M_BEAM 169 100000.0 2.0
M_BEAM 170 100000.0 2.0
M_BEAM 171 100000.0 2.0
M_BEAM 172 100000.0 2.0
M_BEAM 173 100000.0 2.0
M_BEAM 174 100000.0 2.0
M_BEAM 175 100000.0 2.0
M_BEAM 176 100000.0 2.0
M_BEAM 177 100000.0 2.0
M_BEAM 178 100000.0 2.0
M_BEAM 179 100000.0 2.0
M_BEAM 180 100000.0 2.0
M_BEAM 181 100000.0 2.0
M_BEAM 182 100000.0 2.0
M_BEAM 183 100000.0 2.0

M_BEAM 184 100000.0 2.0
M_BEAM 185 100000.0 2.0
M_BEAM 186 100000.0 2.0
M_BEAM 187 100000.0 2.0
M_BEAM 188 100000.0 2.0
M_BEAM 189 100000.0 2.0
M_BEAM 190 100000.0 2.0
M_BEAM 191 100000.0 2.0
M_BEAM 192 100000.0 2.0
M_BEAM 193 100000.0 2.0
M_BEAM 194 100000.0 2.0
M_BEAM 195 100000.0 2.0
M_BEAM 196 100000.0 2.0
M_BEAM 197 100000.0 2.0
M_BEAM 198 100000.0 2.0
M_BEAM 199 100000.0 2.0
M_BEAM 200 100000.0 2.0
M_BEAM 201 100000.0 2.0
M_BEAM 202 100000.0 2.0
M_BEAM 203 100000.0 2.0
M_BEAM 204 100000.0 2.0
M_BEAM 205 100000.0 2.0
M_BEAM 206 100000.0 2.0
M_BEAM 207 100000.0 2.0
M_BEAM 208 100000.0 2.0
M_BEAM 209 100000.0 2.0
M_BEAM 210 100000.0 2.0
M_BEAM 211 100000.0 2.0
M_BEAM 212 100000.0 2.0
M_BEAM 213 100000.0 2.0
M_BEAM 214 100000.0 2.0
M_BEAM 215 100000.0 2.0
M_BEAM 216 100000.0 2.0
M_BEAM 217 100000.0 2.0
M_BEAM 218 100000.0 2.0
M_BEAM 219 100000.0 2.0
M_BEAM 220 100000.0 2.0
M_BEAM 221 100000.0 2.0
M_BEAM 222 100000.0 2.0
M_BEAM 223 100000.0 2.0
M_BEAM 224 100000.0 2.0
M_BEAM 225 100000.0 2.0
M_BEAM 226 100000.0 2.0
M_BEAM 227 100000.0 2.0
M_BEAM 228 100000.0 2.0
M_BEAM 229 100000.0 2.0
M_BEAM 230 100000.0 2.0
M_BEAM 231 100000.0 2.0
M_BEAM 232 100000.0 2.0
M_BEAM 233 100000.0 2.0
M_BEAM 234 100000.0 2.0
M_BEAM 235 100000.0 2.0
M_BEAM 236 100000.0 2.0
M_BEAM 237 100000.0 2.0
M_BEAM 238 100000.0 2.0
M_BEAM 239 100000.0 2.0
M_BEAM 240 100000.0 2.0
M_BEAM 241 100000.0 2.0
M_BEAM 242 100000.0 2.0
M_BEAM 243 100000.0 2.0
M_BEAM 244 100000.0 2.0
M_BEAM 245 100000.0 2.0
M_BEAM 246 100000.0 2.0
M_BEAM 247 100000.0 2.0
M_BEAM 248 100000.0 2.0
M_BEAM 249 100000.0 2.0

M_BEAM 250 100000.0 2.0
M_BEAM 251 100000.0 2.0
M_BEAM 252 100000.0 2.0
M_BEAM 253 100000.0 2.0
M_BEAM 254 100000.0 2.0
M_BEAM 255 100000.0 2.0
M_BEAM 256 100000.0 2.0
M_BEAM 257 100000.0 2.0
M_BEAM 258 100000.0 2.0
M_BEAM 259 100000.0 2.0
M_BEAM 260 100000.0 2.0
M_BEAM 261 100000.0 2.0
M_BEAM 262 100000.0 2.0
M_BEAM 263 100000.0 2.0
M_BEAM 264 100000.0 2.0
M_BEAM 265 100000.0 2.0
M_BEAM 266 100000.0 2.0
M_BEAM 267 100000.0 2.0
M_BEAM 268 100000.0 2.0
M_BEAM 269 100000.0 2.0
M_BEAM 270 100000.0 2.0
M_BEAM 271 100000.0 2.0
M_BEAM 272 100000.0 2.0
M_BEAM 273 100000.0 2.0
M_BEAM 274 100000.0 2.0
M_BEAM 275 100000.0 2.0
M_BEAM 276 100000.0 2.0
M_BEAM 277 100000.0 2.0
M_BEAM 278 100000.0 2.0
M_BEAM 279 100000.0 2.0
M_BEAM 280 100000.0 2.0
M_BEAM 281 100000.0 2.0
M_BEAM 282 100000.0 2.0
M_BEAM 283 100000.0 2.0
M_BEAM 284 100000.0 2.0
M_BEAM 285 100000.0 2.0
M_BEAM 286 100000.0 2.0
M_BEAM 287 100000.0 2.0
M_BEAM 288 100000.0 2.0
M_BEAM 289 100000.0 2.0
M_BEAM 290 100000.0 2.0
END_MASS
MATERIALS
INSULATION ! ISLTM
STEELSL ! STEELFLANGEM
210000000000 0.3 275000000 1200 0 4.79 3
STEELSL ! STEELWEBM
210000000000 0.3 275000000 1200 0 38.49 4
TIME
0.1 3600.0 2.0
END_TIME
EPSTH
IMPRESSION
TIMEPRINT
0.1 3600.0
END_TIMEPR
PRINTDEPL
0
PRINTREACT
PRINTMN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

PRESUPUESTO

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

Capítulo 1: Acondicionamiento del terreno																																		
Subcapítulo 1.1: Movimiento de tierras																																		
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)																														
ADL005 m²	<p>Desbroce y limpieza del terreno de topografía con desniveles mínimos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 15 cm; y carga a camión.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados. Incluye: Replanteo en el terreno. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga a camión.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.</p>	6.210,00	1,16	7.203,60																														
	<table border="0"> <tr> <td>Ud.</td> <td></td> <td>Rendimiento</td> <td>Precio (€)</td> <td>Importe (€)</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>Pala cargadora sobre neumáticos de 120kW/1,9m³</td> <td>0,021</td> <td>45,06</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>Peón ordinario construcción</td> <td>0,008</td> <td>20,10</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes directos complementarios</td> <td>2,000</td> <td>1,11</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes indirectos</td> <td>3,000</td> <td>1,13</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">Precio total por m²</td> <td>1,16</td> </tr> </table>	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120kW/1,9m ³	0,021	45,06	0,95	h	Peón ordinario construcción	0,008	20,10	0,16	%	Costes directos complementarios	2,000	1,11	0,02	%	Costes indirectos	3,000	1,13	0,03	Precio total por m²				1,16			
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																														
h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120kW/1,9m ³	0,021	45,06	0,95																														
h	Peón ordinario construcción	0,008	20,10	0,16																														
%	Costes directos complementarios	2,000	1,11	0,02																														
%	Costes indirectos	3,000	1,13	0,03																														
Precio total por m²				1,16																														
GVA020 m³	<p>Transporte con camión de residuos vegetales producidos durante los trabajos de limpieza de solares, poda y tala de árboles, a vertedero específico, situado a 10 km de distancia.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen teórico, estimado a partir del peso y la densidad aparente de los diferentes materiales que componen los residuos, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de residuos realmente transportado según especificaciones de Proyecto.</p>	93,15	5,04	469,48																														
	<table border="0"> <tr> <td>Ud.</td> <td></td> <td>Rendimiento</td> <td>Precio (€)</td> <td>Importe (€)</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>Camión de transporte de 15 t con una capacidad de 12 m³ y 2 ejes</td> <td>0,043</td> <td>111,50</td> <td>4,79</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes directos complementarios</td> <td>2,000</td> <td>4,79</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes indirectos</td> <td>3,000</td> <td>4,89</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">Precio total por m³</td> <td>5,04</td> </tr> </table>	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	h	Camión de transporte de 15 t con una capacidad de 12 m ³ y 2 ejes	0,043	111,50	4,79	%	Costes directos complementarios	2,000	4,79	0,10	%	Costes indirectos	3,000	4,89	0,15	Precio total por m³				5,04								
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																														
h	Camión de transporte de 15 t con una capacidad de 12 m ³ y 2 ejes	0,043	111,50	4,79																														
%	Costes directos complementarios	2,000	4,79	0,10																														
%	Costes indirectos	3,000	4,89	0,15																														
Precio total por m³				5,04																														
GVB020 m³	<p>Canon de vertido por entrega de residuos vegetales producidos durante los trabajos de limpieza de solares, poda y tala de árboles, en vertedero específico.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen teórico, estimado a partir del peso y la densidad aparente de los diferentes materiales que componen los residuos, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de residuos realmente entregado según especificaciones de Proyecto.</p>	93,15	7,03	654,84																														
	<table border="0"> <tr> <td>Ud.</td> <td></td> <td>Rendimiento</td> <td>Precio (€)</td> <td>Importe (€)</td> </tr> <tr> <td>m³</td> <td>Canon de vertido por entrega de residuos vegetales</td> <td>1,000</td> <td>6,70</td> <td>6,70</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes directos complementarios</td> <td>2,000</td> <td>6,70</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>%</td> <td>Costes indirectos</td> <td>3,000</td> <td>6,83</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;">Precio total por m³</td> <td>7,03</td> </tr> </table>	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	m ³	Canon de vertido por entrega de residuos vegetales	1,000	6,70	6,70	%	Costes directos complementarios	2,000	6,70	0,13	%	Costes indirectos	3,000	6,83	0,20	Precio total por m³				7,03								
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																														
m ³	Canon de vertido por entrega de residuos vegetales	1,000	6,70	6,70																														
%	Costes directos complementarios	2,000	6,70	0,13																														
%	Costes indirectos	3,000	6,83	0,20																														
Precio total por m³				7,03																														

ADE010 m³	<p>Excavación de zanjas para cimentaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y carga a camión.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.</p> <p>Incluye: Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos y laterales a mano, con extracción de las tierras. Carga a camión de los materiales excavados.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros.</p>	981,78	26,99	26.498,24																											
	<p>Criterio de medición de obra: Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros y sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 15%;">Superficie (m²)</th> <th style="width: 15%;">Espesor (m)</th> <th style="width: 10%;">Volumen (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mediciones parciales</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hormigón de limpieza</td> <td style="text-align: right;">312,16</td> <td style="text-align: right;">0,10</td> <td style="text-align: right;">31,22</td> </tr> <tr> <td>Zapatas de cimentación</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: right;">174,68</td> </tr> <tr> <td>Vigas de atado</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: right;">25,88</td> </tr> <tr> <td>Solera</td> <td style="text-align: right;">2.500,00</td> <td style="text-align: right;">0,30</td> <td style="text-align: right;">750,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Total m³</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">981,78</td> </tr> </tbody> </table>				Superficie (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Mediciones parciales				Hormigón de limpieza	312,16	0,10	31,22	Zapatas de cimentación	-	-	174,68	Vigas de atado	-	-	25,88	Solera	2.500,00	0,30	750,00	Total m³		
	Superficie (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)																												
Mediciones parciales																															
Hormigón de limpieza	312,16	0,10	31,22																												
Zapatas de cimentación	-	-	174,68																												
Vigas de atado	-	-	25,88																												
Solera	2.500,00	0,30	750,00																												
Total m³			981,78																												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Ud.</th> <th style="width: 20%;">Rendimiento</th> <th style="width: 20%;">Precio (€)</th> <th style="width: 20%;">Importe (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>h Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW</td> <td style="text-align: right;">0,380</td> <td style="text-align: right;">54,36</td> <td style="text-align: right;">20,66</td> </tr> <tr> <td>h Peón ordinario construcción</td> <td style="text-align: right;">0,250</td> <td style="text-align: right;">20,10</td> <td style="text-align: right;">5,03</td> </tr> <tr> <td>% Costes directos complementarios</td> <td style="text-align: right;">2,000</td> <td style="text-align: right;">25,69</td> <td style="text-align: right;">0,51</td> </tr> <tr> <td>% Costes indirectos</td> <td style="text-align: right;">3,000</td> <td style="text-align: right;">26,20</td> <td style="text-align: right;">0,79</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Precio total por m³</td> <td style="text-align: right;">26,99</td> </tr> </tbody> </table>	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	h Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW	0,380	54,36	20,66	h Peón ordinario construcción	0,250	20,10	5,03	% Costes directos complementarios	2,000	25,69	0,51	% Costes indirectos	3,000	26,20	0,79	Precio total por m³			26,99						
Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																												
h Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW	0,380	54,36	20,66																												
h Peón ordinario construcción	0,250	20,10	5,03																												
% Costes directos complementarios	2,000	25,69	0,51																												
% Costes indirectos	3,000	26,20	0,79																												
Precio total por m³			26,99																												
GTA020 m³	<p>Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia no limitada.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra.</p> <p>Incluye: Transporte de tierras a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, con protección de las mismas mediante su cubrición con lonas o toldos.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de las excavaciones, incrementadas cada una de ellas por su correspondiente coeficiente de esponjamiento, de acuerdo con el tipo de terreno considerado.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de tierras realmente transportado según especificaciones de Proyecto.</p> <p>(1) Se ha considerado un coeficiente de esponjamiento de 0,80</p>	1.227,23 ⁽¹⁾	6,07	7.449,29																											
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Ud.</th> <th style="width: 20%;">Rendimiento</th> <th style="width: 20%;">Precio (€)</th> <th style="width: 20%;">Importe (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>h Camión basculante de 20 t de carga, de 213 kW</td> <td style="text-align: right;">0,122</td> <td style="text-align: right;">47,30</td> <td style="text-align: right;">5,77</td> </tr> <tr> <td>% Costes directos complementarios</td> <td style="text-align: right;">2,000</td> <td style="text-align: right;">5,77</td> <td style="text-align: right;">0,12</td> </tr> <tr> <td>% Costes indirectos</td> <td style="text-align: right;">3,000</td> <td style="text-align: right;">5,89</td> <td style="text-align: right;">0,18</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Precio total por m³</td> <td style="text-align: right;">6,07</td> </tr> </tbody> </table>	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	h Camión basculante de 20 t de carga, de 213 kW	0,122	47,30	5,77	% Costes directos complementarios	2,000	5,77	0,12	% Costes indirectos	3,000	5,89	0,18	Precio total por m³			6,07										
Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																												
h Camión basculante de 20 t de carga, de 213 kW	0,122	47,30	5,77																												
% Costes directos complementarios	2,000	5,77	0,12																												
% Costes indirectos	3,000	5,89	0,18																												
Precio total por m³			6,07																												

GTB020 m³	Canon de vertido por entrega de tierras procedentes de la excavación , en vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos. Criterio de valoración económica: El precio no incluye el transporte. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de las excavaciones, incrementadas cada una de ellas por su correspondiente coeficiente de esponjamiento, de acuerdo con el tipo de terreno considerado. Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de tierras realmente entregado según especificaciones de Proyecto. (1) Se ha considerado un coeficiente de esponjamiento de 0,80				1.227,23 ⁽¹⁾	2,25	2.761,27	
	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)			
	m ³	Canon de vertido por entrega de residuos vegetales	1,000	2,14	2,14			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,14	0,04			
	%	Costes indirectos	3,000	2,18	0,07			
	Precio total por m³				2,25			
Total Subcapítulo 1.1: Movimiento de tierras				45.036,72				
Subcapítulo 1.2: Nivelación								
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)				
AMC010 m³	Relleno de 15 cm de espesor para la mejora de las propiedades resistentes del terreno de apoyo de la solera proyectada, con zahorra artificial caliza, y compactación en tongadas sucesivas de 30 cm de espesor máximo mediante equipo mecánico con compactador monocilíndrico vibrante autopropulsado, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado. Incluye: Transporte y descarga del material de relleno a pie de tajo. Extendido del material de relleno en tongadas de espesor uniforme. Humectación o desecación de cada tongada. Compactación. Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre los planos de perfiles transversales del Proyecto, que definen el movimiento de tierras a realizar en obra. Criterio de medición de obra: Se medirá, en perfil compactado, el volumen realmente ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.				375,00	33,86	12.697,50	
	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)			
	t	Zahorra artificial caliza	2,200	10,20	22,44			
	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil	0,100	10,38	1,04			
h	Compactador monocilíndrico vibrante autopropulsado, de 129 kW, de 16,2 t, anchura de trabajo 213,4 cm	0,100	69,78	6,98				
h	Camión cisterna, de 8 m ³ de capacidad	0,010	118,90	1,19				
h	Peón ordinario construcción	0,029	20,10	0,58				
%	Costes directos complementarios	2,000	32,23	0,64				
%	Costes indirectos	3,000	32,87	0,99				
	Precio total por m³				33,86			
ANS010 m²	Solera de hormigón con malla electrosoldada de 15 cm de espesor , realizada con hormigón HM-30/F/20/XC2+XM2 fabricado en central y vertido desde camión, con malla electrosoldada superior como armadura de reparto, ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, extendido y vibrado mecánico mediante extendedora, sin tratamiento de su superficie; con juntas de retracción de 5 mm de espesor, mediante corte con disco de diamante. Incluso panel de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, para la ejecución de juntas de dilatación. Criterio de valoración económica: El precio no incluye la base de la solera.				2.500,00	28,15	70.375,00	

Incluye: Preparación de la superficie de apoyo del hormigón. Replanteo de las juntas de construcción y de dilatación. Tendido de niveles mediante toques, maestras de hormigón o reglas. Riego de la superficie base. Formación de juntas de construcción y de juntas perimetrales de dilatación. Colocación de la malla electrosoldada con separadores homologados. Conexionado, anclaje y emboquillado de las redes de instalaciones proyectadas. Vertido, extendido y vibrado del hormigón. Curado del hormigón. Replanteo de las juntas de retracción. Corte del hormigón. Limpieza final de las juntas de retracción.

Criterio de medición de proyecto: Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto.

Criterio de medición de obra: Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin deducir la superficie ocupada por los pilares situados dentro de su perímetro.

Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
Ud	Separador homologado para malla electrosoldada superior	2,000	1,06	2,12
m ²	Malla electrosoldada ME 20x20 Ø 5-5 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080	1,200	1,49	1,79
m ³	Hormigón HM-30/F/20/X0+XM2, fabricado en central	0,158	104,76	16,55
m ²	Panel rígido de poliestireno expandido, según UNE-EN 13163, mecanizado lateral recto, de 30 mm de espesor, resistencia térmica 0,8 m ² K/W, conductividad térmica 0,036 W/(mK), para junta de dilatación	0,050	2,01	0,10
h	Extendidora para pavimentos de hormigón	0,006	85,09	0,51
h	Equipo para corte de juntas en soleras de hormigón	0,090	10,64	0,96
h	Peón especializado construcción	0,090	20,43	1,84
h	Oficial 1ª construcción	0,059	19,93	1,18
h	Peón ordinario construcción	0,059	20,10	1,19
h	Ayudante construcción	0,029	18,92	0,55
%	Costes directos complementarios	2,000	26,79	0,54
%	Costes indirectos	3,000	27,33	0,82
Precio total por m²				28,15

Total Subcapítulo 1.2: Nivelación **83.072,50**

Total Capítulo 1: Acondicionamiento del terreno **128.109,22**

Capítulo 2: Cimentaciones

Subcapítulo 2.1: Regularización

Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)	
CRL030 m ²	Capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 10 cm de espesor, de hormigón HL-150/F/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de la excavación previamente realizada. Incluye: Replanteo. Colocación de toques y/o formación de maestras. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase del hormigón. Criterio de medición de proyecto: Superficie medida sobre la superficie teórica de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá la superficie teórica ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.	312,16	9,72	3.034,20	
	Mediciones parciales	Uds.	Largo (m)	Ancho (m)	
	Zapata tipo Z1	18	3,00	1,50	81,00
	Zapata tipo Z2	12	2,55	1,80	55,08
	Zapata tipo Z3	4	2,55	2,55	26,01
	Zapata tipo Z4	11	3,45	2,25	85,39
	Viga de atado	1	161,70	0,40	64,68
	Total m²				312,16
	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
	m ³	Hormigón de limpieza HL-150/F/20, fabricado en central	0,105	82,79	8,69
h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,009	22,27	0,20	
h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,017	21,15	0,36	
%	Costes directos complementarios	2,000	9,25	0,19	
%	Costes indirectos	3,000	9,44	0,28	
Precio total por m²				9,72	

Total Subcapítulo 2.1: Regularización **3.034,20**

Subcapítulo 2.2: Superficiales																																																				
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)																																																
CSZ030 m ³	<p>Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero, UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 47,1 kg/m³. Incluso armaduras de espera del pilar, alambre de atar y separadores.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.</p> <p>Incluye: Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Colocación de separadores y fijación de las armaduras. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.</p>	174,68	210,11	36.701,59																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Mediciones parciales</th> <th>Uds.</th> <th>Largo (m)</th> <th>Ancho (m)</th> <th>Canto (m)</th> <th>Volumen (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zapata tipo Z1</td> <td></td> <td>18</td> <td>3,00</td> <td>1,50</td> <td>0,90</td> <td>72,90</td> </tr> <tr> <td>Zapata tipo Z2</td> <td></td> <td>12</td> <td>2,55</td> <td>1,80</td> <td>0,55</td> <td>30,30</td> </tr> <tr> <td>Zapata tipo Z3</td> <td></td> <td>4</td> <td>2,55</td> <td>2,55</td> <td>0,45</td> <td>11,71</td> </tr> <tr> <td>Zapata tipo Z4</td> <td></td> <td>11</td> <td>3,45</td> <td>2,25</td> <td>0,70</td> <td>59,77</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>174,68</td> </tr> </tbody> </table>	Mediciones parciales		Uds.	Largo (m)	Ancho (m)	Canto (m)	Volumen (m ³)	Zapata tipo Z1		18	3,00	1,50	0,90	72,90	Zapata tipo Z2		12	2,55	1,80	0,55	30,30	Zapata tipo Z3		4	2,55	2,55	0,45	11,71	Zapata tipo Z4		11	3,45	2,25	0,70	59,77	Total m³						174,68									
Mediciones parciales		Uds.	Largo (m)	Ancho (m)	Canto (m)	Volumen (m ³)																																														
Zapata tipo Z1		18	3,00	1,50	0,90	72,90																																														
Zapata tipo Z2		12	2,55	1,80	0,55	30,30																																														
Zapata tipo Z3		4	2,55	2,55	0,45	11,71																																														
Zapata tipo Z4		11	3,45	2,25	0,70	59,77																																														
Total m³						174,68																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ud.</th> <th>Rendimiento</th> <th>Precio (€)</th> <th>Importe (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ud Separador homologado para cimentaciones</td> <td>8,000</td> <td>0,15</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros</td> <td>47,102</td> <td>1,65</td> <td>77,72</td> </tr> <tr> <td>kg Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro</td> <td>0,188</td> <td>1,54</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>m³ Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central</td> <td>1,100</td> <td>94,24</td> <td>103,66</td> </tr> <tr> <td>h Oficial 1ª ferrallista</td> <td>0,088</td> <td>22,27</td> <td>1,96</td> </tr> <tr> <td>h Ayudante ferrallista</td> <td>0,132</td> <td>21,15</td> <td>2,79</td> </tr> <tr> <td>h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón</td> <td>0,058</td> <td>22,27</td> <td>1,29</td> </tr> <tr> <td>h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón</td> <td>0,524</td> <td>21,15</td> <td>11,08</td> </tr> <tr> <td>% Costes directos complementarios</td> <td>2,000</td> <td>199,99</td> <td>4,00</td> </tr> <tr> <td>% Costes indirectos</td> <td>3,000</td> <td>203,99</td> <td>6,12</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Precio total por m³</td> <td></td> <td>210,11</td> </tr> </tbody> </table>	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	Ud Separador homologado para cimentaciones	8,000	0,15	1,20	kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	47,102	1,65	77,72	kg Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro	0,188	1,54	0,29	m ³ Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central	1,100	94,24	103,66	h Oficial 1ª ferrallista	0,088	22,27	1,96	h Ayudante ferrallista	0,132	21,15	2,79	h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,058	22,27	1,29	h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,524	21,15	11,08	% Costes directos complementarios	2,000	199,99	4,00	% Costes indirectos	3,000	203,99	6,12	Precio total por m³			210,11			
Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																																																	
Ud Separador homologado para cimentaciones	8,000	0,15	1,20																																																	
kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	47,102	1,65	77,72																																																	
kg Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro	0,188	1,54	0,29																																																	
m ³ Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central	1,100	94,24	103,66																																																	
h Oficial 1ª ferrallista	0,088	22,27	1,96																																																	
h Ayudante ferrallista	0,132	21,15	2,79																																																	
h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,058	22,27	1,29																																																	
h Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,524	21,15	11,08																																																	
% Costes directos complementarios	2,000	199,99	4,00																																																	
% Costes indirectos	3,000	203,99	6,12																																																	
Precio total por m³			210,11																																																	
Total subcapítulo 2.2: Superficiales			36.701,59																																																	
Subcapítulo 2.3: Arriostramientos																																																				
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)																																																
CAV030 m ³	<p>Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/F/20/XC2 fabricado en central, y vertido con cubilote, y acero, UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía aproximada de 54,4 kg/m³. Incluso alambre de atar y separadores.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye el encofrado.</p> <p>Incluye: Colocación de la armadura con separadores homologados. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase. Curado del hormigón.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.</p>	25,88	221,49	5.732,16																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ud.</th> <th>Rendimiento</th> <th>Precio (€)</th> <th>Importe (€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ud Separador homologado para cimentaciones</td> <td>10,000</td> <td>0,15</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros</td> <td>54,396</td> <td>1,65</td> <td>89,75</td> </tr> </tbody> </table>	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	Ud Separador homologado para cimentaciones	10,000	0,15	1,50	kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	54,396	1,65	89,75																																							
Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)																																																	
Ud Separador homologado para cimentaciones	10,000	0,15	1,50																																																	
kg Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	54,396	1,65	89,75																																																	

kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro	0,435	1,54	0,67		
m ³	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central	1,050	94,24	98,95		
h	Oficial 1ª ferrallista	0,202	22,27	4,50		
h	Ayudante ferrallista	0,202	21,15	4,27		
h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,105	22,27	2,34		
h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón	0,418	21,15	8,84		
%	Costes directos complementarios	2,000	210,82	4,22		
%	Costes indirectos	3,000	215,04	6,45		
Precio total por m³				221,49		
Total Subcapítulo 2.3: Arriostramientos			5.732,16			
Total Capítulo 2: Cimentaciones			45.467,95			
Capítulo 3: Estructura metálica						
Subcapítulo 3.1: Acero para perfiles						
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)		
EAS010 kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN , acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones atornilladas en obra, a una altura de más de 3 m. Criterio de valoración económica: El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones atornilladas. Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.	19.625,01	2,78	54.557,53		
	Mediciones parciales		Densidad lineal (kg/m)	Longitud (m)	Ud.	Peso (kg)
	Pilares IPE 400		66,33	8,00	29	15.388,56
	Pilares IPE 240		30,69	8,00	4	982,08
	Pilares IPE 240		30,69	8,63	8	2.118,84
	Pilares IPE 240		30,69	9,25	4	1.135,53
	Total kg					19.625,01
	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	
	kg		1,000	2,11	2,11	
	h		0,013	21,14	0,27	
h		0,013	20,41	0,27		
% Costes directos complementarios		2,000	2,65	0,05		
% Costes indirectos		3,000	2,70	0,08		
Precio total por kg				2,78		
EAV010 kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN , acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones atornilladas en obra, a una altura de más de 3 m. Criterio de valoración económica: El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones atornilladas. Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a	35.928,23	2,87	103.114,02		

obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.						
		Mediciones parciales	Densidad lineal (kg/m)	Longitud (m)	Ud.	Peso (kg)
		Vigas IPE 400 + cartela inferior de 2 metros	71,37	12,56	36	32.270,66
		Vigas IPE 160	15,78	12,56	8	1.585,57
		Vigas perimetrales IPE 120	10,36	5,00	40	2.072,00
		Total kg				35.928,23
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)		
kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra	1,000	2,11	2,11		
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	0,015	21,14	0,32		
h	Ayudante montador de estructura metálica	0,015	20,41	0,31		
%	Costes directos complementarios	2,000	2,74	0,05		
%	Costes indirectos	3,000	2,79	0,08		
		Precio total por kg		2,87		
EAS010b kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones atornilladas en obra, a una altura de más de 3 m.					
	Criterio de valoración económica: El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones atornilladas. Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.	3.863,13	2,96	11.434,86		
		Mediciones parciales	Densidad lineal (kg/m)	Longitud (m)	Ud.	Peso (kg)
		Tirantes L 90 x 90 x 6	8,32	8,29	16	1.103,56
		Tirantes L 75 x 75 x 4	4,65	7,39	12	412,36
		Tirantes L 75 x 75 x 4	4,65	6,75	8	251,10
		Tirantes L 75 x 75 x4	4,65	7,02	8	261,14
		Tirantes L 60 x 60 x 4	3,70	5,62	12	249,53
		Tirantes L 80 x 80 x 5	6,17	8,03	32	1.585,44
		Total kg				3.863,13
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)		
kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra	1,000	2,27	2,27		
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	0,013	21,14	0,27		
h	Ayudante montador de estructura metálica	0,013	20,41	0,27		
%	Costes directos complementarios	2,000	2,81	0,06		
%	Costes indirectos	3,000	2,87	0,09		
		Precio total por kg		2,96		
EAV010b kg	Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles huecos acabados en caliente de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m.					
	Criterio de valoración económica: El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones soldadas.	2.429,40	3,24	7.871,26		

<p>Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>						
Mediciones parciales		Densidad lineal (kg/m)	Longitud (m)	Ud.	Peso (kg)	
Montantes SHS 100 x 4.0		11,73	6,25	16	1.173,00	
Montantes SHS 90 x 4.0		10,47	5,00	24	1.256,40	
Total kg					2.429,40	
Ud.	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles huecos acabados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)		
kg		1,000	2,24	2,24		
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	0,019	21,14	0,40		
h	Ayudante montador de estructura metálica	0,019	20,41	0,39		
h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica	0,018	3,26	0,06		
%	Costes directos complementarios	2,000	3,09	0,06		
%	Costes indirectos	3,000	3,15	0,09		
Precio total por kg				3,24		
Total Subcapítulo 3.1: Acero para perfiles			176.977,67			
Subcapítulo 3.2: Acero para correas						
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)		
EAT030 kg	<p>Acero UNE-EN 10162 S235JRC, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado, fijadas a las cerchas con uniones atornilladas en obra.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye la chapa o panel que actuará como cubierta.</p> <p>Incluye: Replanteo de las correas sobre las cerchas. Presentación de las correas sobre las cerchas. Aplomado y nivelación definitivos. Ejecución de las uniones atornilladas.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>	16.660,00	3,03	50.479,80		
	<p>Mediciones parciales</p> <p>Correas de cubierta CF 160 x 2.5</p> <p>Correas de fachada lateral CF 160 x 2.5</p> <p>Correas de fachada frontal CF 160 x 2.5</p> <p>Total kg</p>	Densidad lineal (kg/m)	Longitud (m)	Ud.	Peso (kg)	
		5,95	50,00	28	8.330,00	
		5,95	50,00	14	4.165,00	
		5,95	50,00	14	4.165,00	
	Total kg				16.660,00	
Ud.	Acero UNE-EN 10162 S235JRC, para correa formada por pieza simple, en perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, galvanizado, incluso accesorios, tornillería y elementos de anclaje	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)		
kg		1,000	1,96	1,96		
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	0,028	21,14	0,59		
h	Ayudante montador de estructura metálica	0,016	20,41	0,33		
%	Costes directos complementarios	2,000	2,88	0,06		
%	Costes indirectos	3,000	2,94	0,09		
Precio total por kg				3,03		
Total Subcapítulo 3.2: Acero para correas			50.479,80			
Subcapítulo 3.3: Placas de anclaje						
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)		
EAS006-T1 Ud	<p>Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 650x450 mm y espesor 22 mm, y montaje sobre 6 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 55 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso mortero</p>	29,00	286,21	8.300,09		

<p>autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra	66,333	2,22	147,26
kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	8,134	1,65	13,42
Ud	Juego de arandelas, tuerca y contratuerca, para perno de anclaje de 20 mm de diámetro	6,000	2,09	12,54
kg	Mortero autonivelante expansivo, de dos componentes, a base de cemento mejorado con resinas sintéticas	17,550	0,95	16,67
l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc	2,870	4,80	13,78
h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica	0,005	3,26	0,02
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	1,654	21,14	34,97
h	Ayudante montador de estructura metálica	1,654	20,41	33,76
%	Costes directos complementarios	2,000	272,42	5,45
%	Costes indirectos	3,000	277,87	8,34
Precio total por ud				286,21
EAS006-T2	Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 450x350 mm y espesor 22 mm, y montaje sobre 6 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 35 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimient. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.			
	Ud		12,00	161,63
<p>Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra	34,699	2,22	77,03
kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros	5,176	1,65	8,54
Ud	Juego de arandelas, tuerca y contratuerca, para perno de anclaje de 20 mm de diámetro	6,000	2,09	12,54
kg	Mortero autonivelante expansivo, de dos componentes, a base de cemento mejorado con resinas sintéticas	9,450	0,95	8,98
l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc	1,545	4,80	7,42
h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica	0,005	3,26	0,02
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica	0,946	21,14	20,00

	h	Ayudante montador de estructura metálica	0,946	20,41	19,31				
	%	Costes directos complementarios	2,000	153,84	3,08				
	%	Costes indirectos	3,000	156,92	4,71				
	Precio total por ud				161,63				
EAS006-T3 Ud	Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central, de 450x350 mm y espesor 22 mm, y montaje sobre 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 30 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso mortero autonivelante expansivo para relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa y protección anticorrosiva aplicada a las tuercas y extremos de los pernos.								
		Criterio de valoración económica: El precio incluye los cortes, los despuntes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.		4,00	139,63	558,52			
	Incluye: Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.								
	Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.								
	Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.								
	Ud.			Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)			
	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra		31,759	2,22	70,50			
	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros		2,958	1,65	4,88			
	Ud	Juego de arandelas, tuerca y contratuerca, para perno de anclaje de 20 mm de diámetro		4,000	2,09	8,36			
	kg	Mortero autonivelante expansivo, de dos componentes, a base de cemento mejorado con resinas sintéticas		9,450	0,95	8,98			
l	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc		1,545	4,80	7,42				
h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica		0,005	3,26	0,02				
h	Oficial 1ª montador de estructura metálica		0,788	21,14	16,66				
h	Ayudante montador de estructura metálica		0,788	20,41	16,08				
%	Costes directos complementarios		2,000	132,90	2,66				
%	Costes indirectos		3,000	135,56	4,07				
	Precio total por ud				139,63				
Total Subcapítulo 3.3: Placas de anclaje			10.798,17						
Subcapítulo 3.4: Protección pasiva									
Código	Descripción		Medición	Precio (€)	Importe (€)				
IOR-031 kg	Sistema de protección pasiva contra incendios de estructura metálica , mediante proyección neumática con mortero de vermiculita-perlita con cemento de alta densidad (550 kg/m ³).		24.243,69	3,76	91.156,27				
	Incluye: Limpieza y preparación de la superficie del perfil metálico. Protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos de proyección. Proyección mecánica del mortero.								
	Criterio de medición de proyecto: Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.								
	Criterio de medición de obra: Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.								
	Mediciones parciales					Esesor (m)	Longitud (m)	Superficie unitaria (m ² /m)	Peso (kg)
	IPE 400					0,010	232,00	1,50	1.914,00
	IPE 400 + cartela inferior de 2 metros					0,015	452,16	1,62	6.043,12
	IPE 240					0,010	138,04	0,95	721,26
	IPE 160					0,010	100,48	0,64	353,69
	IPE 120					0,010	200,00	0,49	539,00

L 90 x 90 x 6	0,020	132,64	0,36	525,25	
L 75 x 75 x 4	0,025	198,84	0,30	820,22	
L 60 x 60 x 4	0,025	67,44	0,24	222,55	
L 80 x 80 x 5	0,020	256,96	0,32	904,50	
SHS 100 x 4	0,010	100,00	0,40	220,00	
SHS 90 x 4	0,010	120,00	0,36	237,60	
CF 160 x 2.5	0,025	1400,00	0,61	11.742,50	
Total kg				24.243,69	
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	
kg	Mortero de vermiculita-permita con cemento para protección pasiva contra el fuego mediante proyección: densidad 550 kg/m ³ , calor específico 1100 J/(kgK) y conductividad térmica 0,120 W/(mK)	1,000	0,71	0,71	
h	Mezcladora-bombeadora para morteros y yesos proyectados, de 3 m ³ /h	0,057	8,52	0,49	
h	Oficial 1ª aplicador de productos aislantes	0,057	21,41	1,22	
h	Ayudante aplicador de productos aislantes	0,057	20,34	1,16	
%	Costes directos complementarios	2,000	3,58	0,07	
%	Costes indirectos	3,000	17,47	0,11	
Precio total por kg				3,76	
Total Subcapítulo 3.4: Protección pasiva			91.156,27		
Total Capítulo 3: Estructura metálica			329.411,91		
Capítulo 4. Fachadas y particiones					
Subcapítulo 4.1: Cerramientos de fachadas					
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)	
FLA030 m²	Fachada de paneles sándwich de acero galvanizado, de 50 mm de espesor y 1150 mm de anchura, formados por cara exterior de chapa microperforada acabado con pintura de poliéster, de 0,5 mm de espesor, alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m ³ , y cara interior de chapa nervada acabado con pintura de poliéster, de 0,5 mm de espesor, conductividad térmica 0,43 W/(mK), Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego según UNE-EN 13501-1, colocados en posición vertical y fijados mecánicamente con sistema de fijación oculta a una estructura portante o auxiliar. Incluso accesorios de fijación de los paneles y cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich.	1.612,10	46,85	75.526,89	
	Criterio de valoración económica: El precio no incluye la estructura soporte ni la resolución de puntos singulares. Incluye: Replanteo de los paneles. Corte, preparación y colocación de los paneles. Sellado de juntas. Fijación mecánica de los paneles.				
	Criterio de medición de proyecto: Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m ² .				
	Criterio de medición de obra: Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m ² .				
	Mediciones parciales		Ud	Superficie (m ²)	Superficie total (m ²)
		Fachadas laterales	2,00	400,00	800,00
		Fachadas frontales	2,00	431,25	862,50
		Huecos > 3 m ²	4,00	12,60	50,40
	Total m²				1.612,10
	Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m ²	Panel sándwich de acero galvanizado, de 50 mm de espesor y 1150 mm de anchura, formado por cara exterior de chapa microperforada acabado con pintura de poliéster, de 0,5 mm de espesor, alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m ³ , y cara interior de chapa nervada acabado con pintura de poliéster, de 0,5 mm de espesor, conductividad térmica 0,43 W/(mK), Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego según UNE-EN 13501-1	1,050	28,47	29,89	
Ud	Kit de accesorios de fijación, para paneles sándwich aislantes	0,200	9,70	1,94	
m	Cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich	2,000	2,05	4,10	
h	Oficial 1ª montador de cerramientos industriales	0,220	20,48	4,51	
h	Ayudante montador de cerramientos industriales	0,220	18,92	4,16	
%	Costes directos complementarios	2,000	44,60	0,89	
%	Costes indirectos	3,000	45,49	1,36	
Precio total por m²				46,85	

Total Subcapítulo 4.1: Cerramientos de fachadas		75.526,89		
Total Capítulo 4: Fachadas y particiones		75.526,89		
Capítulo 5. Cubierta				
Subcapítulo 5.1: Cerramientos de cubierta				
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
QUM020 m ²	<p>Cobertura de paneles sándwich acústicos de acero galvanizado, de lana de roca, formados por cara exterior de chapa grecada con cinco grecas acabado prelacado, RC3 y RUV2, según UNE-EN 10169, de 0,5 mm de espesor, alma aislante de lana de roca de densidad media 95 kg/m³ y cara interior de chapa nervada acabado prelacado, de 0,5 mm de espesor, con perforaciones de 3 mm de diámetro, conductividad térmica 0,621 W/(mK), Euroclase A2-s1, d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1, con 31 dB de índice global de reducción acústica, Rw, proporcionando una reducción del nivel global ponderado de presión de ruido aéreo de 30,6 dBA y coeficiente de absorción acústica medio 0,9, según UNE-EN ISO 354, colocados con un solape del panel superior de 150 mm y fijados mecánicamente sobre entramado ligero metálico, en cubierta inclinada, con una pendiente mayor del 10%. Incluso accesorios de fijación de los paneles sándwich, cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich y pintura antioxidante de secado rápido, para la protección de los solapes entre paneles sándwich.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la superficie soporte ni los puntos singulares y las piezas especiales de la cobertura.</p> <p>Incluye: Limpieza de la superficie soporte. Replanteo de los paneles por faldón. Corte, preparación y colocación de los paneles. Fijación mecánica de los paneles. Sellado de juntas. Aplicación de una mano de pintura antioxidante en los solapes entre paneles.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en verdadera magnitud, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, en verdadera magnitud, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p>	2.200,00	61,57	135.454,00
	Ud.	Panel sándwich aislante de acero, para cubiertas, con la superficie exterior grecada y la superficie interior lisa, de 30 mm de espesor y 1000 mm de anchura, formado por doble cara metálica de chapa estándar de acero, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m ³ , y accesorios	Rendimiento	Precio (€)
m ²		1,110	43,40	48,17
Ud	Kit de accesorios de fijación, para paneles sándwich aislantes, en cubiertas inclinadas	0,200	14,55	2,91
m	Cinta flexible de butilo, adhesiva por ambas caras, para el sellado de estanqueidad de los solapes entre paneles sándwich	2,100	2,05	4,31
kg	Pintura antioxidante de secado rápido, a base de resinas, pigmentos de aluminio con resistencia a los rayos UV y partículas de vidrio termoendurecido, con resistencia a la intemperie y al envejecimiento, repelente del agua y la suciedad y con alta resistencia a los agentes químicos; para aplicar con brocha, rodillo o pistola	0,070	1,00	0,07
h	Oficial 1ª montador de cerramientos industriales	0,080	20,48	1,64
h	Ayudante montador de cerramientos industriales	0,080	18,92	1,51
%	Costes directos complementarios	2,000	58,61	1,17
%	Costes indirectos	3,000	59,78	1,79
Precio total por m²				61,57

IRONLUX m ²	<p>Cobertura de paneles de policarbonato celular de estructura multicámara de 6 cámaras, con 30mm de espesor y 1.000 mm de ancho, para realización de cubiertas planas. El policarbonato multipanel Ironlux posee un espesor de 30mm que hace que sea un lucernario con un excelente aislamiento térmico.</p> <p>Incluye: Cinta autoadhesiva de aluminio, de 25 mm de anchura, para sellado de bordes inferiores de placas planas de policarbonato celular, para evitar la entrada de suciedad en el interior de las placas; cinta autoadhesiva microperforada de aluminio, de 25 mm de anchura, para sellado de bordes superiores de placas planas de policarbonato celular, como protección antihumedad y para evitar la entrada de suciedad en el interior de las placas; material auxiliar para montaje de placas de policarbonato celular en lucernarios y cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye la superficie soporte ni los puntos singulares y las piezas especiales de la cobertura.</p> <p>Incluye: Limpieza de la superficie soporte. Replanteo de los paneles por faldón. Corte, preparación y colocación de los paneles. Fijación mecánica de los paneles. Sellado de juntas.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Superficie medida en verdadera magnitud, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá, en verdadera magnitud, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.</p>				
	300,00	52,34	15.702,00		
	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)	
	m ²	Placa alveolar translúcida, de policarbonato celular, espesor 30 mm, incolora	1,050	39,15	41,11
	Ud	Material auxiliar para montaje de placas de policarbonato celular en lucernarios	1,500	1,35	2,03
	m	Cinta autoadhesiva de aluminio, de 25 mm de anchura, para sellado de bordes inferiores de placas planas de policarbonato celular, para evitar la entrada de suciedad en el interior de las placas	0,165	0,35	0,06
	m	Cinta autoadhesiva microperforada de aluminio, de 25 mm de anchura, para sellado de bordes superiores de placas planas de policarbonato celular, como protección antihumedad y para evitar la entrada de suciedad en el interior de las placas	0,165	0,88	0,15
	Ud	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339	0,300	4,73	1,42
	Ud	Kit de accesorios de fijación, para placas planas de policarbonato celular, en cubiertas inclinadas, formado por tornillos autorroscantes de acero inoxidable, arandela de aluminio y EPDM y piezas de protección de polipropileno para colocar a presión	0,150	12,64	1,90
	h	Oficial 1º montador de cerramientos industriales	0,080	20,48	1,64
	h	Ayudante montador de cerramientos industriales	0,080	18,92	1,51
	%	Costes directos complementarios	2,000	49,82	1,00
	%	Costes indirectos	3,000	50,82	1,52
		Precio total por m²			52,34
Total Subcapítulo 5.1: Cerramientos de cubierta			151.156,00		
Total Capítulo 5: Cubierta			151.156,00		
Capítulo 6: Carpintería, cerrajería y vidrios					
Subcapítulo 6.1: Puertas					
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)	
ISOTERMIA Ud	Puerta seccional industrial del comerciante Isotermia, de 4200x3000 mm, formada por panel sándwich, de 40 mm torsión, cables de suspensión, cuadro de maniobra con pulsador de control de apertura y cierre de la puerta y pulsador de parada de emergencia, sistema antipinzamiento para evitar el atrapamiento de las manos, en ambas caras y sistemas de seguridad en caso de rotura	4,00	4.535,50	18.142,00	

<p>de muelle y de rotura de cable. Incluso limpieza previa del soporte, material de conexionado eléctrico y ajuste y fijación en obra. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Limpieza y preparación de la superficie soporte. Replanteo. Montaje de la puerta. Instalación de los mecanismos. Conexionado eléctrico. Ajuste y fijación de la puerta. Puesta en marcha.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
Ud.	Puerta seccional industrial, de 4200x3000 mm, formada por panel sándwich, de 40 mm de espesor, de doble chapa de acero cincado con núcleo aislante de espuma de poliuretano, acabado lacado de color RAL 9016 en la cara exterior y de color RAL 9002 en la cara interior, con mirilla central de 610x180 mm, formada por marco de material sintético y acristalamiento de polimetilmetacrilato (PMMA), juntas entre paneles y perimetrales de estanqueidad, guías laterales de acero galvanizado, herrajes de colgar, equipo de motorización, muelles de torsión, cables de suspensión, cuadro de maniobra con pulsador de control de apertura y cierre de la puerta y pulsador de parada de emergencia, sistema antipinzamiento para evitar el atrapamiento de las manos, en ambas caras y sistemas de seguridad en caso de rotura de muelle y de rotura de cable. Según UNE-EN 13241-1	1,000	3.744,98	3.744,98
h	Oficial 1ª montador	14,000	20,48	286,72
h	Ayudante montador	14,000	18,92	264,88
h	Oficial 1ª electricista	1,000	20,48	20,48
%	Costes directos complementarios	2,000	4.317,06	86,34
%	Costes indirectos	3,000	4.403,40	132,10
Precio total por Ud				4.535,50
LFA010	Ud.	Puerta cortafuegos pivotante homologada, EI2 60-C5, de una hoja de 63 mm de espesor, 900x2000 mm de luz y altura de paso, acabado lacado en color blanco formada por 2 chapas de acero galvanizado de 0,8 mm de espesor, plegadas, ensambladas y montadas, con cámara intermedia de lana de roca de alta densidad y placas de cartón yeso, sobre cerco de acero galvanizado de 1,5 mm de espesor con junta intumescente y garras de anclaje a obra, incluso cierrapuertas para uso moderado. Elaborada en taller, con ajuste y fijación en obra. Totalmente montada y probada.		
		4,00	381,39	1.525,56
<p>Incluye: Marcado de puntos de fijación y aplomado del cerco. Fijación del cerco al paramento. Sellado de juntas perimetrales. Colocación de la hoja. Colocación de herrajes de cierre y accesorios.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
Ud.		Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
Ud.	Puerta cortafuegos pivotante homologada, EI2 60-C5, según UNE-EN 1634-1, de una hoja de 63 mm de espesor, 900x2000 mm de luz y altura de paso, para un hueco de obra de 1000x2050 mm, acabado lacado en color blanco formada por 2 chapas de acero galvanizado de 0,8 mm de espesor, plegadas, ensambladas y montadas, con cámara intermedia de lana de roca de alta densidad y placas de cartón yeso, sobre cerco de acero galvanizado de 1,5 mm de espesor con junta intumescente y garras de anclaje a obra, incluso tres bisagras de doble pala regulables en altura, soldadas al marco y atornilladas a la hoja, según UNE-EN 1935, cerradura embutida de cierre a un punto, escudos, cilindro, llaves y manivelas antienganche RF de nylon color negro	1,000	248,52	248,52
Ud.	Cierrapuertas para uso moderado de puerta cortafuegos de una hoja, según UNE-EN 1154	1,000	97,02	97,02
h	Oficial 1ª construcción	0,450	19,93	8,97
h	Ayudante construcción	0,450	18,92	8,51
%	Costes directos complementarios	2,000	363,02	7,26

		%	Costes indirectos	3,000	370,28	11,11	
		Precio total por Ud				381,39	
Total Subcapítulo 6.1: Puertas				19.667,56			
Subcapítulo 6.2: Ventanas							
Código	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)			
LCY030 Ud	Ventanal fijo de aluminio , serie IT-45 RPT "ITESAL", con rotura de puente térmico, dimensiones 3000x800 mm , acabado lacado estándar, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, marco de 45 mm, perfiles de 1,4 mm soldados a inglete y junquillos, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: U _{n,m} = desde 3,40 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 38 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 9A, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C4, según UNE-EN 12210, sin premarco y sin persiana. Incluso patillas de anclaje para la fijación de la carpintería, silicona para sellado perimetral de la junta entre la carpintería exterior y el paramento. Criterio de valoración económica: El precio no incluye el recibido en obra de la carpintería. Incluye: Sellado perimetral de la junta entre la carpintería exterior y el paramento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.	12,00	273,34	3.280,08			
	Ud.	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)			
	Ud	Ventanal fijo de aluminio, serie IT-45 RPT "ITESAL", con rotura de puente térmico, dimensiones 3000x800 mm, acabado lacado estándar, con el sello QUALICOAT, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de lacado, marco de 45 mm, perfiles de 1,4 mm soldados a inglete y junquillos, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: U _{n,m} = desde 3,40 W/(m ² K); espesor máximo del acristalamiento: 38 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase 9A, según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C4, según UNE-EN 12210	1,000	199,00	199,00		
	Ud	Cartucho de 290 ml de sellador adhesivo monocomponente, neutro, superelástico, a base de polímero MS, color blanco, con resistencia a la intemperie y a los rayos UV y elongación hasta rotura 750%	1,292	5,29	6,83		
	Ud	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339	0,608	4,73	2,88		
	h	Oficial 1º cerrajero	1,492	20,19	30,12		
	h	Ayudante cerrajero	1,126	18,96	21,35		
	%	Costes directos complementarios	2,000	260,18	5,20		
	%	Costes indirectos	3,000	265,38	7,96		
	Precio total por Ud				273,34		
Total Subcapítulo 6.2: Ventanas				3.280,08			
Total 6. Carpintería, cerrajería y vidrios				22.947,64			
Presupuesto de ejecución material (PEM)				752.619,61 €			
13% Gastos Generales							
6% Beneficio industrial							
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)				895.617,34 €			
21% IVA							
Presupuesto para conocimiento de la propiedad				1.083.696,98 €			



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

PLANOS

Autor: José Manuel Abellán Marín

Tutor: Antonio Hospitaler Pérez

Cotutora: Carmen Ibáñez Usach

PLANOS

1	SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	2
2	DISTRIBUCIÓN DE LA PARCELA	3
3	VISTA 3D	4
4	CUBIERTA	5
5	PÓRTICOS DE FACHADA (ALINEACIONES A y K)	6
6	PÓRTICOS INTERIORES (ALINEACIONES B a J)	7
7	FACHADAS LATERALES (ALINEACIONES 1, 5 y 9)	8
8	DETALLE PLACAS DE ANCLAJE	9
9	CIMENTACIÓN	10
10	DETALLE ZAPATAS Y VIGAS DE ATADO	11
11	CERRAMIENTOS FACHADA	12
12	CERRAMIENTO CUBIERTA	13
13	PÓRTICO INTERIOR (DOMINIO DE LA TEMPERATURA Y LA RESISTENCIA)	14
14	PÓRTICO INTERIOR (DOMINIO PLÁSTICO)	15



**Área industrial Fuente del Jarro
(Paterna)
Ref. catastral: 7775107YJ1777N**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: **PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE 2500 M² DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE CÁLCULO.**

Plano: **Situación y emplazamiento**

Autor: **José Manuel Abellán Marín**

Fecha: **Noviembre 2024**

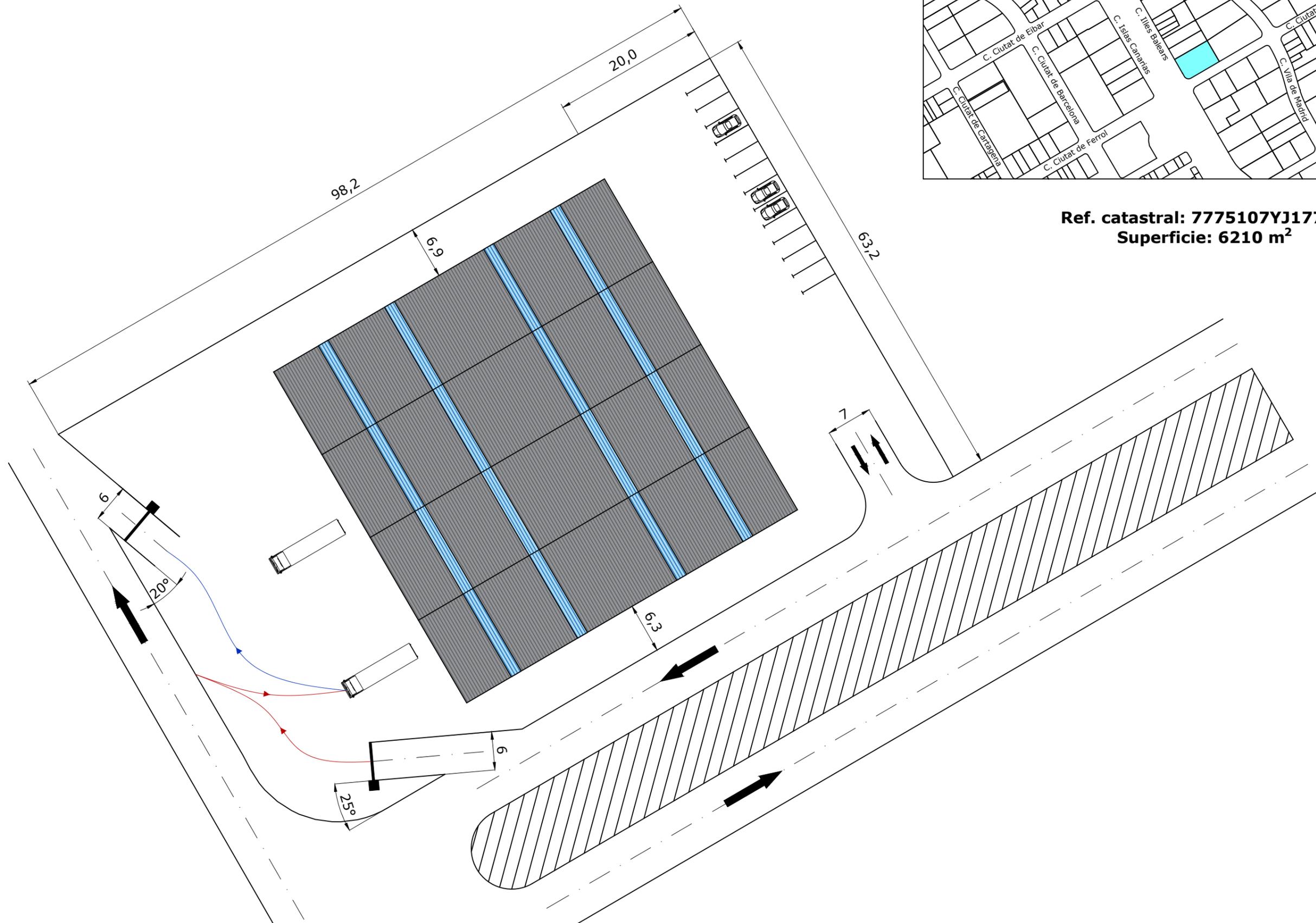
Escala: **1:10000**

Nº Plano:

01



Ref. catastral: 7775107YJ1777N
Superficie: 6210 m²



TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIERÍA
INDUSTRIAL
VALENCIA

Proyecto: PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE 2500 M² DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE CÁLCULO.

Plano: **Distribución de la parcela**

Autor: **José Manuel Abellán Marín**

Fecha: **Noviembre 2024**

Escala: **1:500**

Nº Plano:

02

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA

ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capitulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)

Perfiles laminados en caliente S 275 - L.E. 275 N/mm²

Perfiles conformados en frio S 235 - L.E. 235 N/mm²

γ_{M0}

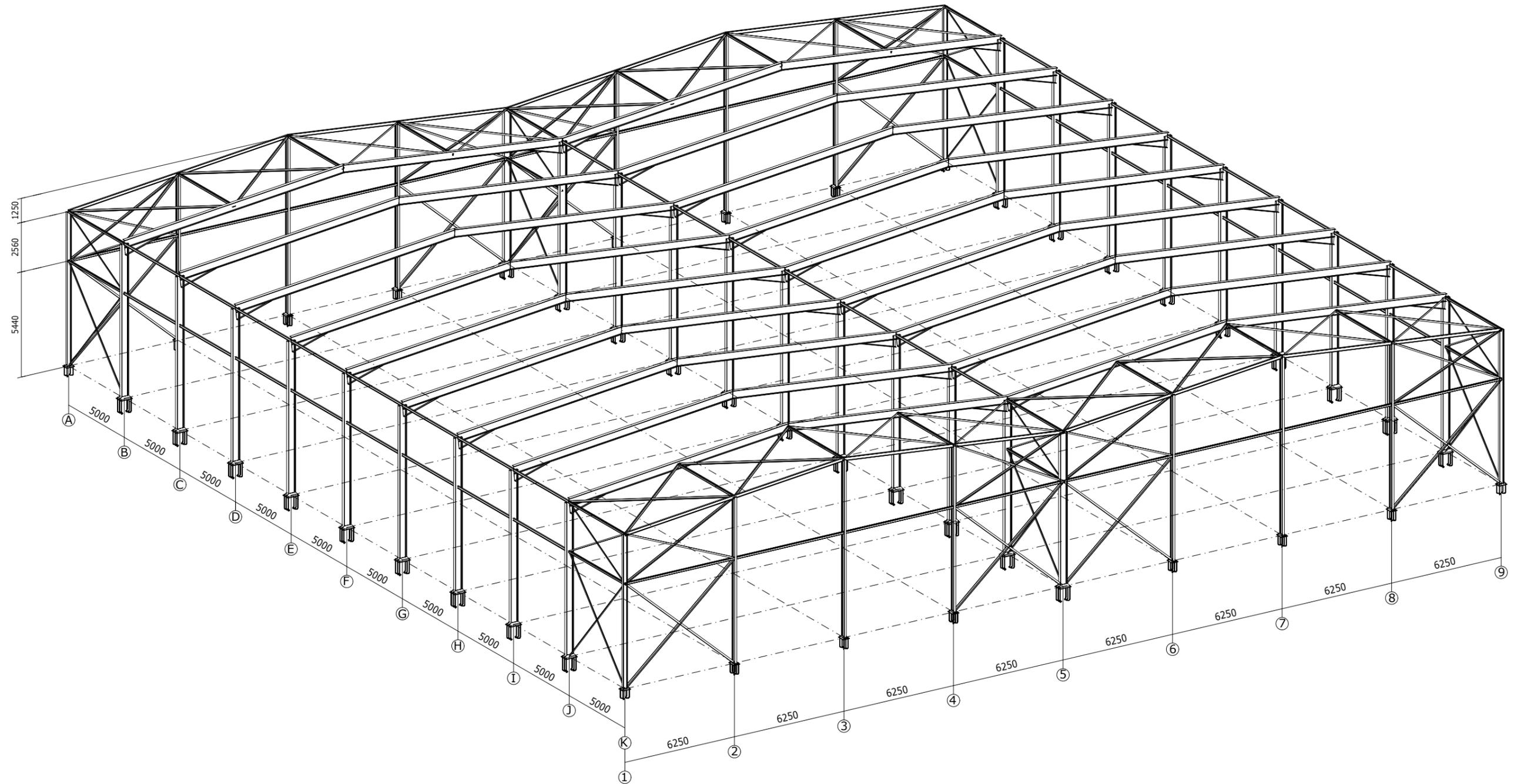
γ_{M1}

$\gamma_{M0}=1,05$

$\gamma_{M1}=1,05$

$\gamma_{M0}=1,05$

$\gamma_{M1}=1,05$



TRABAJO FINAL DE MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALÈNCIA

Proyecto: PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE 2500 M² DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE CÁLCULO.

Plano: **Vista 3D**

Autor:

José Manuel Abellán Marín

Fecha:

Noviembre 2024

Escala:

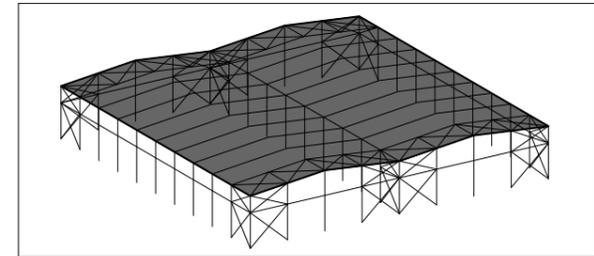
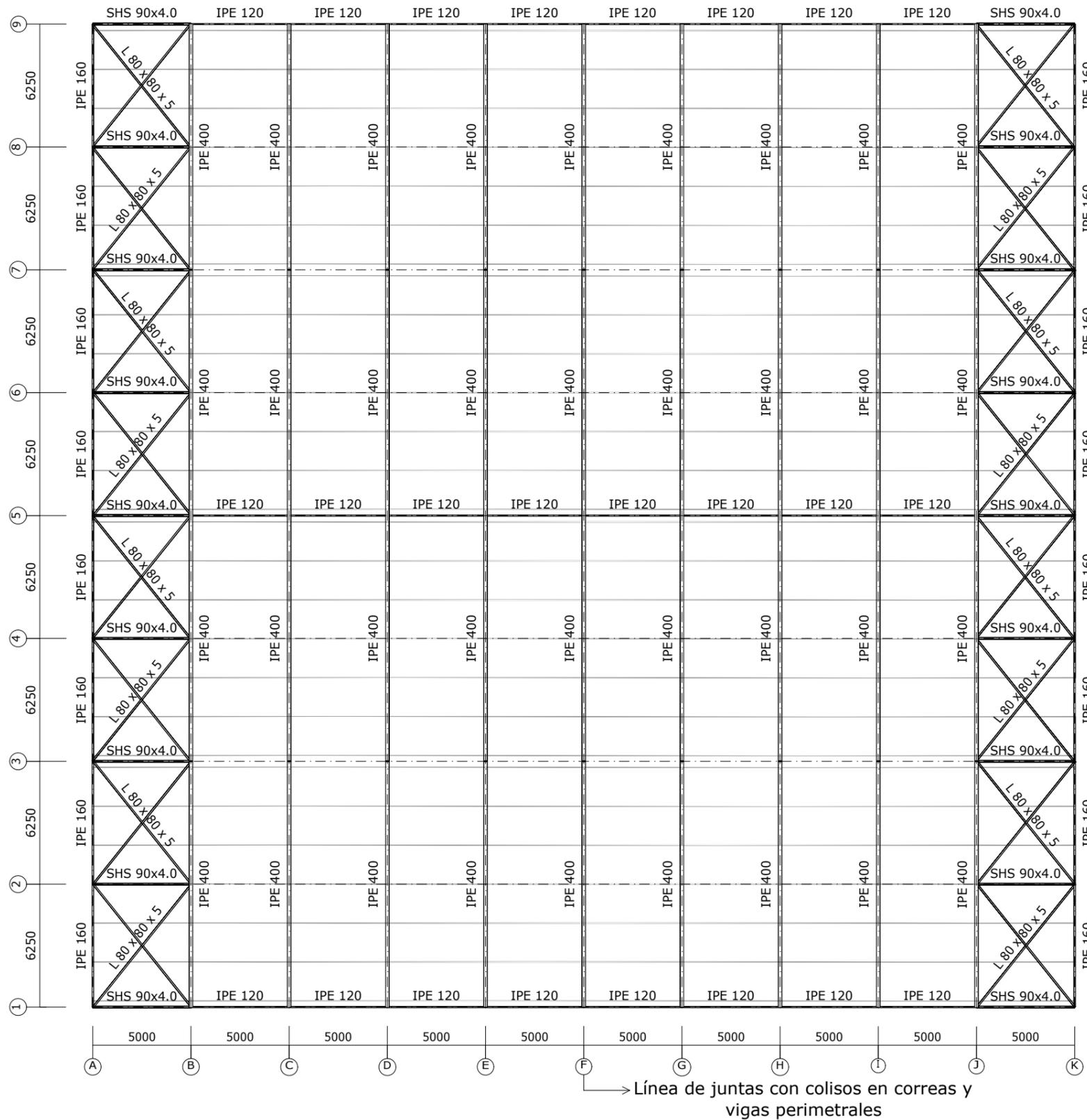
S/E

Nº Plano:

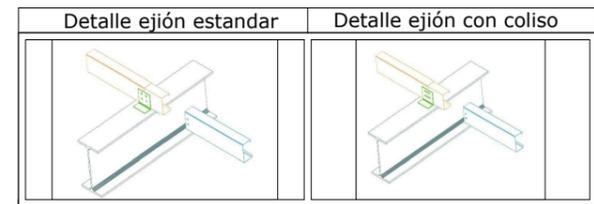
03

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA

ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capítulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

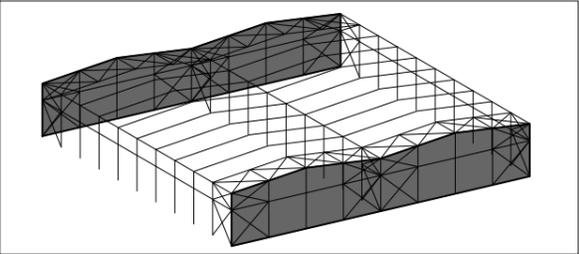
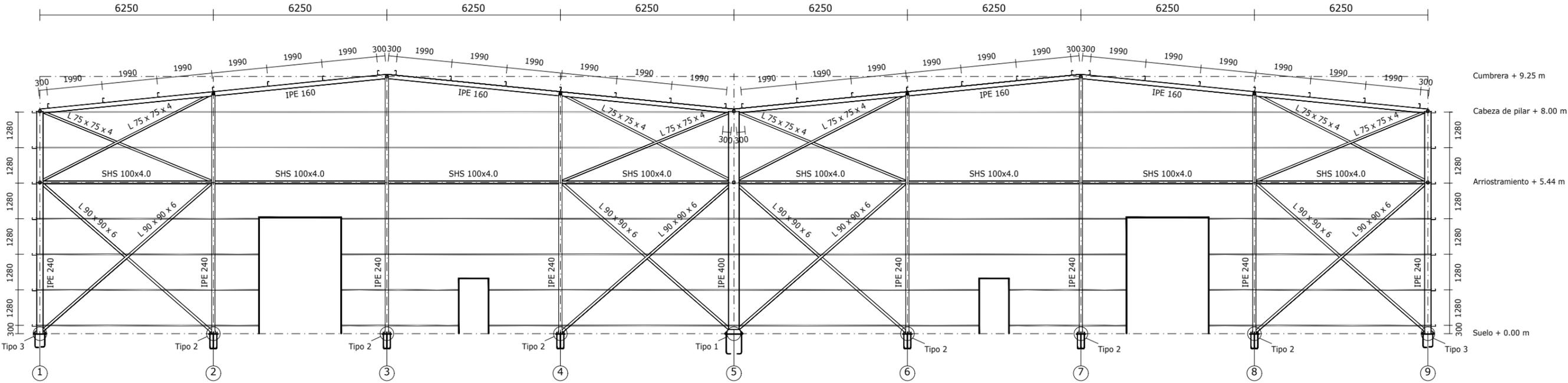


<p>Correas en cubiertas Tipo de Acero: S235 Tipo de perfil: CF-160x2.5 Separación: 1.99 m Número de correas: 28</p>	<p>Correas en laterales Tipo de Acero: S235 Tipo de perfil: CF-160x2.5 Separación: 1.28 m Número de correas: 28</p>
---	---



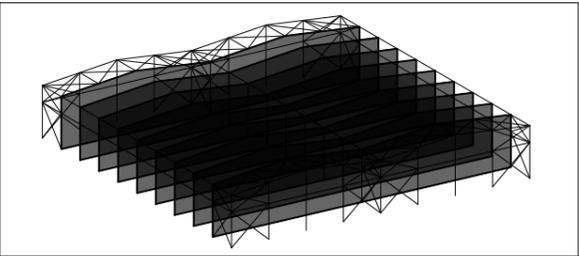
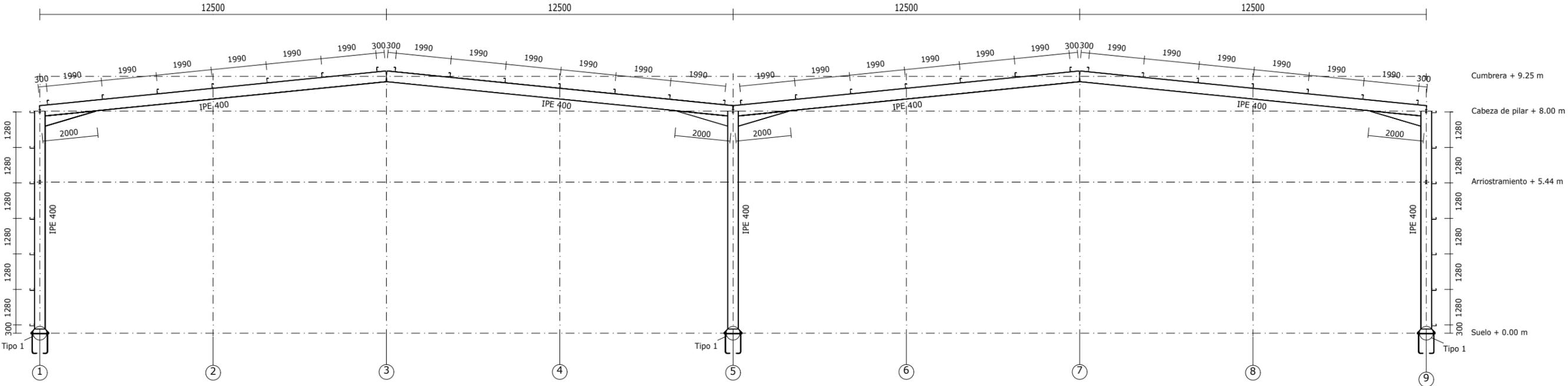
CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capítulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

2D: A-K



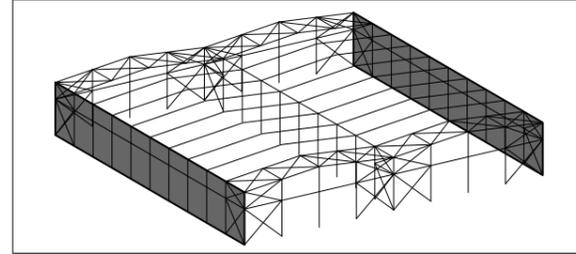
CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA			
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capítulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

2D: B-C-D-E-F-G-H-I-J

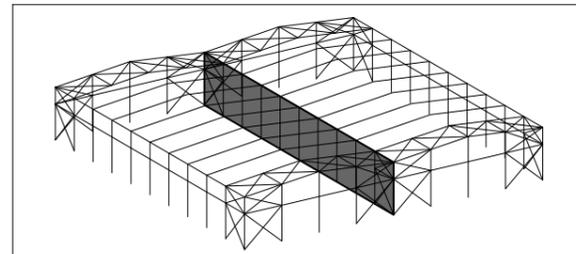
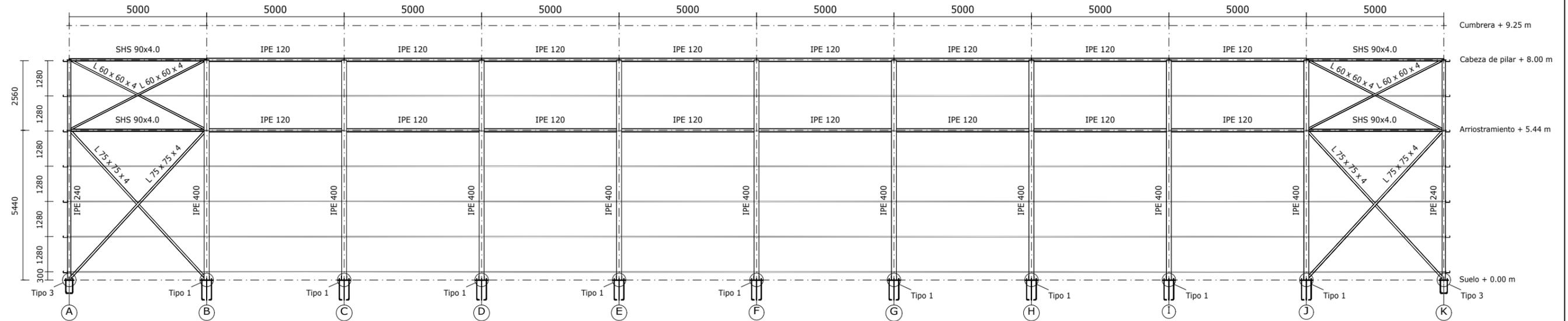


CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA

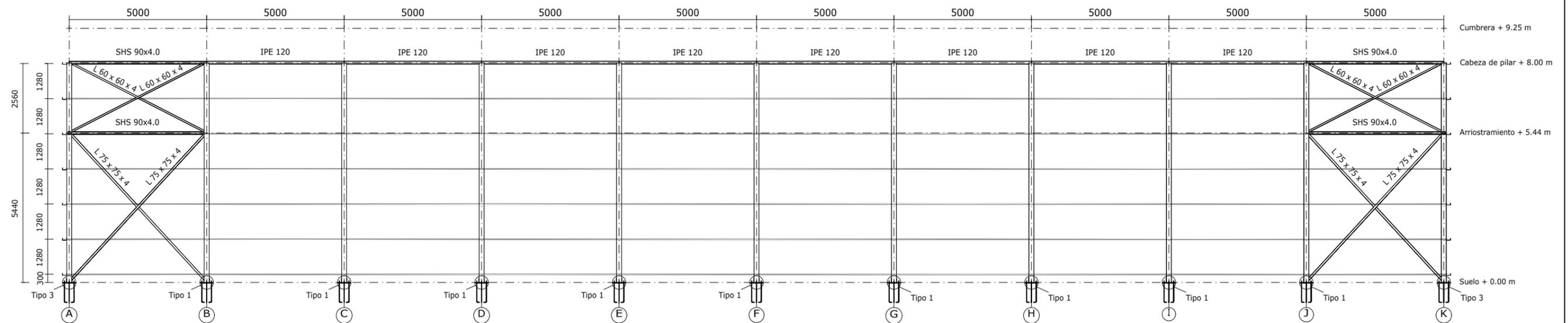
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capítulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frio	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$



2D: 1-9

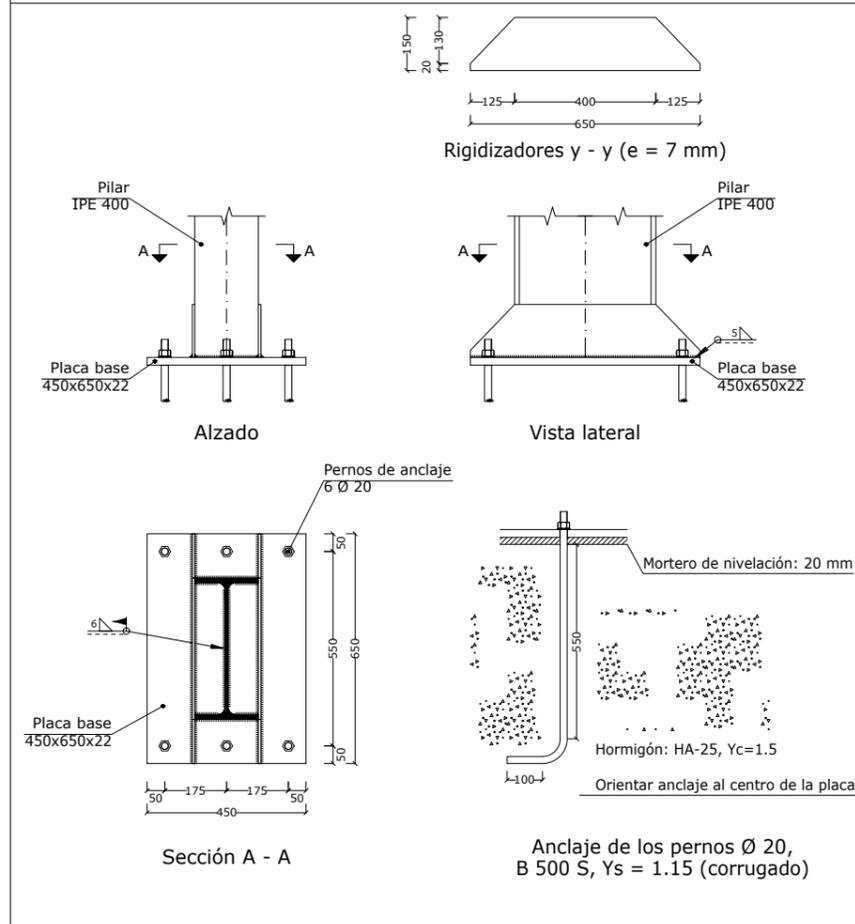


2D: 5

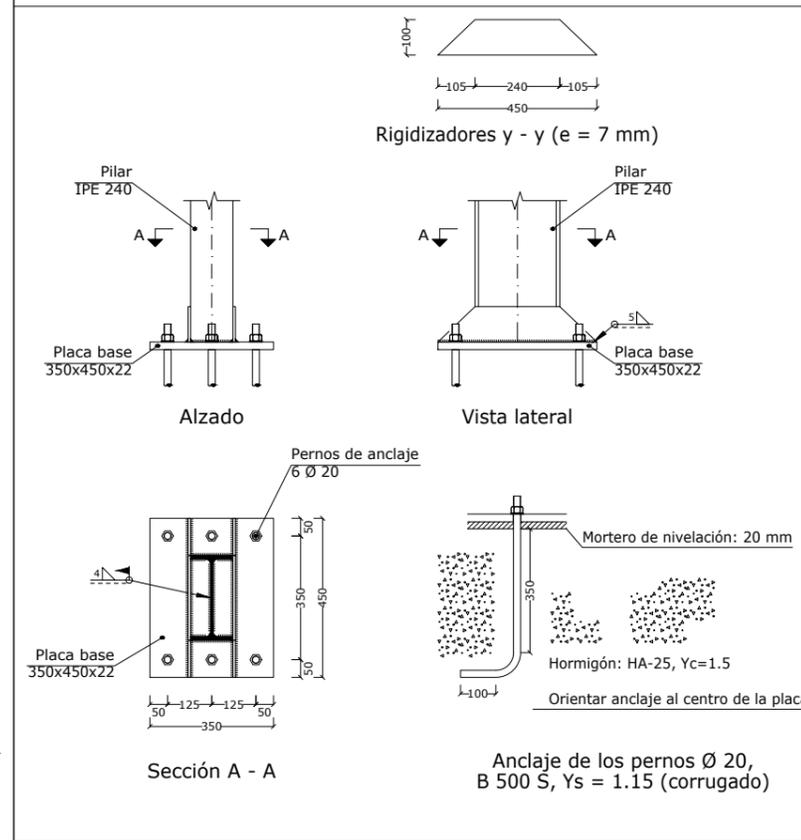


ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA (CE Capitulo 18, Artículo 83,Tabla 83.1.d)		γ_{M0}	γ_{M1}
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$
Perfiles conformados en frio	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	$\gamma_{M0}=1,05$	$\gamma_{M1}=1,05$

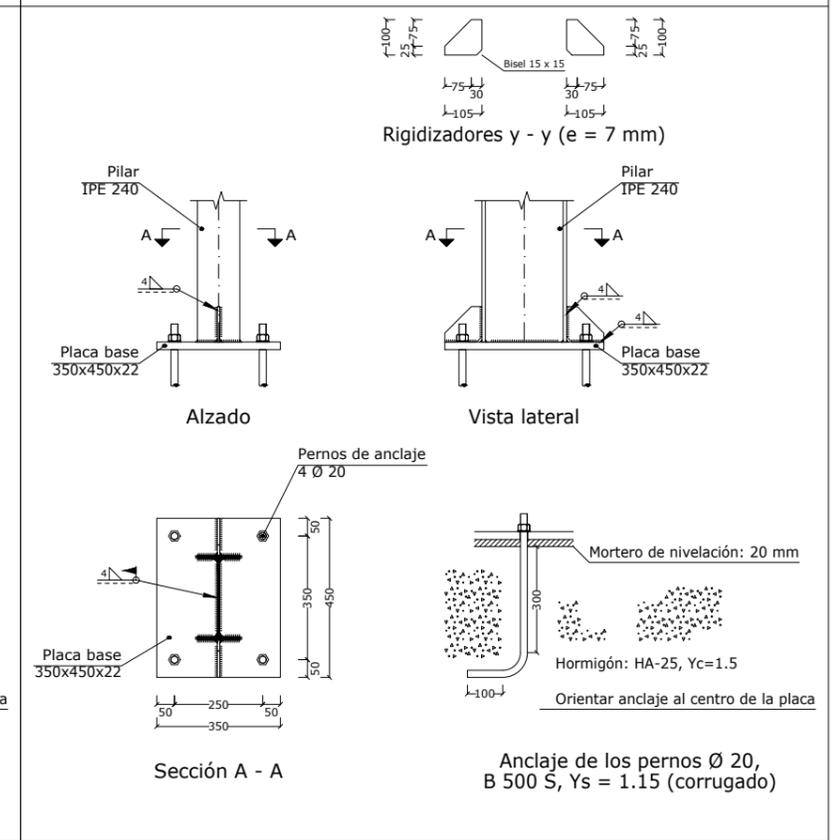
Tipo 1

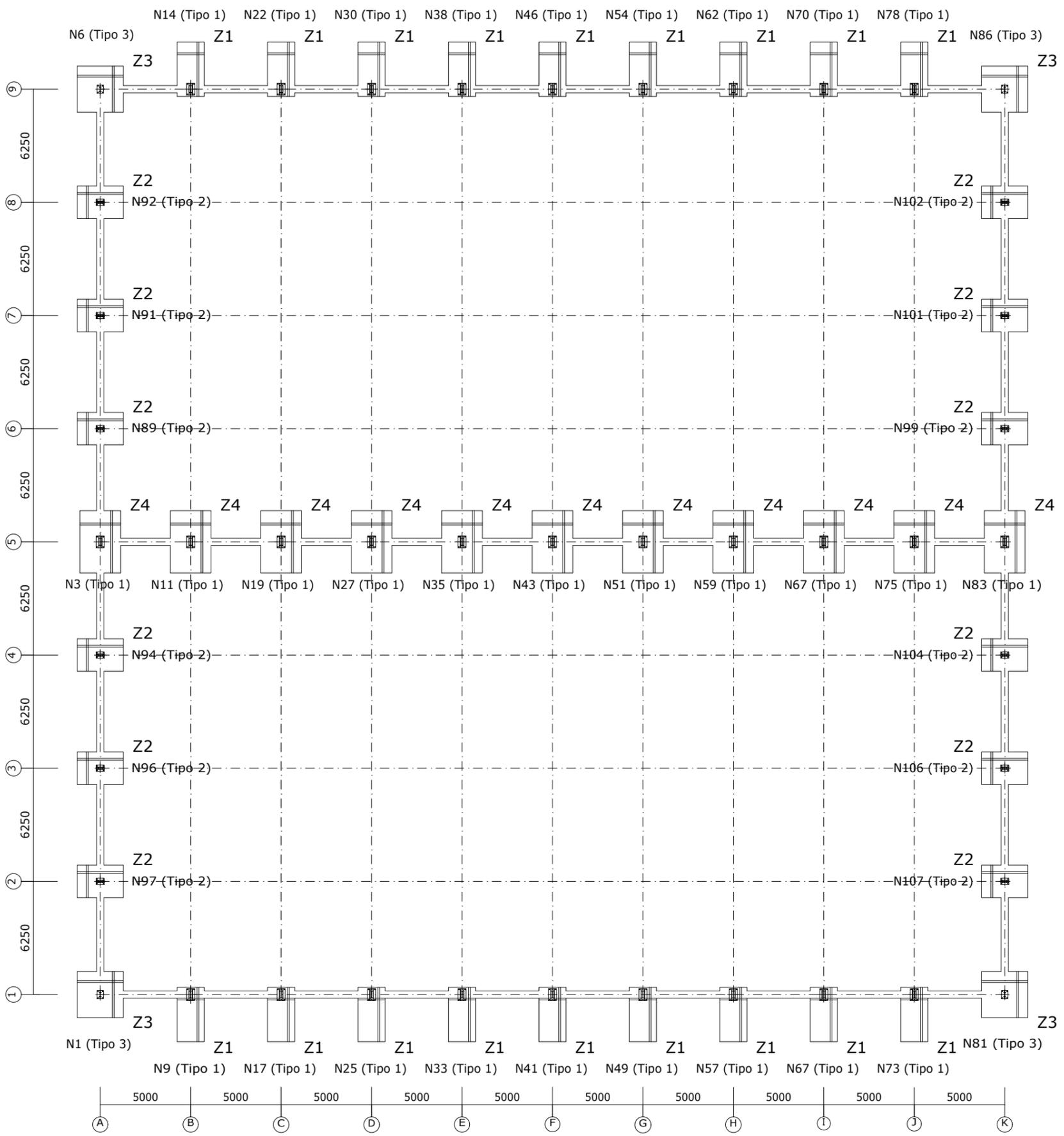


Tipo 2



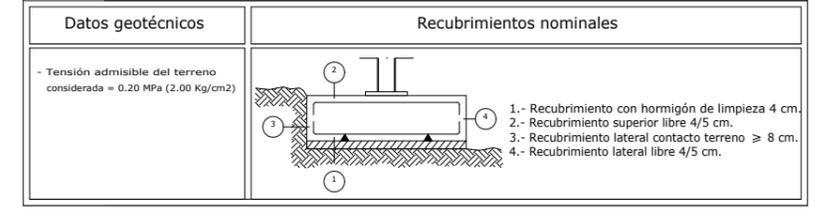
Tipo 3





CUADRO DE VIGAS DE ATADO	
40	C.1.1 Arm. sup.: 2Ø12 Arm. inf.: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/25
40	

Características de los materiales - Zapatas de cimentación							
Materiales	Hormigón				Acero		
	Control		Características		Control		Características
Elemento Zona/Planta	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Consistencia	Tamaño máx. árido	Nivel Control	Coef. Ponde. Tipo
Zapatas	Estadístico	$\gamma_{c=1.50}$	HA-25/F/20/XC2	Fluida (10-15 cm)	20/30 mm	Normal	$\gamma_{s=1.15}$ B500S
Vigas de atado	Estadístico	$\gamma_{c=1.50}$	HA-25/F/20/XC2	Fluida (9-15 cm)	20/30 mm	Normal	$\gamma_{s=1.15}$ B500S
Ejecución (Acciones)	Normal	$\gamma_{G=1.35}$ $\gamma_{Q=1.50}$	Adaptado a la Instrucción CTE Db-Cimientos				
Exposición/ambiente	Terreno	Terreno protegido u hormigón de limpieza		X0	X1	X2	X3
Recubrimientos nominales (mm)	80	Ver Exposición/Ambiente		30	35	35	35

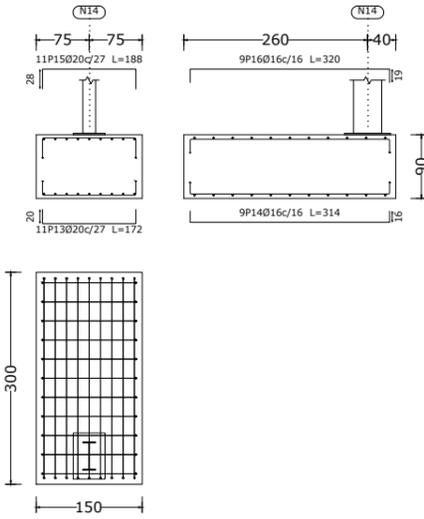


Cuadro de arranques			
Tipo de Placa de Anclaje	Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
T1	N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N3, N83, N14, N22, N30, N38, N46, N54, N62, N70, N78, N9, N17, N25, N33, N41, N49, N57, N65 y N73	6 Pernos Ø 20	Placa base (450x650x22)
T2	N94, N96, N97, N89, N91, N92, N102, N101, N99, N104, N106 y N107	6 Pernos Ø 20	Placa base (350x450x22)
T3	N6, N86, N81 y N1	4 Pernos Ø 20	Placa base (350x450x22)

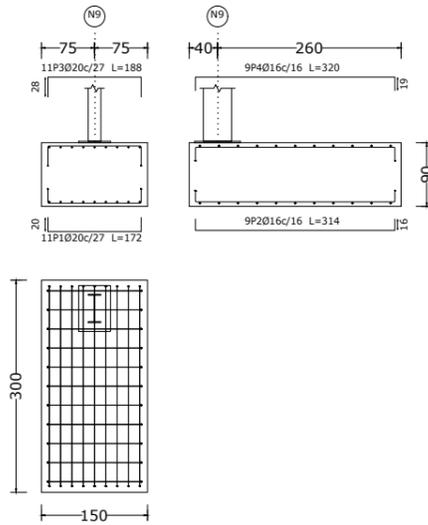
CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN							
Tipo de zapata	Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y	Armado sup. X	Armado sup. Y
Z1	N9, N17, N25, N33, N41, N49, N57, N65, N73, N62, N70, N78, N14, N22, N30, N38, N46 y N54	150x300	90	11Ø20c/27	9Ø16c/16	11Ø20c/27	9Ø16c/16
Z2	N89, N91, N92, N94, N96, N97, N99, N101, N102, N104, N106 y N107	180x255	55	9Ø16c/29	11Ø12c/16	9Ø16c/29	11Ø12c/16
Z3	N1, N6, N81 y N86	255x255	45	13Ø12c/19	13Ø12c/19	13Ø12c/19	13Ø12c/19
Z4	N3, N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75 y N83	225x345	70	15Ø16c/23	10Ø16c/22	15Ø16c/23	10Ø16c/22

Z1

N14, N22, N30, N38, N46, N54, N62, N70 y N78

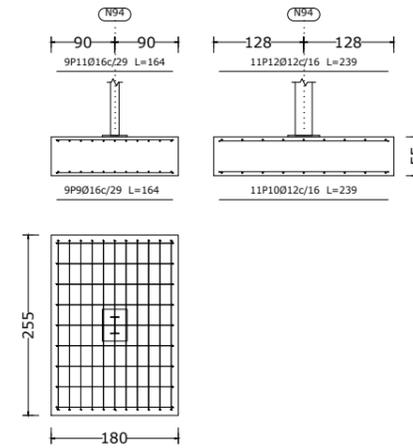


N9, N17, N25, N33, N41, N49, N57, N65 y N73



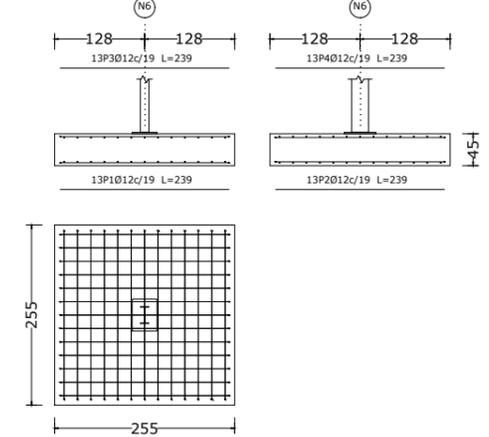
Z2

N94, N96, N97, N89, N91, N92, N102, N101, N99, N104, N106 y N107



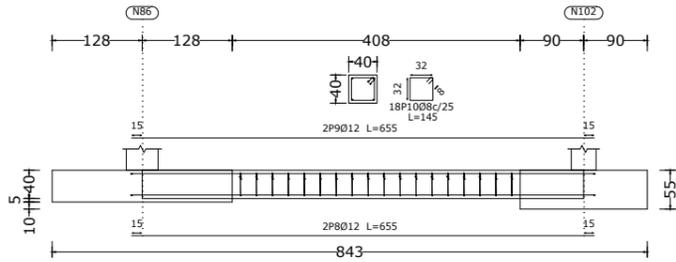
Z3

N6, N86, N81 y N1

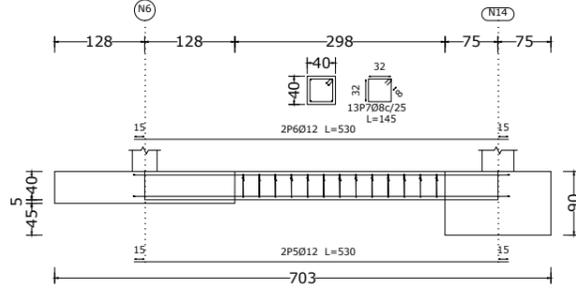


VIGA DE ATADO

C [N86-N102], C [N102-N101], C [N101-N99], C [N99-N83], C [N83-N104], C [N104-N106], C [N106-N107], C [N107-N81], C [N1-N97], C [N97-N96], C [N96-N94], C [N94-N3], C [N3-N89], C [N89-N91], C [N91-N92] y C [N92-N6]

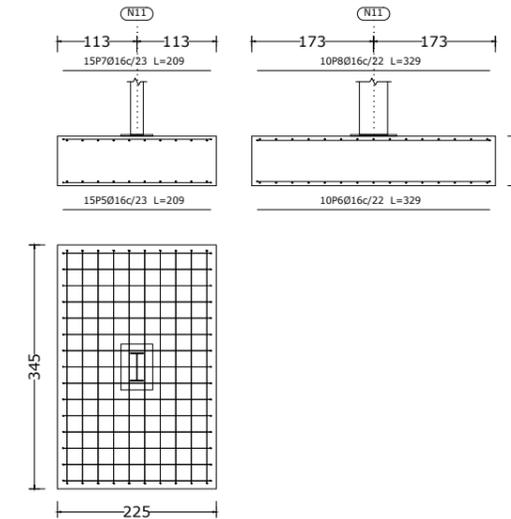


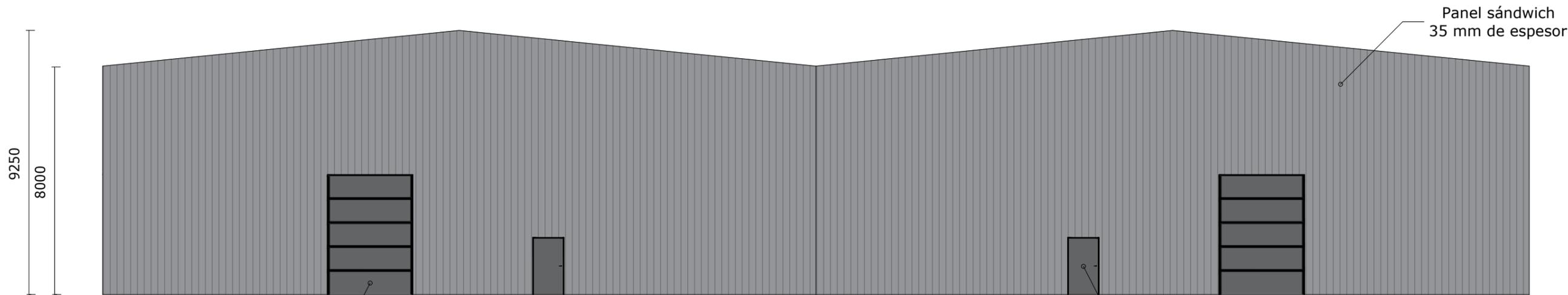
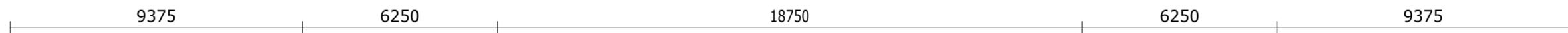
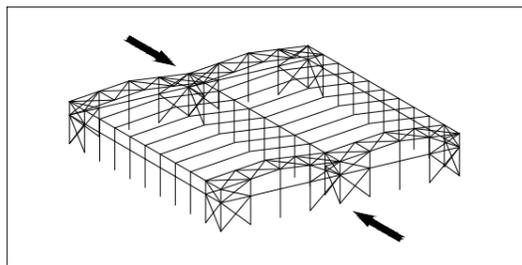
C [N6-N14], C [N14-N22], C [N22-N30], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-N78], C [N78-N86], C [N81-N73], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [N3-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N35-N43], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67], C [N67-N75] y C [N75-N83]



Z4

N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N3 y N83

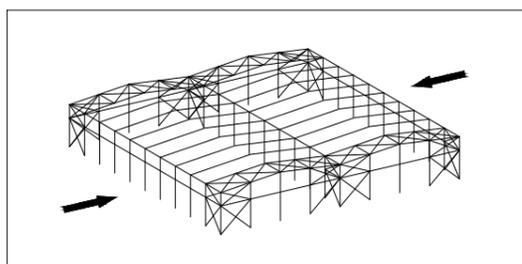




Panel sándwich
35 mm de espesor

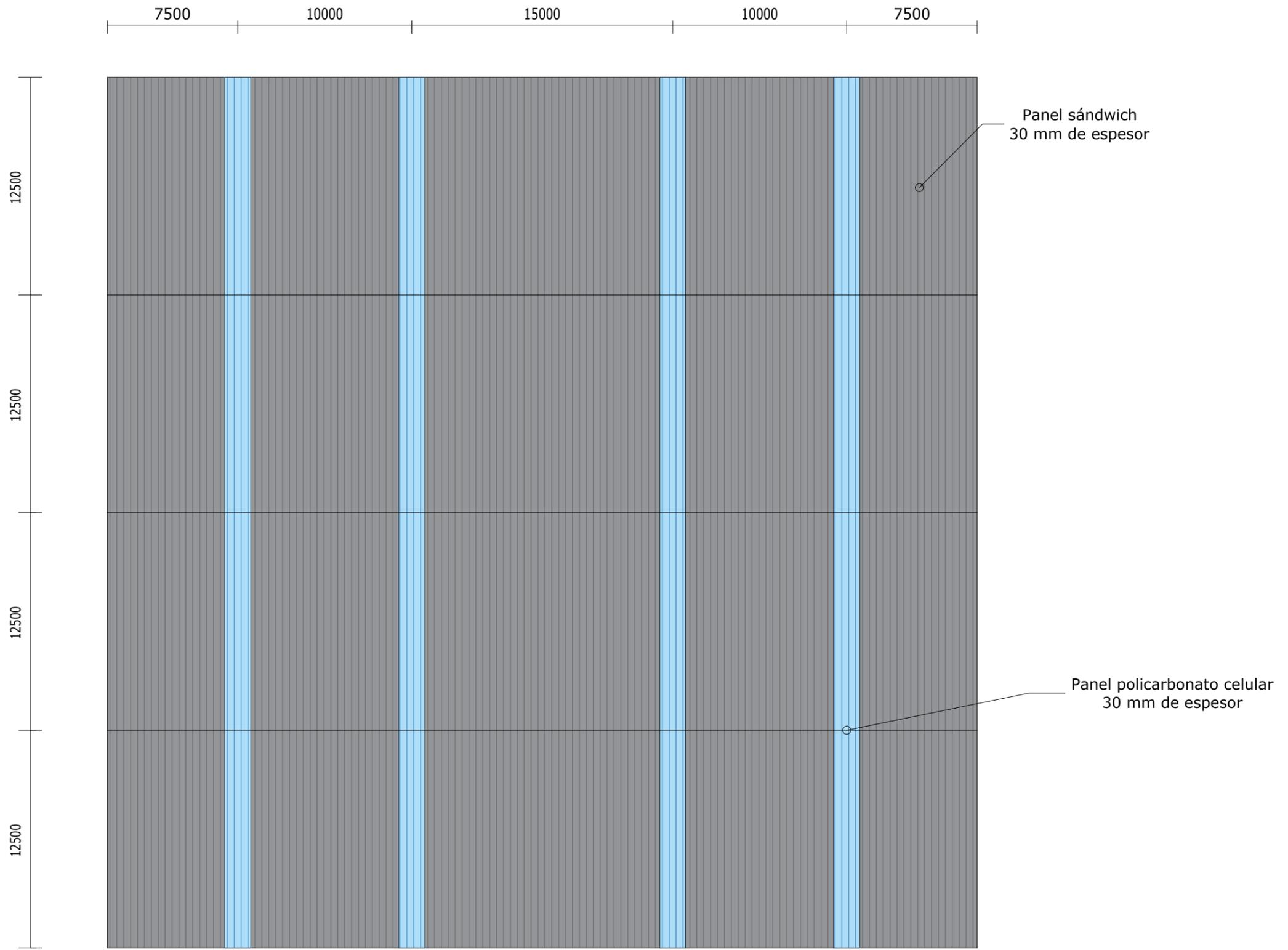
Puerta seccional industrial
2 x (3000x4200)

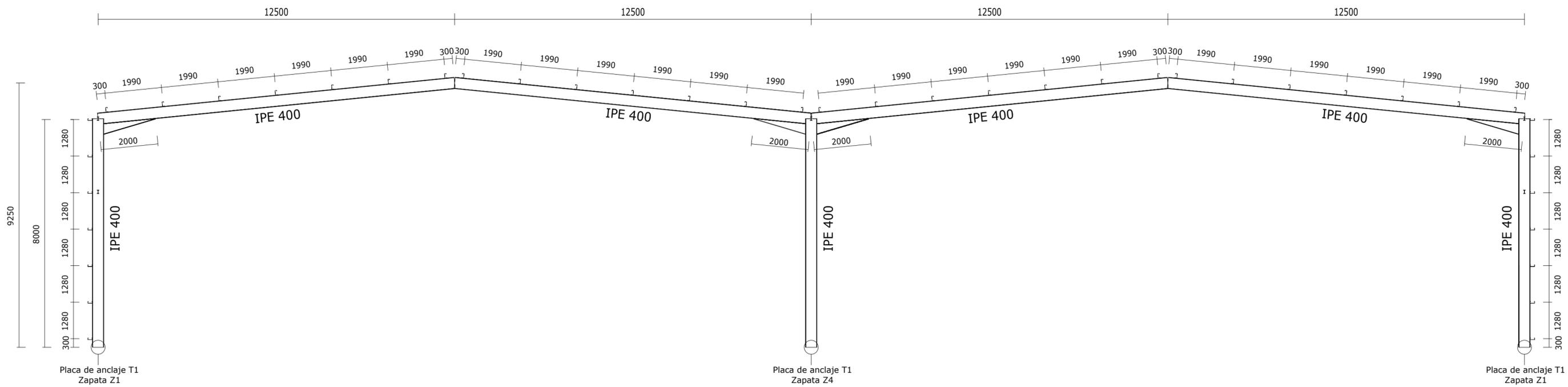
Puerta cortafuegos pivotante homologada
2 x (900X2000)



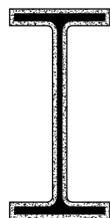
Ventanal fijo de aluminio 6 x (3000x800)





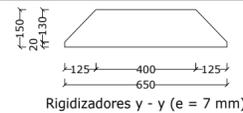


Protección pasiva IGNIPLASTER

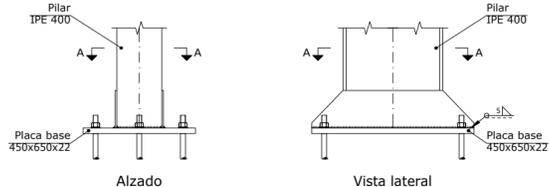


Dominio de la Temperatura	
Elemento	Espesor (mm)
Jácena	13
Pilar exterior	10
Pilar interior	10
Dominio de la Resistencia	
Elemento	Espesor (mm)
Jácena	10
Pilar exterior	10
Pilar interior	10

Tipo 1

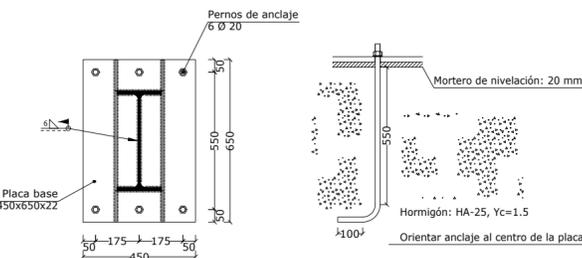


Rigidizadores y - y (e = 7 mm)



Alzado

Vista lateral



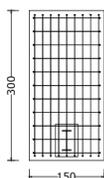
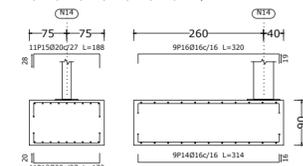
Sección A - A

Anclaje de los pernos Ø 20, B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)

Escala 1:20

Z1

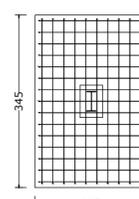
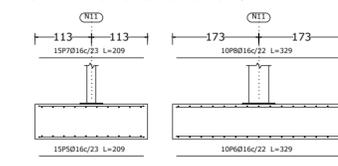
N14, N22, N30, N38, N46, N54, N62, N70 y N78



Escala 1:100

Z4

N11, N19, N27, N35, N43, N51, N59, N67, N75, N83 y N83



Escala 1:100

CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA					
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA					
	T _{no}	T _{o, max}	T _{no}	T _{o, max}	
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	1,05	1,00	1,05	1,00
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	1,05	1,00	1,05	1,00

Características de los materiales - Zapatas de cimentación						
Materiales	Hormigón			Acero		
	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo
Elemento Zona/Planta						
Zapatas	Estadístico	γ = 1.50 γ _o = 1.35	HA-25/F20/NC2	Normal	γ = 1.15 γ _o = 1.10	ES000S
Vigas de atado	Estadístico	γ = 1.50 γ _o = 1.35	HA-25/F20/NC2	Normal	γ = 1.15 γ _o = 1.10	ES000S

Ejecución (Acciones)					
normal	γ = 1.35 γ _o = 1.30	γ = 1.00 γ _o = 1.00	Adaptado a la Instrucción CTE De-Cimentos		

Exposición/ambiente					
Terreno	Terreno protegido u hormigón de alta resistencia	X0	X1	X2	X3

Recubrimientos nominales (mm)					
80	Ver Exposición/Ambiente	30	35	35	35

Notas

- Control Estadístico en CE
- Solapes según CE
- El acero utilizado deberá estar garantizado con un distintivo reconocido: Sello CIETSID, CC-EHE, ...

Datos geotécnicos		Recubrimientos nominales	
- Tensión admisible del terreno considerada en situación persistente o transitoria = 0.20 MPa (2.00 Kg/cm ²)			
- Tensión admisible del terreno considerada en situación extraordinaria = 0.30 MPa (3.00 Kg/cm ²)		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Recubrimiento con hormigón de limpieza 4 cm. 2.- Recubrimiento superior libre 4/5 cm. 3.- Recubrimiento lateral contacto terreno ≥ 8 cm. 4.- Recubrimiento lateral libre 4/5 cm. 	

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Autor:
José Manuel Abellán Marín

Proyecto:

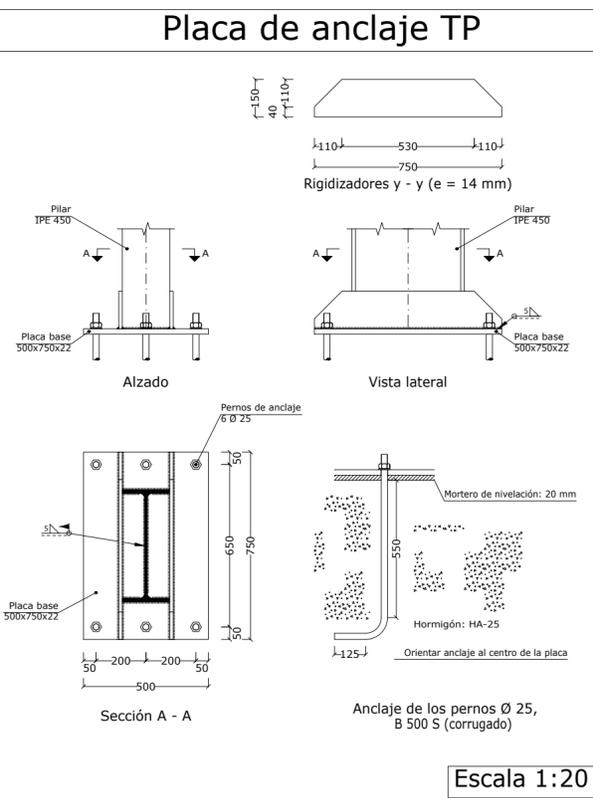
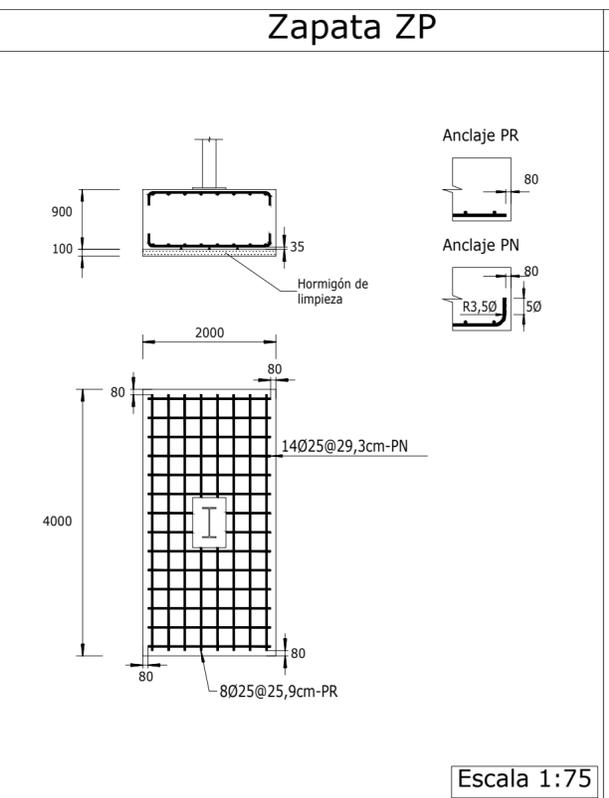
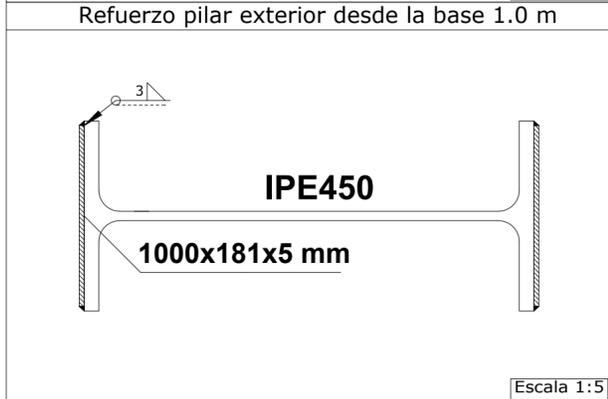
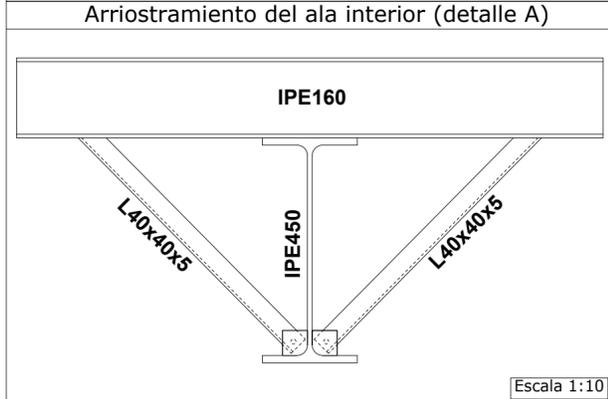
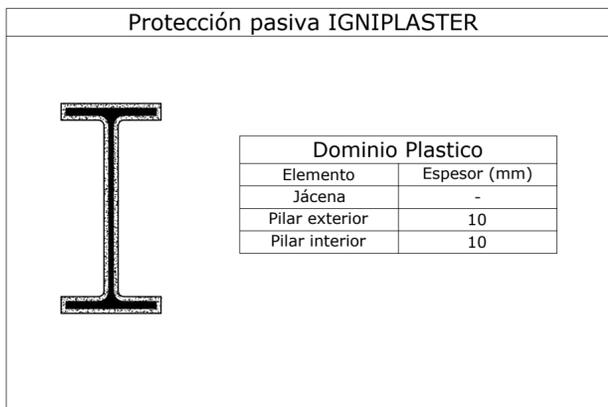
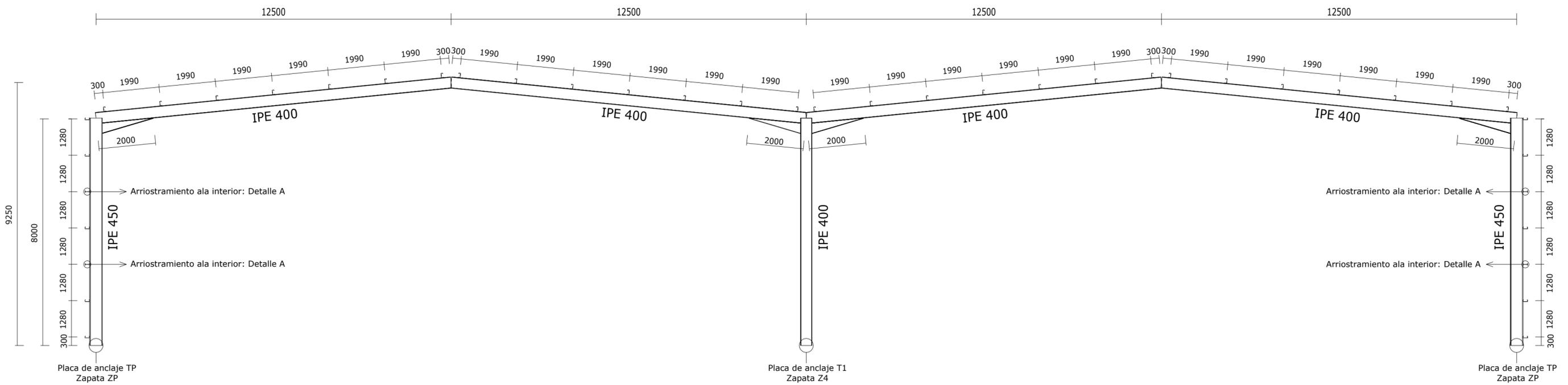
PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE 2500 M2 DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE CÁLCULO.

Fecha: **Agosto 2024**

Plano: **Pórtico interior (dominio de la temperatura y la resistencia)**

Escala: **1:100**

Nº Plano: **13**



CUADRO MATERIALES ESTRUCTURA METÁLICA						
ACERO EN ESTRUCTURA METÁLICA						
Perfiles laminados en caliente	S 275 - L.E. 275 N/mm ²	1,05	1,00	1,05	1,00	
Perfiles conformados en frío	S 235 - L.E. 235 N/mm ²	1,05	1,00	1,05	1,00	
Características de los materiales - Zapatas de cimentación						
Elemento	Hormigón				Acero	
	Nivel Control	Coef. Ponde.	Tipo	Consistencia	Nivel Control	Coef. Ponde.
Zapatas	Estadístico	γ = 1,50 γ = 1,35	HA-25/F20/XC2	Plasta (F15)	Normal	γ = 1,15 γ = 1,05
Vigas de atado	Estadístico	γ = 1,50 γ = 1,35	HA-25/F20/XC2	Plasta (F15)	Normal	γ = 1,15 γ = 1,05
Ejecución (Acciones)						
Normal	γ = 1,35 γ = 1,10	γ = 1,00 γ = 0,90	Adaptado a la Instrucción CTE De-Cimentos			
Exposición/ambiente						
Terreno	Terreno protegido u hormigón de limpieza	X0	X1	X2	X3	
Recubrimientos nominales (mm)						
80	Ver Exposición/Ambiente	30	35	35	35	
Notas						
- Control Estadístico en CE						
- Solapes según CE						
- El acero utilizado deberá estar garantizado con un distintivo reconocido: Sello CIETSID, CC-EHE, ...						
Datos geotécnicos			Recubrimientos nominales			
- Tensión admisible del terreno considerada en situación persistente o transitoria = 0,20 MPa (2,00 Kg/cm ²)			1.- Recubrimiento con hormigón de limpieza 4 cm.			
- Tensión admisible del terreno considerada en situación extraordinaria = 0,30 MPa (3,00 Kg/cm ²)			2.- Recubrimiento superior libre 4/5 cm.			
			3.- Recubrimiento lateral contacto terreno ≥ 8 cm.			
			4.- Recubrimiento lateral libre 4/5 cm.			

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA

Autor:
José Manuel Abellán Marín

Proyecto:

PROYECTO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA EN SITUACIÓN DE INCENDIO PARA UNA NAVE DE 2500 M2 DE ACUERDO CON EL NUEVO RSCIEI-2024. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE CÁLCULO.

Fecha: **Agosto 2024**

Plano: **1:100**

Nº Plano: **14**

Pórtico interior (dominio plástico)