



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

Área de Conocimiento: Expresión Gráfica en la Ingeniería

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y SENSORIZACIÓN DE UNA JAULA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA

Grado en

Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Autor: JULIÁN AGUILAR PIZARRO

Tutor: DR. DÑA. PATRICIA MORA SEGADO

Cotutor: D. JAVIER MARTÍN DOMÍNGUEZ

MÁLAGA, junio de 2.025



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

TRABAJO FIN DE GRADO
JULIÁN AGUILAR PIZARRO

22 de junio de 2025



Resumen

El powerlifting o levantamiento de potencia es un deporte de fuerza en el que se practican tres levantamientos principales: Sentadilla, Press Banca y Peso Muerto, con el objetivo de levantar la máxima carga posible a una repetición cumpliendo unos estándares o reglas en cada uno de los levantamientos. Actualmente, la Federación Internacional de Powerlifting es el principal organismo rector de este deporte, la cual establece estándares estrictos destinados a garantizar la equidad y la seguridad del deporte y su competición.

Para poder practicar los levantamientos con la seguridad necesaria, se requiere de estructuras específicas que permitan sostener la barra, así como asistir y proteger al atleta en caso de fallos en el levantamiento. En el mercado actual existen numerosos modelos de jaulas de potencia y racks, con variaciones en capacidad de carga, dimensiones, materiales y accesorios. Sin embargo, muchos de estos modelos no cumplen con las especificaciones de alta seguridad y funcionalidad necesarias para un entrenamiento enfocado en la competición de powerlifting, conforme a los estándares de la Federación Internacional de Powerlifting (IPF). Es por ello que, tras practicar el deporte durante años en todo tipo de estructuras de diversos gimnasios de España, decidí juntar dos partes de mi vida la ingeniería y el powerlifting.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y modelar una jaula de potencia que cumpla los estándares y dimensiones establecidos por la IPF para el entrenamiento de powerlifting de competición, logrando una estructura de alta seguridad y gran versatilidad que permita soportar cargas elevadas de más de 500 kg. La jaula incluirá sistema de rodamiento en los soportes para facilitar el centrado de la barra, un sistema de fijación para el banco y una estructura cerrada que minimice los riesgos durante los movimientos. Además, se adaptará para una posible integración de accesorios adicionales que permitan la realización de ejercicios auxiliares y variantes de los levantamientos de competición, contribuyendo así a un entrenamiento más completo.

Por otro lado, en este proyecto también se estudiarán diversos tipos de sensores y/o cámaras, con el fin de determinar cuáles serían de ayuda y podrían integrarse en la estructura o en su exterior para obtener información de los levantamientos, para la mejora del rendimiento en los atletas.

Palabras clave: modelado, calculo estructural, diseño, sensores, seguridad, sketchup, CYPE.



Abstract

Powerlifting is a strength sport that features three main lifts: Squat, Bench Press and Deadlift, with the goal of lifting the maximum possible load for one repetition while meeting certain standards or rules for each lift. Currently, the International Powerlifting Federation is the main governing body for this sport, which establishes strict standards aimed at ensuring the fairness and safety of the sport and its competition.

In order to be able to practice the lifts safely, specific structures are required to support the bar, as well as assist and protect the athlete in case of errors in the lift. There are numerous models of power cages and racks on the market today, with variations in load capacity, dimensions, materials and accessories. However, many of these models do not meet the high safety and functionality specifications required for training focused on powerlifting competition, according to the standards of the International Powerlifting Federation (IPF). That is why, after practicing the sport for years in all kinds of structures in various gyms in Spain, I decided to bring together two parts of my life: engineering and powerlifting.

This project aims to design and model a power cage that meets the standards and dimensions established by the IPF for competitive powerlifting training, achieving a highly secure and highly versatile structure that can withstand high loads of more than 500 kg. The cage will include bearings in the supports to facilitate the centering of the bar, a fixing system for the bench and a closed structure that minimizes risks during movements. In addition, it will be adapted for a possible integration of additional accessories that allow the performance of auxiliary exercises and variations of the competition lifts, thus contributing to a more complete training.

On the other hand, in this project various types of sensors and/or cameras will also be studied, in order to determine which ones would be helpful and could be integrated into the structure or on its exterior to obtain information on the lifts, to improve performance in athletes.

Keywords: modeling, structural calculation, design, sensors, security, sketchup, CYPE.



Índice general

Resumen	3
Abstract	4
1. Memoria	15
1.1 Introducción	22
1.1.1 Justificación y Motivación	23
1.1.2 Objetivos	24
1.1.2.1 Objetivo General	24
1.1.2.2 Objetivos Específicos.....	24
1.2 Normas y referencias.....	24
1.2.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	24
1.2.2 Programas de cálculo	25
1.2.3 Bibliografía	26
1.3 Definiciones y abreviaturas.....	29
1.4 Requisitos del diseño.....	29
1.4.1 Normativa aplicable	31
1.5 Diseño y Modelado 3D	33
1.6 Materiales y Métodos de unión.....	42
1.6.1 Selección del material	42
1.6.2 Métodos de unión	43
1.7 Análisis Estructural	46
1.7.1 Hipótesis de Carga	46
1.7.2 Análisis Estructura Base.....	47
1.7.2.1 Descripción del Modelo.....	47
1.7.2.2 Combinaciones de Carga Analizadas	47



1.7.2.3	Ensayos	47
1.7.2.4	Resultados	50
1.7.3	Análisis Estructura del Banco	51
1.7.3.1	Descripción del Modelo.....	51
1.7.3.2	Combinaciones de Carga Analizadas	51
1.7.3.3	Ensayos	51
1.7.3.4	Resultados	56
1.7.4	Análisis Soportes Barra	56
1.7.4.1	Descripción del Modelo.....	56
1.7.4.2	Combinaciones de Carga Analizadas	56
1.7.4.3	Ensayos	57
1.7.4.4	Resultados	63
1.7.5	Análisis Soportes de Seguridad.....	64
1.7.5.1	Descripción del Modelo.....	64
1.7.5.2	Combinaciones de Carga Analizadas	64
1.7.5.3	Ensayos	65
1.7.5.4	Resultados	71
1.7.6	Análisis Accesorio de Fondera	71
1.7.6.1	Descripción del modelo.....	71
1.7.6.2	Ensayo.....	71
1.7.6.3	Resultado.....	73
1.7	Proceso de Fabricación	73
1.8.1	Selección de materiales	73
1.8.2	Corte de perfiles	73



1.8.3	Mecanizado y perforaciones.....	74
1.8.4	Soldadura de uniones fijas	74
1.8.5	Tratamiento de superficie y acabado.....	74
1.8.6	Montaje y ensamblado final.....	74
1.8.7	Pruebas de validación y control de calidad	75
1.8.8	Embalado y envío.....	75
1.8.8.1	Desmontaje parcial para transporte	75
1.8.8.2	Sistema de embalado	75
1.8.8.3	Logística de transporte	76
1.8.9	Montaje por el usuario final	76
1.9	Estudio y análisis de sensores integrables a la estructura o su entorno para mejora de rendimiento en powerlifting	77
1.9.1	Parámetros de interés en el análisis del rendimiento	77
1.9.2	Análisis de sensores integrables	78
1.9.2.1	Células de carga	78
1.9.2.2	Acelerómetros, giroscopios y sensores inerciales (IMU)	79
1.9.2.3	Sensores de desplazamiento.....	80
1.9.2.4	Sensores de presión	82
1.9.2.5	Electromiografía de superficie (sEMG)	82
1.9.2.6	Cámaras Digitales + Análisis de imagen.....	83
1.9.3	Distribución física en la estructura.....	84
1.9.4	Sistema electrónico y comunicación.....	84
1.9.5	Aplicaciones prácticas	84
1.10	Conclusión y posibles líneas futuras.....	85
1.11	Orden de prioridad entre los documentos.....	86



2.	Anexos	87
2.1	Anexos CYPE	90
2.2	Imágenes Jaula de Potencia	127
3.	Planos	135
4.	Pliego de condiciones	156
4.1	Pliego de condiciones generales, obligaciones legales y económico-administrativas	158
4.1.1	Generalidades	158
4.1.1.1	Objeto del Pliego.....	158
4.1.1.2	Documentos del proyecto base para la contratación	158
4.1.1.3	Alcance o limitaciones de los trabajos	158
4.1.1.4	Criterios para las modificaciones al proyecto.....	158
4.1.2	Obligaciones y responsabilidades de las partes.....	159
4.1.2.1	Del proyectista / coordinador de diseño y fabricación.....	159
4.1.2.2	Del fabricante.....	159
4.1.2.3	De las empresas suministradoras o de acopio	159
4.1.2.4	Del Propietario	160
4.1.3	Criterios administrativos	160
4.1.3.1	Generalidades.....	160
4.1.3.2	Criterios de medición	160
4.2	Pliego de condiciones técnicas particulares	161
4.2.1	Descripción del producto	161
4.2.2	Pruebas y ensayos Material y uniones	161
4.2.3	Cláusula de Inalterabilidad de Materiales y Elementos de Unión .	161
4.2.4	Plan de mantenimiento.....	162



5.	Mediciones	163
5.1	Estructura base	165
5.2	Elementos banco y fijación	166
5.3	Elementos de unión	167
5.4	Accesorio Fondera.....	167
5.5	Soldadura	168
5.6	Pintura y acabado.....	168
5.7	Embalaje.....	169
6.	Presupuesto	170
6.1	Cuadro de precios unitarios.....	172
6.1.1	Estructura base	172
6.1.2	Banco y fijación	172
6.1.3	Elementos de unión.....	173
6.1.4	Accesorio Fondera	173
6.1.5	Soldadura	173
6.1.6	Pintura y acabado.....	174
6.1.7	Embalaje	174
6.2	Cuadro de precios descompuesto	174
6.2.1	Estructura base	174
6.2.2	Banco y fijación	175
6.2.3	Elementos de unión.....	177
6.2.4	Accesorio Fondera	177
6.2.5	Soldadura	179
6.2.6	Pintura y acabado.....	179



6.2.7	Embalaje	180
6.3	Presupuesto	181
6.3.1	Presupuesto de ejecución material.....	181
6.3.2	Presupuesto final.....	182

Índice general de figuras

Figura 1 - Combo Rack Competición	22
Figura 2 - Jaula de potencia	22
Figura 3 - Vista isométrica general del modelo 3D de la jaula de powerlifting .	34
Figura 4 - Percentil de altura INE (INE - Instituto Nacional de Estadística, s. f.)	36
Figura 5 - Vista frontal acotada de la estructura base	37
Figura 6 - Detalle del sistema J-cup con sistema de rodamiento	38
Figura 7 - Múltiples posiciones de ajuste de las barras de seguridad	39
Figura 8 - Sistema de fijación banco	40
Figura 9 - Banco + Sistema fijación.....	41
Figura 10 - Banco fijado a estructura base.....	41
Figura 11 - Accesorio Fondera	41
Figura 12 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (I)	48
Figura 13 - Análisis de tensión en perfil perforado (I).....	49
Figura 14 - Análisis de tensión en perfil perforado (II).....	49
Figura 15 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (II).....	50
Figura 16 - Análisis de tensión en perfiles del banco (I).....	52
Figura 17 - Análisis de deformada en perfiles del banco (I)	53
Figura 18 - Análisis de tensión en perfiles del banco (II).....	54
Figura 19 - Análisis de deformada en perfiles del banco (II)	54
Figura 20 - Análisis de tensión en perfiles del banco (III).....	55
Figura 21 - Análisis de deformada en perfiles del banco (III)	56
Figura 22 - Análisis de tensión en barras del soporte (I)	58
Figura 23 - Análisis de tensión en láminas del soporte (I).....	59



Figura 24 - Análisis de tensión en barras del soporte (II)	60
Figura 25 - Análisis de tensión en láminas del soporte (II)	61
Figura 26 - Análisis de tensión en barras del soporte (III)	62
Figura 27 - Análisis de tensión en láminas del soporte (III)	63
Figura 28 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (I)	66
Figura 29 - Análisis de deformada en perfil del soporte (I)	66
Figura 30 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (I)	67
Figura 31 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (II)	67
Figura 32 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (III)	68
Figura 33 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (IV)	69
Figura 34 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (II)	69
Figura 35 - Análisis de deformada en perfil del soporte (II)	70
Figura 36 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (V)	70
Figura 37 - Hipótesis de carga para Fondera	71
Figura 38 - Análisis de tensión en barras de la fondera	72
Figura 39 - Análisis de tensión en láminas del anclaje de la fondera	72
Figura 40 – Célula de carga flexión CCFAX-1 500 kg (CÉLULA DE CARGA FLEXIÓN CCFAX-1 500 Kg, 2025)	78
Figura 41 – IMU (RobotShop Europe, s. f.)	80
Figura 42 – Encoder (Admin, 2021)	81
Figura 43 - Encoder rotativo (30 Series - Encoder Rotativo Incremental By Hohner Automaticos DirectIndustry, s. f.)	81
Figura 44 - Sensor de presión plantar	82
Figura 45 - sEMG (mDurance, 2024)	82
Figura 46 - Vista Isométrica Frontal	127



Figura 47 - Vista Isométrica Trasera	128
Figura 48 - Vista lateral	129
Figura 49 - Jaula de potencia sin banco.....	130
Figura 50 - Detalle Soporte	131
Figura 51 - Detalle Pines para gomas	131
Figura 52 - Detalle Soporte Fijación Banco	132
Figura 53 - Detalle superficies para ayuda	132
Figura 54 - Pasos Fijación Banco.....	133
Figura 55 - Jaula + Fondera	134
Figura 56 - Detalle Fondera.....	134



Índice general de tablas

Tabla 1 - Comparativa técnica y económica de perfiles estructurales de acero S275.....	35
Tabla 2 - Dimensiones principales de la estructura base	37
Tabla 3 - Comparativa aceros S275 - S355	43
Tabla 4 - Combinaciones para análisis de estructura base.....	47
Tabla 5 - Combinaciones para análisis de banco.....	51
Tabla 6 - Combinaciones para análisis de soporte.....	57
Tabla 7 - Combinaciones para análisis de soporte de seguridad.....	65



1. Memoria



Índice Memoria

1.1	Introducción	22
1.1.1	Justificación y Motivación	23
1.1.2	Objetivos	24
1.1.2.1	Objetivo General	24
1.1.2.2	Objetivos Específicos.....	24
1.2	Normas y referencias.....	24
1.2.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	24
1.2.2	Programas de cálculo	25
1.2.3	Bibliografía	26
1.3	Definiciones y abreviaturas.....	29
1.4	Requisitos del diseño.....	29
1.4.1	Normativa aplicable	31
1.5	Diseño y Modelado 3D	33
1.6	Materiales y Métodos de unión.....	42
1.6.1	Selección del material	42
1.6.2	Métodos de unión	43
1.7	Análisis Estructural	46
1.7.1	Hipótesis de Carga	46
1.7.2	Análisis Estructura Base.....	47
1.7.2.1	Descripción del Modelo.....	47
1.7.2.2	Combinaciones de Carga Analizadas	47
1.7.2.3	Ensayos	47
1.7.2.4	Resultados	50



1.7.3	Análisis Estructura del Banco	51
1.7.3.1	Descripción del Modelo.....	51
1.7.3.2	Combinaciones de Carga Analizadas	51
1.7.3.3	Ensayos	51
1.7.3.4	Resultados	56
1.7.4	Análisis Soportes Barra	56
1.7.4.1	Descripción del Modelo.....	56
1.7.4.2	Combinaciones de Carga Analizadas	56
1.7.4.3	Ensayos	57
1.7.4.4	Resultados	63
1.7.5	Análisis Soportes de Seguridad.....	64
1.7.5.1	Descripción del Modelo.....	64
1.7.5.2	Combinaciones de Carga Analizadas	64
1.7.5.3	Ensayos	65
1.7.5.4	Resultados	71
1.7.6	Análisis Accesorio de Fondera	71
1.7.6.1	Descripción del modelo.....	71
1.7.6.2	Ensayo	71
1.7.6.3	Resultado.....	73
1.7	Proceso de Fabricación	73
1.8.1	Selección de materiales	73
1.8.2	Corte de perfiles	73
1.8.3	Mecanizado y perforaciones.....	74
1.8.4	Soldadura de uniones fijas	74



1.8.5	Tratamiento de superficie y acabado.....	74
1.8.6	Montaje y ensamblado final.....	74
1.8.7	Pruebas de validación y control de calidad	75
1.8.8	Embalado y envío.....	75
1.8.8.1	Desmontaje parcial para transporte.....	75
1.8.8.2	Sistema de embalado	75
1.8.8.3	Logística de transporte	76
1.8.9	Montaje por el usuario final	76
1.9	Estudio y análisis de sensores integrables a la estructura o su entorno para mejora de rendimiento en powerlifting	77
1.9.1	Parámetros de interés en el análisis del rendimiento	77
1.9.2	Análisis de sensores integrables	78
1.9.2.1	Células de carga	78
1.9.2.2	Acelerómetros, giroscopios y sensores inerciales (IMU)	79
1.9.2.3	Sensores de desplazamiento.....	80
1.9.2.4	Sensores de presión	82
1.9.2.5	Electromiografía de superficie (sEMG)	82
1.9.2.6	Cámaras Digitales + Análisis de imagen.....	83
1.9.3	Distribución física en la estructura.....	84
1.9.4	Sistema electrónico y comunicación.....	84
1.9.5	Aplicaciones prácticas	84
1.10	Conclusión y posibles líneas futuras.....	85
1.11	Orden de prioridad entre los documentos.....	86

Índice de figuras

Figura 1 - Combo Rack Competición	22
Figura 2 - Jaula de potencia	22
Figura 3 - Vista isométrica general del modelo 3D de la jaula de powerlifting .	34
Figura 4 - Percentil de altura INE (INE - Instituto Nacional de Estadística, s. f.)	36
Figura 5 - Vista frontal acotada de la estructura base	37
Figura 6 - Detalle del sistema J-cup con sistema de rodamiento	38
Figura 7 - Múltiples posiciones de ajuste de las barras de seguridad	39
Figura 8 - Sistema de fijación banco	40
Figura 9 - Banco + Sistema fijación.....	41
Figura 10 - Banco fijado a estructura base.....	41
Figura 11 - Accesorio Fondera	41
Figura 12 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (I)	48
Figura 13 - Análisis de tensión en perfil perforado (I).....	49
Figura 14 - Análisis de tensión en perfil perforado (II).....	49
Figura 15 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (II).....	50
Figura 16 - Análisis de tensión en perfiles del banco (I).....	52
Figura 17 - Análisis de deformada en perfiles del banco (I)	53
Figura 18 - Análisis de tensión en perfiles del banco (II).....	54
Figura 19 - Análisis de deformada en perfiles del banco (II)	54
Figura 20 - Análisis de tensión en perfiles del banco (III).....	55
Figura 21 - Análisis de deformada en perfiles del banco (III)	56
Figura 22 - Análisis de tensión en barras del soporte (I)	58
Figura 23 - Análisis de tensión en láminas del soporte (I).....	59



Figura 24 - Análisis de tensión en barras del soporte (II)	60
Figura 25 - Análisis de tensión en láminas del soporte (II)	61
Figura 26 - Análisis de tensión en barras del soporte (III)	62
Figura 27 - Análisis de tensión en láminas del soporte (III)	63
Figura 28 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (I)	66
Figura 29 - Análisis de deformada en perfil del soporte (I)	66
Figura 30 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (I)	67
Figura 31 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (II)	67
Figura 32 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (III)	68
Figura 33 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (IV)	69
Figura 34 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (II)	69
Figura 35 - Análisis de deformada en perfil del soporte (II)	70
Figura 36 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (V)	70
Figura 37 - Hipótesis de carga para Fondera	71
Figura 38 - Análisis de tensión en barras de la fondera	72
Figura 39 - Análisis de tensión en láminas del anclaje de la fondera	72
Figura 40 – Célula de carga flexión CCFAX-1 500 kg (CÉLULA DE CARGA FLEXIÓN CCFAX-1 500 Kg, 2025)	78
Figura 41 – IMU (RobotShop Europe, s. f.)	80
Figura 42 – Encoder (Admin, 2021)	81
Figura 43 - Encoder rotativo (30 Series - Encoder Rotativo Incremental By Hohner Automaticos DirectIndustry, s. f.)	81
Figura 44 - Sensor de presión plantar	82
Figura 45 - sEMG (mDurance, 2024)	82



Índice de tablas

Tabla 1 - Comparativa técnica y económica de perfiles estructurales de acero S275.....	35
Tabla 2 - Dimensiones principales de la estructura base	37
Tabla 3 - Comparativa aceros S275 - S355	43
Tabla 4 - Combinaciones para análisis de estructura base.....	47
Tabla 5 - Combinaciones para análisis de banco.....	51
Tabla 6 - Combinaciones para análisis de soporte.....	57
Tabla 7 - Combinaciones para análisis de soporte de seguridad.....	65

1.1 Introducción

El powerlifting es una disciplina deportiva que se basa en la ejecución de tres movimientos principales: sentadilla, press de banca y peso muerto. En dicho deporte para realizar estos movimientos de forma segura y efectiva, los atletas necesitan de equipamiento específico que les brinde soporte, estabilidad y protección.

En este equipamiento se encuentra un elemento primordial, la estructura que va a soportar la carga y que les protegería en caso de fallo en el levantamiento. A nivel competitivo, en las competiciones se emplean rack de competición como el que se muestra en la figura 1, pero en gimnasios es más común encontrar rack cage o jaulas de potencia como los de la figura 2.



Figura 1 - Combo Rack Competición



Figura 2 - Jaula de potencia

Cada una de las estructuras anteriores presentan ventajas y desventajas a la hora de entrenar con una u otra, por lo que en este proyecto se buscara combinar las ventajas de ambas y eliminar inconvenientes. Siempre con el objetivo de garantizar la seguridad necesaria, permitiendo al atleta entrenar con cargas pesadas de forma eficiente y sin riesgo de accidentes, lo que supondrá de gran ayuda para la mejora del rendimiento como para la prevención de lesiones.

1.1.1 Justificación y Motivación

La justificación de este Trabajo Fin de Grado viene dada por las siguientes causas:

- Aplicación de la ingeniería al deporte: tras años de estudio de ingeniería y años de práctica de powerlifting, surge la necesidad de unir estas dos partes de mi vida con el fin de mejorar pasión mediante vocación.
- Necesidad de mejora en el deporte mediante el modelado y cálculo de una estructura en la que todo atleta quisiera practicarlo.
- Seguridad: reducir riesgos humanos y aumentar la seguridad en la práctica del powerlifting.
- Avances tecnológicos e innovación: estudio de viabilidad para la integración de dispositivos electrónicos en el powerlifting.

Como estudiante de ingeniería y atleta de powerlifting, he ido observado durante años que buena parte de estructuras del tipo jaula o racks que disponen en los gimnasios tienen ciertas deficiencias o limitaciones para la práctica de un deporte como el powerlifting, el cual requiere de una gran especificidad a medida que adquieres más nivel, por lo que cuidar hasta el más mínimo detalle es muy importante.

Es por ello, que este trabajo surge de la necesidad de diseñar una jaula de levantamiento que no solo cumpla con los estándares de competición, sino que además transmita seguridad al atleta, haciéndole poder expresar su máximo potencial sin necesidad de preocuparse por la estabilidad de la jaula o resistencia y solidez de su sistema de seguridad.

Por otro lado, tras ver durante la carrera como se aplicaban gran variedad de dispositivos electrónicos en múltiples áreas de trabajo, surge la idea de ver la viabilidad de integrar alguno de estos en el deporte para poder con esto mejorar el rendimiento y el deporte en general.

1.1.2 Objetivos

1.1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es modelar y calcular la viabilidad estructural de una jaula de potencia para la práctica de powerlifting de forma segura y con una gran especificidad, ajustándose a los estándares de la IPF. Así como, el estudio de diferentes tipos de tecnologías (sensores, cámaras, etc.) aplicables a la mejora del rendimiento deportivo del powerlifting.

1.1.2.2 Objetivos Específicos

- Aprendizaje y uso de herramientas como Sketchup y CYPE de forma complementaria para el modelado y cálculos de viabilidad estructural de la estructura.
- Estudio de cargas y puntos críticos de la estructura.
- La validación y pruebas para diferentes simulaciones de cargas y fallos.
- Brindar seguridad y calidad en el entrenamiento del deportista.
- Aplicación de la ingeniería al deporte para su mejora.
- Análisis de dispositivos existentes en la ingeniería, implementables en el contexto del powerlifting.

1.2 Normas y referencias

1.2.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

- AENOR. (2014). UNE 157011. Criterios generales para elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2014). UNE-EN ISO 20957-1:2014. Equipos fijos para entrenamiento. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2025). UNE-EN ISO 20957-2:2025. Equipos fijos para entrenamiento. Parte 2: Equipos para entrenamiento de la fuerza. Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2017). UNE-EN ISO 20957-4:2017. Equipos fijos para entrenamiento. Parte 4: Bancos para entrenamiento de la fuerza.

Requisitos específicos de seguridad y métodos de ensayo adicionales.
Asociación Española de Normalización.

- AENOR. (2014). UNE-EN ISO 20957-1:2014. Equipos fijos para entrenamiento. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2013). UNE-EN 1993-1-1:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2013). UNE-EN 1993-1-8:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2013). UNE-EN 1993-1-7:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-7: Placas planas cargadas transversalmente. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2015). UNE-EN ISO 898-1:2015. Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2023). UNE-EN ISO 5817:2023. Soldeo. Uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones. Asociación Española de Normalización.
- AENOR. (2020). UNE-EN 10025-2:2020. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados. Asociación Española de Normalización.

1.2.2 Programas de cálculo

- Autodesk AutoCAD 2024. Programa empleado para elaboración de planos y dimensionado.
- Sketchup 2021. Programa de modelado 3D.

- CYPE 3D. Programa de modelado, diseño y cálculo.
- Microsoft Word. Programa empleado para la redacción del proyecto.
- Microsoft Excel. Programa empleado para cálculos del proyecto.

1.2.3 Bibliografía

[1] 3D Design Software | 3D Modeling & Drawing | SketchUp. (s. f.).
<https://www.sketchup.com/es>

[2] Acero en perfiles laminados en caliente. (s. f.-b). Acero En Perfiles Laminados En Caliente.
https://carm.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=1|0|1|EAP020|hac_eap020:0000000000

[3] INE - Instituto Nacional de Estadística. (s. f.). Adultos por sexo, edad y estatura. INE.
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t25/p442/histo/a1999/I0/&file=02082.px&type=pcaxis>

[4] Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors*, 18(3), 873.
<https://doi.org/10.3390/s18030873>

[5] Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Lowry, T. M., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R. (2001). A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6), 984.
https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2001/06000/a_three_dimensional_biomechanical_analysis_of_the_19.aspx

[6] World Open Equipped Powerlifting Championships 2024 - International Powerlifting Federation IPF. (s. f.).
<https://www.powerlifting.sport/championships/results/2024/world-open-equipped-powerlifting-championships-2024>

[7] González-Badillo, J. J., Yañez-García, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodríguez-Rosell, D. (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *International Journal Of Sports Medicine*, 38(03), 217-225.
<https://doi.org/10.1055/s-0042-120324>

- [8] Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E., & González-Badillo, J. (2014). Effect of Movement Velocity during Resistance Training on Neuromuscular Performance. *International Journal Of Sports Medicine*, 35(11), 916-924. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363985>
- [9] Technical Rules - International Powerlifting Federation IPF. (s. f.). <https://www.powerlifting.sport/rules/codes/info/technical-rules>
- [10] Sato, K., Smith, S. L., & Sands, W. A. (2009). Validation of an Accelerometer for Measuring Sport Performance. *The Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(1), 341-347. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181876a01>
- [10] *Prontuario 2021*. (s. f.). <https://prolians.es/catalogos/prontuario-2021/#p=1>
- [11] CÉLULA DE CARGA FLEXIÓN | CCFAX-1 500 kg. (2025, 10 junio). Ae2-arco. <https://www.ae2-arco.es/producto/celula-de-carga-flexion-ccfax-1-500-kg/?srsltid=AfmBOorapDIArbblyjaYsXTeZQg-jd9heh5p19OYOUmGqc11a2P6NbZr>
- [12] Mann, J. B. (2016). *Developing explosive athletes: Use of Velocity Based Training in Athletes*.
- [13] Cordero, M. J. A., López, A. M. S., Barrilao, R. G., Blanque, R. R., Segovia, J. N., & Cano, M. D. P. (2014). [Accelerometer description as a method to assess physical activity in different periods of life; systematic review]. *DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals)*, 29(6), 1250-1261. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7410>
- [14] RobotShop Europe. (s. f.). *Phidget de precisión espacial 3/3/3*. <https://eu.robotshop.com/es/products/phidget-de-precision-espacial-3-3-3?qd=fa339e4b66804127bce175b37ad90a98>
- [15] Grupo Sobre Entrenamiento. (2024, 6 septiembre). Un Sistema de Contacto de Bajo Costo para Evaluar la Velocidad de Desplazamiento de la Carga en una Máquina para el Entrenamiento con Sobrecarga - Grupo Sobre Entrenamiento. *Grupo Sobre Entrenamiento - Líder Mundial en Información y Capacitación a Distancia en Ciencias del Ejercicio y Salud*. <https://g-se.com/es/un-sistema-de-contacto-de-bajo-costo-para-evaluar-la-velocidad-de-desplazamiento-de-la-carga-en-una-maquina-para-el-entrenamiento-con-sobrecarga-1392-sa-a57cfb2720784c>

- [16] De Frutos, F. J. F., Sedano-Campos, S., & Redondo-Castán, J. C. (2017). Power-load curves in an elite weightlifter. A case study. [Curvas de carga-potencia en un halterófilo de élite. Estudio de caso]. *RICYDE Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 13(50), 397-408. <https://doi.org/10.5232/ricyde2017.05006>
- [17] García-Ramos, A., Haff, G. G., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Balsalobre-Fernández, C., & Jaric, S. (2017). Feasibility of the 2-Point Method for Determining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 13(4), 474-481. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0374>
- [18] Admin. (2021, 26 mayo). *LOS CODIFICADORES DIGITALES EN EL CONTROL DEL ENTRENAMIENTO: LOS ENCODERS – Revista técnica del deporte Sport Training*. <https://www.sporttraining.es/2021/05/26/los-codificadores-digitales-en-el-control-del-entrenamiento-los-encoders/>
- [19] 30 series - Encoder rotativo incremental by Hohner Automaticos | *DirectIndustry*. (s. f.). <https://www.directindustry.es/prod/hohner-automaticos/product-9273-1852252.html>
- [20] McCaw, S. T., & Melrose, D. R. (1999). Stance width and bar load effects on leg muscle activity during the parallel squat. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 31(3), 428-436. <https://doi.org/10.1097/00005768-199903000-00012>
- [21] De Luca, C.J. (2002) *Surface Electromyography: Detection and Recording*. DelSys Incorporated, 2-10.

1.3 Definiciones y abreviaturas

- UNE: Una Norma Española
- EN: Norma Europea
- ISO: Organización Internacional de Normalización
- AENOR: Asociación Española de Normalización
- TFG: Trabajo Fin de Grado
- IPF: International Powerlifting Federation
- IMU: Inertial Measurement Unit
- INE: Instituto Nacional de Estadística
- DM: Densidad Media

1.4 Requisitos del diseño

En términos de diseño, una estructura enfoca al entrenamiento de powerlifting se debe ajustar a ciertos criterios técnicos muy específicos, tanto en términos de resistencia mecánica como de funcionalidad práctica.

En este proyecto, se buscará una solución híbrida fruto de la combinación de las prestaciones de un rack de competición, siguiendo las especificaciones de la International Powerlifting Federation (IPF), con la versatilidad y seguridad de una jaula cerrada o rack cage. Teniendo como objetivo conseguir un sistema estable, adaptable y seguro, que permita realizar los tres movimientos básicos del powerlifting (sentadilla, press de banca y peso muerto) de forma eficiente, específica y con una gran precisión.

Desde el punto de vista estructural, siguiendo los requisitos de la IPF, la estructura debe ser capaz de soportar cargas superiores a los 500 kg sin comprometer la integridad del conjunto. Para cumplir con esto, se contempla el uso de perfiles de acero estructural de alta resistencia, seleccionando secciones tubulares cuadradas o rectangulares que favorezcan la rigidez y la estabilidad de la estructura. Además, se prestará especial atención a las uniones, que podrán ser atornilladas o soldadas, según su ubicación, buscando siempre un equilibrio entre facilidad de montaje, resistencia y durabilidad.

Una parte fundamental del diseño consiste en integrar elementos propios del rack de competición, como los J-cups con sistema de rodamiento, barras de seguridad y soportes regulables, y anclajes para fijar el banco de press banca a la estructura. Para ajustarnos al máximo a los requisitos de un rack de competición, seguiremos los requisitos técnicos de medidas establecidos por la IPF que deben cumplir los soportes de sentadilla y press banca en competiciones oficiales:

- Soporte de Sentadilla:
 - Alturas ajustables desde 1m hasta, al menos, 1.70 m con incrementos cada 2.5 cm entre posiciones.
- Banco:
 - Largo: igual o superior a 1.22 m, siendo plano y nivelado.
 - Ancho: comprendido entre 29 - 32 cm, ambos valores incluidos.
 - Alto: comprendido entre 42 - 45 cm, ambos valores incluidos, medido desde el nivel de suelo hasta el tope de la superficie del banco sin haber sido comprimido.
 - La altura de los soportes para barra será ajustable, entre un mínimo de 75 cm y un máximo de 110 cm, medidos desde suelo hasta el punto de apoyo de la barra.
 - El ancho mínimo entre los soportes para barra medido desde su interior será de 1.10 m.
 - La cabecera del banco no superará los 22 cm con tolerancia ± 5 cm hacia la parte posterior, midiendo desde la zona central de los soportes.
 - Los requisitos mínimos de altura para los soportes de seguridad serán: posición más baja a 36 cm desde el suelo, con mínimo 10 posiciones con incrementos de 2.5 cm entre ellas.

(Technical Rules - International Powerlifting Federation IPF, s. f.)

Los componentes anteriormente citados deben integrarse sin perder características esenciales de un rack cage, tanto en términos de seguridad como de funcionalidad, permitiendo la posibilidad de realizar ejercicios auxiliares, añadir resistencia variable mediante bandas, o incorporar sistemas de medición del rendimiento. En esto último, se contempla la futura incorporación de sensores inerciales (IMU), células de carga y/o sensores de desplazamiento, con el fin de recopilar datos útiles para el análisis biomecánico y la mejora del entrenamiento.

Por último, se considerarán aspectos relacionados con la ergonomía, como la altura, el espacio interior o la accesibilidad de los ajustes, para asegurar un uso cómodo y seguro por parte del atleta. Todo ello responde a una necesidad real en el ámbito del entrenamiento de fuerza: contar con equipamiento capaz de

combinar precisión técnica, robustez estructural y posibilidades de análisis avanzadas (Escamilla et al., 2001; Sato et al., 2009)

1.4.1 Normativa aplicable

En el diseño de estructuras para uso deportivo, como una jaula de powerlifting, además de tener en cuenta criterios funcionales, ergonómicos o las propias reglas de la IPF en este caso, también se ha de cumplir con normativas técnicas que garanticen la seguridad del usuario, la estabilidad de la estructura y la integridad mecánica de todos sus componentes. Por tanto, resulta imprescindible satisfacer normas de diseño estructural tradicional, así como de las específicas de equipos deportivos.

Por un lado, el diseño de la jaula, al tratarse de una estructura compuesta principalmente por perfiles metálicos, se basa en el Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2013), que establece los principios generales para cualquier proyecto de estructuras de acero. Esta norma proporciona directrices para el dimensionado de perfiles, el cálculo de esfuerzos internos, la verificación de estados límite y el diseño de uniones atornilladas o soldadas. Su aplicación permite garantizar un comportamiento estructural seguro bajo condiciones de carga elevada, como las que se producen durante la ejecución de sentadillas o presses con más de 500 kg de peso (Asociación Española de Normalización [AENOR], 2013).

Por otro lado, al tratarse de un equipo destinado al entrenamiento humano, debe contemplarse también lo establecido por la normativa relativa a equipos de entrenamiento físico estacionarios, en concreto la norma UNE-EN ISO 20957-1:2014, que regula los requisitos generales de seguridad, estabilidad y durabilidad para este tipo de máquinas. Esta norma aplica a bancos, racks y otros dispositivos que forman parte de los equipamientos habituales en salas de musculación o entrenamiento de fuerza, y contempla ensayos estructurales, criterios de diseño ergonómico y advertencias para el usuario (Asociación Española de Normalización [AENOR], 2014). El cumplimiento de esta norma implica, por ejemplo, que la estructura no puede presentar bordes afilados, debe soportar cargas de prueba sin deformaciones permanentes, y debe garantizar estabilidad frente a vuelcos o desplazamientos accidentales.

La combinación de estas normativas (el Eurocódigo para la estructura metálica y la ISO 20957 para los aspectos funcionales y de seguridad) proporciona un marco sólido sobre el cual justificar las decisiones adoptadas en las fases de diseño, cálculo y selección de materiales, garantizando que el resultado final

sea técnicamente fiable, reproducible y adecuado para su uso en un entorno deportivo real.

De las normativas anteriormente citadas, pueden extraerse una serie de requisitos técnicos y de diseño que serán tenidos en cuenta para el diseño estructural y funcional de la jaula de powerlifting. Siendo estos:

- Resistencia estructural ante cargas máximas

De acuerdo con el Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2013), todos los elementos estructurales deben diseñarse para resistir los estados límite últimos, aplicando coeficientes de seguridad tanto a las acciones como a las resistencias del material (AENOR, 2013). En este caso, la estructura debe ser capaz de soportar cargas superiores a 500 kg de carga vertical concentrada sin alcanzar tensiones ni deformaciones plásticas, considerando factores de carga dinámicos y posibles impactos.

- Verificación de estabilidad global y local

La norma exige comprobar la estabilidad frente a pandeo, tanto de elementos comprimidos como de la estructura en su conjunto. Esto implica dimensionar perfiles con una relación adecuada entre longitud y esbeltez, y prever refuerzos o arriostramientos si fuera necesario, para evitar fenómenos de inestabilidad estructural.

- Resistencia de uniones soldadas o atornilladas

Tanto las uniones permanentes (soldadura) como desmontables (atornillado) deben cumplir los criterios establecidos en el Eurocódigo 3, asegurando que las tensiones admisibles no superen los límites del material de aportación o de los tornillos, y que el diseño permita una transmisión eficaz de cargas entre los elementos conectados.

- Estabilidad frente a vuelco o desplazamiento

Según la norma UNE-EN ISO 20957-1:2014, las estructuras destinadas al entrenamiento físico deben garantizar su estabilidad en todas las condiciones de uso previstas, incluso ante cargas asimétricas. Esto puede implicar anclajes al suelo, aumento de la base de apoyo o refuerzos laterales (AENOR, 2014).

- Limitación de desplazamientos y deformaciones

La deformación bajo carga debe mantenerse dentro de los límites admisibles tanto por la norma como por criterios funcionales. Se recomienda que los desplazamientos verticales o laterales no excedan $1/300$ de la longitud libre del

elemento estructural, para asegurar una respuesta rígida y estable durante el uso (AENOR, 2013).

- Ausencia de aristas peligrosas o atrapamientos

La norma ISO 20957 establece que todos los bordes accesibles deben ser redondeados o protegidos, y no deben existir zonas susceptibles de provocar atrapamientos de dedos, manos u otras partes del cuerpo durante el uso normal del equipo (AENOR, 2014).

- Requisitos dimensionales y ergonómicos

Se deben respetar las dimensiones mínimas y máximas establecidas para equipos de entrenamiento, como las alturas ajustables de soportes o el espacio libre interno. Estos valores deben estar alineados con lo establecido por la IPF (2025) y por la norma ISO en cuanto a zonas de trabajo seguras y confortables para el usuario.

- Durabilidad y resistencia a la fatiga

Las uniones móviles o componentes sometidos a cargas cíclicas deben diseñarse considerando posibles fenómenos de fatiga estructural, especialmente si se prevé un uso intensivo del equipo. La selección de materiales y el diseño de las zonas críticas deben tener en cuenta esta exigencia, tal como recoge el Eurocódigo 3 en sus recomendaciones para ciclos de carga repetitivos (AENOR, 2013).

1.5 Diseño y Modelado 3D

Una vez establecidos los requisitos de diseño, se procederá a reflejarlos en un entorno de diseño tridimensional con el fin de definir, visualizar y analizar la geometría completa de la jaula de powerlifting. Para esto, se empleará SketchUp Pro, una herramienta de modelado 3D que, si bien se ha consolidado principalmente en el ámbito de la arquitectura, ha demostrado ser especialmente eficaz en la creación de modelos estructurales modulares gracias a su enfoque visual e intuitivo, su compatibilidad con estándares CAD y su capacidad para trabajar mediante componentes reutilizables.

La elección de SketchUp responde, además, a la necesidad de contar con una interfaz ágil que permitiera iterar rápidamente sobre diferentes configuraciones geométricas, facilitando la comparación entre variantes de diseño y asegurando una representación coherente de las restricciones de espacio, ajustes móviles y

puntos críticos de la estructura. A su vez, el modelo generado puede exportarse en formatos compatibles con herramientas de análisis estructural como CYPE 3D o SolidWorks Simulation, lo que permite mantener una continuidad entre el modelado conceptual y la verificación técnica posterior (*3D Design Software | 3D Modeling & Drawing | SketchUp, s. f.*).

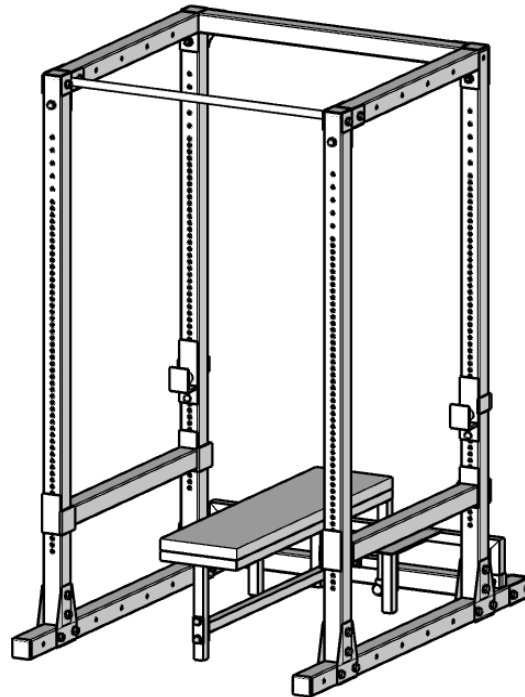


Figura 3 - Vista isométrica general del modelo 3D de la jaula de powerlifting

Teniendo como base tanto las directrices de la International Powerlifting Federation (*Technical Rules - International Powerlifting Federation IPF, s. f.*) en cuanto a dimensiones y uso en competición, como los criterios de seguridad estructural recogidos en el Eurocódigo 3 (AENOR, 2013), se definieron los principales elementos que componen la jaula: estructura base y componentes.

- Estructura base:

Una de las decisiones más relevantes durante la fase de modelado ha sido la selección del tipo de perfil metálico que compone la estructura principal. Dado que la jaula está diseñada para soportar cargas puntuales superiores a 500 kg, se requiere una geometría que garantice suficiente resistencia a compresión, rigidez frente a flexión y pandeo, y estabilidad ante posibles oscilaciones o impactos dinámicos. Desde el punto de vista normativo, el Eurocódigo 3

recomienda mantener relaciones de esbeltez bajas en columnas sometidas a compresión, especialmente cuando existen perforaciones, como es el caso de los soportes ajustables (AENOR, 2013).

Tras analizar distintas alternativas, se optó por un perfil cuadrado de acero estructural S275 de 75x75 mm con un espesor de 3 mm, el cual ofrece un buen compromiso entre rigidez, peso y coste. Este perfil presenta un momento de inercia y un módulo resistente suficiente para mantener la deformación dentro de límites admisibles, incluso en condiciones de carga máxima. Además, su precio es sensiblemente inferior al de un perfil de 80x80x3 mm, y aporta una mayor rigidez que el de 60x60x3 mm, evitando la sobredimensión innecesaria sin comprometer la seguridad estructural.

Perfil (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo resistente (cm ³)	Precio estimado (€/m)
60x60	2	5,40	98,3	32,8	13,99
60x60	3	6,91	110,7	36,9	17,90
60x60	4	8,46	122,5	40,8	21,91
75x75	2	7,00	160,5	42,8	18,13
75x75	3	9,40	179,7	47,9	24,35
75x75	4	11,75	198,3	52,9	30,43
80x80	2	7,35	245,0	61,3	19,04
80x80	3	10,70	273,0	68,3	27,71
80x80	4	13,73	300,0	75,0	35,56

Tabla 1 - Comparativa técnica y económica de perfiles estructurales de acero S275

En cuanto a los valores de peso, momento de inercia y módulo resistente están extraídos del prontuario técnico de Metalco Prolians (*Prontuario 2021*, s. f.). Así como el precio estimado por metro lineal se ha calculado considerando un coste medio del acero S275 de 2,59 €/kg, según el Generador de Precios de CYPE para acero en perfiles laminados en caliente S275J0H (*Acero En Perfiles Laminados En Caliente*, s. f.-b).

En la selección del tipo de perfil estructural se ha considerado el proceso de fabricación, comparando perfiles conformados en frío y laminados en caliente. Aunque los perfiles conformados presentan un coste inferior y mayor precisión dimensional, los perfiles laminados en caliente han sido seleccionados por su mayor ductilidad, resistencia a cargas dinámicas y mejor comportamiento ante pandeo y flexión, tal como recomienda el Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2013) para elementos sometidos a cargas elevadas y con presencia de perforaciones (AENOR, 2013). Este tipo de perfil ofrece una mayor garantía estructural frente a las exigencias del powerlifting competitivo, donde se

alcanzan cargas puntuales superiores a 500 kg. Además, su mayor masa y rigidez contribuyen a la estabilidad del conjunto, reduciendo la sensibilidad a vibraciones o desplazamientos durante el uso.

Una vez seleccionado el tipo de perfil, se modela el bastidor principal utilizando dichos perfiles, respetando las cotas mínimas indicadas por la normativa IPF (altura regulable entre 1000 y 1700 mm para los soportes de sentadilla, anchura interna mínima de 1100 mm, y espacio libre lateral y frontal para el movimiento del atleta). Incluyendo bases de anclaje, refuerzos laterales y placas de unión para garantizar rigidez y facilitar el montaje.

Por otra parte, la altura total de la estructura base se fijó en 2200 mm, basada en los percentiles de altura de la población adulta en España, con el fin de asegurar su adaptabilidad a usuarios de diferentes estaturas dentro de un rango funcional y seguro. Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la estatura media de los hombres españoles es de aproximadamente 176 cm, y la del percentil 95 se estima cercana a los 190 cm (*Adultos por sexo, edad y estatura.*, s. f.). Considerando ejercicios que requieren extensión completa por encima de la cabeza, como dominadas, o press militar, resulta necesario añadir un margen de seguridad vertical de al menos 30 cm sobre la estatura máxima prevista. De esta forma, se garantiza un espacio libre adecuado para realizar movimientos sin limitaciones ni riesgo de impacto con la estructura. La altura de 2200 mm permite también la instalación de componentes superiores (barras de dominadas, sensores o refuerzos) sin comprometer la ergonomía ni la funcionalidad del sistema, cumpliendo así con los principios de diseño centrado en el usuario y con estándares recomendados para equipos de entrenamiento de fuerza.

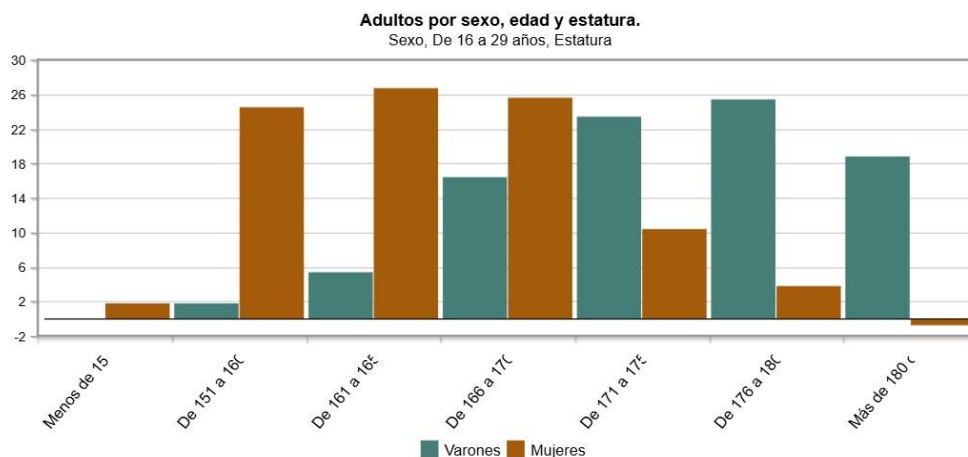


Figura 4 - Percentil de altura INE (INE - Instituto Nacional de Estadística, s. f.)

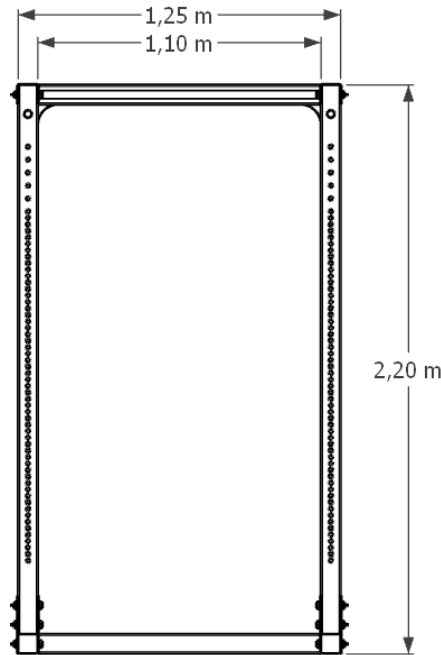


Figura 5 - Vista frontal acotada de la estructura base

Elemento	Dimensión (mm)	Observaciones técnicas
Altura total de la jaula	2200	Permite incluir barra de dominadas y zona libre de levantamiento
Altura mínima de los soportes (J-cups)	1000	Regulable; pensada para altura de inicio en sentadilla para atletas de baja estatura
Altura máxima de los soportes (J-cups)	1700	Límite ajustado a normativa IPF (+ tolerancia) para atletas de gran estatura
Intervalo de ajuste vertical	25	Pasos de 2,5 cm según normativa IPF
Distancia interior entre postes	1100	Ajustada al mínimo reglamentario IPF para barras olímpicas de powerlifting
Longitud total de bastidor base	1300	Permite estabilidad lateral y margen para banco
Ancho total del bastidor	1250	Incluye espacio para las placas de soporte y los refuerzos laterales
Altura mínima de barras de seguridad	360	Regulables en altura en incrementos de 25 mm

Tabla 2 - Dimensiones principales de la estructura base

- Componentes móviles y accesorios funcionales

La segunda fase incorporó los componentes móviles, incluyendo los J-cups con sistema de rodamiento, diseñados para permitir una alineación precisa de la barra antes del levantamiento. Estos contarán con un pin de refuerzo (redondo macizo de $\varnothing 16\text{mm}$ de acero S275) más pasador de anilla (DIN 11023 $\varnothing 4.5\text{mm}$) para aumentar su resistencia y durabilidad.

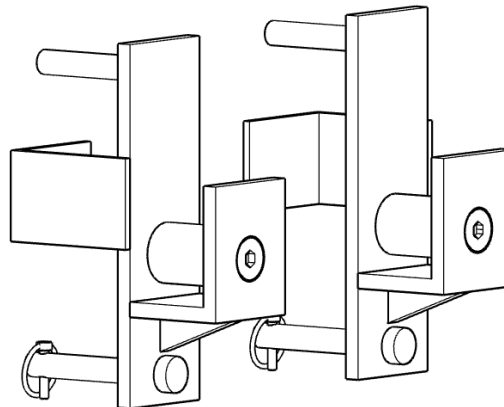


Figura 6 - Detalle del sistema J-cup con sistema de rodamiento

Entrando en detalle de sistema de rodamiento, se estudiaron varias posibilidades. Como primera opción, se barajó la posibilidad de rodamientos cilíndricos de rodillos ideales para soportar cargas pesadas, esto aportaría una mayor facilidad de rotación ya que la fricción sería mínima, pero para alcanzar las dimensiones requeridas para el soporte habría que sería necesario adaptar una camisa exterior mecanizada con alojamiento para uno o dos rodamientos normalizados, dependiendo del modelo de rodamiento elegido, lo cuál sumado al precio del rodamiento encarecería el coste. Además, se encontró otro inconveniente dado por el propio deporte, ya que en el powerlifting los ajustes en el centrado de la barra deben de ser pequeños y controlados, debido a que muchos levantadores pueden llegar a sobreexcitarse a la hora de colocarse bajo la barra y zarandear bruscamente la barra pudiendo producirse con los rodamientos un desajuste muy brusco como consecuencia de esto.

Teniendo en cuenta esto, se procedió a estudiar el mecanismo utilizado en los racks de competencia de marcas como Maniak, Eleiko o Rogue. Se observó que el mecanismo empleado por dichas marcas era algo mucho más simple, constaba de rodillo de polímero o acero con un taladro pasante en conjunto con un eje (tornillo o pasador). Lo cuál abarataba costes y solucionaba el problema

del exceso de libertad en el giro del rodillo, puesto que así podía recolocarse la barra de forma más lenta y controlada al ofrecer una mayor fricción.

Se optó finalmente por esta última opción, en la que se elegiría un tornillo DIN 7991 10.9 M16x70 como eje central en cada soporte, junto con un par de rodillos de nylon de $\text{Ø}40\text{mm}$, longitud 60mm y diámetro interno 18mm, el cual evitará el desgaste del moleteado de la barra al generar fricción sobre él.

Siguiendo con los componentes, también se modelaron las barras de seguridad ajustables con distintos puntos de anclaje distribuidos verticalmente, así como el banco de press banca y sistema de fijación del banco. Cada elemento fue creado como subcomponente dinámico, permitiendo simular diferentes configuraciones de uso dentro del entorno 3D.

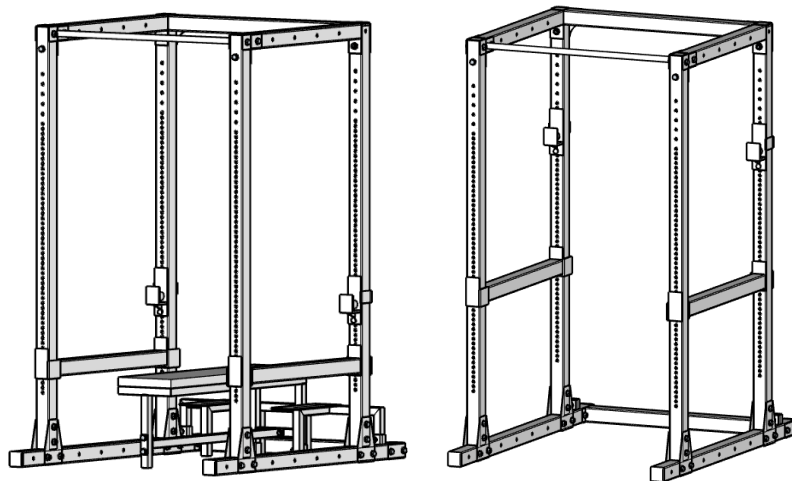


Figura 7 - Múltiples posiciones de ajuste de las barras de seguridad

El diseño estructural del banco de press banca en este proyecto se ha planteado para cubrir no solo las necesidades de entrenamiento de atletas de nivel avanzado, sino también los requisitos más exigentes del entorno competitivo internacional. Para ello, se ha tomado como referencia el rendimiento observado en competiciones oficiales de la International Powerlifting Federation (IPF), en particular el Campeonato Mundial Open Equipado 2024, donde atletas como el ucraniano Andrii Shevchenko, con un peso corporal de 154,35 kg, realizaron levantamientos de hasta 330 kg en press banca (*World Open Equipped Powerlifting Championships 2024 - International Powerlifting Federation IPF*, s. f.).

A partir de dichos datos y considerando el peso del atleta como carga muerta aplicada sobre la estructura del banco, la carga total que debe soportar el

banco puede alcanzar los 500 kg en situaciones extremas. A esta cifra se le añade un margen de seguridad del 10 % para considerar factores dinámicos, oscilaciones, posibles impactos y la distribución no uniforme de la carga a lo largo del bastidor. Este enfoque sigue los principios establecidos por el Eurocódigo 3 (UNE-EN 1993-1-1:2013) para el diseño estructural de elementos metálicos sometidos a flexión, compresión y combinaciones de esfuerzos (AENOR, 2013).

Para garantizar la resistencia y la estabilidad bajo dichas condiciones de carga, se han seleccionado perfiles cuadrados de 40x40x2mm de acero S275J0H. Este tipo de perfil ofrece una relación equilibrada entre resistencia estructural, facilidad de fabricación y peso total del banco, contribuyendo a su funcionalidad sin comprometer la seguridad. Además, la superficie de apoyo del usuario estará reforzada mediante una base continua sobre el bastidor, formada por un tablero estructural de densidad media (DM) revestido con acolchado de alta densidad y vinilo antideslizante, cumpliendo con las dimensiones y condiciones establecidas por la IPF (longitud mínima de 122 cm, ancho entre 29 y 32 cm, y altura total entre 42 y 45 cm desde el suelo).

En conjunto, este diseño garantiza que el banco pueda utilizarse de forma segura y estable incluso por atletas de más de 150 kg de peso corporal que realicen press banca con cargas superiores a los 300 kg, asegurando su integridad mecánica y su fiabilidad bajo condiciones de entrenamiento y competición reales.

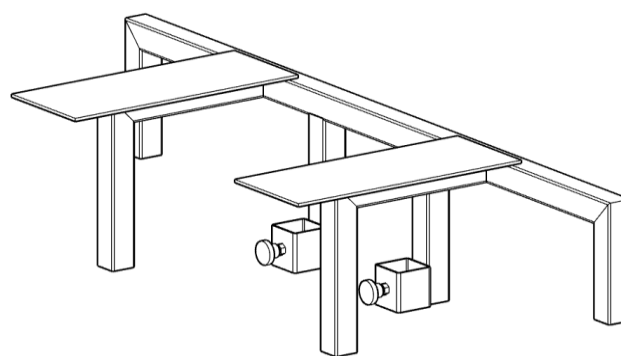


Figura 8 - Sistema de fijación banco

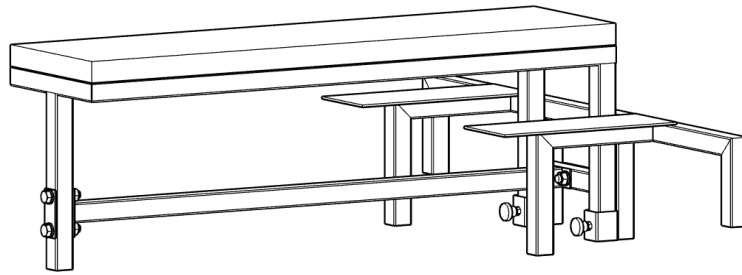


Figura 9 - Banco + Sistema fijación

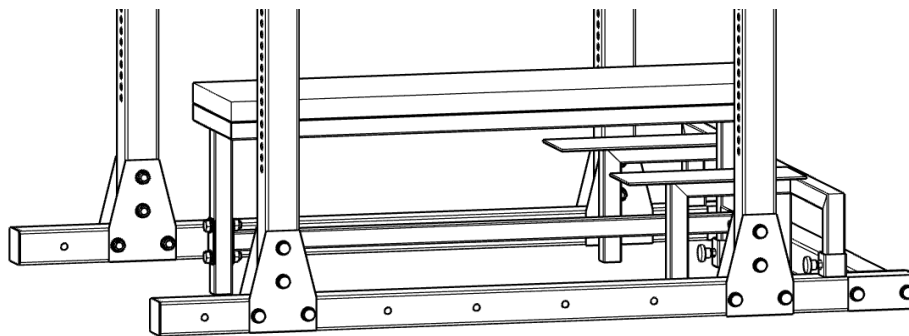


Figura 10 - Banco fijado a estructura base

El modelo se planteó de forma modular, facilitando su futura ampliación, reparación o adaptación a diferentes necesidades. Por ejemplo, se han reservado zonas para posibles módulos adicionales, como integración de fondera.

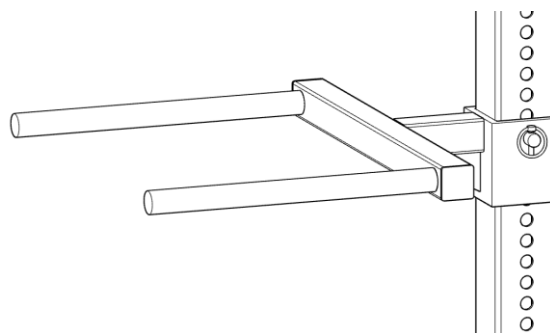


Figura 11 - Accesorio Fondera

A cerca del accesorio modular de la fondera, su elección viene dada por ser un accesorio primordial ya que gracias a él se pueden trabajar músculos implicados en un movimiento principal de competición como es el press banca,

estos músculos son tríceps, pectoral y deltoides, y gracias a la fondera se puede trabajar otro patrón de empuje como son los fondos lastrados. Además, que con esta jaula podrían entrenar atletas de otras disciplinas como el Strengthlifting, donde realizan tres movimientos de competición: Sentadilla, Fondos y Dominadas.

En cuanto a su fabricación, se optó con perfiles cuadrados de 40x40x2mm y redondos macizos de $\varnothing 28\text{mm}$, ambos de acero S275, unificando así dimensiones con materiales ya empleados en el diseño del conjunto de la estructura. El anclaje a la estructura base de la jaula se realiza mediante un pin (redondo macizo de $\varnothing 16\text{mm}$) con un pasador de anilla (DIN 11023 $\varnothing 4.5\text{mm}$), al igual que el refuerzo de los soportes de la barra. En relación con su dimensionado, cuenta con una separación entre barras de 45cm.

En resumen, el diseño y modelado tridimensional no solo ha servido como una herramienta de representación visual, sino que ha sido esencial para validar la viabilidad dimensional, planificar la fabricación y garantizar la correcta integración de todos los componentes del sistema. Este modelo servirá, además, como base para el análisis estructural por elementos finitos, que permitirá evaluar el comportamiento mecánico de la jaula ante las cargas de uso previstas.

1.6 Materiales y Métodos de unión

El correcto dimensionamiento estructural de la jaula de powerlifting y de sus accesorios, como el banco de press banca, requiere no solo un análisis resistente de los perfiles utilizados, sino también una elección adecuada de los materiales y sistemas de unión, que garanticen tanto la integridad estructural como la viabilidad de fabricación. En este contexto, se ha realizado una comparativa entre diferentes calidades de acero estructural y alternativas de unión típicas en estructuras metálicas ligeras.

1.6.1 Selección del material

La elección del material se ha centrado en aceros al carbono estructurales, normalizados según la norma UNE-EN 10025-2:2020, que clasifica los aceros no aleados laminados en caliente para aplicaciones estructurales. Los dos candidatos principales han sido el S275 y el S355, ambos ampliamente utilizados en estructuras metálicas (Asociación Española de Normalización [AENOR], 2020).

Propiedad mecánica	Límite elástico (Re)	Resistencia a tracción	Soldabilidad	Coste (€/kg, aprox.)
S275	275 MPa	410–560 MPa	Muy buena	2,62
S355	355 MPa	470–630 MPa	Muy buena	2,85

Tabla 3 - Comparativa aceros S275 - S355

Los datos de la tabla anterior han sido obtenidos de norma UNE-EN 10025-2:2020 y del generador de Precios CYPE (*Acero En Perfiles Laminados En Caliente*, s. f.-a)

Pese a que el acero S355 presenta un límite elástico un 22.5 % superior al del S275, su uso en este proyecto no se considera necesario debido a que:

- Las cargas de diseño, aunque elevadas (hasta 500 kg puntuales), no superan los márgenes de seguridad establecidos para perfiles de S275.
- El uso de perfiles de sección cuadrada o rectangular con espesores de 3 mm proporciona rigidez suficiente, incluso bajo cargas dinámicas.
- El S275J0H presenta una relación resistencia-coste más favorable, así como una mayor disponibilidad comercial en los perfiles utilizados (40x40 mm, 75x75 mm, etc.).

Por tanto, se ha seleccionado el acero S275 J0H como material principal para los perfiles estructurales de la jaula y del banco de press, cumpliendo con los requisitos de resistencia mecánica, soldabilidad y facilidad de mecanizado.

1.6.2 Métodos de unión

El diseño de una estructura metálica funcional y segura no se limita a la elección de los perfiles estructurales, sino que requiere una atención especial a los métodos de unión empleados para garantizar la transmisión eficaz de esfuerzos, la rigidez del conjunto y la durabilidad bajo condiciones de uso intensivo. En el presente proyecto se han considerado tres tipos principales de unión: soldadura, atornillado y fijaciones mecánicas modulares, cada una con su aplicación específica en función del tipo de esfuerzo, accesibilidad y necesidad de desmontaje.

- Uniones soldadas:

Las uniones soldadas se emplean en las zonas estructurales permanentes de la jaula. Se ha seleccionado la soldadura en ángulo continua como técnica principal, ejecutada mediante proceso MIG/MAG, por su fiabilidad, capacidad para distribuir esfuerzos de forma continua y su excelente integración estética y funcional en estructuras metálicas de acero al carbono.

Este tipo de soldadura permite una transferencia eficaz de los esfuerzos de flexión, compresión y corte, siempre que los cordones sean ejecutados conforme a las directrices de la UNE-EN ISO 5817:2023, norma que establece los niveles de calidad admisibles en soldaduras por fusión. En este caso, se adopta el nivel de calidad C, adecuado para uniones sometidas a carga estática y dinámica moderada, como es habitual en equipamiento deportivo con cargas elevadas repetitivas (Asociación Española de Normalización [AENOR], 2023).

Además, la disposición geométrica de los perfiles asegura una superficie suficiente para el desarrollo del cordón y la transmisión directa de los esfuerzos. El diseño ha sido verificado para que la resistencia de la unión supere ampliamente la sollicitación estructural esperada, garantizando una elevada capacidad portante y una excelente resistencia frente a fatiga.

- Uniones atornilladas:

Las uniones atornilladas se utilizan en aquellos puntos donde se requiere mantenimiento, desmontaje eventual o regulación, como en los anclajes del banco a la jaula, fijaciones de los sensores y elementos ajustables. Se han seleccionado tornillos de acero de calidad 8.8 (DIN 931 8.8 M16), normalizados según la UNE-EN ISO 898-1:2015, con resistencia suficiente para asegurar la unión incluso bajo cargas excéntricas o vibraciones (Asociación Española de Normalización [AENOR], 2015).

Para asegurar que los tornillos trabajen correctamente sin que las tuercas de estos fallen antes, se utilizan tuercas de freno DIN 985 M16, también de clase 8. Es importante que ambas piezas tengan la misma clase de resistencia para que la unión funcione de forma equilibrada, evitando así que se produzcan deformaciones en la tuerca antes de que el tornillo alcance su capacidad máxima.

Además, se añaden arandelas planas DIN 125-A M16, que ayudan a repartir la presión del apriete sobre la superficie de los perfiles metálicos, reduciendo el

riesgo de deformaciones locales. En caso de ser necesario, en zonas con menor espesor de material, se podrían emplear arandelas DIN 9021, que tienen mayor diámetro y aumentan el área de contacto.

Este tipo de unión proporciona una fijación fiable y fácil de desmontar si fuera necesario siendo algo clave para una estructura modular donde algunas partes pueden requerir ajustes o sustituciones. Así como, al combinarse tornillos con arandelas de seguridad y tuercas de freno o autoblocantes, se minimiza el riesgo de aflojamiento por sollicitaciones cíclicas, algo especialmente importante en aplicaciones sometidas a entrenamiento diario intensivo.

La resistencia de estas uniones ha sido contrastada con los valores de carga máximos previstos, y su configuración ha sido verificada para mantener la integridad del conjunto ante cualquier combinación de carga funcional.

Por otro lado, para la fijación del foam del banco con la estructura metálica de este, se emplea tornillos de acero DIN 931 4.8 M12 junto con arandelas DIN 125-A M12. Dicha tornillería ira fijada a insertos roscados (casquillos) ubicados en el tablero estructural de 2DM que se utiliza para la base del foam.

- Uniones mecánicas modulares:

Algunos elementos de la jaula y del banco, como accesorios móviles, sensores de desplazamiento o soportes de bandas elásticas, no requieren uniones fijas, sino que se benefician de sistemas de fijación mecánica rápida, tales como casquillos, pernos pasantes o bulones roscados. Este tipo de uniones facilita la adaptación y personalización del equipamiento sin comprometer la seguridad estructural.

Aunque no están pensadas para resistir cargas primarias, su diseño se ha optimizado para evitar holguras y garantizar una conexión firme. La inclusión de estos sistemas responde a un enfoque de diseño funcional, orientado a la versatilidad y a la posibilidad de evolución tecnológica del sistema mediante integración de elementos electrónicos o sensores.

En conclusión, la combinación de soldadura en las uniones principales con sistemas atornillados en los componentes desmontables permite lograr un diseño robusto, funcional y fácil de fabricar. Desde el punto de vista de la ingeniería estructural, la soldadura garantiza la continuidad mecánica del bastidor y permite transmitir esfuerzos sin concentraciones puntuales, mientras

que los tornillos permiten adaptabilidad y mantenimiento sin comprometer la seguridad.

Además, la soldabilidad del acero S275 está garantizada según la norma UNE-EN ISO 5817:2023 que clasifica los tipos de cordones y niveles de calidad exigibles. Se recomienda la ejecución de cordones en ángulo, en al menos dos caras opuestas de los tubos, y realizar ensayos de penetración en los cordones principales del bastidor (AENOR, 2023).

1.7 Análisis Estructural

Este capítulo sintetiza los resultados obtenidos en CYPE 3D para cada subconjunto de la jaula, enlazándolos con los anexos de cálculo donde figuran las salidas detalladas y las comprobaciones manuales.

Las verificaciones se han realizado conforme a UNE-EN 1993-1-1:2013 para los elementos prismáticos y UNE-EN 1993-1-8:2013 para uniones y placas de anclaje. Las situaciones accidentales de impacto se han modelizado según EN 1991-1-7:2013, adoptando un coeficiente dinámico de 1,40 a 2,00 en función de la altura de caída (AENOR, 2013).

El control estructural se realiza para los Estados Límite Últimos (ULS), resistencia y estabilidad global, y los Estados Límite de Servicio (SLS), deformaciones y vibraciones admisibles. El objetivo de este capítulo es demostrar, a partir de los resultados numéricos y las comprobaciones manuales, que la jaula presenta factores de utilización $\eta < 1,0$ en ULS y que las deformaciones permanecen por debajo de los umbrales de servicio, garantizando así la seguridad estructural y la funcionalidad durante la práctica de powerlifting.

1.7.1 Hipótesis de Carga

Para la realización del cálculo se tendrá en cuenta el caso extremo requerido en cuanto a carga de Barra + Discos, teniendo en cuenta los requisitos de carga máxima exigidos por el reglamento de la IPF, establecemos una sobre carga puntual a la estructura de 500Kg (5kN) apoyada en los soportes. Así como teniendo en cuenta para el peso del usuario un peso de unos 100Kg (1kN).

Así como la posibilidad de un impacto accidental con dicha carga, con una caída de entre 0,3 - 0.5 m (suponiendo un buen ajuste de los soportes de

seguridad). Lo que supondría que la estructura debería soportar cargas puntuales superiores a 5kN, estimando un coeficiente dinámico de 2,00 para caso de accidente, de hasta 10kN.

1.7.2 Análisis Estructura Base

1.7.2.1 Descripción del Modelo

La estructura base se compone principalmente por perfiles cuadrados 75x75x3mm y un único redondo macizo de $\varnothing 28$ mm, ambos de acero S275.

1.7.2.2 Combinaciones de Carga Analizadas

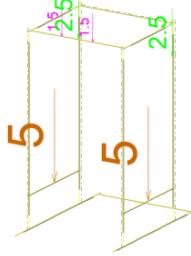
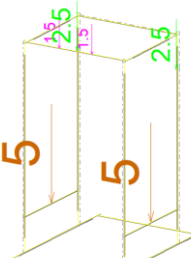
Combinación	Descripción	Esquema
1	Perfiles cuadrados 75x75x2mm Perfil circular $\varnothing 28$ x3mm	
2	Perfiles cuadrados 75x75x3mm Redondo macizo $\varnothing 28$ mm	

Tabla 4 - Combinaciones para análisis de estructura base

1.7.2.3 Ensayos

Todos los ensayos se han sometido a una carga puntual máxima de 10kN generada por una caída, a una carga muerta de 5kN, así como se ha sometido a su vez a la barra de dominadas a una carga de 3kN de lastre.

- Combinación 1:

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en los perfiles de la estructura:

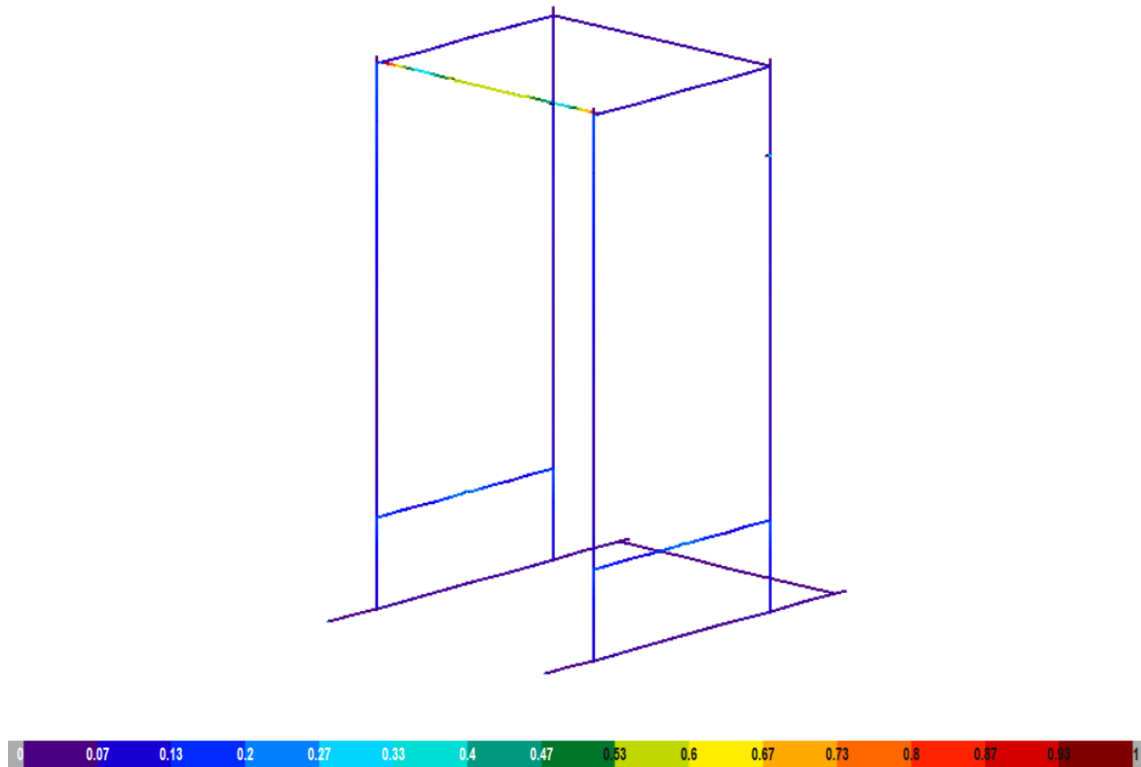


Figura 12 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (I)

En la imagen se observa la Tensión/Aprov. donde cada perfil es coloreado según el porcentaje de utilización de su sección (1 = 100 % de la resistencia).

Como se puede observar, la barra de dominadas sobrepasaría los límites de tensión llegando a un 110.27% por lo que sería necesario aumentar el espesor del perfil circular. Por otro lado, los perfiles que sufren mayor tensión son los perfiles verticales de la estructura, llegando a valores de tensión de un 16%, este valor indica que la estructura cumple con mucho margen los requisitos, pero aquí el programa no está teniendo en cuenta que estos perfiles estar perforados en dos de sus caras por 54 taladros en línea a una separación entre centros de 2.5mm y otros 5 en la parte superior de estos a una separación de 5mm. Para ello será necesario analizar el comportamiento con este perforado.

No se analizan los dos perfiles que referencian los soportes de seguridad puesto que se estudiarán en más detalle por separado.

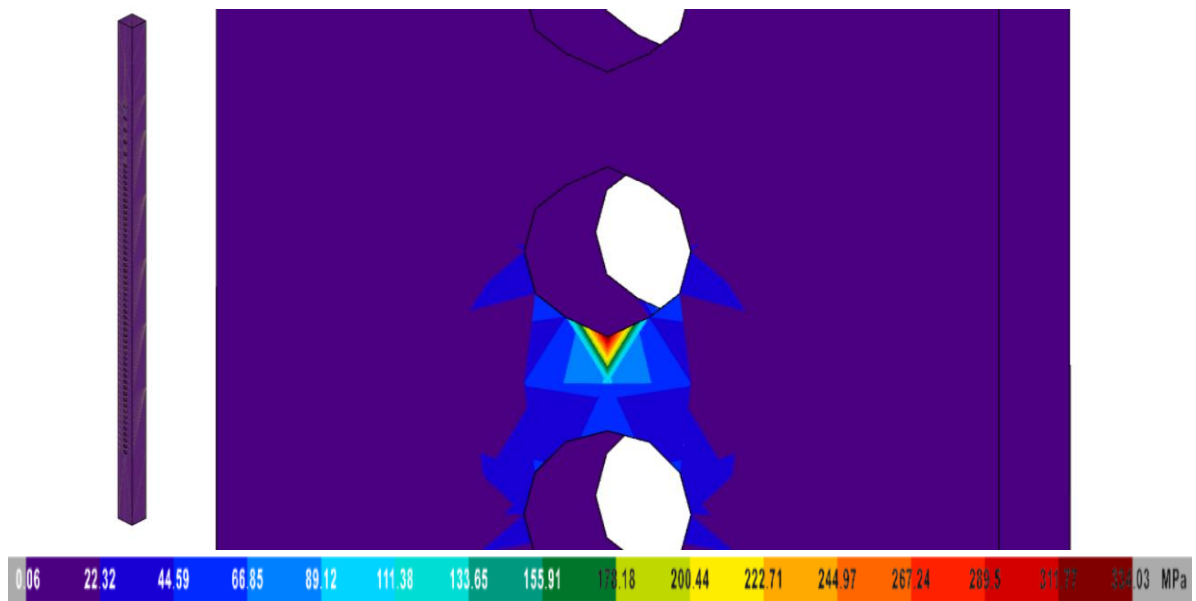


Figura 13 - Análisis de tensión en perfil perforado (I)

En la imagen anterior se aprecia como respondería el perfil de 2mm de espesor perforado ante una carga de 2.5kN reposada en uno de sus taladros (lo que sería tener la barra cargada con 5kN reposada en los soportes). Como se puede apreciar la tensión generada (334.03kN) superaría el límite elástico (275kN). Por lo que vemos que al perforar el perfil no bastaría con un espesor de 2mm.

- Combinación 2:

En primer lugar, se comprueba que subiendo el espesor del perfil a 3mm, la tensión generada no supere el límite elástico como en el caso anterior:

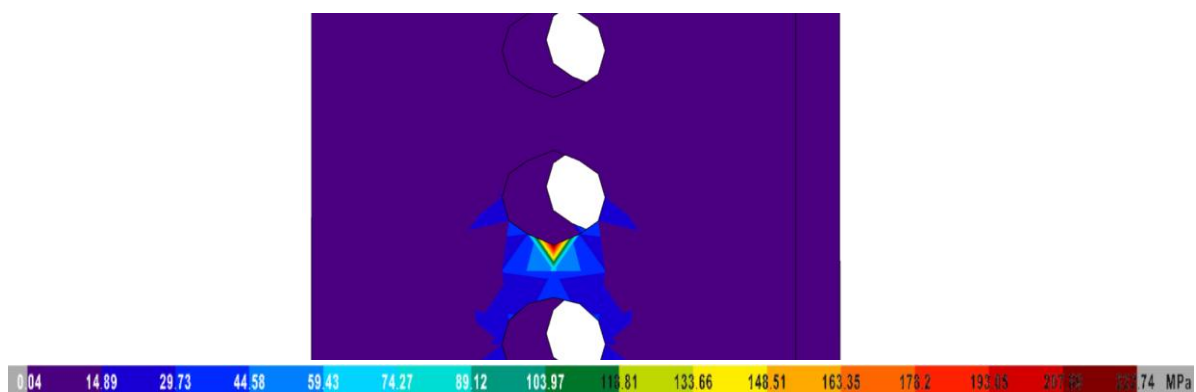


Figura 14 - Análisis de tensión en perfil perforado (II)

Subiendo el espesor a 3mm, se observa como ya se mantendría la tensión máxima por debajo del límite elástico, en concreto a 222.74 kN.

Analizando la estructura completa, sustituyendo el perfil redondo de espesor 3mm por un redondo macizo de mismo diámetro, se obtiene:

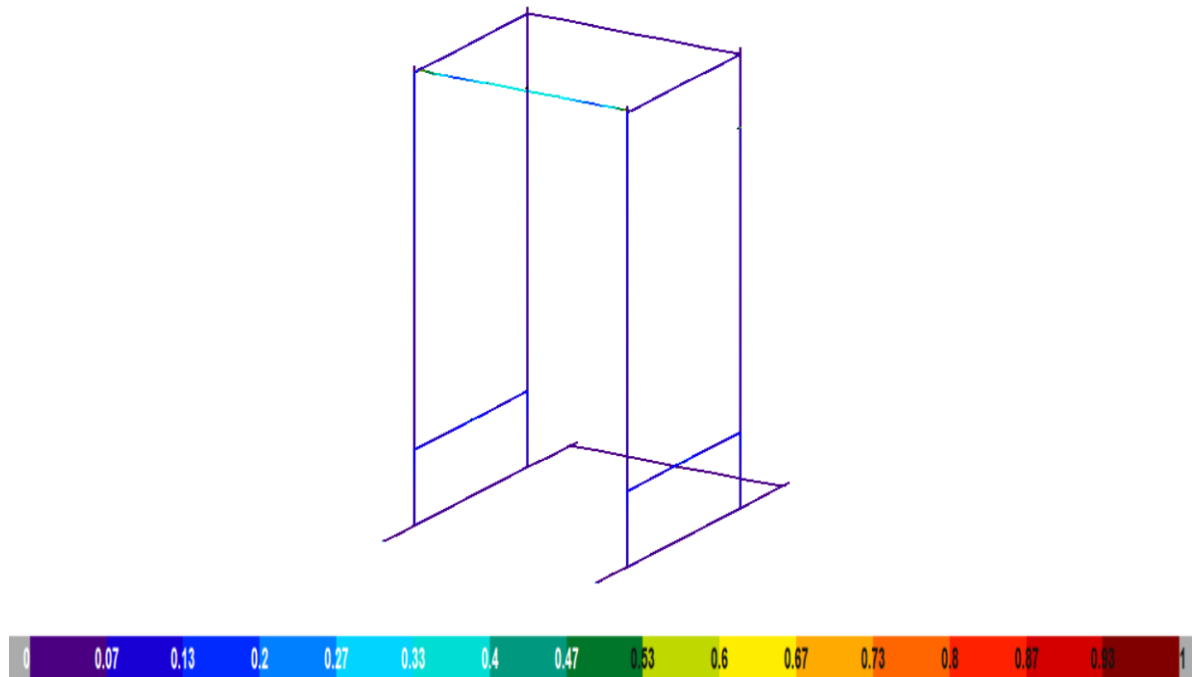


Figura 15 - Análisis de tensión en perfiles de la estructura base (II)

La sustitución de perfil de la barra de dominadas aporta la solución a la falta de rigidez de esta, obteniendo una tensión máxima del 58.80% aplicando la misma carga, lo que supone casi una reducción del 50% con respecto a la combinación 1.

Por otro lado, se observa como el aumento de espesor en los perfiles cuadrados de la estructura hace que la estructura base prácticamente ni se altere ante la tensión generada en ella, de un 10% (sin tener en cuenta el perforado de los perfiles)

1.7.2.4 Resultados

Finalmente, se determina que la perfilería será de 75x75x3mm de acero S275J0H, así como la barra de dominadas será un redondo macizo $\varnothing 28$ mm de acero S275JR, asegurando así una buena respuesta de la estructura base ante cualquier tipo de carga muerta o accidental, y aportándole mayor durabilidad.

1.7.3 Análisis Estructura del Banco

1.7.3.1 Descripción del Modelo

La estructura del banco está compuesta por perfiles cuadrados 40x40x2mm de acero S275J0H.

1.7.3.2 Combinaciones de Carga Analizadas

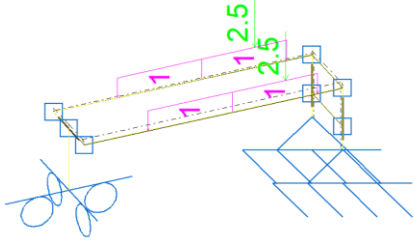
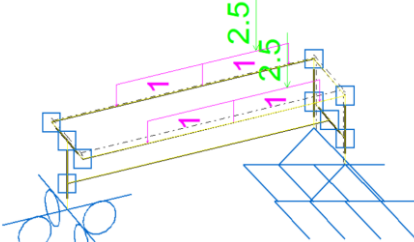
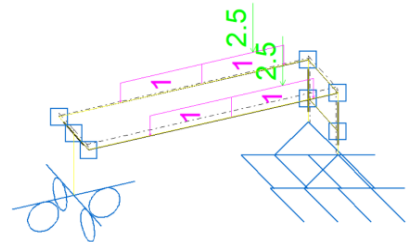
Combinación	Descripción	Esquema
1	Usuario de 2kN + Carga en barra de 5kN, en banco sin refuerzo	
2	Usuario de 2kN + Carga en barra de 5kN, en banco con refuerzo	
3	Usuario de 2kN + Carga en barra de 5kN, en banco sin refuerzo. Aumentando espesor de perfiles a 3mm.	

Tabla 5 - Combinaciones para análisis de banco

1.7.3.3 Ensayos

En este apartado se analizará cada una de las combinaciones descritas en el punto anterior, mediante el programa de calculo CYPE 3D.

- Combinación 1:

Esta combinación simula el caso extremo de un atleta de categoria pesada de más de 200kg, en concreto 2kN (esta carga se reparte por la superficie del

banco), que levanta una carga de 5kN (esta carga se aplica de forma puntual en la zona superior del banco). En este caso la estructura del banco no contara con el refuerzo entre las patas.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en los perfiles de la estructura:

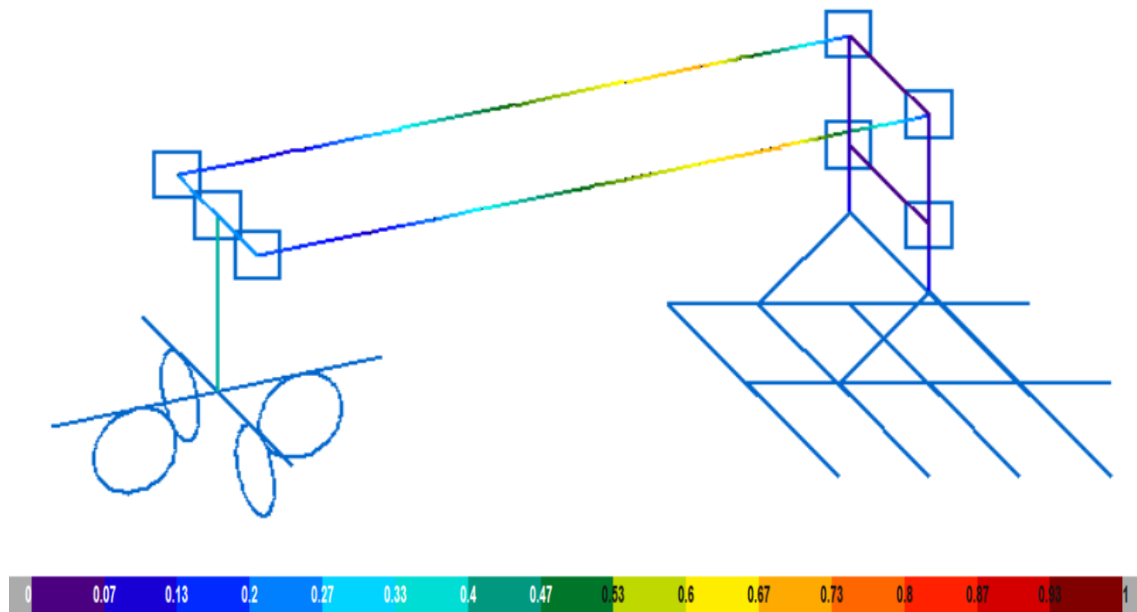


Figura 16 - Análisis de tensión en perfiles del banco (I)

En la imagen se observa la Tensión/Aprov. donde cada perfil es coloreado según el porcentaje de utilización de su sección (1 = 100 % de la resistencia).

Como se puede observar, los perfiles que sufren mayor tensión son los dos perfiles de longitudinales del banco, llegando a valores máximos con un 73.15%. A continuación de estas, el siguiente perfil que sufre más tensión es el que simbolizaría la pata inferior del banco, con un valor máximo de 35.28%

Estos valores de tensión estarían dentro de lo admisible, pero será necesario comprobar la deformación que se produce debido a estas cargas:

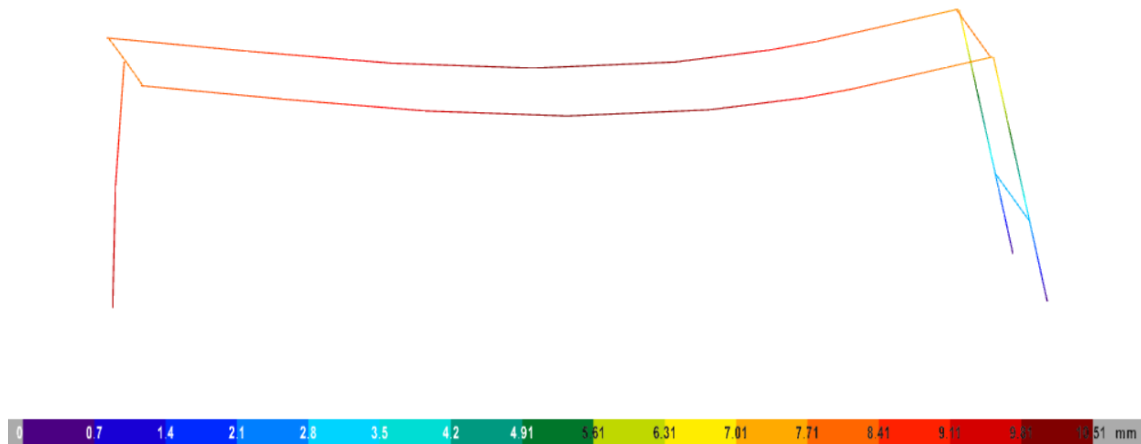


Figura 17 - Análisis de deformada en perfiles del banco (I)

En la figura anterior, se observa claramente como se llega a producir un desplazamiento de 10.51mm.

Teniendo una luz entre apoyos, $L=1220\text{mm}$, se obtiene que la flecha límite es de $L/116$. Esta flecha no cumple el criterio, ya que para estructuras metálicas ligeras se debe cumplir una flecha entre $L/200$ y $L/300$ para que se considere una rigidez aceptable.

Por ello se buscará mediante un refuerzo o aumentando espesor de perfiles que la deformación sea menor que $L/300$, la cual sería una deformación $\leq 4\text{mm}$.

- Combinación 2:

Esta combinación simula el caso anterior en cuanto a carga, pero la estructura del banco contará con el refuerzo entre las patas, manteniendo el espesor de los perfiles.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en los perfiles de la estructura:

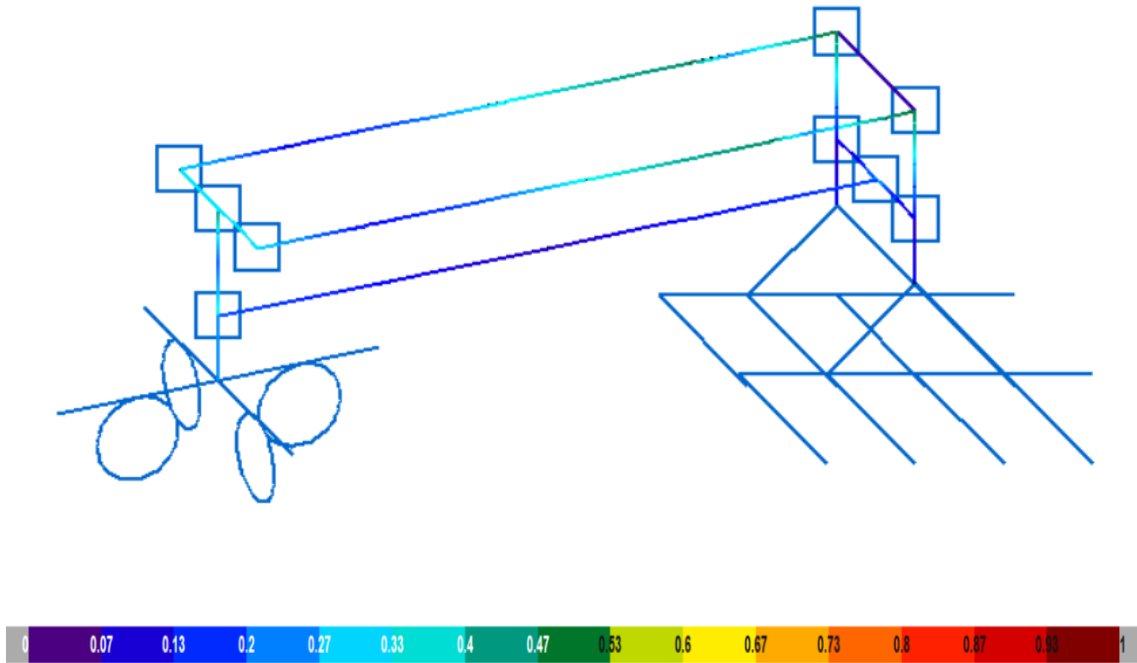


Figura 18 - Análisis de tensión en perfiles del banco (II)

Como se puede observar, los perfiles que sufren mayor tensión siguen siendo los dos perfiles de longitudinales del banco, llegando a valores máximos con un 46.06%. A continuación de estos, los siguientes perfiles que sufre más tensión son los que simbolizan las patas del banco, con 45.74% las patas superiores y con 41.87% la pata inferior del banco.

En cuanto a la deformación que se produce debido a estas cargas:

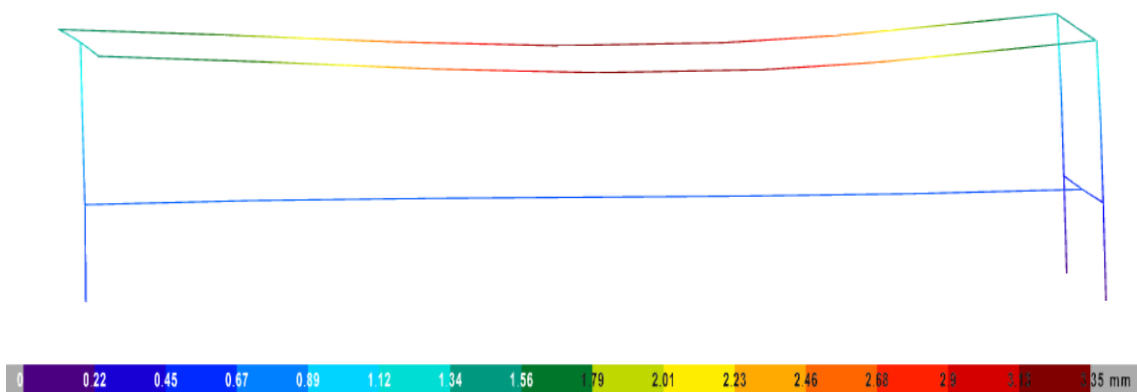


Figura 19 - Análisis de deformada en perfiles del banco (II)

Gracias al refuerzo añadido, se observa una clara mejora en la deformación producida. Esta se ha reducido de 10.51mm hasta 3.35mm, obteniendo una flecha límite de $L/364$.

- Combinación 3:

Esta combinación simula el mismo caso en cuanto a carga, pero la estructura del banco no contará con el refuerzo entre las patas, y se aumentara el espesor de los perfiles a 3mm.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en los perfiles de la estructura:

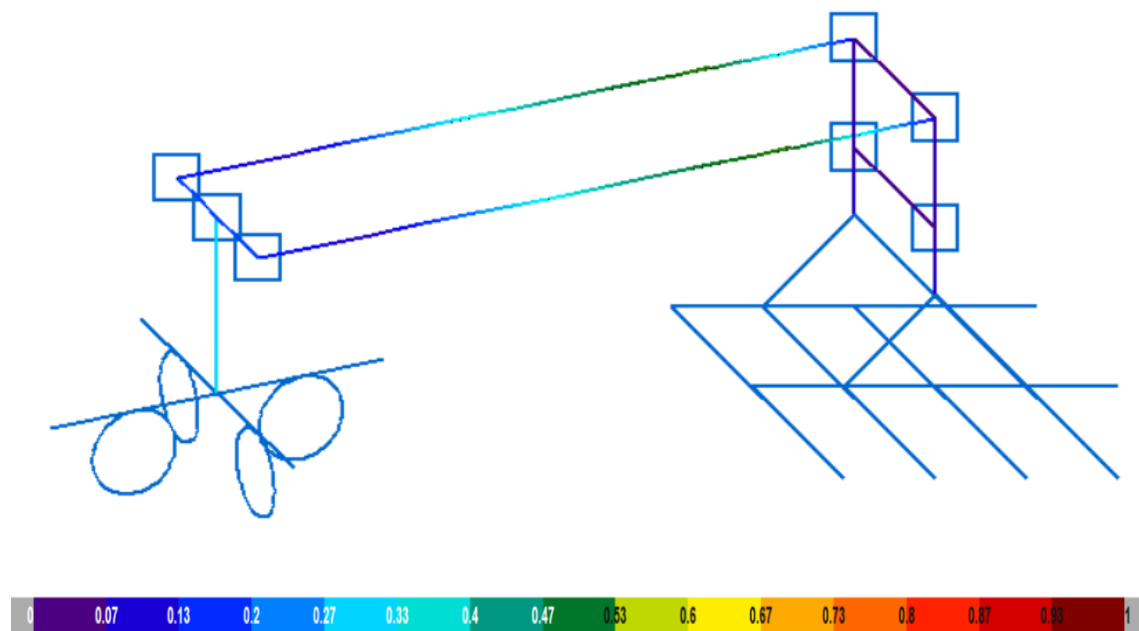


Figura 20 - Análisis de tensión en perfiles del banco (III)

Como se puede observar, los perfiles que sufren mayor tensión siguen siendo los dos perfiles de longitudinales del banco, llegando a valores máximos con un 52.06%. A continuación de estos, el siguiente perfil que sufre más tensión con 25.21% es la pata inferior del banco.

En cuanto a la deformación que se produce debido a estas cargas:

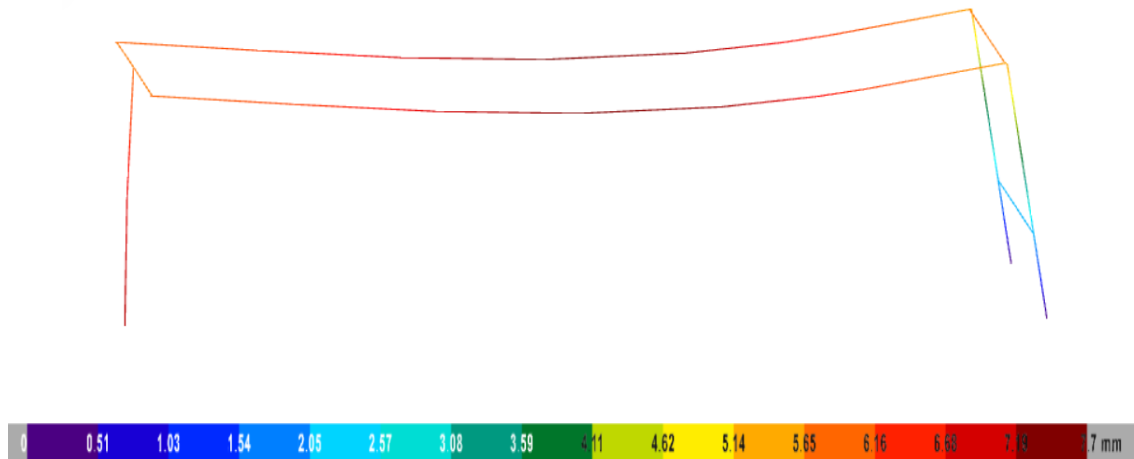


Figura 21 - Análisis de deformada en perfiles del banco (III)

Al aumentar el espesor de los perfiles se observa una ligera mejora de 10.51mm a 7.7mm, pero mejora insuficiente ya que se necesitaría como anteriormente se ha calculado una deformación ≤ 4 mm.

1.7.3.4 Resultados

En conclusión, la mejor opción para cumplir los requisitos es mantener los perfiles cuadrados de espesor 2mm y añadir un perfil de 40x40x2mm de refuerzo a la estructura del banco como se ha analizado en la combinación 2 de los ensayos con el mismo.

1.7.4 Análisis Soportes Barra

1.7.4.1 Descripción del Modelo

La estructura de los soportes de la barra está compuesta por láminas de acero S275JR con espesor 10mm y redondos macizos de acero S275JR con $\varnothing 16$ mm (uno de ellos extraíble a modo de refuerzo).

1.7.4.2 Combinaciones de Carga Analizadas

Se analizarán 3 acciones de carga, según los siguientes factores:

Combinación	Descripción	Esquema
1	Carga de 2.5kN reposada en soporte sin refuerzo	
2	Carga de 2.5kN reposada en soporte con refuerzo	
3	Carga de 5kN reposada en soporte con refuerzo	

Tabla 6 - Combinaciones para análisis de soporte

1.7.4.3 Ensayos

En este apartado se analizará cada una de las combinaciones descritas en el punto anterior, mediante el programa de calculo CYPE 3D.

- Combinación 1:

Esta combinación simula una situación en la barra estaría cargada con más de 500 kg, en concreto 5kN. Por lo que analizando de forma individual como se comportaría cada soporte ante dicha carga, se le asigna la mitad de esta carga (2.5kN) para el análisis.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las barras de la pieza:

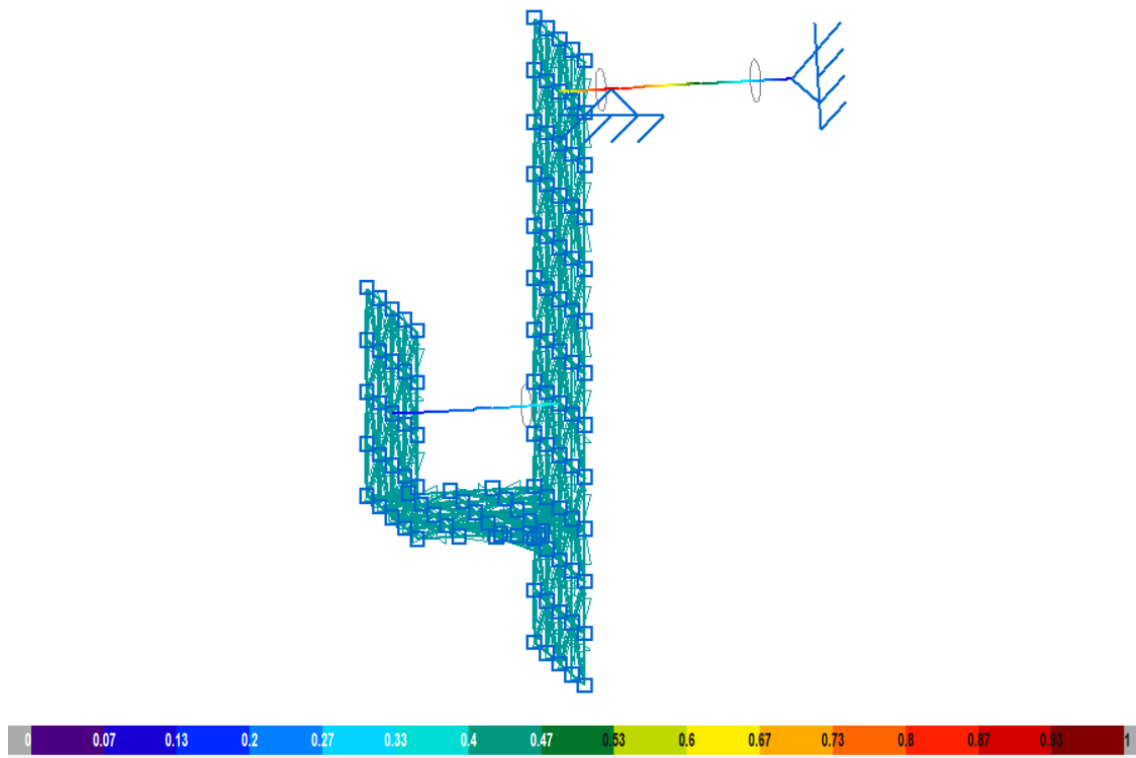


Figura 22 - Análisis de tensión en barras del soporte (I)

En la imagen se observa la Tensión/Aprov. donde cada barra es coloreada según el porcentaje de utilización de su sección (1 = 100 % de la resistencia).

Como se puede observar, la barra de apoyo del soporte en la estructura base es en la que recae la mayor tensión llegando a valores cercanos al 100% (94.38%). Mientras que la barra donde reposaría la barra alcanza un porcentaje del 29.35%.

En segundo lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las laminas de la pieza:

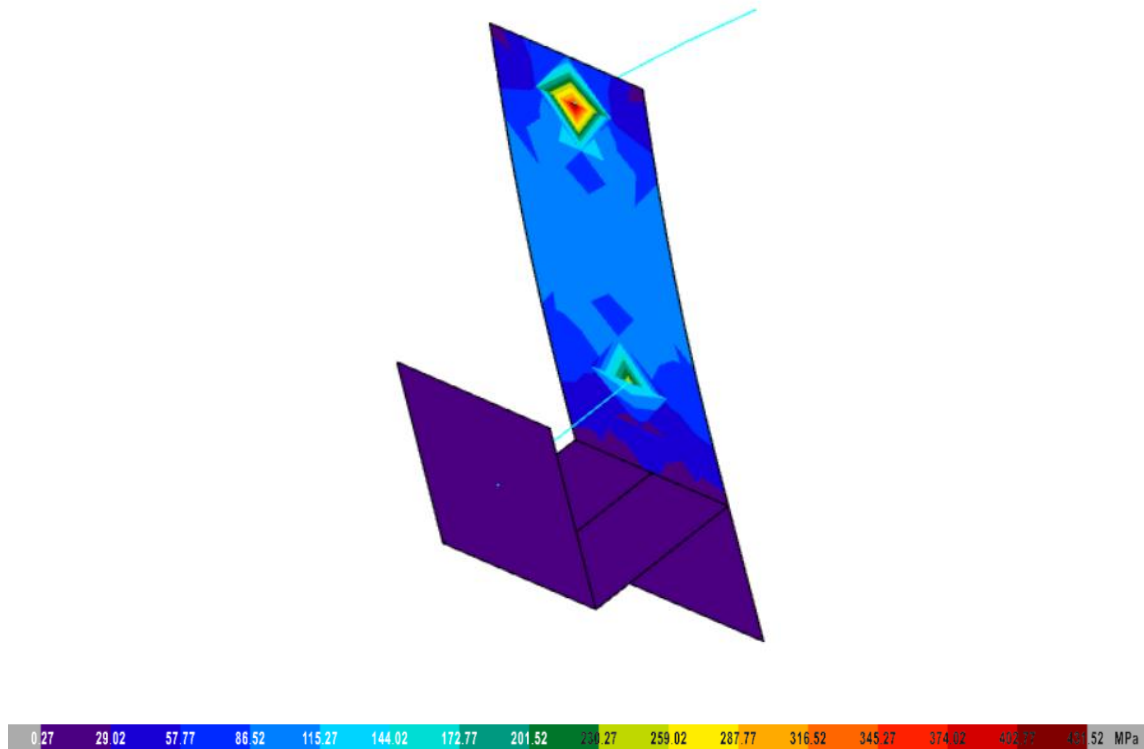


Figura 23 - Análisis de tensión en láminas del soporte (I)

En cuanto a la tensión en las láminas se observan puntos críticos en las uniones de las láminas con las barras con valores de hasta 250MPa en la barra donde reposa la carga y de hasta 431.52MPa en la barra donde tiene el apoyo el soporte con la estructura base, este último valor sobrepasa el límite elástico de acero S275, y se encuentra en el intervalo de la resistencia a tracción (410-560 MPa), por lo que ante cargas máximas como esta habría deformaciones permanentes en la pieza y peligro de rotura.

Es por este motivo por lo que la pieza cuenta con un refuerzo adicional, que actúa como un segundo apoyo del soporte en la estructura base, mediante el cual distribuir las tensiones producidas por la carga (se analiza en la siguiente combinación).

- Combinación 2:

Esta combinación simula la situación descrita en la combinación anterior pero con el refuerzo refuerzo adicional fijado al soporte y a la estructura base.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las barras de la pieza:

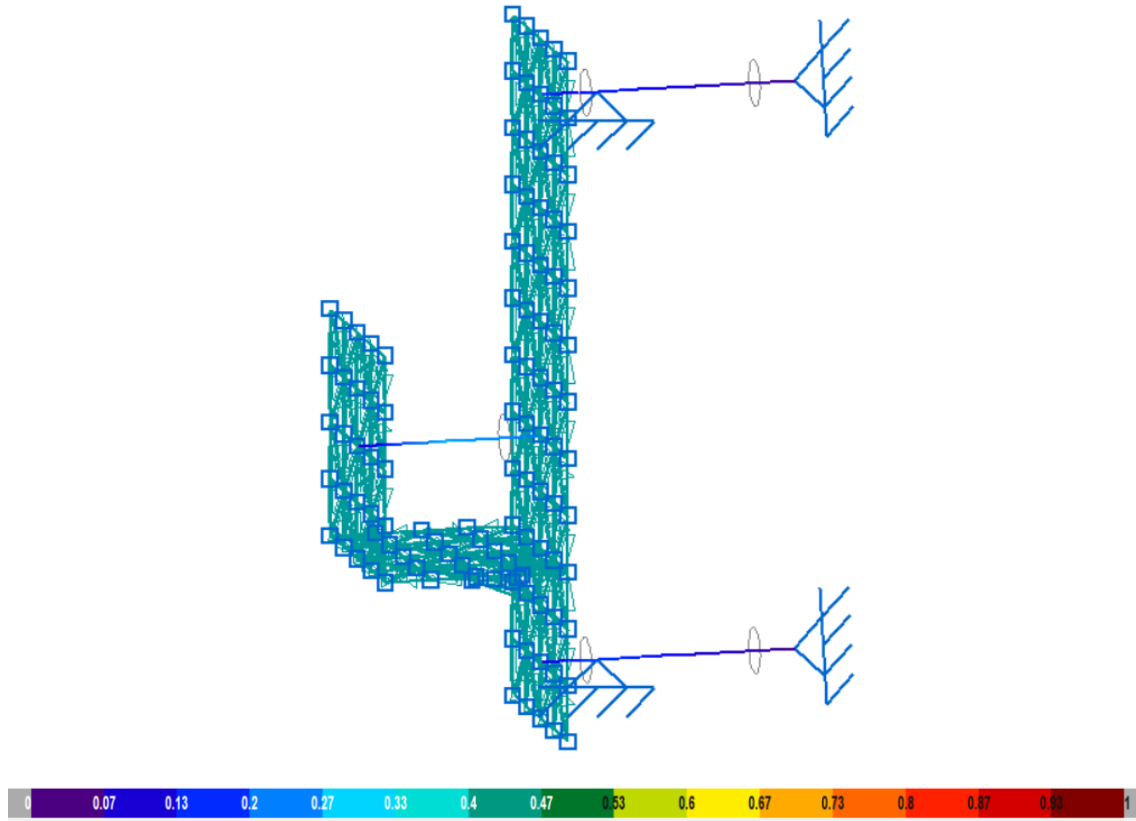


Figura 24 - Análisis de tensión en barras del soporte (II)

Como se puede observar, al introducir el refuerzo los valores de tensión disminuyen drásticamente. Se observa que se reparte toda la tensión que soportaba la barra superior, y se disminuyen los valores máximos a 18.83% (en la barra superior), 10.43% en el refuerzo. Además, la barra donde reposaría la barra disminuye también su valor máximo de tensión a un porcentaje del 21.99%.

En segundo lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las laminas de la pieza:

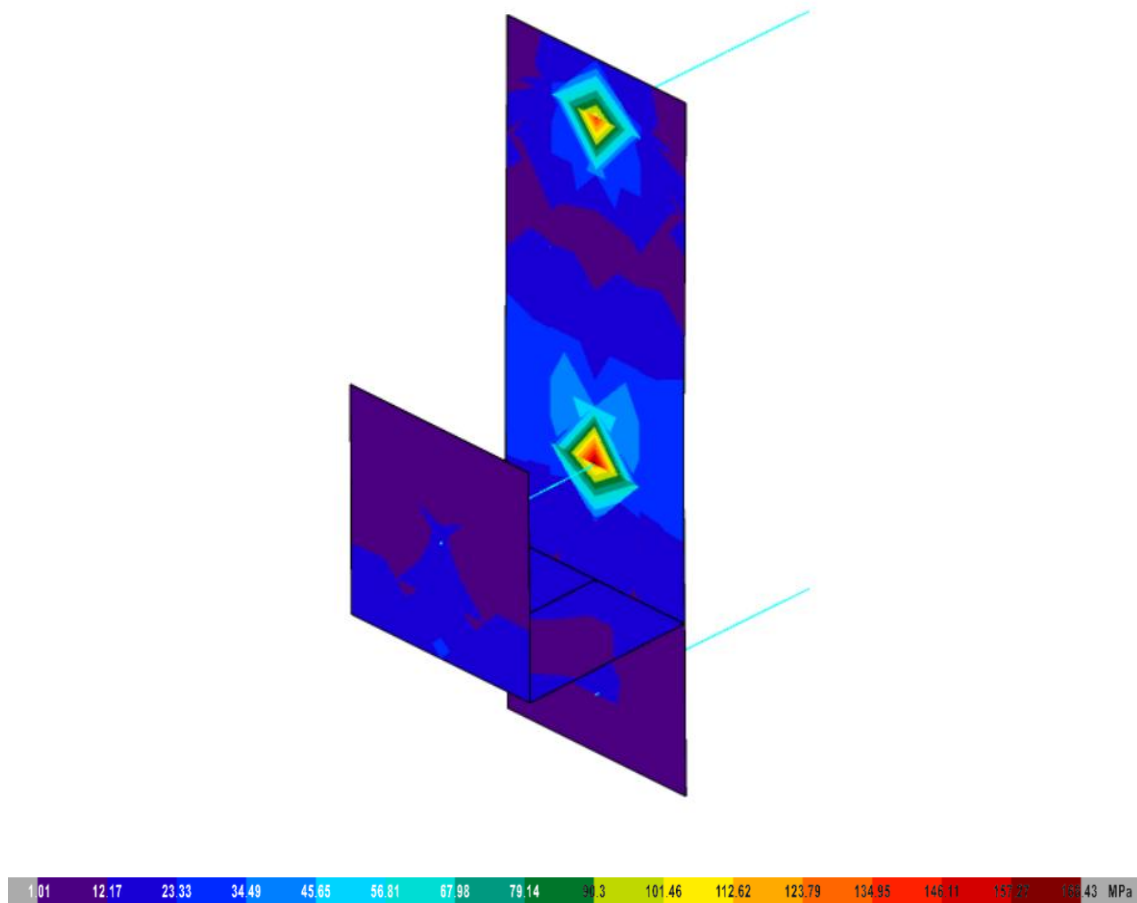


Figura 25 - Análisis de tensión en láminas del soporte (II)

En cuanto a la tensión en las láminas se observan puntos críticos en las uniones de las láminas con las barras, encontrando el valor máximo de 168.43MPa en la unión de la barra central con la lámina.

Este valor máximo se encuentra por debajo del límite elástico del acero S275, por lo que con el refuerzo se eliminaría el riesgo de deformaciones permanentes y roturas.

- Combinación 3:

En esta última combinación, se analizará como se comportaría la pieza con el refuerzo ante un caso extremo de accidente, en el que tras un levantamiento con más de 500kg al dejar la barra en los soportes se produjera un fallo y solo

llegará a dejar apoyada la barra en uno de ellos y el atleta tuviera que soltar la barra y salir, dejando de forma puntual recaer una carga de 5kN en el soporte.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las barras de la pieza:

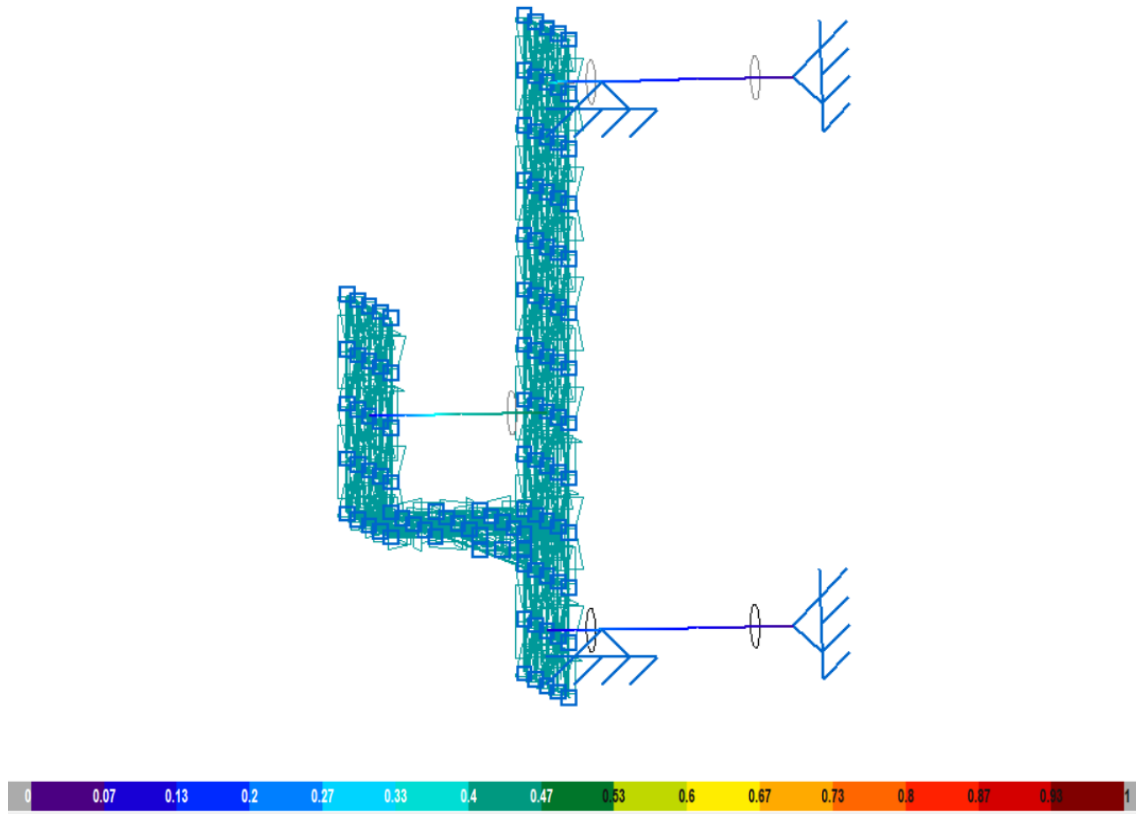


Figura 26 - Análisis de tensión en barras del soporte (III)

Como se puede observar, con el refuerzo ante un caso de accidente como sería que recayera el doble de carga prevista en el soporte, las tensiones en las barras no superarían valores del 50%. Los valores máximos ante esa carga puntual sufridos por cada barra serían 37.65% para la barra superior, 43.97% para la barra central y de 20.86% para la barra inferior.

En segundo lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las laminas de la pieza:

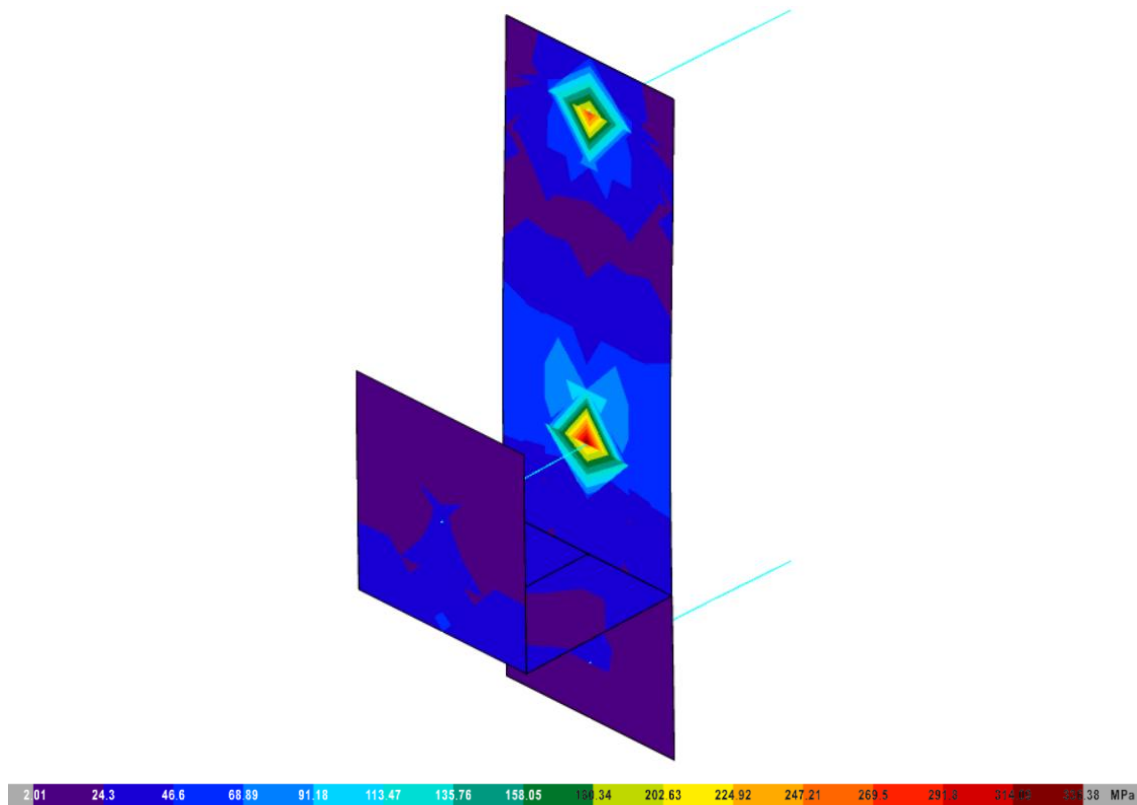


Figura 27 - Análisis de tensión en láminas del soporte (III)

En cuanto a la tensión en las láminas se observan puntos críticos en las uniones de las láminas con las barras, encontrando el valor máximo de 336.38MPa en la unión de la barra central con la lámina. Dicho valor sobrepasaría el límite elástico del acero S275, por lo que se produciría una deformación permanente en la pieza, pero no llegaría al intervalo de la resistencia a tracción, por lo que no habría peligro de rotura.

A posterior sería necesario reemplazar la pieza, pero no se pondría en peligro al usuario permitiéndole soltar la barra y salir de la zona de peligro. Teniendo en cuenta que esto sería un caso extremo en el que se sumaría máxima carga admisible y fallo en ejecución del levantamiento, el soporte se puede considerar más que viable.

1.7.4.4 Resultados

Finalmente, se puede concluir que el soporte puede emplearse sin el refuerzo para cargas submáximas sin necesidad de refuerzo, ya que podría soportar hasta cargas de 1.5kN sin problema, que sería una carga total de 3kN si se tiene en cuenta que la carga recae en dos soportes. Si bien para cargas

superiores a estas será de obligatorio uso el refuerzo, y siempre recomendable, ya que puede alargar la vida útil de la pieza evitando esfuerzos innecesarios.

1.7.5 Análisis Soportes de Seguridad

1.7.5.1 Descripción del Modelo

La estructura de los soportes de seguridad está compuesta por láminas de acero S275JR con espesor 10mm, redondos macizos de acero S275JR con $\varnothing 16\text{mm}$ y un perfil cuadrado de acero S275J0H con dimensiones 75x75x3mm.

1.7.5.2 Combinaciones de Carga Analizadas

Los soportes de seguridad son elementos primordiales en la estructura, ya que son los encargados de proteger al usuario en caso de fallo del levantamiento. Por tanto, será necesario estudiar su comportamiento ante un caso de carga máxima soportada por la estructura en combinación con una caída accidental de la carga sobre el punto más crítico del elemento.

La hipótesis de carga estudiada será impacto accidental con más de 500kg de carga (5kN) sobre ambos soportes de seguridad con una caída de 0.5m. Lo que supondría que los soportes deberían soportar una carga puntual de hasta 10kN. Considerando un reparto homogéneo de la carga entre ambos soportes, cada uno recibirá una carga puntual de 5kN.

A continuación, se analizará dicha hipótesis de carga aplicada a uno de los soportes, según diferentes perfiles centrales en el soporte (láminas y redondos macizos se mantienen iguales para todas las combinaciones según descripción del modelo):

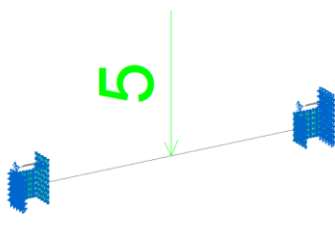
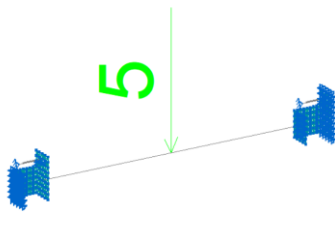
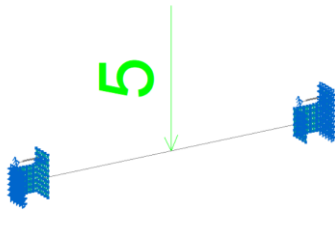
Combinación	Descripción	Esquema
1	Carga puntual de 5kN en el punto central del soporte. Perfil cuadrado 50x50mm, pruebas con espesor de 2 y 3 mm	
2	Carga puntual de 5kN en el punto central del soporte. Perfil cuadrado 60x60mm, pruebas con espesor de 2 y 3 mm	
3	Carga puntual de 5kN en el punto central del soporte. Perfil cuadrado 75x75x3mm	

Tabla 7 - Combinaciones para análisis de soporte de seguridad

1.7.5.3 Ensayos

En este apartado se analizará cada una de las combinaciones descritas en el punto anterior, mediante el programa de calculo CYPE 3D.

- Combinación 1:

Esta primera combinación simula una situación donde el soporte recibirá una carga puntual de 5kN sobre un perfil cuadrado de 50x50x2mm.

En primer lugar, se procede a comprobar las tensiones producidas en las barras de la pieza:

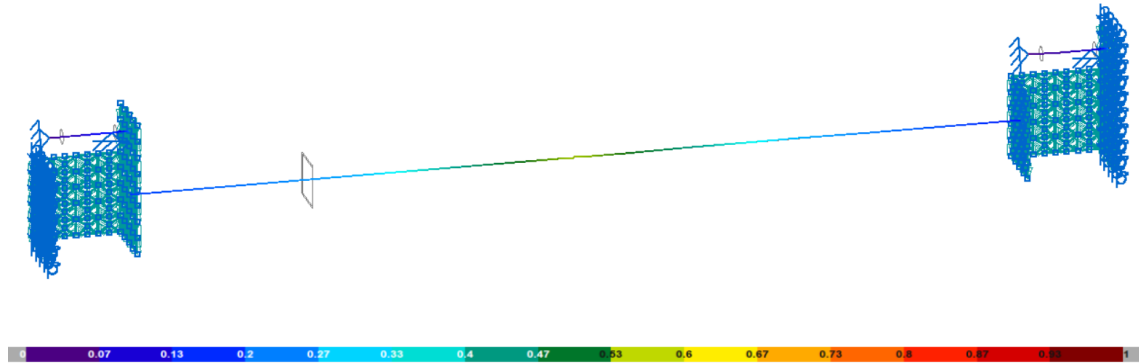


Figura 28 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (I)

En la imagen se observa la Tensión/Aprov. donde cada barra es coloreada según el porcentaje de utilización de su sección (1 = 100 % de la resistencia).

Como se puede observar, en las barras de apoyo del soporte en la estructura base (redondos macizos $\varnothing 16\text{mm}$) alcanzan un máximo de 20.22%. Mientras que el perfil de 50x50x2mm donde reposaría la barra alcanza un porcentaje del 57.58%. Vemos que las tensiones en las barras no comprometen al soporte.

En cuanto a la deformada producida en la barra:

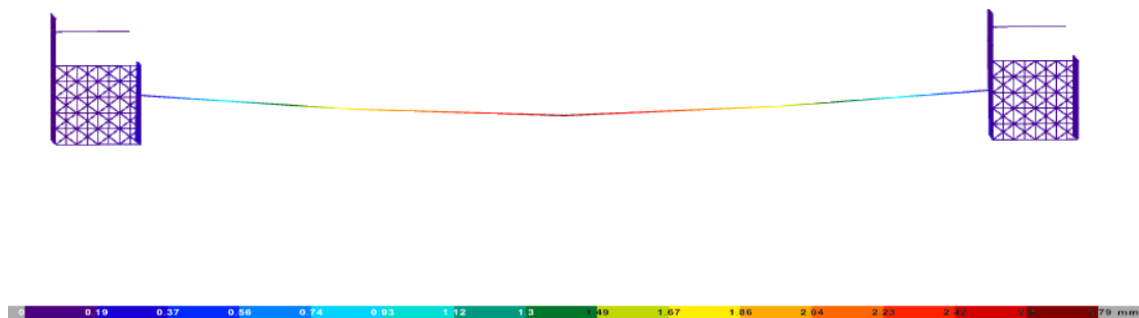


Figura 29 - Análisis de deformada en perfil del soporte (I)

Se observa cómo se llega a producir un desplazamiento de 2.79mm en el centro del perfil. Teniendo una luz entre apoyos, $L=1000\text{mm}$, se obtiene que la flecha límite es de $L/358$. Esta flecha cumple el criterio, ya que para estructuras metálicas ligeras se debe cumplir una flecha entre $L/200$ y $L/300$ o más para que se considere una rigidez aceptable.

Aunque el perfil cumple en tensión y deformada, se debe comprobar las tensiones producidas en las laminas de la pieza:

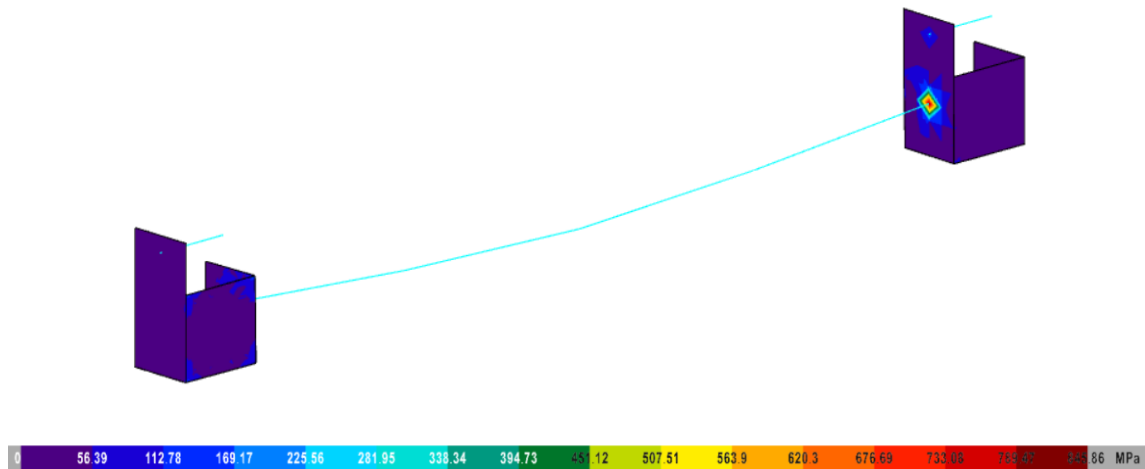


Figura 30 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (I)

En cuanto a la tensión en las láminas se observan puntos críticos en las uniones de las láminas con el perfil central con valores de hasta 845.46MPa, este valor sobrepasa en exceso el límite elástico de acero S275. Por lo que será necesario eliminar tensión en este punto, para ello se puede incrementar las dimensiones del perfil para aumentar así el punto de contacto de este con las láminas.

Subiendo simplemente el espesor del perfil de 2mm a 3 mm, se obtendría:

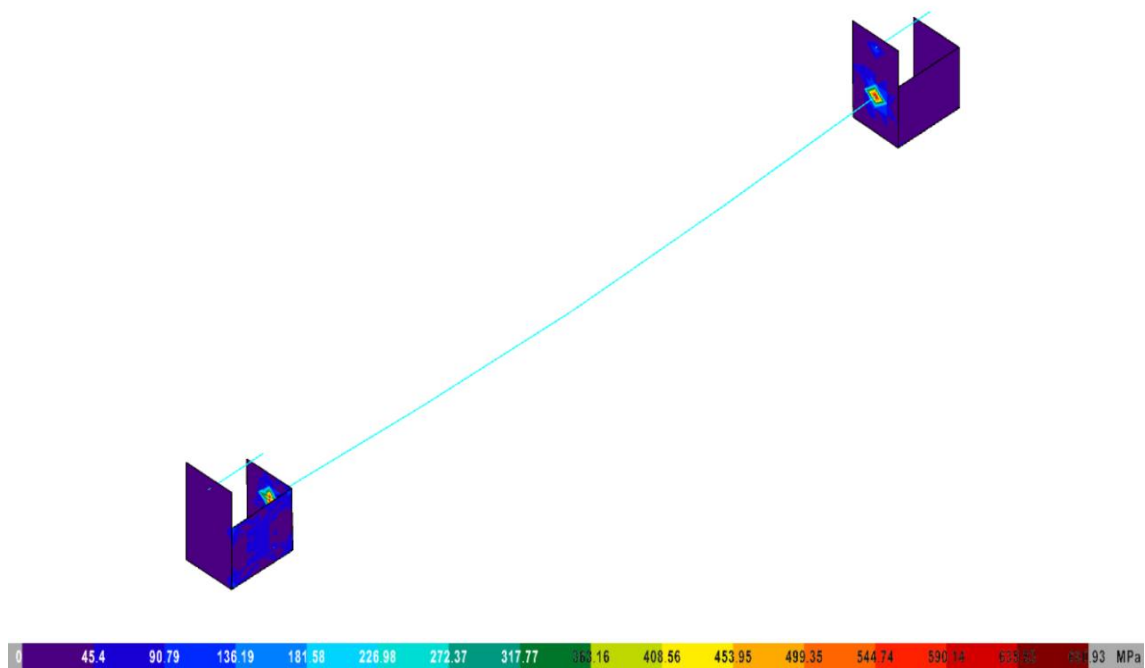


Figura 31 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (II)

Se puede observar que aumentando el punto de contacto entre perfil y laminas, se reduce la tensión producida en las láminas de 845.46MPa a 680.93MPa, pero aún así queda muy por encima del límite elástico (275MPa). Será necesario por ello aumentar las dimensiones del perfil (combinación 2).

- Combinación 2:

En esta combinación, se aumentará el perfil central a un perfil cuadrado de 60x60x2mm.

El perfil anterior ya cumplía las condiciones de tensión y deformada sobre el mismo, por lo que un perfil superior las seguirá cumpliendo con mayor margen. Por tanto, el análisis se centrará en la tensión en las láminas:

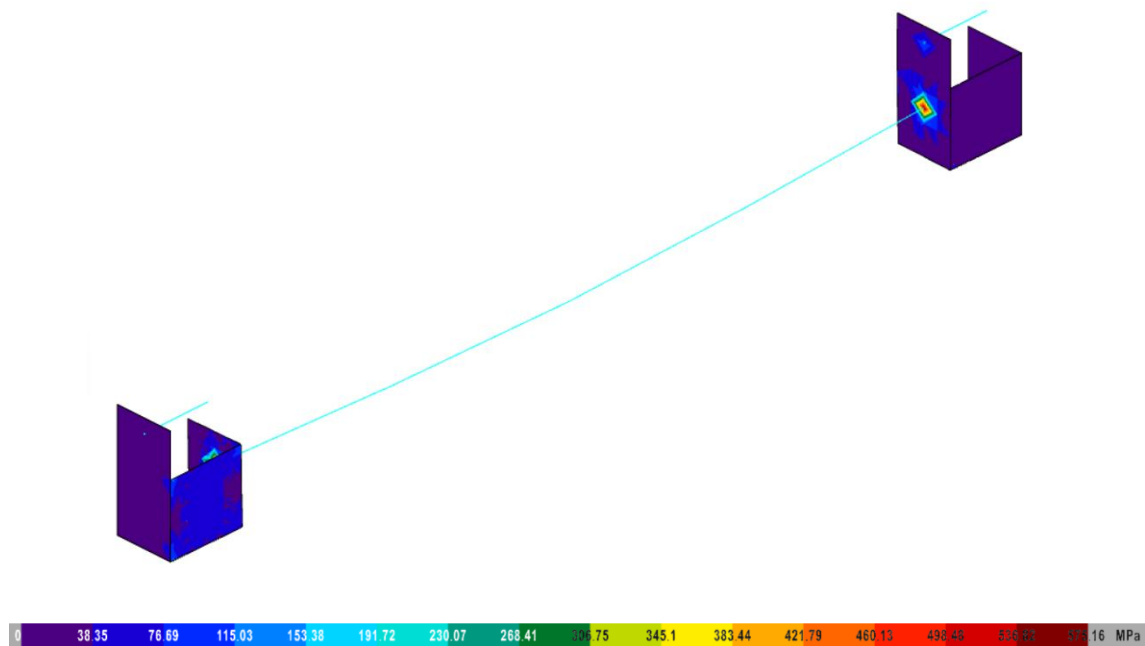


Figura 32 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (III)

Se puede observar que aumentando a un perfil de 60x60x2mm, se reduce la tensión producida en las láminas a 575.16MPa, siendo aun insuficiente. Por lo que se subirá el espesor de este a 3mm:

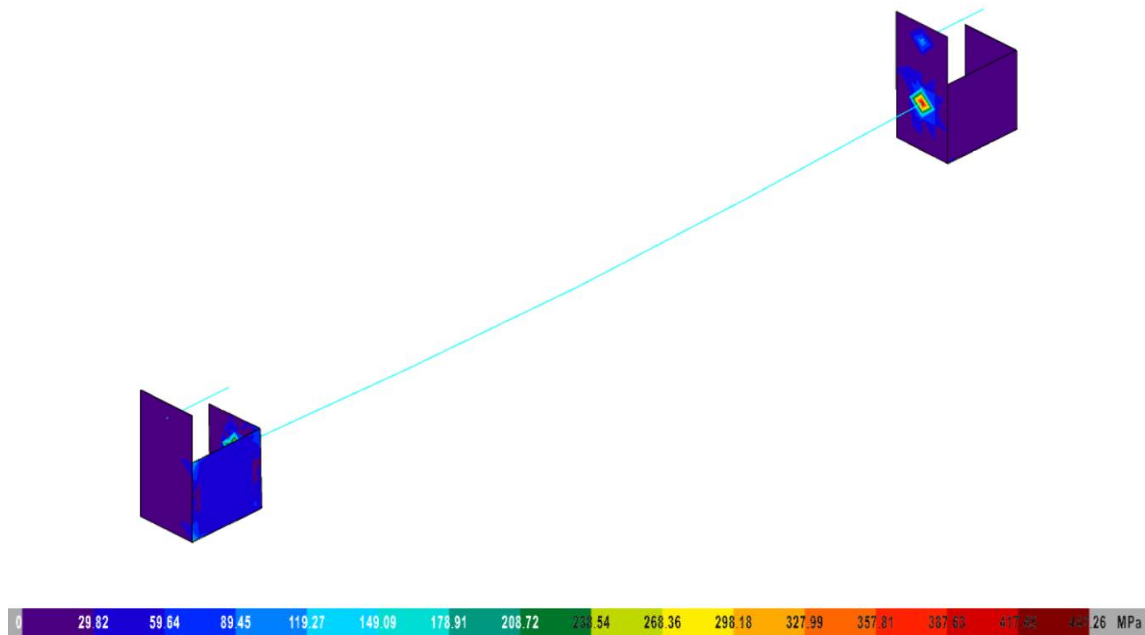


Figura 33 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (IV)

Como resultado de subir el espesor a 3mm, se obtiene una disminución de 575.16MPa a 447.26MPa, la cual aún no cumpliría con el límite elástico, pero se en el intervalo de la resistencia a tracción (410-560 MPa).

- Combinación 3:

Finalmente, para cumplir el límite elástico, se analizará la utilización de un perfil central de 75x75x3mm. La elección de este perfil unificaría las dimensiones de este con la estructura base de la pieza por lo que de cara a la futura fabricación puede ser un punto a favor.

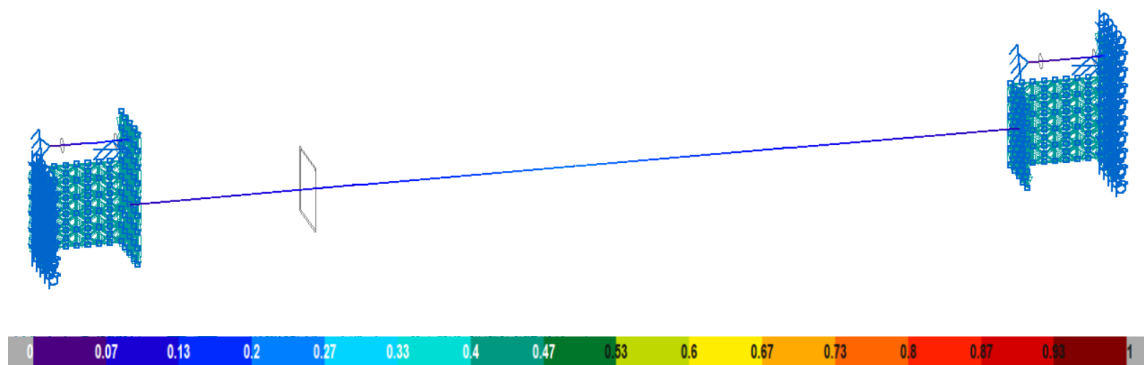


Figura 34 - Análisis de tensión en barras del soporte de seguridad (II)

En cuanto a la tensión en barras del soporte, se observa que cumple con mayor margen que los casos anteriores, con tensiones máximas del 19.37% en el perfil central y 20.46% en los anclajes a la estructura base.

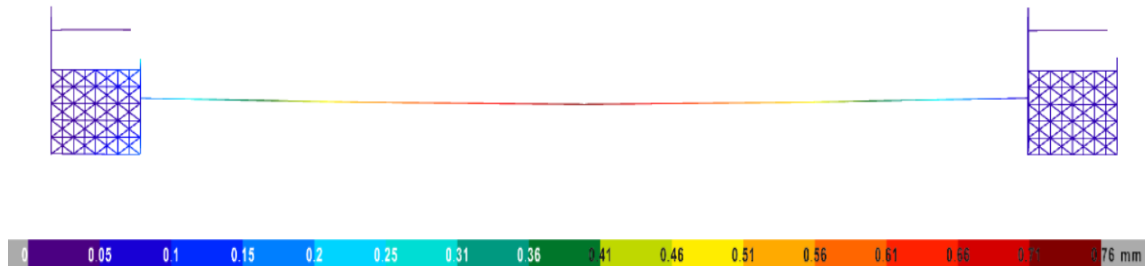


Figura 35 - Análisis de deformada en perfil del soporte (II)

Por otro lado, en la deformada se aprecia una reducción considerable con respecto a la combinación 1, con un valor máximo de 0.76mm de desplazamiento

Finalmente, se analizará la tensión en las láminas tras el aumento de perfil:

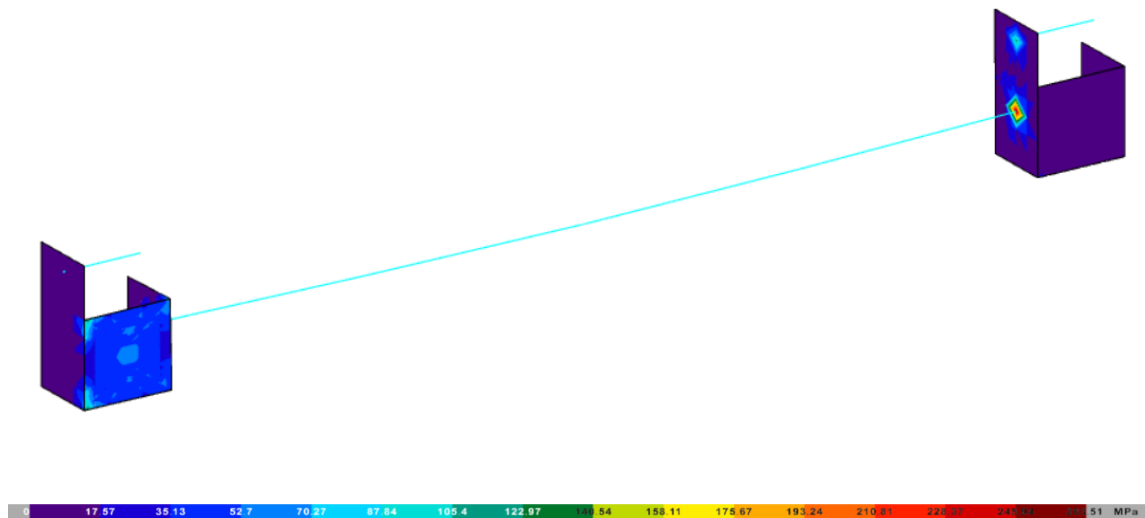


Figura 36 - Análisis de tensión en láminas del soporte de seguridad (V)

Con la elección del perfil de 75x75x3mm se consigue disminuir la tensión por debajo del límite elástico (275MPa) a un máximo en la unión del perfil central con la lámina de 263.51MPa, consiguiendo así eliminar riesgos de deformaciones permanentes en el soporte de seguridad.

1.7.5.4 Resultados

En conclusión de los ensayos realizados al soporte de seguridad, se determina que el perfil central será de 75x75x3mm de acero S275J0H, asegurando así una buena respuesta del soporte ante cualquier tipo de carga accidental, y aportándole mayor durabilidad ante fallos a cargas máximas.

1.7.6 Análisis Accesorio de Fondera

1.7.6.1 Descripción del modelo

La fondera se compone por perfiles cuadrados 40x40x2mm, redondos macizos de $\varnothing 28\text{mm}$, láminas de espesor 10mm y refuerzo triangular de espesor 15mm, todos ellos de acero S275. Anclada a la estructura base mediante un pin de $\varnothing 16\text{mm}$ de acero S275.

1.7.6.2 Ensayo

Analizando su comportamiento frente a cargas, se estudió el caso de realizar un fondo con lastre pesado en el que el peso del atleta más el lastre equivaldría a 2kN, es decir 1kN por barra de apoyo. Suponiendo la carga en el extremo de las barras:

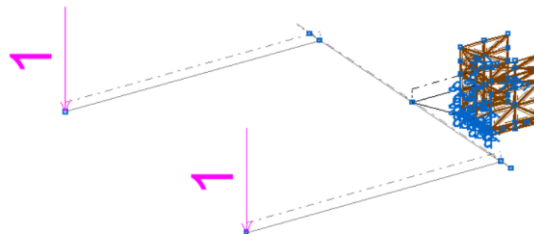


Figura 37 - Hipótesis de carga para Fondera

Obteniendo como resultado del análisis, las siguientes tensiones producidas en las barras de la fondera:

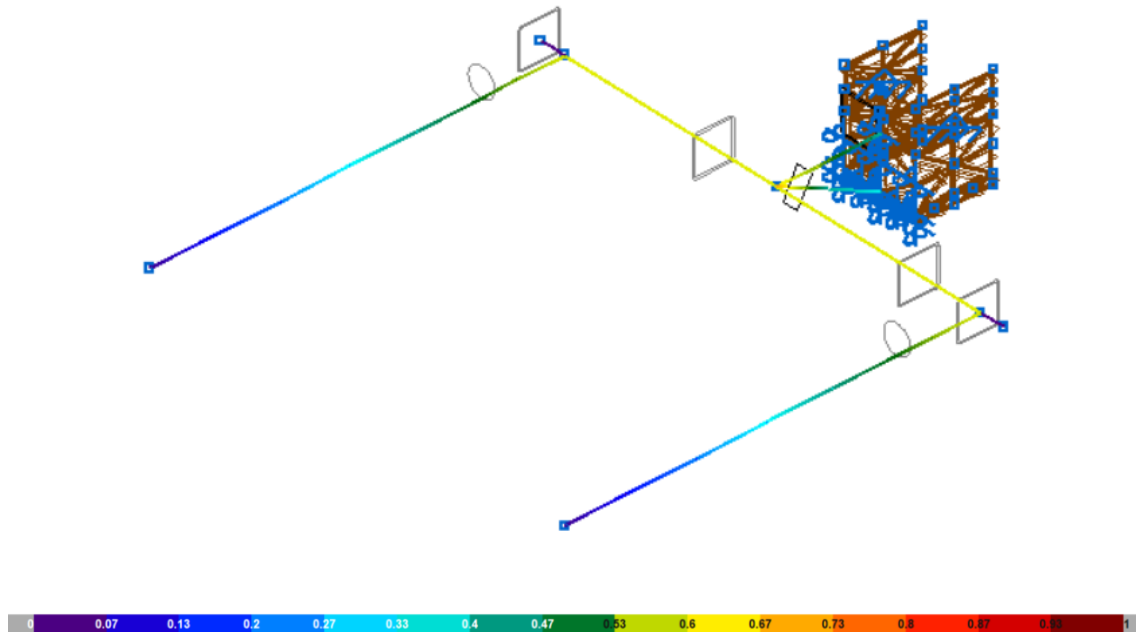


Figura 38 - Análisis de tensión en barras de la fondera

Se puede observar que las tensiones están dentro de lo admisibles, produciéndose las máximas tensiones en el perfil central con un valor del 62.66%, en la unión de dicho perfil con los mangos de la fondera 62.41% y en la unión del perfil central con el perfil y refuerzo que lo unen a la pieza de anclaje a la estructura, con un 73.27%.

A continuación, se analizará la tensión producida en la pieza de anclaje:

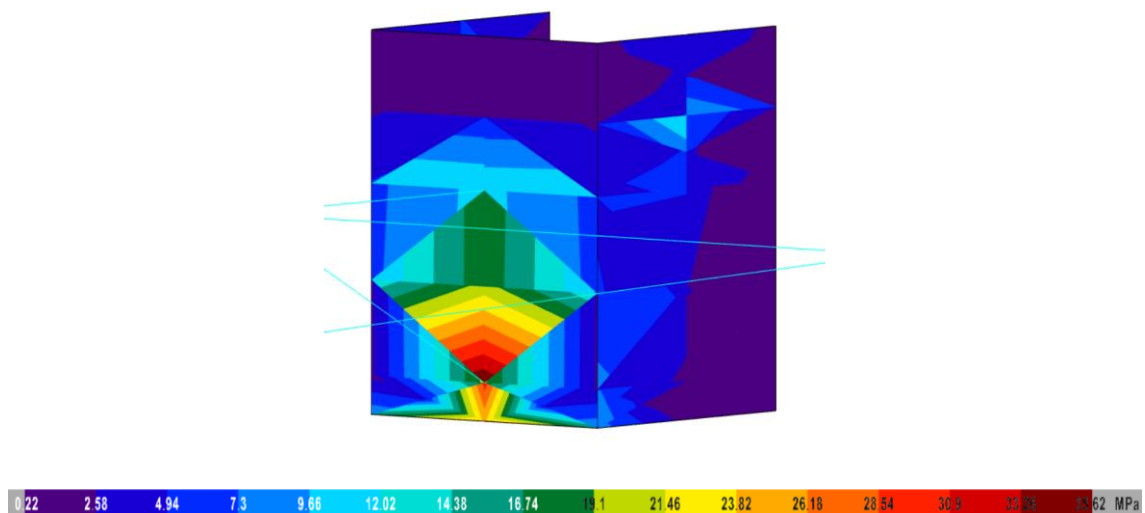


Figura 39 - Análisis de tensión en láminas del anclaje de la fondera

En cuanto al anclaje de la fondera, las tensiones producidas en las laminas que lo conforman tienen valores máximos de 35.62MPa, muy por debajo del límite elástico de acero S275.

1.7.6.3 Resultado

La fondera al ser un accesorio complementario a la jaula de potencia, no se ha diseñado para sobrecargarla con más de 2kN de carga total admitida, aún que se observa en el análisis que hay algo más de margen, pero de cara al uso se establecerá su carga máxima en 200kg. Carga más que suficiente para complementar el entrenamiento con este ejercicio.

1.7 Proceso de Fabricación

1.8.1 Selección de materiales

Para la fabricación de la jaula de potencia se ha optado por perfiles tubulares de acero estructural (S275J0H) de sección cuadrada de 75×75 mm y espesor de 3 mm y un redondo macizo de acero estructural (S275JR) de $\varnothing 28$ mm, seleccionados por su buena relación entre resistencia mecánica y soldabilidad. Este tipo de acero cumple con los requisitos de la norma UNE-EN 10025-2: 2020 (AENOR, 2020).

Para la fabricación del banco y sistema de fijación se ha optado por perfiles tubulares de acero estructural (S275J0H) de sección cuadrada de 40×40 mm y espesor de 2 mm. Así como un tablero estructural de densidad media (DM) de dimensiones 1220x320x20mm revestido con acolchado de alta densidad y vinilo antideslizante de dimensiones 1220x320x25mm.

Asimismo, se ha optado por láminas de acero estructural (S275JR) de espesor 10mm para fabricación de soportes, y de espesor 5mm para refuerzos y fijaciones de la jaula y banco.

1.8.2 Corte de perfiles

El corte de los perfiles se realiza mediante sierra de cinta semiautomática, lo que permite cortes precisos, perpendiculares o angulados según el diseño 3D realizado en SketchUp. Se deben marcar previamente las longitudes y ángulos con plantilla o láser según planos de taller.

- Tolerancia de corte: ± 1 mm.
- Seguridad: uso de EPIs, separación de zonas calientes y húmedas, retirada de virutas.

1.8.3 Mecanizado y perforaciones

Las perforaciones para los tornillos (DIN 931 M16 y DIN 931 M12) y pasadores se realizan con taladro de columna.

- Se recomienda usar brocas HSS recubiertas para acero estructural.
- Las perforaciones deben respetar las holguras y diámetros de paso según el diseño.

1.8.4 Soldadura de uniones fijas

Las uniones soldadas se ejecutan mediante soldadura por arco con electrodo revestido MIG/MAG, por su mayor velocidad y calidad superficial.

- Se aplican cordones en ángulo o a tope según UNE-EN 1993-1-8:2013.
- Se realiza una limpieza previa de las superficies para garantizar una unión libre de impurezas.

1.8.5 Tratamiento de superficie y acabado

Para garantizar durabilidad y estética:

- Lijado y desengrasado previo (manual o granallado)
- Aplicación de imprimación anticorrosiva para interiores o galvanizado en caliente si se prevé exposición exterior.
- Pintura en polvo termoendurecida (epoxi-poliéster), aplicada por pintura electrostática y curada en horno.

1.8.6 Montaje y ensamblado final

La estructura se ensambla en taller mediante:

- Uniones atornilladas M16 y M12 (par de apriete específico según la clase 8.8, ~210 Nm)
- Comprobación de alineación vertical mediante plomada láser o nivel digital.
- Verificación del deslizamiento correcto de los soportes móviles con sistema de rodamiento (J-cups), incluyendo ajustes de tolerancia mínima.

1.8.7 Pruebas de validación y control de calidad

Antes de su uso, se realizarán pruebas como:

- Ensayo estático con cargas de más de 500 kg.
- Comprobación de la deformación elástica máxima mediante extensómetros o medición directa.
- Revisión visual de soldaduras (según ISO 17637) y comprobación dimensional.

1.8.8 Embalado y envío

Una vez finalizadas las pruebas de validación en taller, la jaula de potencia se prepara para su transporte al cliente final. Dado su volumen y peso, y considerando los posibles condicionantes de acceso al lugar de instalación (como puertas, escaleras o ascensores), se opta por un envío en formato desmontado, estructurado en módulos fácilmente ensamblables.

1.8.8.1 Desmontaje parcial para transporte

Los perfiles verticales, horizontales, base, banco y accesorios modulares se embalan por separado. Se incluye tornillería necesaria como sistema principal de unión, lo que facilita al cliente el montaje sin necesidad de soldadura ni maquinaria especializada.

Se incluye un manual de montaje paso a paso, ilustrado a partir del modelo 3D original, e instrucciones de seguridad.

1.8.8.2 Sistema de embalado

En embalado se realizará mediante paletizado modular:

- Las piezas se disponen palé industrial especial de 2400 × 1000 mm, fabricado en madera tratada conforme a norma NIMF-15 para transporte internacional.
- Las piezas metálicas se envuelven en film retráctil con protección anticorrosiva (VPCI) y cantoneras de cartón reforzado.
- Todos los elementos de unión (tornillería, arandelas, tuercas, herramientas) se embalan en una caja independiente numerada.
- Se añade documentación técnica: hoja de instrucciones, certificados de ensayo, ficha técnica de materiales, y manual de seguridad.

1.8.8.3 Logística de transporte

El envío puede realizarse mediante agencia especializada en cargas paletizadas, con seguimiento y seguro de transporte. En caso de envío internacional o en condiciones adversas, se contempla el uso de embalajes con protección antihumedad y antivibración.

1.8.9 Montaje por el usuario final

El diseño modular de la jaula, basado en uniones atornilladas estandarizadas y componentes simétricos, permite que el usuario final pueda realizar el montaje de forma autónoma o con asistencia mínima.

Justificación técnica de la facilidad de montaje:

- Todas las uniones utilizan tornillos DIN 931 M16 o M12 clase 8.8 con pares de apriete especificados, lo cual garantiza la integridad estructural sin necesidad de soldaduras.
- El sistema de guía y centrado en los puntos de unión asegura la alineación automática durante el montaje.
- Se han superado previamente ensayos de resistencia, estabilidad y funcionalidad en taller, por lo que no es necesario realizar nuevas pruebas en destino.
- La estructura ha sido diseñada con un factor de seguridad, considerando posibles errores de montaje o uso.

Seguridad post-montaje:

- El manual incluye un listado de verificación para asegurar que todos los tornillos estén bien ajustados.
- El sistema modular está diseñado para no permitir errores críticos de ensamblaje (p. ej. simetría de los agujeros, tornillos con códigos por longitud).
- Los soportes de barra y soportes de seguridad han sido probados bajo carga antes del envío, lo que garantiza la seguridad funcional.

1.9 Estudio y análisis de sensores integrables a la estructura o su entorno para mejora de rendimiento en powerlifting

El powerlifting es un deporte donde es fácil cuantificar tu progreso, ya que este se ve reflejado en la carga levantada en cada movimiento. Pero más allá de kilos levantados, hay muchos más parámetros que analizar y que pueden ayudar a mejorar el rendimiento del atleta.

Este deporte no se basa solo en fuerza bruta, aunque puede no parecerlo, exige un elevado nivel de control neuromuscular, gran habilidad técnica y la capacidad para generar fuerza explosiva, así como mantenerla durante la fase más lenta del levantamiento, comúnmente conocida como grind o grindeo.

Es por todo esto, que la implementación de sensores electrónicos permite el análisis detallado de parámetros biomecánicos clave como la estabilidad postural, colocación inicial, trayectoria de la barra, distribución de cargas, tiempos bajo tensión, o aceleración durante el levantamiento. Todos estos análisis mediante sensores puede ser grandes medidores del rendimiento y de especial interés para la programación del entrenamiento.

1.9.1 Parámetros de interés en el análisis del rendimiento

Los aspectos más importantes a tener en cuenta en los levantamientos de powerlifting son:

- Estabilidad y colocación: La capacidad del atleta para mantener el equilibrio y alineación corporal antes y durante el levantamiento.
- Fuerza aplicada: Medición de la fuerza generada por el atleta en tiempo real.
- Trayectoria y desplazamiento: Análisis del recorrido de la barra y la posición corporal.
- Velocidad y aceleración: Parámetros útiles para determinar de la potencia generada.
- Tiempo bajo tensión (TUT): Tiempo total en que el músculo está trabajando, especialmente en fases de grind.

- Asimetrías o desequilibrios: Diferencias de fuerza o movimiento entre lados derecho e izquierdo del cuerpo.

Así como parámetros que se rigen por las normas de competición, como puede ser la profundidad en la sentadilla, la posición de codos en la bajada del press banca, los puntos de contacto con el banco o el bloqueo de articulaciones al finalizar los movimientos, entre otros.

1.9.2 Análisis de sensores integrables

A continuación, se presentan los tipos de sensores más adecuados para la evaluación y mejora del rendimiento en powerlifting teniendo en cuenta los parámetros anteriores, incluyendo su funcionamiento, aplicación y ubicación sugerida dentro de la jaula o el entorno de entrenamiento.

1.9.2.1 Células de carga

Las células de carga permiten cuantificar directamente la fuerza aplicada, ya sea en los soportes de la barra (J-cups) o bajo la superficie de apoyo. Funcionan mediante galgas extensiométricas que traducen la deformación en señales eléctricas proporcionales al peso. Ya han sido ampliamente utilizadas en biomecánica para evaluar fuerza máxima y asimetrías (Sato et al., 2009).

Su principal aplicación sería el control de carga real aplicada y detección de picos de fuerza.

Para el caso de cargas elevadas como las que se mueven en este deporte, debería ser células de carga industriales que están diseñadas para medir más de 500kg, se emplean normalmente en aplicaciones de pesaje industrial.

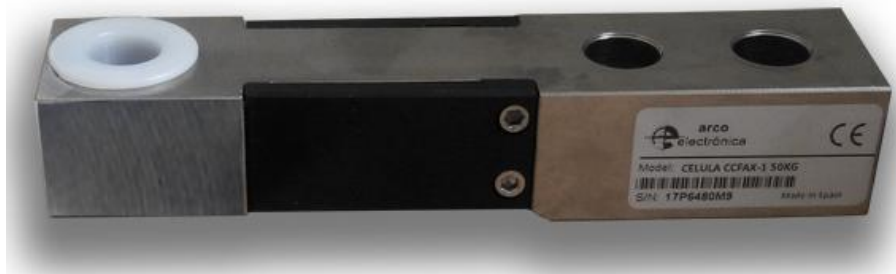


Figura 40 – Célula de carga flexión | CCFAX-1 500 kg (CÉLULA DE CARGA FLEXIÓN | CCFAX-1 500 Kg, 2025)

1.9.2.2 Acelerómetros, giroscopios y sensores inerciales (IMU)

- Acelerómetros:

Estos sensores detectan cambios en la aceleración lineal, pueden ser uniaxiales o triaxiales, dependiendo de si solo miden la aceleración sobre un eje (vertical) o en los tres ejes del espacio, respectivamente (Cordero et al., 2014). Su integración en la barra permite analizar la fase concéntrica y excéntrica del movimiento, y calcular la velocidad media propulsiva, un indicador útil para la autoregulación de la carga (Mann, 2016).

En cuanto a su ubicación podrían ir sujetos a la barra, muñequera o cinturón del atleta. Pero de cara a un punto más práctico, lo ideal sería que interfiera lo menos posible con el atleta, por lo que descartaríamos cualquier ubicación que este en contacto directo con su cuerpo, siendo la sujeción a la barra lo ideal. Para ello, se podrían modelar en 3D abrazaderas o cierres en los que poder integrar el sensor y así poder ser fácil de quitar y poner en la barra.

Los acelerómetros son utilizados en múltiples deportes (atletismo, fútbol, ect.) como medidores de rendimiento, por lo que su aplicación al powerlifting puede ser de gran utilidad para analizar el control de velocidad con respecto a diferentes cargas, que podría ser utilizado como indicador evaluación de fatiga y en consecuencia poder mejora la planificación de cargas.

- Giroscopios:

Los giroscopios son otro tipo de sensores que pueden ser también beneficiosos ya miden velocidad angular y detectan rotaciones del objeto sobre su propio eje, lo que puede ser de utilidad para medir la rotación que se produce sobre la barra en el levantamiento, permitiendo identificar rotaciones excesivas que hayan producido una pérdida de rendimiento.

- IMU (Unidades de medición inercial):

Las unidades de medición inercial combinan acelerómetros, giroscopios y, en algunos casos, magnetómetros. A continuación, un ejemplo de IMU:



Figura 41 – IMU (RobotShop Europe, s. f.)

Estos sensores permiten registrar, mediante un mismo dispositivo, aceleración lineal y la orientación angular de la barra o del tronco del atleta, proporcionando datos sobre posibles rotaciones, inclinaciones o desajustes durante el levantamiento (Balsalobre-Fernández et al., 2017).

Podrían ser útiles para medir la estabilidad y corregir fallos técnicos en la ejecución del levantamiento.

1.9.2.3 Sensores de desplazamiento

En el contexto del powerlifting, el desplazamiento vertical de la barra es uno de los parámetros más relevantes para evaluar tanto la eficiencia mecánica como la calidad técnica de un levantamiento. El análisis del recorrido permite determinar la altura total desplazada, la simetría del movimiento, la velocidad, y el tiempo bajo tensión, que son indicadores críticos del rendimiento atlético y de la fatiga (García-Ramos et al., 2017)

Los sensores de desplazamiento lineal utilizados habitualmente en biomecánica y entrenamiento pueden clasificarse en:

- Codificadores lineales ópticos (optical linear encoders):

Estos detectan el movimiento mediante un lector óptico que interpreta los cambios en una escala codificada. Son ideales para aplicaciones donde se requiere una medición muy precisa y directa del desplazamiento lineal, como en análisis de trayectoria de la barra. Pero tienen un coste elevado y necesidad de alineación exacta entre lector y escala.

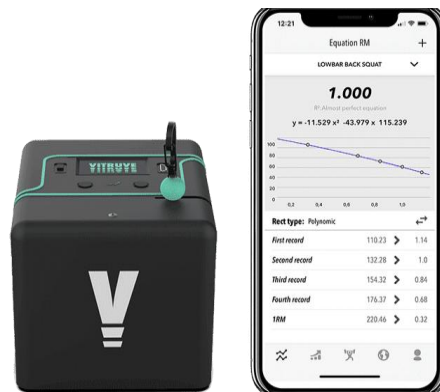


Figura 42 – Encoder (Admin, 2021)

- Codificadores rotativos acoplados a poleas:

Estos codificadores utilizan una polea por la que pasa un cable unido a la barra. El giro de la polea es interpretado por un codificador rotativo, que transforma el movimiento angular en desplazamiento lineal. Es un sistema robusto, fácil de instalar y compatible con microcontroladores como Arduino.



Figura 43 - Encoder rotativo (30 Series - Encoder Rotativo Incremental By Hohner Automaticos | DirectIndustry, s. f.)

- LVDT (Transformadores diferenciales variables lineales):

Estos dispositivos se basan en el desplazamiento de un núcleo ferromagnético dentro de un bobinado, donde el cambio en la inductancia se traduce en una variación de voltaje proporcional al desplazamiento. Son utilizados en entornos industriales y de investigación por su alta fiabilidad, pero precisan de acondicionamiento de la señal.

1.9.2.4 Sensores de presión

Estos sensores, integrados en plataformas de fuerza o plantillas capacitivas, permiten evaluar la distribución de la presión plantar. Son útiles para detectar compensaciones, desequilibrios entre piernas o pérdida de apoyo durante el levantamiento (McCAW & Melrose, 1999).



Figura 44 - Sensor de presión plantar

De cara al powerlifting donde la estabilidad es un factor clave, sería muy interesante ubicar estos sensores en la plataforma sobre la que se realizaran los levantamientos y poder obtener información del control del centro de presión, análisis de estabilidad y detección de asimetrías.

1.9.2.5 Electromiografía de superficie (sEMG)

La sEMG permite evaluar la actividad eléctrica muscular durante el levantamiento. Su aplicación facilita la detección de patrones de activación muscular subóptimos, así como la fatiga local (De Luca, 2002).

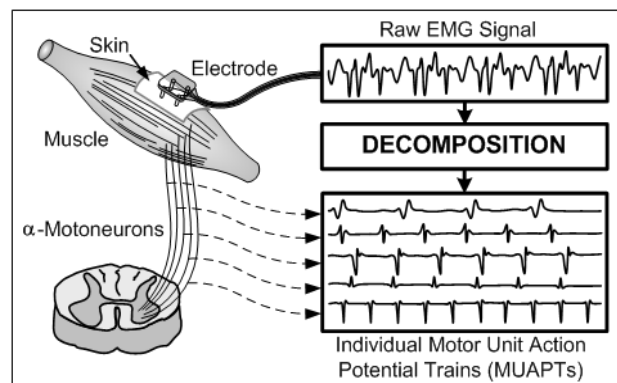


Figura 45 - sEMG (mDurance, 2024)

Se sitúan sobre grupos musculares claves involucrados en la actividad física (cuádriceps, femorales, dorsales, etc.) y se obtiene información sobre si el sistema nervioso está reclutando activamente un músculo durante una tarea específica (mDurance, 2024). Los datos extraídos se pueden emplear para optimizar la técnica, prevenir lesiones, y realizar análisis neuromusculares.

Pero debido a la necesidad de colocación sobre la piel del atleta y la incompatibilidad que podría generar con el uso de material de soporte propio del powerlifting (rodilleras, singlet, cinturón, etc.), no sería algo que se pudiera usar para medir el rendimiento en cada sesión.

1.9.2.6 Cámaras Digitales + Análisis de imagen

El análisis de imagen, apoyado en cámaras digitales y técnicas de procesamiento computacional, se ha convertido en una herramienta muy útil en el estudio del movimiento humano. En powerlifting, donde ciertos criterios técnicos (como la profundidad en sentadilla o de codos en press de banca) son determinantes para la validez del intento, el uso de cámaras puede aportar un punto de vista objetivo, ya que dependiendo del punto de vista de cada persona puede ser algo más subjetivo.

Como aplicaciones específicas del análisis de imágenes se podría emplear para determinar:

- Cumplimiento de parámetros de competición.
- Análisis de trayectoria de la barra.
- Análisis postural.
- Análisis de tiempos en fase excéntrica y concéntrica.

La inclusión de cámaras fijas en la estructura de la jaula o alrededores, combinado con un proceso de análisis automatizado, podría suplir la necesidad de otros sensores como los acelerómetros o sensores de desplazamiento, además de proporcionar un análisis postural mediante el que observar técnica y parámetros de competición.

1.9.3 Distribución física en la estructura

Un posible posicionamiento de los sensores, definido para maximizar su funcionalidad sin interferir en la práctica del ejercicio, sería:

- IMUs colocados sobre la barra mediante soportes impresos en 3D, lo que permite captar el movimiento sin depender de la estructura.
- Células de carga estarán situadas bajo los soportes de la barra o la base del banco, encapsuladas para asegurar durabilidad y transferencia directa de carga.
- Encoder fijados a la parte inferior de jaula y alineada verticalmente con la barra, usando un sistema de polea y cable retráctil.
- Sensores de presión, en la plataforma para medir presión plantar o sobre la superficie del propio banco para medir la estabilidad en press banca.
- Cámaras digitales, fijadas a la estructura en ángulos críticos para medir parámetros como profundidad, o bien de forma mas alejada mediante brazos anclados a la estructura.

1.9.4 Sistema electrónico y comunicación

Todos los sensores estarán conectados a un microcontrolador central, como un ESP32 o Arduino Mega, ampliamente utilizados en entornos académicos por su versatilidad y compatibilidad con múltiples tipos de sensores (Arduino, 2024). Estos microcontroladores permiten adquirir datos en tiempo real y transmitirlos a un ordenador o dispositivo móvil vía Bluetooth o Wi-Fi.

El tratamiento inicial de datos (filtros, cálculos básicos) podrá realizarse en el propio microcontrolador. Para visualización y análisis se desarrollará una interfaz gráfica basada en Python, utilizando bibliotecas como Dash o Matplotlib, lo que permitirá representar en tiempo real variables clave como velocidad, potencia, o fuerza máxima instantánea.

1.9.5 Aplicaciones prácticas

La integración de sensorización convierte la jaula en un sistema inteligente que proporciona feedback inmediato al deportista y al entrenador. Esto permite ajustar la carga según la velocidad real de ejecución, anticipar fatiga, detectar asimetrías y evaluar la progresión de forma objetiva (González-Badillo et al., 2017).

Además, el registro continuo de variables permite aplicar técnicas de control del entrenamiento basadas en evidencia científica. Por ejemplo, la pérdida de velocidad entre repeticiones puede indicar un nivel de fatiga neuromuscular elevado, lo cual es clave para adaptar volúmenes e intensidades de entrenamiento (Pareja-Blanco et al., 2014).

Desde una perspectiva ingenieril, el sistema permite aplicar principios de sensórica, adquisición de datos, análisis estadístico y control en tiempo real. Su diseño modular permite escalar a sistemas más complejos o adaptarlo a otras disciplinas deportivas.

1.10 Conclusión y posibles líneas futuras.

El diseño y análisis estructural de la jaula de levantamiento de potencia desarrollado en este proyecto cumple con los requisitos fundamentales de resistencia, estabilidad y funcionalidad exigidos para un entorno de entrenamiento de alto rendimiento. Mediante el uso de herramientas de modelado 3D como SketchUp y programas de análisis estructural basados en normativa europea como CYPE 3D, se ha logrado dimensionar una estructura segura, robusta, duradera y adaptable a los estándares de competición establecidos por la IPF. Con la posibilidad de ser utilizada tanto por atletas de elite como por apasionados del deporte, con gran seguridad y estabilidad, pudiendo llevar sus entrenos al más alto nivel.

Tras las fases de diseño y análisis estructural de la jaula de levantamiento de potencia, se establece como material principal el acero S 275 en perfiles cuadrados de 75x75x3mm (estructura base y soportes de seguridad), perfiles cuadrados de 40x40x2mm (banco y fijación), redondo macizo de $\varnothing 28\text{mm}$ (barra de dominadas), redondos macizos de $\varnothing 16\text{mm}$ y láminas de espesor 10mm (soportes barra y soportes de seguridad), y láminas de espesor 5mm (refuerzo fijaciones), además de otros materiales como un tablero estructural de densidad media (DM), acolchado de alta densidad o vinilo antideslizante para el foam del banco. Todos los materiales y métodos de unión, así como el dimensionado final de la estructura y complementos quedan reflejados en detalle en los planos del proyecto.

Este proyecto no solo ha permitido validar la viabilidad del diseño desde el punto de vista mecánico, sino que también sienta las bases para futuras mejoras tecnológicas. Como línea de desarrollo futura, se plantea la implementación de un sistema de sensorización avanzado, que incluya células



de carga, acelerómetros, giroscopios, sensores de desplazamiento y cámaras digitales, entre otros. Estos sensores combinados con una buena interfaz permitirán tanto a atleta como entrenador ser más exhaustivos ajustando la programación del entrenamiento, contando con múltiples variables a analizar y pudiendo prevenir así lesiones o pérdidas de rendimiento.

En conclusión, este proyecto no solo contribuye al diseño estructural de equipamiento deportivo, sino que también abre la puerta a su digitalización e integración con tecnologías de la información aplicadas al entrenamiento inteligente.

1.11 Orden de prioridad entre los documentos

El orden de prioridad de los documentos del Proyecto es el siguiente:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Mediciones
5. Memoria

En Málaga, a 22 de junio de 2025

Fdo.: Julián Aguilar Pizarro



2. Anexos



Índice Anexos

2.1	Anexos CYPE.....	90
2.1.1	Anexo Análisis Estructura Base.....	91
2.1.2	Anexo Análisis Estructura Banco.....	102
2.1.3	Anexo Análisis Soporte Barra	109
2.1.4	Anexo Análisis Soporte Seguridad.....	114
2.1.5	Anexo Análisis Fondera.....	120
2.2	Imágenes Jaula de Potencia	127



Índice de figuras

Figura 46 - Vista Isométrica Frontal	127
Figura 47 - Vista Isométrica Trasera	128
Figura 48 - Vista lateral	129
Figura 49 - Jaula de potencia sin banco.....	130
Figura 50 - Detalle Soporte	131
Figura 51 - Detalle Pines para gomas	131
Figura 52 - Detalle Soporte Fijación Banco	132
Figura 53 - Detalle superficies para ayuda.....	132
Figura 54 - Pasos Fijación Banco.....	133
Figura 55 - Jaula + Fondera	134
Figura 56 - Detalle Fondera.....	134



2.1 Anexos CYPE

ANÁLISIS ESTRUCTURA BASE

ÍNDICE

1. ESTRUCTURA.....	92
1.1. Geometría.....	92
1.1.1. Barras.....	92
1.2. Cargas.....	96
1.2.1. Barras.....	96
1.3. Resultados.....	97
1.3.1. Barras.....	97



1. ESTRUCTURA

1.1. Geometría

1.1.1. Barras

1.1.1.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.1.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N4/N3	N4/N3	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.140	1.00	1.00	-	-
		N6/N8	N6/N8	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.140	1.00	1.00	-	-
		N7/N9	N7/N9	D28 (D)	1.140	1.00	1.00	-	-
		N10/N9	N10/N8	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-
		N9/N8	N10/N8	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.970	1.00	1.00	-	-
		N11/N7	N11/N6	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-
		N7/N6	N11/N6	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.970	1.00	1.00	-	-
		N5/N28	N5/N12	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.360	1.00	1.00	-	-
		N28/N22	N5/N12	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.440	1.00	1.00	-	-
		N22/N6	N5/N12	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.350	1.00	1.00	-	-
		N6/N12	N5/N12	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-

Producido por una versión educativa de CYPE



Producido por una versión educativa de CYPE

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N16/N27	N16/N14	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.360	1.00	1.00	-	-
		N27/N11	N16/N14	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.790	1.00	1.00	-	-
		N11/N14	N16/N14	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-
		N15/N16	N15/N19	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.274	1.00	1.00	-	-
		N16/N5	N15/N19	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	1.00	1.00	-	-
		N5/N4	N15/N19	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.366	1.00	1.00	-	-
		N4/N19	N15/N19	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.060	1.00	1.00	-	-
		N1/N2	N1/N20	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.274	1.00	1.00	-	-
		N2/N13	N1/N20	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	1.00	1.00	-	-
		N13/N3	N1/N20	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.366	1.00	1.00	-	-
		N3/N20	N1/N20	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.060	1.00	1.00	-	-
		N2/N25	N2/N17	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.360	1.00	1.00	-	-
		N25/N10	N2/N17	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.790	1.00	1.00	-	-
		N10/N17	N2/N17	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-
		N13/N26	N13/N18	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.360	1.00	1.00	-	-
		N26/N21	N13/N18	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.440	1.00	1.00	-	-
		N21/N8	N13/N18	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.350	1.00	1.00	-	-



Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
		N8/N18	N13/N18	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	0.030	1.00	1.00	-	-
		N23/N21	N23/N21	D16 (D)	0.020	1.00	1.00	-	-
		N24/N22	N24/N22	D16 (D)	0.020	1.00	1.00	-	-
		N25/N26	N25/N26	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	1.00	1.00	-	-
		N27/N28	N27/N28	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	1.00	1.00	-	-

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
 β_{xy} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
Lb_{Sup.}: Separación entre arriostramientos del ala superior
Lb_{Inf.}: Separación entre arriostramientos del ala inferior

Producido por una versión educativa de CYPE

1.1.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N4/N3, N6/N8, N10/N8, N11/N6, N5/N12, N16/N14, N15/N19, N1/N20, N2/N17, N13/N18, N25/N26 y N27/N28
2	N7/N9
3	N23/N21 y N24/N22

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	75.3, (Perfil cuadrado 75mm)	8.46	3.60	3.60	72.18	72.18	114.10
		2	D28, (D)	6.16	5.54	5.54	3.02	3.02	6.03
		3	D16, (D)	2.01	1.81	1.81	0.32	0.32	0.64

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
A_{vy}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
A_{vz}: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
I_{yy}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
I_{zz}: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
I_t: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.



1.1.1.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N4/N3	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.140	0.001	7.57
		N6/N8	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.140	0.001	7.57
		N7/N9	D28 (D)	1.140	0.001	5.51
		N10/N8	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	0.001	6.64
		N11/N6	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	0.001	6.64
		N5/N12	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	2.180	0.002	14.47
		N16/N14	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	2.180	0.002	14.47
		N15/N19	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.700	0.001	11.28
		N1/N20	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.700	0.001	11.28
		N2/N17	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	2.180	0.002	14.47
		N13/N18	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	2.180	0.002	14.47
		N23/N21	D16 (D)	0.020	0.000	0.03
		N24/N22	D16 (D)	0.020	0.000	0.03
		N25/N26	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	0.001	6.64
		N27/N28	75.3 (Perfil cuadrado 75mm)	1.000	0.001	6.64

Notación:
 Ni: Nudo inicial
 Nf: Nudo final

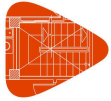
Producido por una versión educativa de CYPE

1.1.1.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	Perfil cuadrado 75mm	75.3	18.400			0.016			122.13		
			D28	1.140			0.001			5.51		
			D16	0.040			0.000			0.06		
			D		1.180			0.001			5.57	
								0.016			127.70	

1.1.1.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Perfil cuadrado 75mm	75.3	0.291	18.400	5.358



Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
D	D28	0.088	1.140	0.100
	D16	0.050	0.040	0.002
Total				5.461

1.2. Cargas

1.2.1. Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

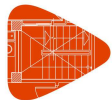
- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeciales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Producido por una versión educativa de CYPE

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N4/N3	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N8	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N9	Peso propio	Uniforme	0.047	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N9	Q 1	Puntual	1.50	-	0.376	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N9	Q 1	Puntual	1.50	-	0.752	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N9	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N7	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N6	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N28	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N22	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N6	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N12	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N27	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N11	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000



Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N11/N14	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N15/N16	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N5	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N19	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N13	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N13/N3	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N20	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N25	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N10	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N17	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N13/N26	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N21	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N8	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N8/N18	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N21	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N21	CM 1	Puntual	2.50	-	0.000	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N22	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N24/N22	CM 1	Puntual	2.50	-	0.000	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N26	A 1	Puntual	5.00	-	0.500	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	A 1	Puntual	5.00	-	0.500	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

producido por una versión educativa de CYPE

1.3. Resultados

1.3.1. Barras

1.3.1.1. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.



Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N4/N3	0.22	0.000	0.148	0.000	-0.050	0.00	-0.01	0.00	G	Cumple
N6/N8	1.36	0.570	-0.031	0.000	0.004	0.00	0.08	0.00	G	Cumple
N7/N9	58.80	0.000	-0.304	0.000	-2.315	0.00	-0.56	0.00	G	Cumple
N10/N9	8.51	0.000	-0.080	-0.293	-2.270	-0.42	0.00	0.00	G	Cumple
N9/N8	2.72	0.000	-0.078	0.011	0.001	0.13	0.06	0.01	G	Cumple
N11/N7	8.60	0.000	-0.081	0.295	-2.325	0.42	0.00	0.00	G	Cumple
N7/N6	2.78	0.000	-0.080	-0.009	0.003	-0.14	0.07	-0.01	G	Cumple
N5/N28	9.62	0.360	-5.123	-0.024	1.631	-0.01	-0.46	0.00	GA	Cumple
N28/N22	3.77	1.440	-3.497	-0.040	0.096	0.01	-0.11	0.05	G	Cumple
N22/N6	1.96	0.000	-0.121	-0.040	0.096	0.01	0.09	0.05	G	Cumple
N6/N12	0.00	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N16/N27	8.86	0.360	-3.263	-0.047	-1.631	-0.01	0.46	-0.02	GA	Cumple
N27/N11	8.90	1.790	-2.364	-0.295	-0.097	0.01	0.11	0.42	G	Cumple
N11/N14	0.00	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N15/N16	0.02	0.000	0.000	0.000	-0.012	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N16/N5	1.92	0.000	-0.107	-0.224	-0.044	0.00	-0.01	-0.11	G	Cumple
N5/N4	0.98	0.000	0.000	-0.335	-0.016	0.00	0.00	-0.06	G	Cumple
N4/N19	0.27	0.000	0.000	-0.187	-0.003	0.00	0.00	-0.01	G	Cumple
N1/N2	0.02	0.000	0.000	0.000	-0.012	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N2/N13	1.91	0.000	-0.107	0.223	-0.044	0.00	-0.01	0.11	G	Cumple
N13/N3	0.98	0.000	0.000	0.335	-0.016	0.00	0.00	0.06	G	Cumple
N3/N20	0.27	0.000	0.000	0.187	-0.003	0.00	0.00	0.01	G	Cumple
N2/N25	8.86	0.360	-3.252	0.046	-1.631	0.01	0.46	0.02	GA	Cumple
N25/N10	8.78	1.790	-2.309	0.293	-0.095	-0.01	0.10	-0.42	G	Cumple
N10/N17	0.00	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N13/N26	9.63	0.360	-5.125	0.025	1.631	0.01	-0.46	0.00	GA	Cumple
N26/N21	3.78	1.440	-3.502	0.042	0.096	-0.01	-0.11	-0.06	G	Cumple
N21/N8	1.97	0.000	-0.127	0.042	0.096	-0.01	0.09	-0.06	G	Cumple
N8/N18	0.00	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N23/N21	35.96	0.020	0.000	0.000	3.375	0.00	-0.07	0.00	G	Cumple
N24/N22	35.96	0.020	0.000	0.000	3.375	0.00	-0.07	0.00	G	Cumple
N25/N26	12.65	0.500	-1.506	0.000	-2.524	0.00	0.75	0.00	GA	Cumple
N27/N28	12.65	0.500	-1.506	0.000	-2.524	0.00	0.75	0.00	GA	Cumple

Producido por una versión educativa de CYPE

1.3.1.2. Flechas

Referencias:

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.

Flechas								
Grupo	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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
	N1/N2	0.000	0.00	0.137	0.00	0.000	0.00	0.000
	-	L/(>1000)	0.137	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)



Producido por una versión educativa de CYPE

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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N4/N3	0.190 -	0.00 L/(>1000)	0.570 0.570	0.00 L/(>1000)	0.190 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N5/N4	0.183 -	0.00 L/(>1000)	0.183 0.183	0.00 L/(>1000)	0.183 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N7/N6	0.485 0.485	0.00 L/(>1000)	0.485 0.485	0.03 L/(>1000)	0.485 0.485	0.00 L/(>1000)	0.485 0.485	0.02 L/(>1000)
N6/N8	0.570 0.570	0.00 L/(>1000)	0.570 0.570	0.06 L/(>1000)	0.570 0.570	0.00 L/(>1000)	0.570 0.570	0.05 L/(>1000)
N10/N9	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.015 0.015	0.00 L/(>1000)	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.015 0.015	0.00 L/(>1000)
N11/N7	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.015 0.015	0.00 L/(>1000)	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.015 0.015	0.00 L/(>1000)
N6/N12	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N2/N13	0.750 0.750	0.01 L/(>1000)	0.500 0.500	0.00 L/(>1000)	0.750 0.750	0.01 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N9/N8	0.485 0.485	0.00 L/(>1000)	0.485 0.485	0.03 L/(>1000)	0.485 0.485	0.00 L/(>1000)	0.485 0.485	0.02 L/(>1000)
N5/N6	1.260 1.260	0.07 L/(>1000)	1.260 1.260	0.09 L/(>1000)	1.260 1.260	0.06 L/(>1000)	1.620 1.620	0.02 L/(>1000)
N2/N10	1.479 1.479	0.32 L/(>1000)	1.702 1.702	0.04 L/(>1000)	1.479 1.479	0.31 L/(>1000)	1.479 1.479	0.03 L/(>1000)
N13/N8	1.440 1.440	0.07 L/(>1000)	1.260 1.260	0.09 L/(>1000)	1.440 1.440	0.06 L/(>1000)	1.620 1.620	0.01 L/(>1000)
N11/N14	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N15/N16	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.137 0.137	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N13/N3	0.183 -	0.00 L/(>1000)	0.183 0.183	0.00 L/(>1000)	0.183 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N10/N17	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.015 -	0.00 L/(>1000)
N16/N11	1.479 1.479	0.33 L/(>1000)	1.702 1.702	0.04 L/(>1000)	1.479 1.479	0.32 L/(>1000)	1.479 1.479	0.03 L/(>1000)
N8/N18	0.030 -	0.00 L/(>1000)	0.015 -	0.00 L/(>1000)	0.030 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N4/N19	0.030 0.030	0.00 L/(>1000)	0.030 -	0.00 L/(>1000)	0.030 0.030	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N3/N20	0.030 0.030	0.00 L/(>1000)	0.030 -	0.00 L/(>1000)	0.030 0.030	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N16/N5	0.750 0.750	0.01 L/(>1000)	0.500 0.500	0.00 L/(>1000)	0.750 0.750	0.01 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N7/N9	0.570 0.570	0.01 L/(>1000)	0.570 0.570	3.10 L/368.2	0.570 0.570	0.01 L/(>1000)	0.570 0.570	3.06 L/372.8
N23/N21	0.001 -	0.00 L/(>1000)	0.010 0.010	0.00 L/(>1000)	0.001 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N24/N22	0.010 -	0.00 L/(>1000)	0.010 0.010	0.00 L/(>1000)	0.010 -	0.00 L/(>1000)	0.010 -	0.00 L/(>1000)
N25/N26	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.501 0.501	0.00 L/(>1000)
N27/N28	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.501 0.501	0.00 L/(>1000)



1.3.1.3. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)													Estado	
	$\lambda_{w,r}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y V_z$	M_t	$M_y V_z$		$M_z V_y$
N4/N3	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.1$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 0.2$
N6/N8	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta < 0.1$	x: 0.57 m $\eta = 1.3$	x: 1.14 m $\eta = 0.1$	x: 1.14 m $\eta = 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.57 m $\eta = 1.4$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 1.4$
N10/N9	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.2$	x: 0.03 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 3.5$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 8.5$	x: 0 m $\eta = 3.8$	$\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 8.5$
N9/N8	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.1$	x: 0.97 m $\eta = 1.4$	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.97 m $\eta = 1.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.7$	x: 0 m $\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 2.7$
N11/N7	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.2$	x: 0.03 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 3.6$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 8.6$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 8.6$
N7/N6	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.1$	x: 0.97 m $\eta = 1.4$	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.97 m $\eta = 1.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.8$	x: 0 m $\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 2.8$
N5/N28	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.2$	x: 0.36 m $\eta = 7.5$	x: 0 m $\eta = 1.0$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.36 m $\eta = 9.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 9.6$
N28/N22	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 2.1$	x: 1.44 m $\eta = 0.9$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.44 m $\eta = 3.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 3.8$
N22/N6	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.35 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0.35 m $\eta = 1.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 2.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 2.0$
N6/N12	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N16/N27	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.4$	x: 0.36 m $\eta = 7.4$	x: 0 m $\eta = 2.7$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.36 m $\eta = 8.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.3$	CUMPLE $\eta = 8.9$
N27/N11	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 2.6$	x: 1.79 m $\eta = 6.8$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.79 m $\eta = 8.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.4$	CUMPLE $\eta = 8.9$
N11/N14	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N15/N16	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N16/N5	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 1.9$
N5/N4	x: 0 m $\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 0.5$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 1.0$
N19/N19	x: 0 m $\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 0.3$
N1/N2	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N13/N13	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 1.9$
N13/N3	x: 0 m $\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 0.5$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 1.0$
N20/N20	x: 0 m $\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 0.3$
N25/N25	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.4$	x: 0.36 m $\eta = 7.4$	x: 0 m $\eta = 2.7$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.36 m $\eta = 8.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.3$	CUMPLE $\eta = 8.9$
N10/N10	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 2.6$	x: 1.79 m $\eta = 6.7$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.79 m $\eta = 8.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.4$	CUMPLE $\eta = 8.8$
N17/N17	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N13/N26	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.2$	x: 0.36 m $\eta = 7.5$	x: 0 m $\eta = 1.0$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.36 m $\eta = 9.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	$\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 9.6$
N26/N21	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 2.1$	x: 1.44 m $\eta = 0.9$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.44 m $\eta = 3.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 3.8$
N21/N8	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.35 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0.35 m $\eta = 1.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 2.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 2.0$
N8/N18	N.P. ⁽⁸⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta < 0.1$
N25/N26	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 0.5 m $\eta = 12.0$	x: 0 m $\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.5 m $\eta = 12.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 12.6$
N27/N28	$\lambda_{w,r} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 0.5 m $\eta = 12.0$	x: 0 m $\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.5 m $\eta = 12.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 12.6$

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)													Estado
	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	$M_z V_y$	
N7/N9	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 58.0$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 2.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 58.8$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 58.8$
N23/N21	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0.02 m $\eta = 36.0$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta = 10.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.001 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 36.0$
N24/N22	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0.02 m $\eta = 36.0$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta = 10.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.001 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 36.0$

**Notación:**

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
 $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 $N M, M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados
 $N M, M_z V_y, V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t : Resistencia a torsión
 $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 $M_t V_y$: 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 axil de compresión.
- ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
- ⁽⁸⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.
- ⁽⁹⁾ 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.
- ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

ANÁLISIS ESTRUCTURA BANCO

ÍNDICE

1. ESTRUCTURA.....	103
1.1. Geometría.....	103
1.1.1. Barras.....	103
1.2. Cargas.....	106
1.2.1. Barras.....	106
1.3. Resultados.....	107
1.3.1. Barras.....	107



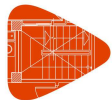
1. ESTRUCTURA

1.1. Geometría

1.1.1. Barras

1.1.1.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
<i>Notación:</i> <i>E: Módulo de elasticidad</i> <i>ν: Módulo de Poisson</i> <i>G: Módulo de cortadura</i> <i>f_y: Límite elástico</i> <i>α_t: Coeficiente de dilatación</i> <i>γ: Peso específico</i>							



1.1.1.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N3	N2/N3	40.2 mm (TC Acero)	1.220	1.00	1.00	-	-
		N4/N3	N4/N3	40.2 mm (TC Acero)	0.320	1.00	1.00	-	-
		N5/N4	N5/N4	40.2 mm (TC Acero)	1.220	1.00	1.00	-	-
		N5/N1	N5/N2	40.2 mm (TC Acero)	0.160	1.00	1.00	-	-
		N1/N2	N5/N2	40.2 mm (TC Acero)	0.160	1.00	1.00	-	-
		N6/N11	N6/N1	40.2 mm (TC Acero)	0.120	1.00	1.00	-	-
		N11/N1	N6/N1	40.2 mm (TC Acero)	0.245	1.00	1.00	-	-
		N7/N9	N7/N3	40.2 mm (TC Acero)	0.120	1.00	1.00	-	-
		N9/N3	N7/N3	40.2 mm (TC Acero)	0.245	1.00	1.00	-	-
		N8/N10	N8/N4	40.2 mm (TC Acero)	0.120	1.00	1.00	-	-
		N10/N4	N8/N4	40.2 mm (TC Acero)	0.245	1.00	1.00	-	-
		N10/N12	N10/N9	40.2 mm (TC Acero)	0.160	1.00	1.00	-	-
		N12/N9	N10/N9	40.2 mm (TC Acero)	0.160	1.00	1.00	-	-
		N11/N12	N11/N12	40.2 mm (TC Acero)	1.220	1.00	1.00	-	-

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
 β_{xy} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
Lb_{Sup.}: Separación entre arriostramientos del ala superior
Lb_{Inf.}: Separación entre arriostramientos del ala inferior

Producido por una versión educativa de CYPE

1.1.1.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N2/N3, N4/N3, N5/N4, N5/N2, N6/N1, N7/N3, N8/N4, N10/N9 y N11/N12

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	40.2 mm, (TC Acero)	2.93	1.27	1.27	6.91	6.91	11.27



Listados

Calculos_Banco

Fecha: 21/06/25

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
<p><i>Notación:</i> Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' It: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</p>									

1.1.1.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N3	40.2 mm (TC Acero)	1.220	0.000	2.81
		N4/N3	40.2 mm (TC Acero)	0.320	0.000	0.74
		N5/N4	40.2 mm (TC Acero)	1.220	0.000	2.81
		N5/N2	40.2 mm (TC Acero)	0.320	0.000	0.74
		N6/N1	40.2 mm (TC Acero)	0.365	0.000	0.84
		N7/N3	40.2 mm (TC Acero)	0.365	0.000	0.84
		N8/N4	40.2 mm (TC Acero)	0.365	0.000	0.84
		N10/N9	40.2 mm (TC Acero)	0.320	0.000	0.74
		N11/N12	40.2 mm (TC Acero)	1.220	0.000	2.81
<p><i>Notación:</i> Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final</p>						

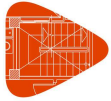
Producido por una versión educativa de CYPE

1.1.1.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	TC Acero	40.2 mm	5.715	5.715	5.715	0.002	0.002	0.002	13.17	13.17	13.17

1.1.1.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
TC Acero	40.2 mm	0.153	5.715	0.874
Total				0.874



Listados

1.2. Cargas

1.2.1. Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeziales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Producido por una versión educativa de CYPE

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N2/N3	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	CM 1	Puntual	2.50	-	0.950	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	Q 1	Faja	1.000	-	0.400	1.100	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N3	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	CM 1	Puntual	2.50	-	0.950	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	Q 1	Faja	1.000	-	0.400	1.100	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N1	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N11	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N1	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N9	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N3	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N8/N10	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N4	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N12	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N9	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N12	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

**1.3. Resultados****1.3.1. Barras****1.3.1.1. Resistencia**

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N2/N3	46.06	1.220	-1.626	0.034	3.478	-0.01	-0.48	-0.01	G	Cumple
N4/N3	2.52	0.000	-0.173	0.000	-0.005	0.00	0.02	0.01	G	Cumple
N5/N4	46.06	1.220	-1.626	-0.034	3.478	0.01	-0.48	0.01	G	Cumple
N5/N1	28.11	0.000	-0.034	1.626	0.984	0.26	0.03	0.06	G	Cumple
N1/N2	28.11	0.000	-0.034	-1.626	-0.989	-0.26	-0.13	-0.20	G	Cumple
N6/N11	22.16	0.000	-2.198	0.000	0.000	0.00	-0.22	0.00	G	Cumple
N11/N1	41.87	0.245	-1.979	0.000	-3.251	0.00	0.45	0.00	G	Cumple
N7/N9	5.31	0.120	-3.410	-0.101	0.000	0.00	0.00	0.01	G	Cumple
N9/N3	45.74	0.245	-3.483	0.207	1.626	-0.03	-0.45	-0.04	G	Cumple
N8/N10	5.31	0.120	-3.410	0.101	0.000	0.00	0.00	-0.01	G	Cumple
N10/N4	45.74	0.245	-3.483	-0.207	1.626	0.03	-0.45	0.04	G	Cumple
N10/N12	21.36	0.160	0.308	-1.626	0.085	-0.05	-0.01	0.23	G	Cumple
N12/N9	21.36	0.000	0.308	1.626	-0.085	0.05	-0.01	0.23	G	Cumple
N11/N12	14.95	0.000	3.251	0.000	-0.208	0.00	-0.12	0.00	G	Cumple

1.3.1.2. Flechas

Referencias:

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.



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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N2/N3	0.407 0.407	0.10 L/(>1000)	0.610 0.610	2.17 L/561.7	0.407 0.407	0.03 L/(>1000)	0.610 0.610	0.63 L/(>1000)
N4/N3	0.160 0.160	0.01 L/(>1000)	0.160 0.160	0.01 L/(>1000)	0.160 0.160	0.00 L/(>1000)	0.160 0.160	0.00 L/(>1000)
N5/N4	0.407 0.407	0.10 L/(>1000)	0.610 0.610	2.17 L/561.7	0.407 0.407	0.03 L/(>1000)	0.610 0.610	0.63 L/(>1000)
N5/N2	0.160 0.160	0.09 L/(>1000)	0.160 0.160	0.06 L/(>1000)	0.160 0.160	0.02 L/(>1000)	0.160 0.160	0.02 L/(>1000)
N6/N1	0.120 -	0.00 L/(>1000)	0.120 0.120	0.11 L/(>1000)	0.242 -	0.00 L/(>1000)	0.120 0.120	0.02 L/(>1000)
N7/N3	0.242 0.242	0.01 L/(>1000)	0.242 0.242	0.14 L/(>1000)	0.242 0.242	0.00 L/(>1000)	0.242 0.242	0.03 L/(>1000)
N8/N4	0.242 0.242	0.01 L/(>1000)	0.242 0.242	0.14 L/(>1000)	0.242 0.242	0.00 L/(>1000)	0.242 0.242	0.03 L/(>1000)
N10/N9	0.160 0.160	0.11 L/(>1000)	0.160 0.160	0.01 L/(>1000)	0.160 0.160	0.03 L/(>1000)	0.160 0.160	0.00 L/(>1000)
N11/N12	0.203 -	0.00 L/(>1000)	0.203 0.203	0.15 L/(>1000)	1.017 -	0.00 L/(>1000)	0.407 0.407	0.03 L/(>1000)

Producción educativa de CYPE

3.1.3. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)													Estado	
	λ_{rel}	N_t	N_c	M_t	M_z	V_z	V_y	M_t, V_z	M_z, V_y	NM, M_z	NM, M_t, V_z	M_t	M_t, V_z		M_t, V_y
N2/N3	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 2.0$	x: 1.22 m $\eta = 42.7$	x: 0 m $\eta = 2.7$	x: 1.22 m $\eta = 15.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 1.22 m $\eta = 46.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 1.22 m $\eta = 15.3$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 46.1$
N4/N3	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 0.2$	$\eta = 1.7$	$\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 2.5$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 2.5$
N5/N4	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 2.0$	x: 1.22 m $\eta = 42.7$	x: 0 m $\eta = 2.7$	x: 1.22 m $\eta = 15.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 1.22 m $\eta = 46.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 1.22 m $\eta = 15.3$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 46.1$
N5/N1	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta < 0.1$	x: 0.16 m $\eta = 11.7$	x: 0.16 m $\eta = 17.3$	x: 0.16 m $\eta = 4.3$	$\eta = 6.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.16 m $\eta = 24.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 28.1$	x: 0.16 m $\eta = 6.0$	$\eta = 9.5$	CUMPLE $\eta = 28.1$
N1/N2	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 11.7$	x: 0 m $\eta = 17.3$	x: 0 m $\eta = 4.3$	$\eta = 6.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 24.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 28.1$	x: 0 m $\eta = 6.0$	$\eta = 9.5$	CUMPLE $\eta = 28.1$
N10/N11	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 2.7$	$\eta = 19.6$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 22.2$	N.P. ⁽⁷⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 22.2$
N1/N11	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 2.5$	x: 0.245 m $\eta = 39.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	$\eta = 14.2$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.245 m $\eta = 41.9$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 41.9$
N7/N9	x: 0.06 m $\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 4.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.12 m $\eta = 1.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta = 0.4$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.06 m $\eta < 0.1$	x: 0.12 m $\eta = 5.3$	x: 0.06 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 5.3$
N9/N3	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 4.3$	x: 0.245 m $\eta = 39.8$	x: 0.245 m $\eta = 3.6$	$\eta = 7.1$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.245 m $\eta = 45.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.7$	$\eta = 7.4$	$\eta = 0.9$	CUMPLE $\eta = 45.7$
N8/N10	x: 0.06 m $\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 4.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.12 m $\eta = 1.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta = 0.4$	N.P. ⁽³⁾	x: 0.06 m $\eta < 0.1$	x: 0.12 m $\eta = 5.3$	x: 0.06 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 5.3$
N10/N4	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m	x: 0.245 m $\eta = 39.8$	x: 0.245 m $\eta = 3.6$	$\eta = 7.1$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.245 m $\eta = 45.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.7$	$\eta = 7.4$	$\eta = 0.9$	CUMPLE $\eta = 45.7$
N10/N12	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$\eta = 0.4$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0.16 m $\eta = 1.1$	x: 0.16 m $\eta = 19.9$	x: 0.16 m $\eta = 0.4$	$\eta = 6.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.16 m $\eta = 21.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.9$	x: 0.16 m $\eta = 0.4$	$\eta = 7.3$	CUMPLE $\eta = 21.4$
N12/N9	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$\eta = 0.4$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 19.9$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$\eta = 6.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 21.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.9$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$\eta = 7.3$	CUMPLE $\eta = 21.4$
N11/N12	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel, max}$ Cumple	$\eta = 4.0$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0 m $\eta = 10.9$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁶⁾	x: 0 m $\eta = 0.9$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 14.9$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 14.9$

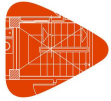
Notación:
 λ_{rel} : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t : Resistencia a tracción
 N_c : Resistencia a compresión
 M_t : Resistencia a flexión eje Y
 M_z : Resistencia a flexión eje Z
 V_z : Resistencia a corte Z
 V_y : Resistencia a corte Y
 M_t, V_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_z, V_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM, M_z : Resistencia a flexión y axil combinados
 NM, M_t, V_z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t : Resistencia a torsión
 M_t, V_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_t, V_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 axil de tracción.
⁽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 momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽⁷⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁸⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

ANÁLISIS SOPORTE BARRA

ÍNDICE

1. ESTRUCTURA.....	110
1.1. Geometría.....	110
1.1.1. Barras.....	110
1.1.2. Láminas.....	111
1.2. Cargas.....	111
1.2.1. Barras.....	111
1.3. Resultados.....	112
1.3.1. Barras.....	112



1. ESTRUCTURA

1.1. Geometría

1.1.1. Barras

1.1.1.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.1.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N110	N2/N1	D16 (BR)	0.020	1.00	1.00	-	-
		N110/N1	N2/N1	D16 (BR)	0.070	1.00	1.00	-	-
		N5/N4	N5/N4	D16 (BR)	0.065	1.00	1.00	-	-
		N3/N112	N3/N111	D16 (BR)	0.020	1.00	1.00	-	-
		N112/N111	N3/N111	D16 (BR)	0.070	1.00	1.00	-	-
Notación: <i>Ni</i> : Nudo inicial <i>Nf</i> : Nudo final <i>β_{xy}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY' <i>β_{xz}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ' <i>Lb_{Sup.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala superior <i>Lb_{Inf.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala inferior									

1.1.1.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N2/N1, N5/N4 y N3/N111

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	D16, (BR)	2.01	1.81	1.81	0.32	0.32	0.64
Notación: <i>Ref.</i> : Referencia <i>A</i> : Área de la sección transversal <i>A_{vy}</i> : Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' <i>A_{vz}</i> : Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' <i>I_{yy}</i> : Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' <i>I_{zz}</i> : Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' <i>I_t</i> : Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.									



1.1.1.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N1	D16 (BR)	0.090	0.000	0.14
		N5/N4	D16 (BR)	0.065	0.000	0.10
		N3/N111	D16 (BR)	0.090	0.000	0.14
Notación: Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final						

1.1.1.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	BR	D16	0.245	0.245	0.245	0.000	0.000	0.000	0.39	0.39	0.39

1.1.1.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
BR	D16	0.050	0.245	0.012
Total				0.012

1.2. Láminas

1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f _y (MPa)	α _t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: E: Módulo de elasticidad ν: Módulo de Poisson G: Módulo de cortadura f _y : Límite elástico α _t : Coeficiente de dilatación γ: Peso específico							

1.1.2.2. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar	
Designación	Superficie (m ²)
S275 (EN 10025-2)	0.166
Total	0.166

1.2. Cargas

1.2.1. Barras

Referencias:



'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeziales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Producido por una versión educativa de CYPE

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N2/N110	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N110/N1	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N4	CM 1	Puntual	5.00	-	0.033	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N112	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N112/N111	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

1.3. Resultados

1.3.1. Barras

1.3.1.1. Resistencia

Referencias:

- N: Esfuerzo axil (kN)
- Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)
- Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)
- Mt: Momento torsor (kN·m)
- My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)
- Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo



Listados

SOPORTE_ROLLER_J_CUP

Fecha: 21/06/25

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N2/N110	37.65	0.000	1.448	0.000	4.879	0.00	0.07	0.00	G	Cumple
N110/N1	16.73	0.000	0.000	0.000	-0.451	0.00	-0.03	0.00	G	Cumple
N5/N4	43.97	0.065	1.278	0.000	4.523	0.00	-0.08	0.00	G	Cumple
N3/N112	20.86	0.020	-1.448	0.000	1.904	0.00	-0.03	0.00	G	Cumple
N112/N111	18.24	0.000	0.000	0.000	-0.492	0.00	-0.03	0.00	G	Cumple

1.3.1.2. Flechas

Referencias:

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.

Flechas								
Grupo	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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N2/N1	0.055	0.00	0.055	0.02	0.000	0.00	0.000	0.00
	-	L/(>1000)	0.055	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N5/N4	0.034	0.00	0.032	0.02	0.000	0.00	0.000	0.00
	-	L/(>1000)	0.032	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N3/N111	0.055	0.00	0.055	0.02	0.000	0.00	0.000	0.00
	-	L/(>1000)	0.055	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

1.3.1.3. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)												Estado	
	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
N2/N110	$\eta = 2.6$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 35.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.02 m $\eta = 15.3$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 37.7$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 37.7$
N110/N1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 16.7$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 1.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 16.7$
N5/N4	$\eta = 2.3$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.065 m $\eta = 41.7$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.065 m $\eta = 14.2$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.065 m $\eta = 44.0$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 44.0$
N3/N112	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 2.6$	x: 0.02 m $\eta = 18.2$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.02 m $\eta = 6.0$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.02 m $\eta = 20.9$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 20.9$
N112/N111	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 18.2$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 1.5$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 18.2$

Notación:
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_y: Resistencia a corte Y
V_z: Resistencia a corte Z
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 axil de compresión.
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
⁽⁸⁾ 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.
⁽⁹⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

ANÁLISIS SOPORTE SEGURIDAD

ÍNDICE

1. ESTRUCTURA.....	115
1.1. Geometría.....	115
1.1.1.=Barras.....	115
1.1.2.=Láminas.....	117
1.2. Cargas.....	117
1.2.1.=Barras.....	117
1.3. Resultados.....	118
1.3.1.=Barras.....	118



1. ESTRUCTURA

1.1. Geometría

1.1.1. Barras

1.1.1.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.1.2. Descripción

Descripción										
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)	
Tipo	Designación									
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N318	N2/N1	D16 (Redondo macizo)	0.020	1.00	1.00	-	-	
		N318/N1	N2/N1	D16 (Redondo macizo)	0.070	1.00	1.00	-	-	
		N4/N319	N4/N3	D16 (Redondo macizo)	0.020	1.00	1.00	-	-	
		N319/N3	N4/N3	D16 (Redondo macizo)	0.070	1.00	1.00	-	-	
		N6/N5	N6/N5	75.3mm (Perfil Cuadrado)	1.000	1.00	1.00	-	-	
Notación: <i>Ni</i> : Nudo inicial <i>Nf</i> : Nudo final <i>β_{xy}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY' <i>β_{xz}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ' <i>Lb_{Sup.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala superior <i>Lb_{Inf.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala inferior										

1.1.1.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N2/N1 y N4/N3
2	N6/N5

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	A _{vy} (cm ²)	A _{vz} (cm ²)	I _{yy} (cm ⁴)	I _{zz} (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	D16, (Redondo macizo)	2.01	1.81	1.81	0.32	0.32	0.64
		2	75.3mm, (Perfil Cuadrado)	8.46	3.60	3.60	72.18	72.18	114.10



Listados

Seguro_Soporte

Fecha: 21/06/25

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
<p><i>Notación:</i> Ref.: Referencia A: Área de la sección transversal Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y' Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z' Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y' Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z' It: Inercia a torsión Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.</p>									

1.1.1.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N1	D16 (Redondo macizo)	0.090	0.000	0.14
		N4/N3	D16 (Redondo macizo)	0.090	0.000	0.14
		N6/N5	75.3mm (Perfil Cuadrado)	1.000	0.001	6.64
<p><i>Notación:</i> Ni: Nudo inicial Nf: Nudo final</p>						

1.1.1.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	Redondo macizo	D16	0.180			0.000			0.28		
			75.3mm	1.000	0.180		0.000		6.64	0.28		
			Perfil Cuadrado		1.000		0.001		6.64		6.64	
						1.180		0.001			6.92	

1.1.1.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
Redondo macizo	D16	0.050	0.180	0.009
Perfil Cuadrado	75.3mm	0.291	1.000	0.291
Total				0.300

Producido por una versión educativa de CYPE

**1.1.2. Láminas****1.1.2.1. Materiales utilizados**

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.2.2. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar	
Designación	Superficie (m ²)
S275 (EN 10025-2)	0.365
Total	0.365

1.2. Cargas**1.2.1. Barras**

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeziales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N2/N318	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N318/N1	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N319	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000



Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N319/N3	Peso propio	Uniforme	0.015	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N5	Peso propio	Uniforme	0.065	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N5	CM 1	Puntual	5.00	-	0.500	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

1.3. Resultados

1.3.1. Barras

1.3.1.1. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N2/N318	27.63	0.000	0.000	-0.024	3.410	0.00	0.05	0.00	G	Cumple
N318/N1	8.13	0.000	0.000	0.002	-0.222	0.00	-0.02	0.00	G	Cumple
N4/N319	20.97	0.000	1.050	0.024	3.467	0.00	0.03	0.00	G	Cumple
N319/N3	17.83	0.000	0.000	0.013	-0.487	0.00	-0.03	0.00	G	Cumple
N6/N5	26.14	0.500	0.393	0.024	-3.356	0.00	1.62	0.00	G	Cumple

1.3.1.2. Flechas

Referencias:

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.

Producido por una versión educativa de CYPE



Flechas								
Grupo	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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N2/N1	0.055	0.00	0.055	0.01	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.055	L/(>1000)	0.055	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N4/N3	0.055	0.00	0.055	0.02	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.055	L/(>1000)	0.055	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N6/N5	0.750	0.00	0.500	0.69	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.750	L/(>1000)	0.500	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

1.3.1.3. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)												Estado	
	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 _y V _z		M _z V _y
N2/N318	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 27.6	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.02 m η = 10.7	η = 0.1	η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 27.6
N318/N1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 8.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 8.1
N4/N319	η = 1.9	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 18.3	x: 0 m η = 0.7	x: 0.02 m η = 10.9	η = 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 21.0	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 21.0
N319/N3	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 17.8	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 1.5	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 17.8

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)												Estado		
	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 _y V _z	M _z V _y
N5	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 0.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m η = 25.9	x: 1 m η = 0.2	x: 1 m η = 5.2	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.5 m η = 26.1	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 26.1

Producido por una versión educativa de CYPE

Notación:

- 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_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x: Distancia al origen de la barra
- η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
- N.P.: No procede
- λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

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

ANÁLISIS FONDERA

ÍNDICE

1. ESTRUCTURA.....	121
1.1. Geometría.....	121
1.1.1. Barras.....	121
1.1.2. Láminas.....	123
1.2. Cargas.....	123
1.2.1. Barras.....	123
1.3. Resultados.....	124
1.3.1. Barras.....	124



1. ESTRUCTURA

1.1. Geometría

1.1.1. Barras

1.1.1.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.1.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N1	N2/N1	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.025	1.00	1.00	-	-
		N3/N4	N3/N4	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.215	1.00	1.00	-	-
		N1/N3	N1/N3	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.225	1.00	1.00	-	-
		N4/N5	N4/N5	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.025	1.00	1.00	-	-
		N6/N1	N6/N1	D28 (REDONDO MACIZO)	0.400	1.00	1.00	-	-
		N7/N4	N7/N4	D28 (REDONDO MACIZO)	0.400	1.00	1.00	-	-
		N3/N8	N3/N8	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.100	1.00	1.00	-	-
		N19/N3	N19/N3	L15 (REFUERZO)	0.112	1.00	1.00	-	-
Notación: <i>Ni</i> : Nudo inicial <i>Nf</i> : Nudo final <i>β_{xy}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY' <i>β_{xz}</i> : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ' <i>Lb_{Sup.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala superior <i>Lb_{Inf.}</i> : Separación entre arriostramientos del ala inferior									

1.1.1.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N2/N1, N3/N4, N1/N3, N4/N5 y N3/N8
2	N6/N1 y N7/N4
3	N19/N3

Producido por una versión educativa de CYPE



Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	1	TCuL 40x2, (Tubo Cuadrado Liviano)	2.93	1.27	1.27	6.91	6.91	11.27
		2	D28, (REDONDO MACIZO)	6.16	5.54	5.54	3.02	3.02	6.03
		3	L15, (REFUERZO)	4.50	3.75	3.75	3.38	0.84	2.32

Notación:
 Ref.: Referencia
 A: Área de la sección transversal
 Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
 Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
 Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
 Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
 It: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

1.1.1.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	
						Tipo
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	N2/N1	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.025	0.000	0.06
		N3/N4	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.215	0.000	0.50
		N1/N3	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.225	0.000	0.52
		N4/N5	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.025	0.000	0.06
		N6/N1	D28 (REDONDO MACIZO)	0.400	0.000	1.93
		N7/N4	D28 (REDONDO MACIZO)	0.400	0.000	1.93
		N3/N8	TCuL 40x2 (Tubo Cuadrado Liviano)	0.100	0.000	0.23
		N19/N3	L15 (REFUERZO)	0.112	0.000	0.39

Notación:
 Ni: Nudo inicial
 Nf: Nudo final

1.1.1.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	Tubo Cuadrado Liviano	TCuL 40x2	0.590	0.590		0.000	0.000		1.36	1.36	
		REDONDO MACIZO	D28	0.800	0.800		0.000	0.000		3.87	3.87	
		REFUERZO	L15	0.112	0.112		0.000	0.000		0.39	0.39	
									0.001			

1.1.1.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
Tubo Cuadrado Liviano	TCuL 40x2	0.153	0.590	0.090



Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
REDONDO MACIZO	D28	0.088	0.800	0.070
REFUERZO	L15	0.090	0.112	0.010
Total				0.171

1.1.2. Láminas

1.1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f _y (MPa)	α _t (m/m°C)	γ (kN/m ³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (EN 10025-2)	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01
Notación: <i>E</i> : Módulo de elasticidad <i>ν</i> : Módulo de Poisson <i>G</i> : Módulo de cortadura <i>f_y</i> : Límite elástico <i>α_t</i> : Coeficiente de dilatación <i>γ</i> : Peso específico							

1.1.2.2. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar	
Designación	Superficie (m ²)
S275 (EN 10025-2)	0.113
Total	0.113

2. Cargas

2.1. Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: kN
- Momentos puntuales: kN·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeziales: kN/m.
- Incrementos de temperatura: °C.



Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N2/N1	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N3	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N5	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N1	Peso propio	Uniforme	0.047	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6/N1	Q 1	Puntual	1.00	-	0.000	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N4	Peso propio	Uniforme	0.047	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N4	Q 1	Puntual	1.00	-	0.000	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N8	Peso propio	Uniforme	0.023	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N3	Peso propio	Uniforme	0.035	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

1.3. Resultados

1.3.1. Barras

1.3.1.1. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axial (kN)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N2/N1	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N3/N4	62.66	0.000	0.000	0.000	-1.533	0.57	-0.33	0.00	G	Cumple
N1/N3	62.66	0.000	0.000	0.000	1.526	-0.57	0.00	0.00	G	Cumple
N4/N5	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	G	Cumple
N6/N1	62.41	0.400	0.000	0.000	1.526	0.00	-0.61	0.00	G	Cumple
N7/N4	62.41	0.400	0.000	0.000	1.526	0.00	-0.61	0.00	G	Cumple
N3/N8	66.38	0.000	20.994	-0.059	-3.265	0.01	-0.46	0.00	G	Cumple
N19/N3	73.27	0.112	-21.609	0.059	3.726	0.00	-0.34	0.00	G	Cumple



1.3.1.2. Flechas

Referencias:

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.

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)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N2/N1	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.012 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N3/N4	0.107 -	0.00 L/(>1000)	0.107 0.107	0.04 L/(>1000)	0.107 -	0.00 L/(>1000)	0.107 0.107	0.04 L/(>1000)
N1/N3	0.113 -	0.00 L/(>1000)	0.113 0.113	0.05 L/(>1000)	0.113 -	0.00 L/(>1000)	0.113 0.113	0.05 L/(>1000)
N4/N5	0.013 -	0.00 L/(>1000)	0.013 -	0.00 L/(>1000)	0.013 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N6/N1	0.200 -	0.00 L/(>1000)	0.200 0.200	0.63 L/630.1	0.200 -	0.00 L/(>1000)	0.200 0.200	0.63 L/633.6
N7/N4	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.200 0.200	0.63 L/630.1	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.200 0.200	0.63 L/633.6
N3/N8	0.050 -	0.00 L/(>1000)	0.050 0.050	0.02 L/(>1000)	0.050 -	0.00 L/(>1000)	0.050 0.050	0.02 L/(>1000)
N19/N3	0.056 0.056	0.00 L/(>1000)	0.056 0.056	0.02 L/(>1000)	0.056 0.056	0.00 L/(>1000)	0.056 0.056	0.02 L/(>1000)

Plataforma de gestión de la versión educativa de CYPE

1.3.1.3. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)														Estado
	λ_{sw}	N_t	N_z	M_r	M_z	V_z	V_v	$M_r V_z$	$M_z V_v$	$NM_r M_z$	$NM_r M_z V_z$	M_t	$M_r V_z$	$M_z V_v$	
N2/N1	N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	NO PROCEDE
N3/N4	x: 0 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 29.0$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 6.7$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$\eta = 62.7$	x: 0 m $\eta = 18.0$	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta = 62.7$
N1/N3	x: 0.113 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.225 m $\eta = 30.3$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.225 m $\eta = 6.7$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.113 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$\eta = 62.7$	x: 0.225 m $\eta = 18.0$	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta = 62.7$
N4/N5	N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	NO PROCEDE
N3/N8	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$\eta = 26.0$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 40.1$	x: 0.1 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 14.3$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 66.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 14.4$	$\eta = 0.3$	CUMPLE $\eta = 66.4$

Barras	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)														Estado
	N_t	N_z	M_r	M_z	V_z	V_v	$M_r V_z$	$M_z V_v$	$NM_r M_z$	$NM_r M_z V_z$	M_t	$M_r V_z$	$M_z V_v$		
N6/N1	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.4 m $\eta = 62.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.4 m $\eta = 1.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.001 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta = 62.4$	
N7/N4	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0.4 m $\eta = 62.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.4 m $\eta = 1.6$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.001 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta = 62.4$	
N19/N3	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 17.5$	x: 0.112 m $\eta = 54.2$	x: 0.112 m $\eta = 0.9$	x: 0.112 m $\eta = 5.2$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0.112 m $\eta = 73.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.7$	x: 0.112 m $\eta = 5.3$	x: 0.112 m $\eta = 5.3$	CUMPLE $\eta = 73.3$	

**Notación:**

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
 $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados
 $N M_y M_z V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t : Resistencia a torsión
 $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 $M_z V_y$: 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 flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.
- ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
- ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- ⁽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.
- ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

2.2 Imágenes Jaula de Potencia

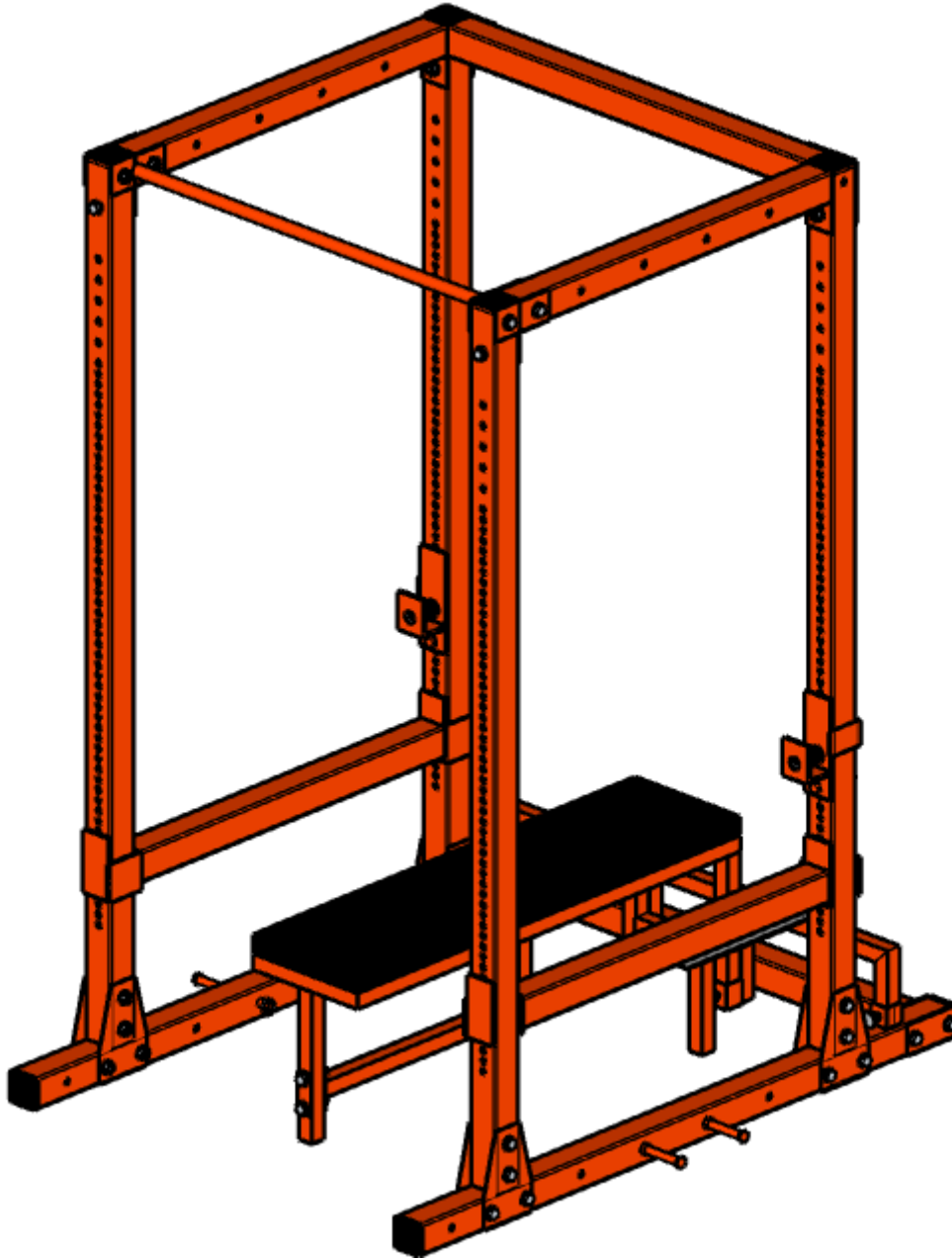


Figura 46 - Vista Isométrica Frontal

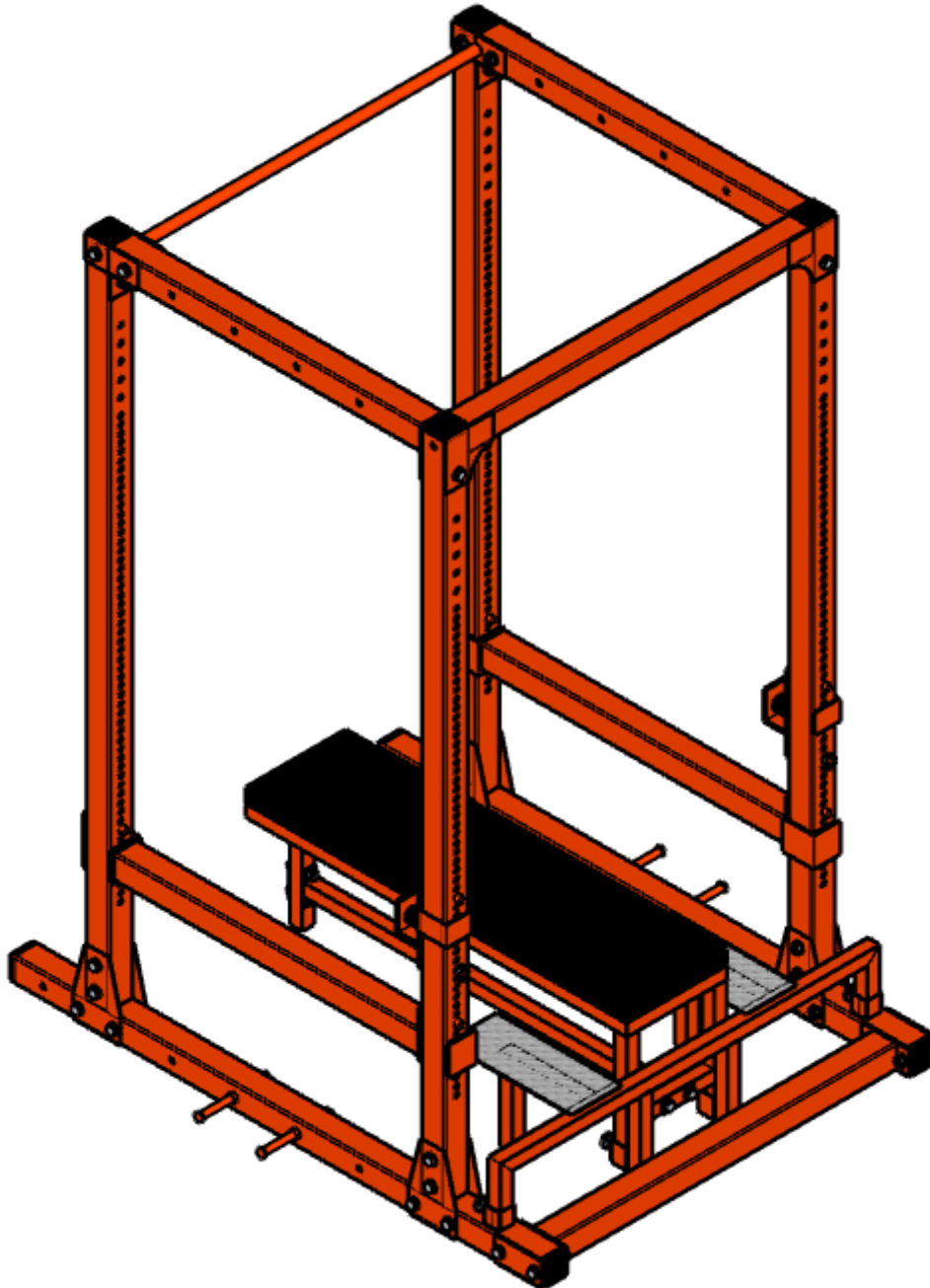


Figura 47 - Vista Isométrica Trasera

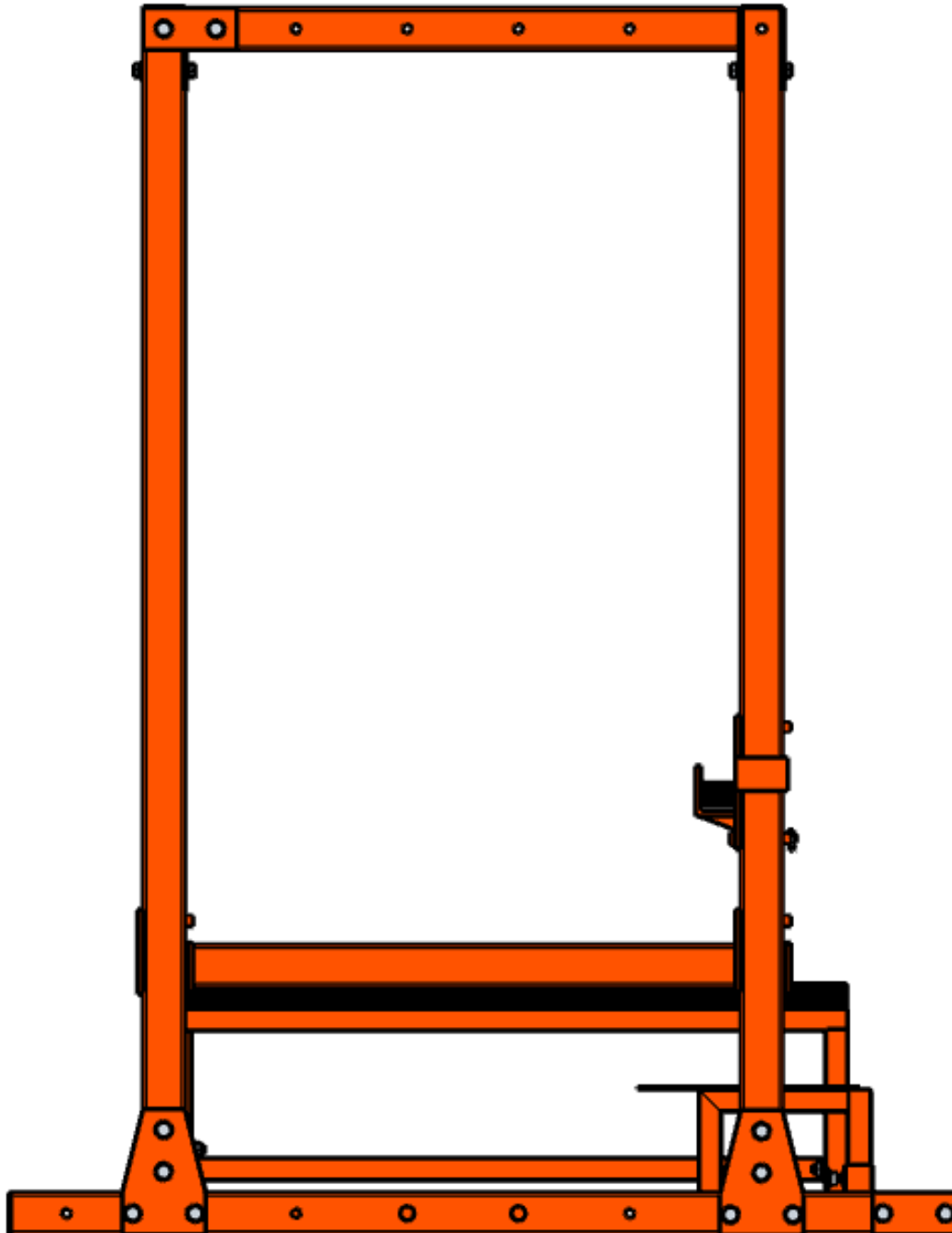


Figura 48 - Vista lateral

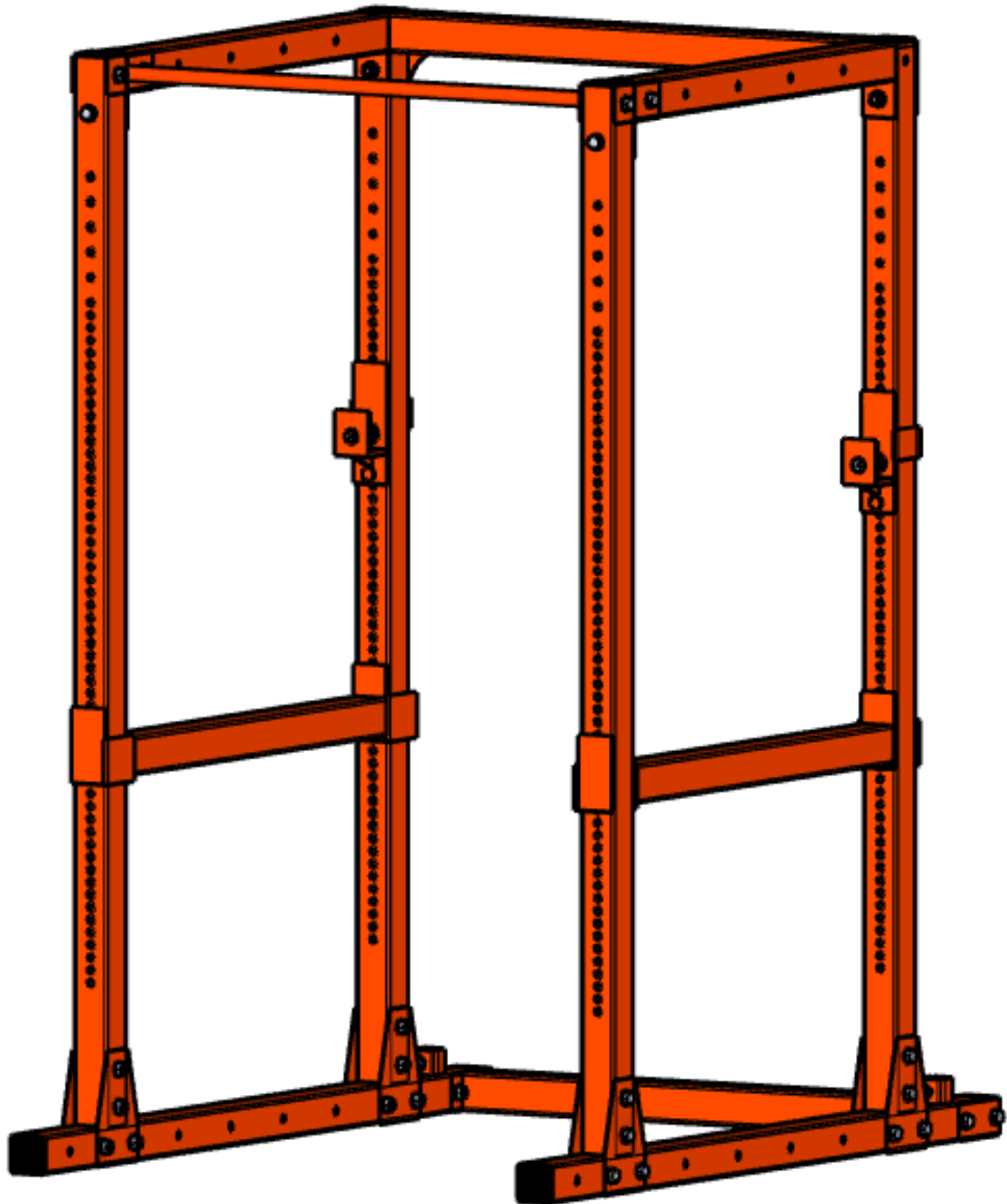


Figura 49 - Jaula de potencia sin banco

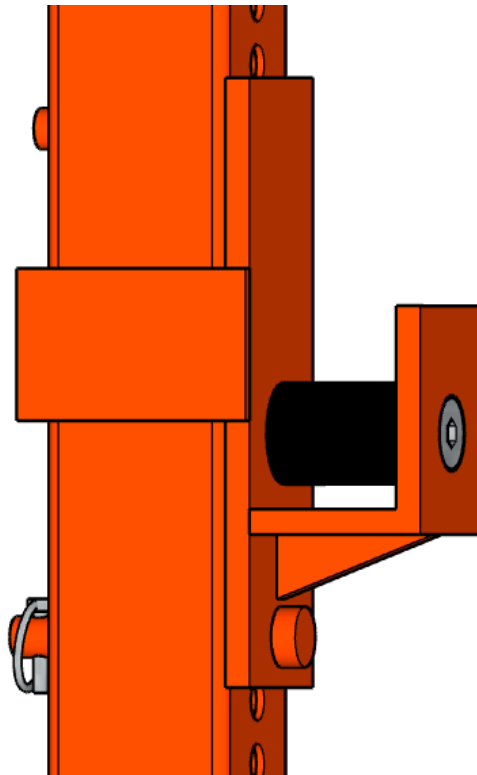


Figura 50 - Detalle Soporte

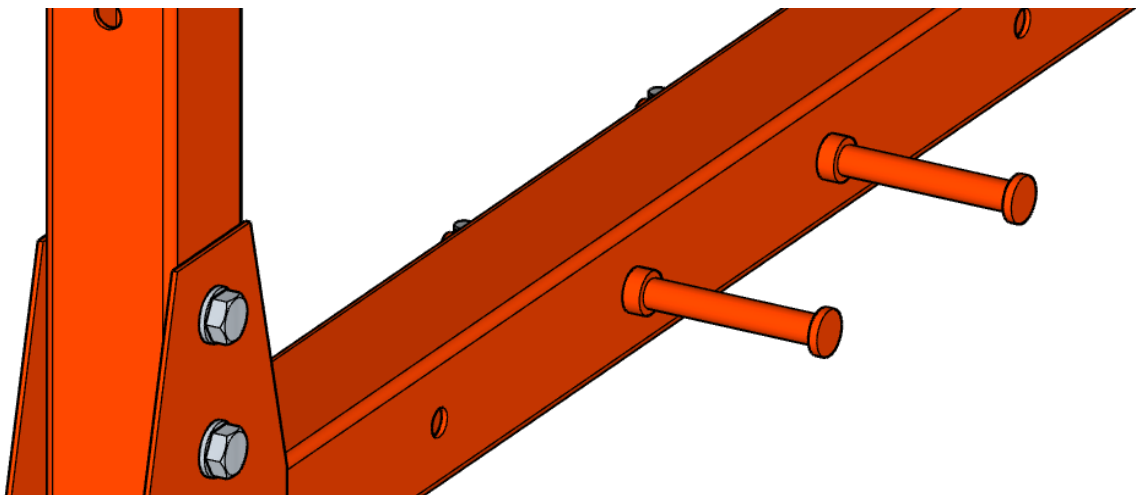


Figura 51 - Detalle Pines para gomas

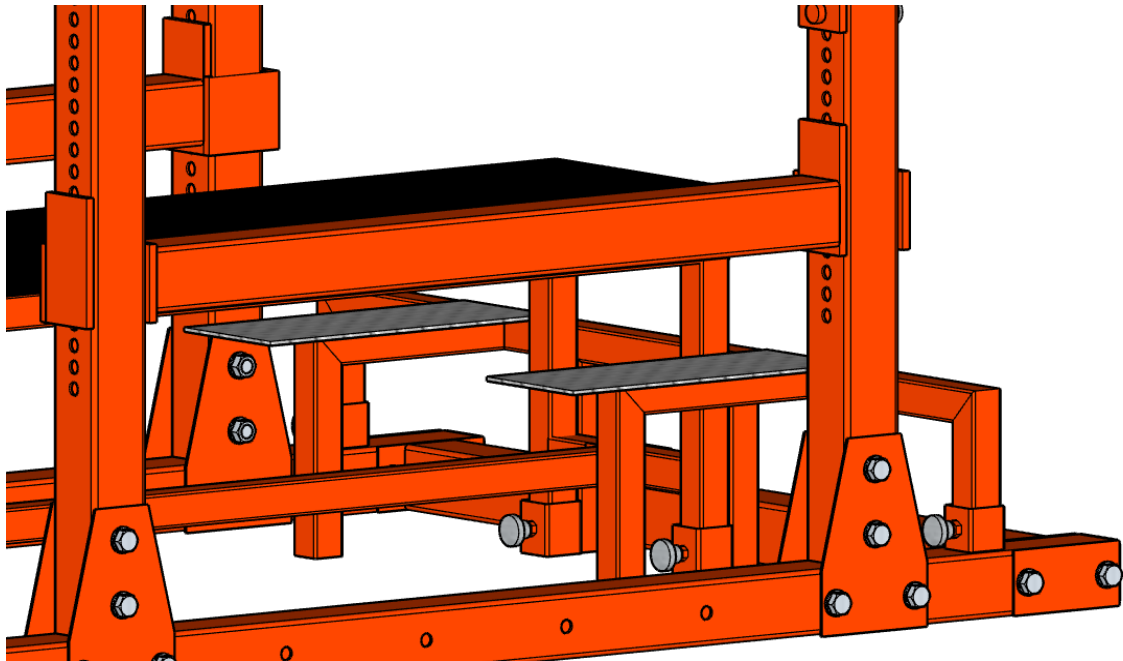


Figura 52 - Detalle Soporte Fijación Banco

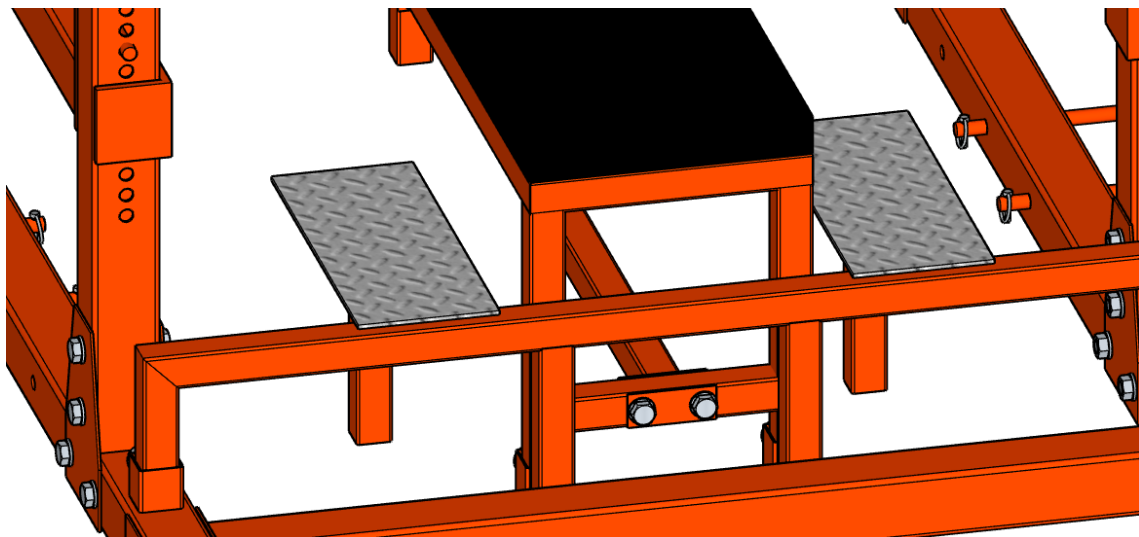


Figura 53 - Detalle superficies para ayuda

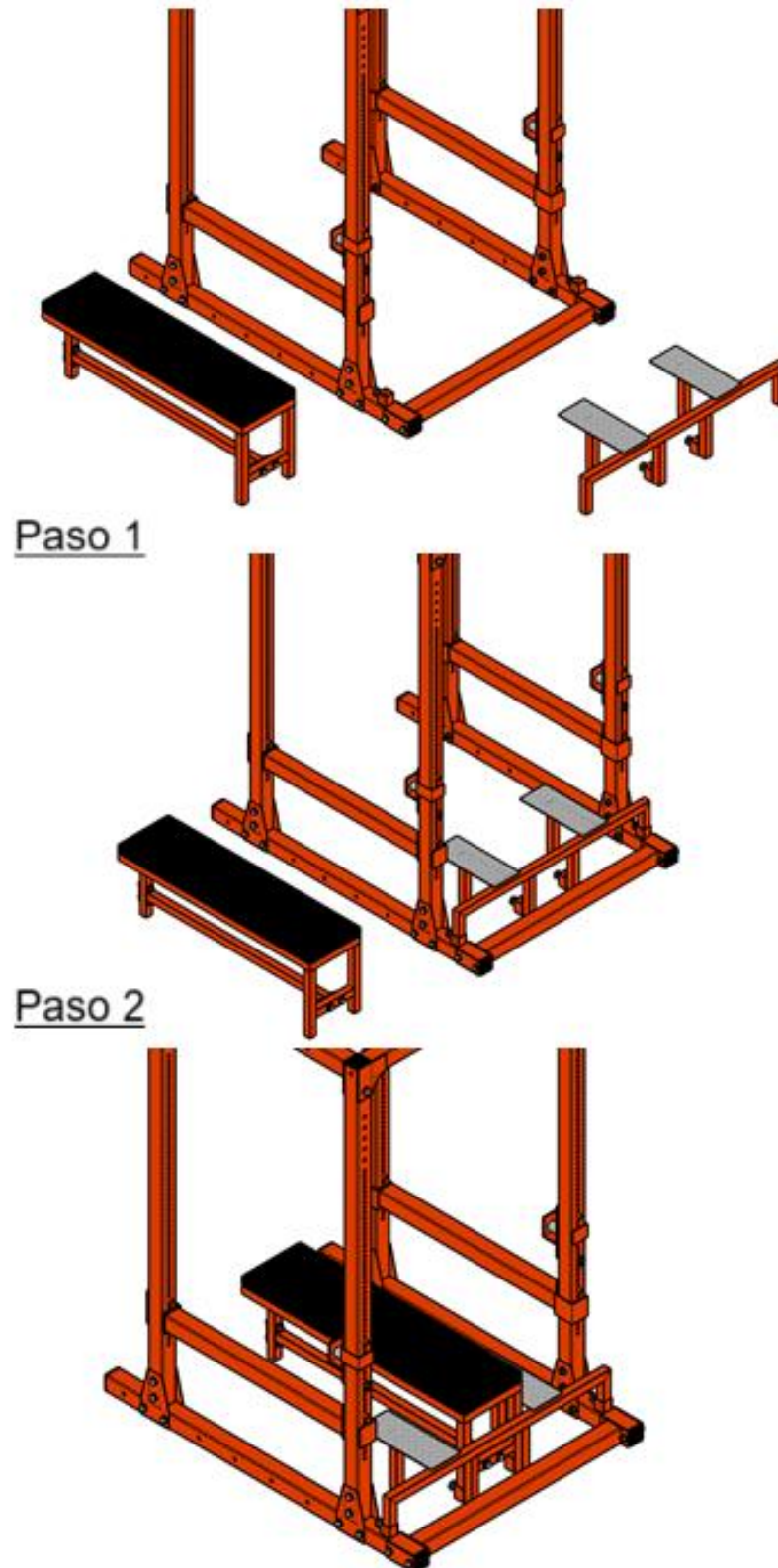


Figura 54 - Pasos Fijación Banco

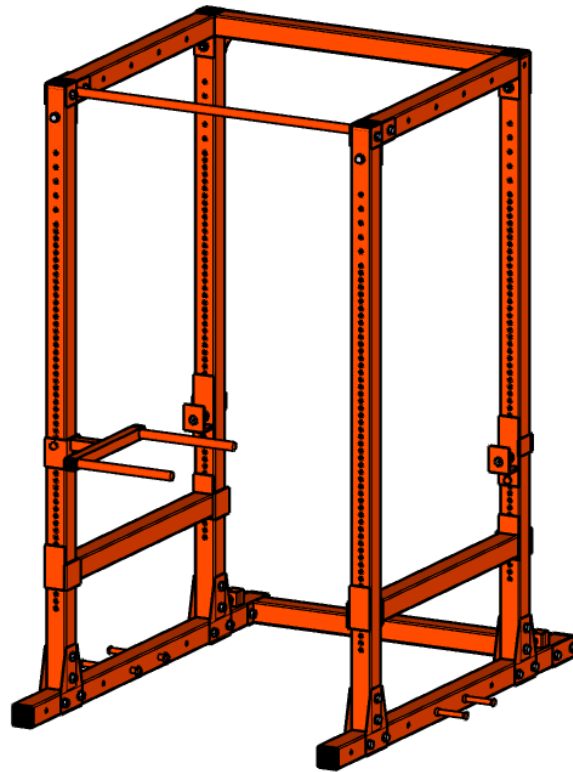


Figura 55 - Jaula + Fondera

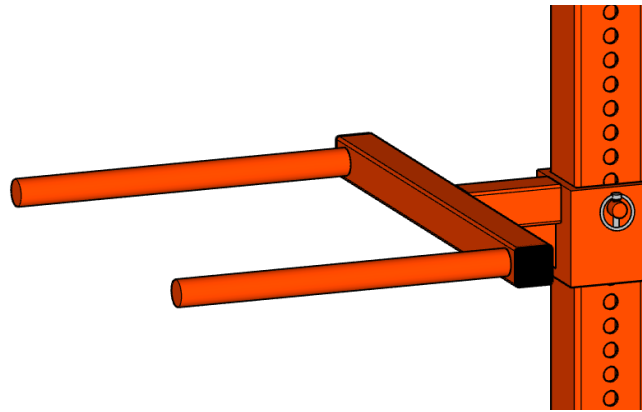


Figura 56 - Detalle Fondera

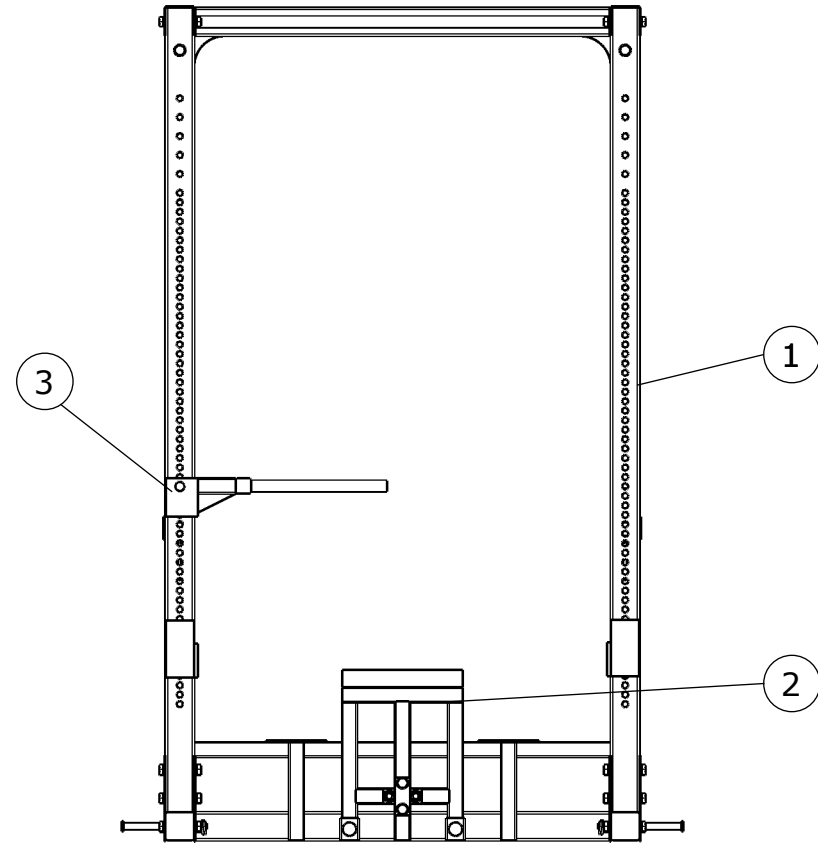
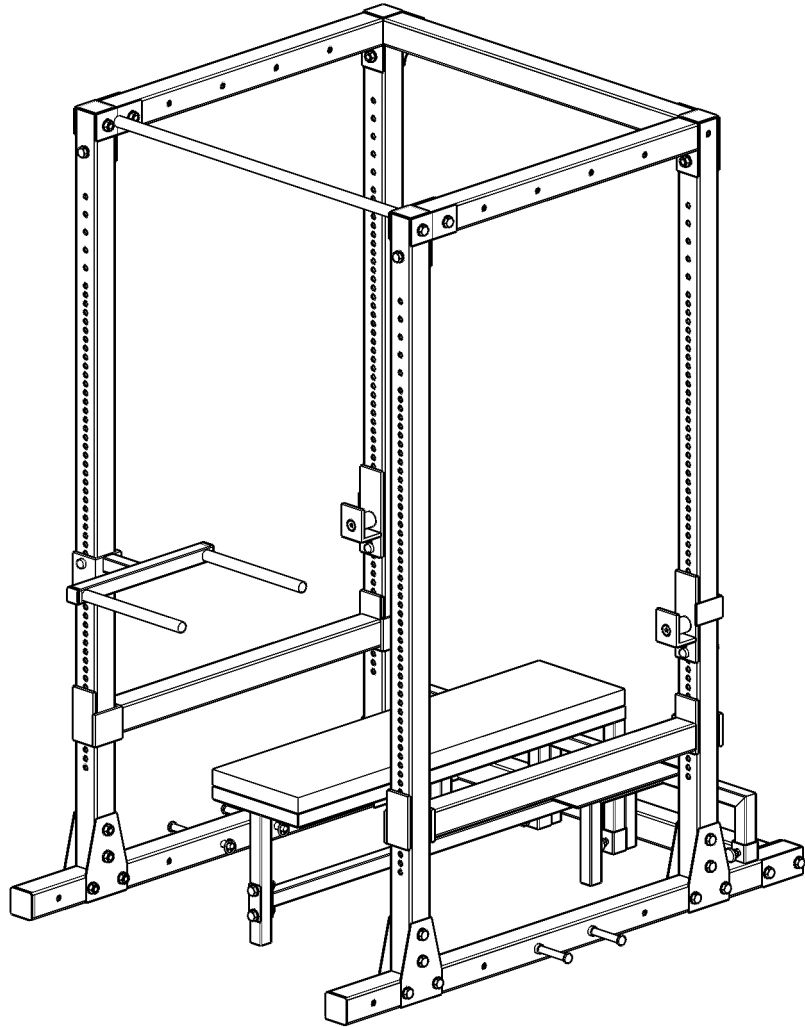
En Málaga, a 22 de junio de 2025

Fdo.: Julián Aguilar Pizarro

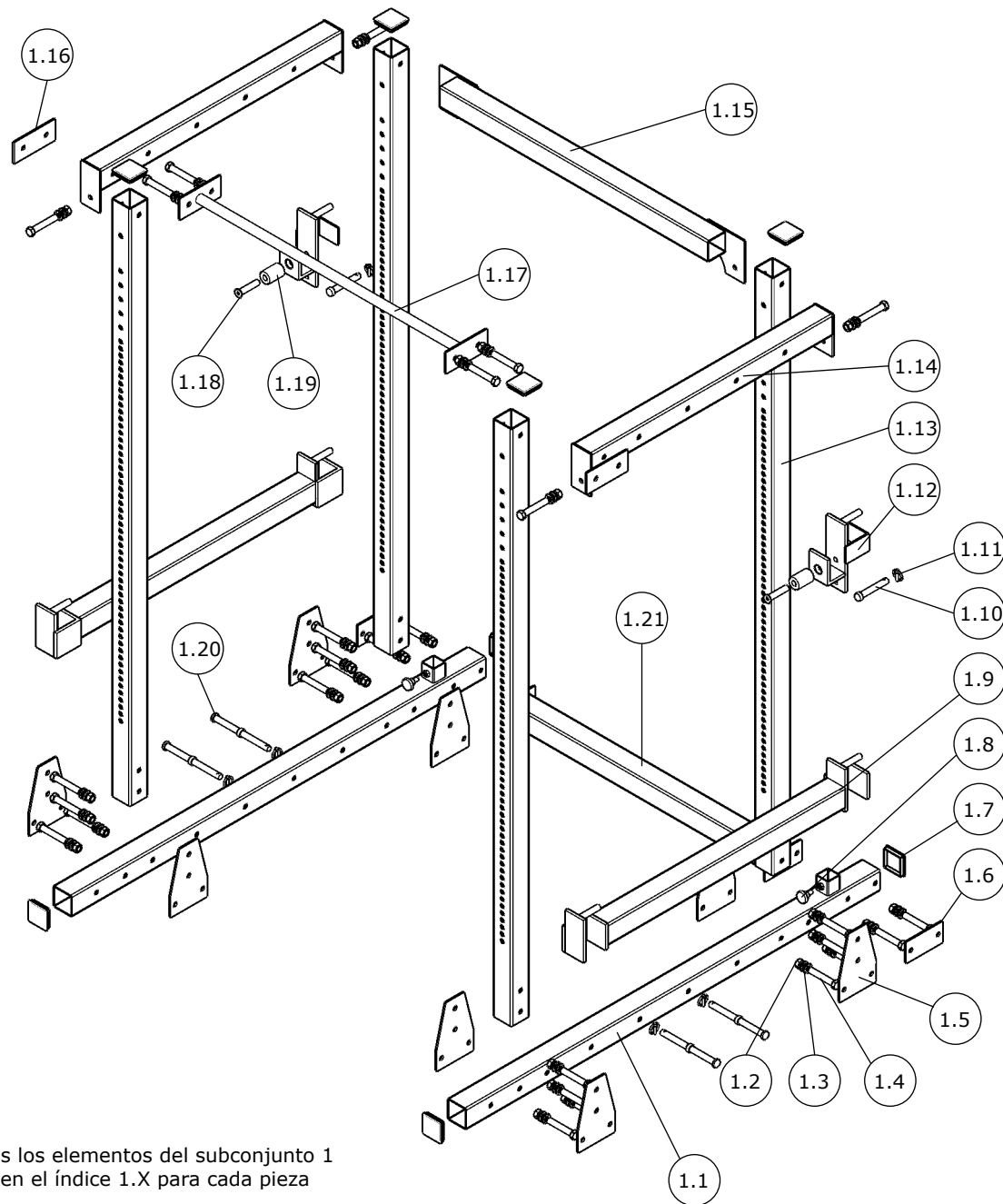
Página 134 de 182



3. Planos



		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: CONJUNTO MONTADO		ESCALA:	1:20
		Nº PLANO:	1



Todos los elementos del subconjunto 1 poseen el índice 1.X para cada pieza

1.21	PERFIL BASE 2	PERFIL TUBULAR 75x75x3mm	1	ACERO
1.20	PIN PARA BANDAS	TUBO REDONDO MACIZO Ø16mm	4	ACERO
1.19	RODILLO ROLLER J-CUP	CILINDRO HUECO Ø40x60mm	2	NYLON
1.18	TORNILLO ALLEN	DIN 7991 10.9 M16x80	2	ACERO
1.17	BARRA DOMINADAS	TUBO REDONDO MACIZO Ø28mm	1	ACERO
1.16	LAMINA FIJACIÓN 3	LAMINA FIJACIÓN CON ESPESOR 5mm	2	ACERO
1.15	PERFIL HORIZONTAL 2	PERFIL TUBULAR 75x75x3mm	1	ACERO
1.14	PERFIL HORIZONTAL 1	PERFIL TUBULAR 75x75x3mm	2	ACERO
1.13	PERFIL VERTICAL	PERFIL TUBULAR 75x75x3mm	4	ACERO
1.12	ROLLER J-CUP	SOPORTE PARA BARRA CON RODAMIENTO	2	ACERO
1.11	PASADOR DE ANILLA	DIN 11023 Ø4.5mm	6	ACERO
1.10	PIN REFUERZO	TUBO REDONDO MACIZO Ø16mm	2	ACERO
1.9	SOPORTE SEGURIDAD	PERFIL 75x75x3mm CON ANCLAJES	2	ACERO
1.8	POMO DE APRIETE	DIN 464 5.8 M10 20	2	ACERO
1.7	TAPA SEGURIDAD	TAPA DE PLASTICO PARA FILOS CORTANTES	8	LDPE
1.6	LAMINA FIJACIÓN 2	LAMINA RECTANGULAR 150x75x5mm	2	ACERO
1.5	LAMINA FIJACIÓN 1	LAMINA FIJACIÓN CON ESPESOR 5mm	8	ACERO
1.4	TORNILLO M16	DIN 931 8.8 M16x100	28	ACERO
1.3	ARANDELA M16	DIN 125-A M16	56	ACERO
1.2	TUERCA FRENO M16	DIN 985 8 M16	28	ACERO
1.1	PERFIL BASE 1	PERFIL TUBULAR 75x75x3mm	2	ACERO
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES UMA

AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO

FIRMA:

TÍTULO:

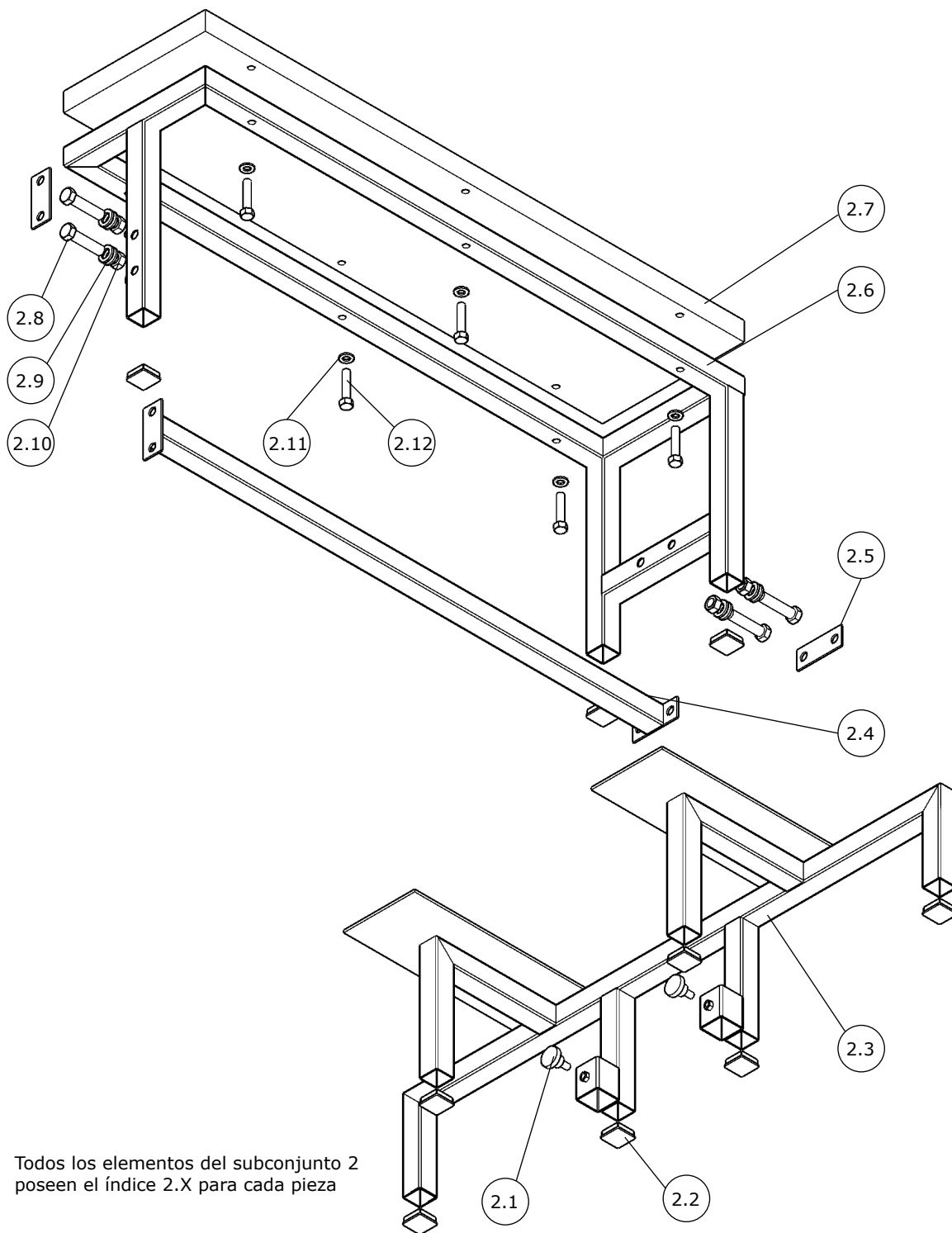
JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA

ESPECIFICACIÓN:

SUBCONJUNTO 1: JAUJA + SOPORTES

ESCALA: 1:20

Nº PLANO: 2



Todos los elementos del subconjunto 2 poseen el índice 2.X para cada pieza

2.12	ARANDELA M12	DIN 125-A M12	6	ACERO
2.11	TORNILLO M12	DIN 931 8.8 M12x60	6	ACERO
2.10	TUERCA FRENO M16	DIN 985 8 M16	4	ACERO
2.9	ARANDELA M16	DIN 125-A M16	8	ACERO
2.8	TORNILLO M16	DIN 931 8.8 M16x60	4	ACERO
2.7	FOAM BANCO		1	MADERA/ ESPUMA/TAPIZADO
2.6	BANCO		1	ACERO
2.5	LAMINA FIJACIÓN	LAMINA RECTANGULAR 100x40x5mm	2	ACERO
2.4	REFUERZO BANCO	PERFIL TUBULAR 40x40x2mm	1	ACERO
2.3	ANCLAJE BANCO		1	ACERO
2.2	TAPA SEGURIDAD	TAPA DE PLASTICO PARA FILOS CORTANTES	9	LDPE
2.1	POMO DE APRIETE	DIN 464 5.8 M10x20	2	ACERO
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES UMA

AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO

FIRMA:

TÍTULO:

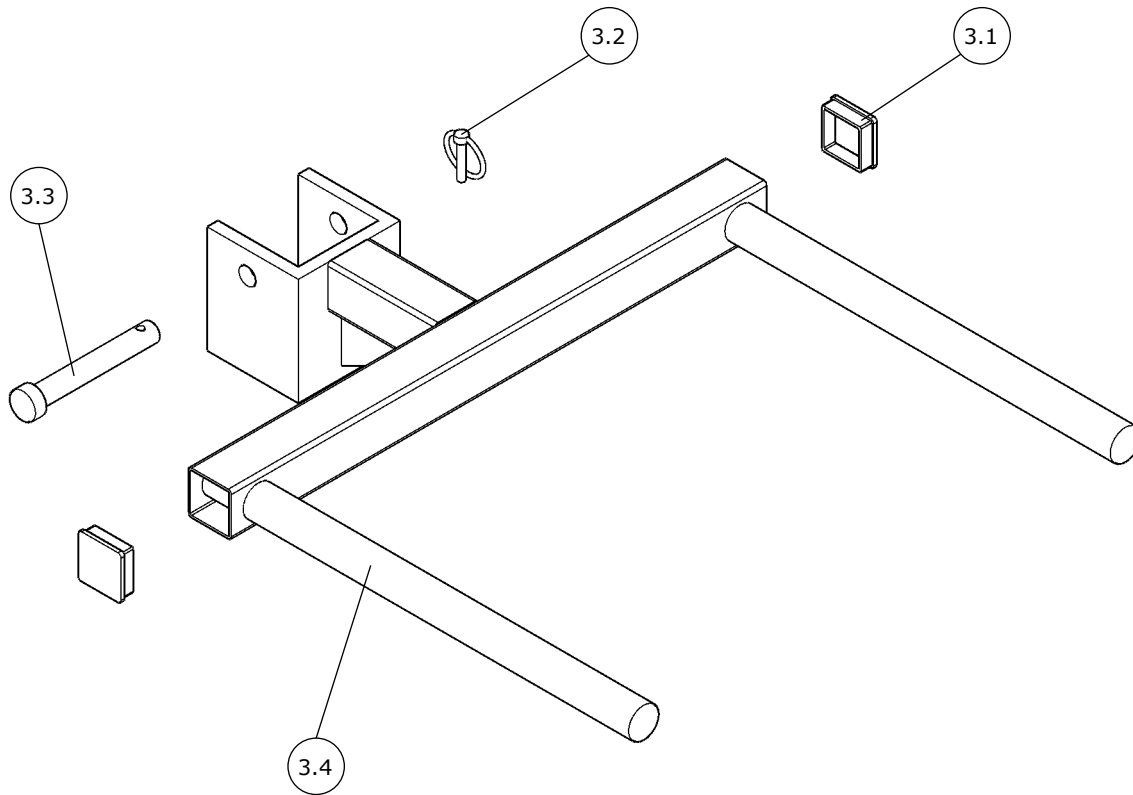
JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA

ESPECIFICACIÓN:

SUBCONJUNTO 2: BANCO + FIJACIÓN

ESCALA: 1:10

Nº PLANO: 3



Todos los elementos del subconjunto 3 poseen el índice 3.X para cada pieza

3.4	FONDERA		1	ACERO
3.3	PIN REFUERZO	TUBO REDONDO MACIZO Ø16mm	1	ACERO
3.2	PASADOR DE ANILLA	DIN 11023 Ø4.5mm	1	ACERO
3.1	TAPA SEGURIDAD	TAPA DE PLASTICO PARA FILOS CORTANTES	2	LDPE
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES UMA

AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO

FIRMA:

TÍTULO:

JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA

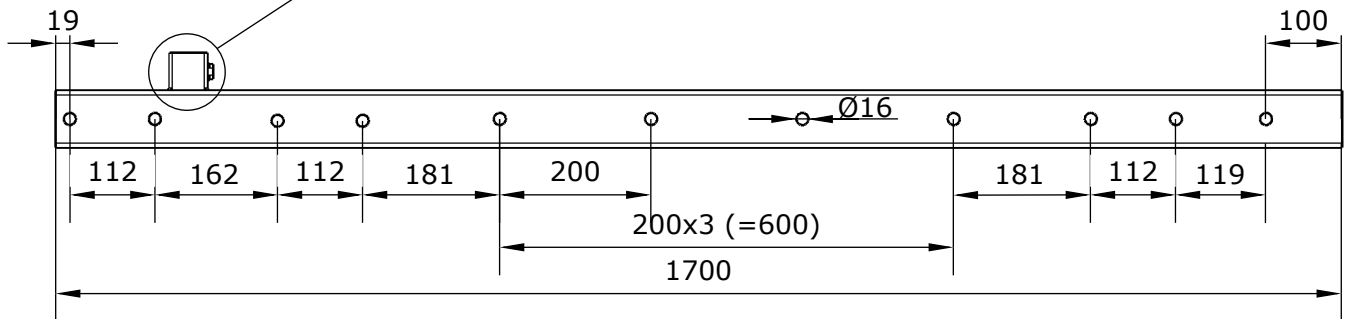
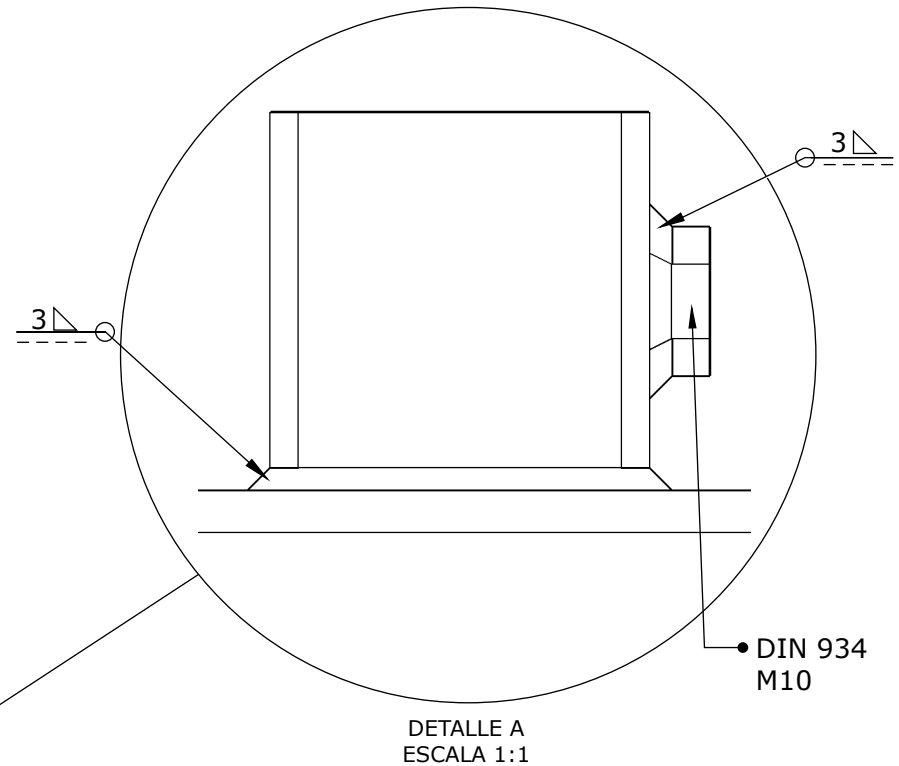
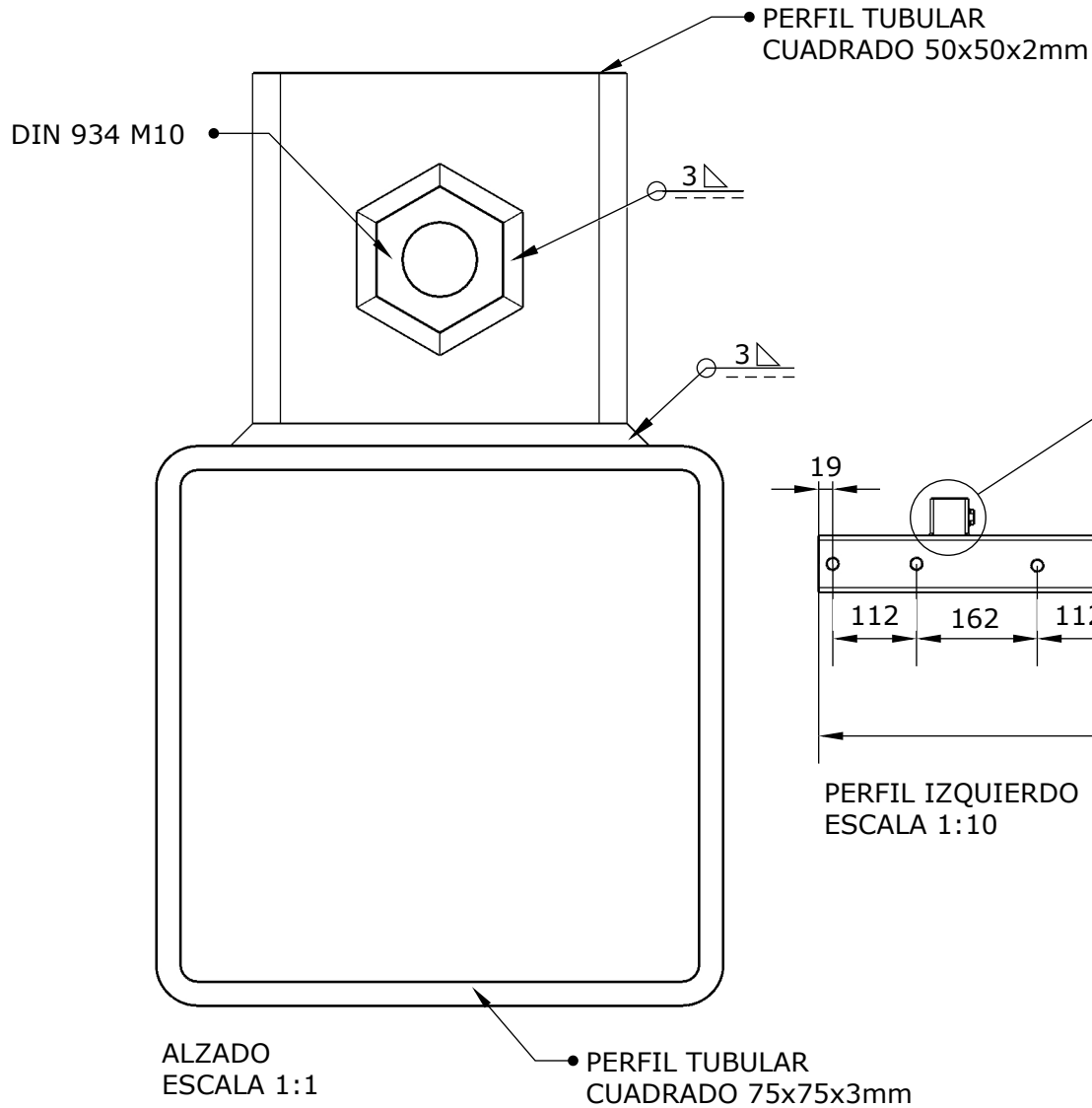
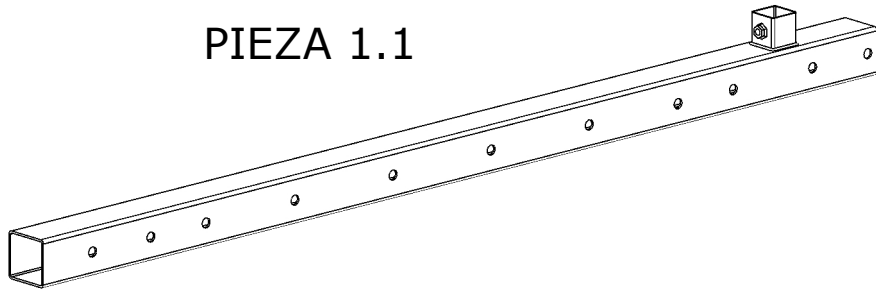
ESPECIFICACIÓN:

SUBCONJUNTO 3: ACCESORIO FONDERA


ESCALA: 1:5

Nº PLANO: 4

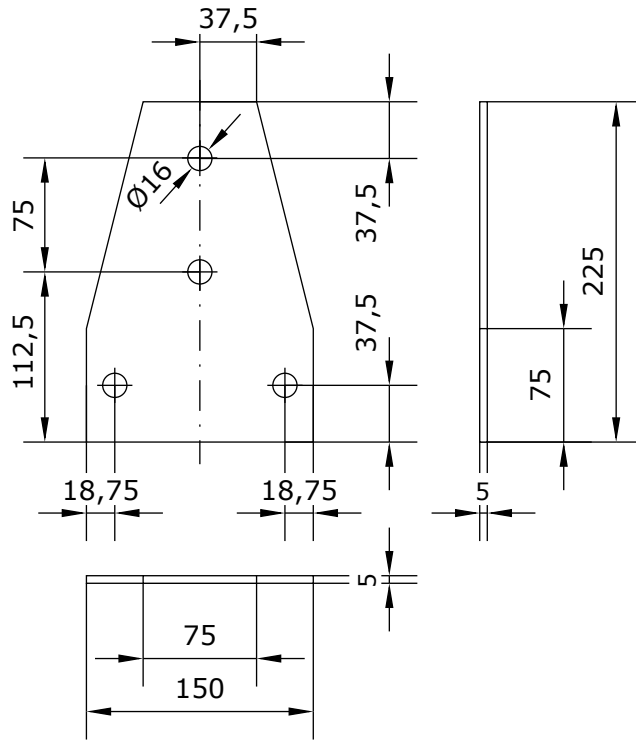
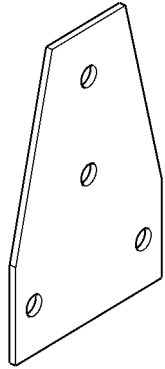
PIEZA 1.1



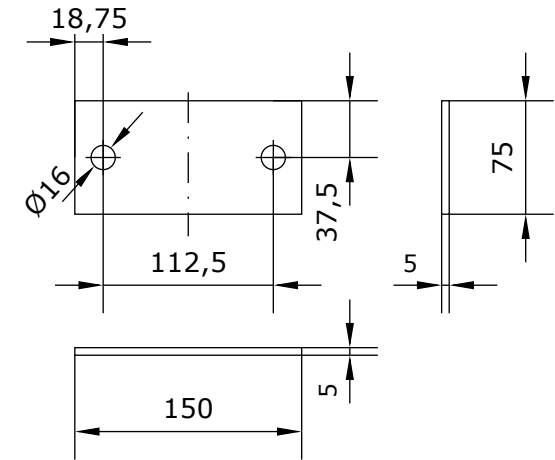
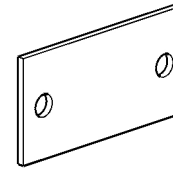
PERFIL IZQUIERDO
ESCALA 1:10

		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PERFIL BASE 1		ESCALA: INDICADA	
		Nº PLANO: 5	

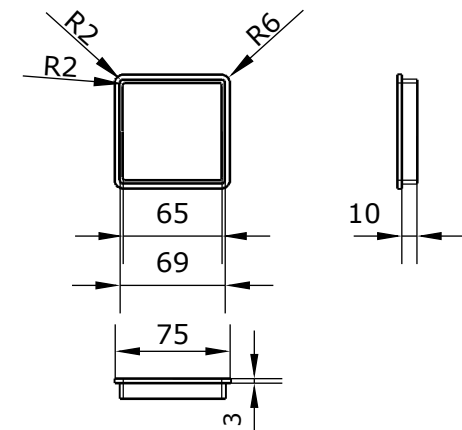
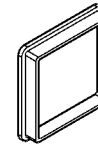
PIEZA 1.5



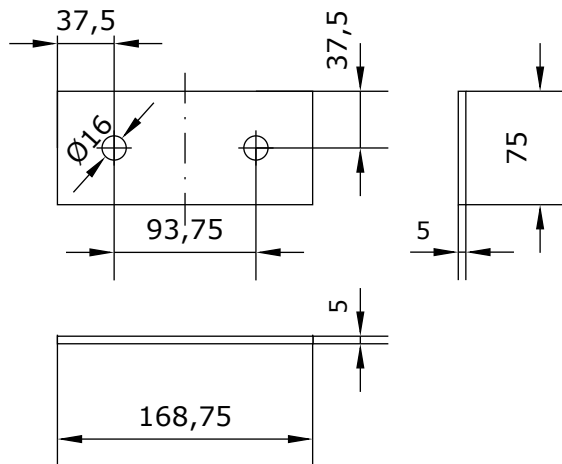
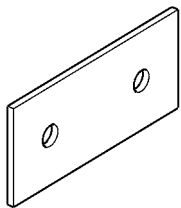
PIEZA 1.6



PIEZA 1.7

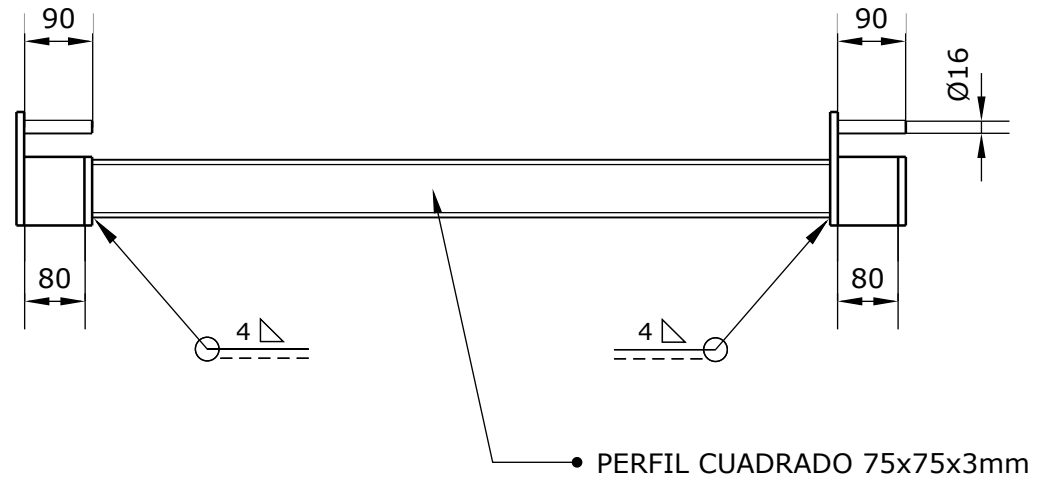
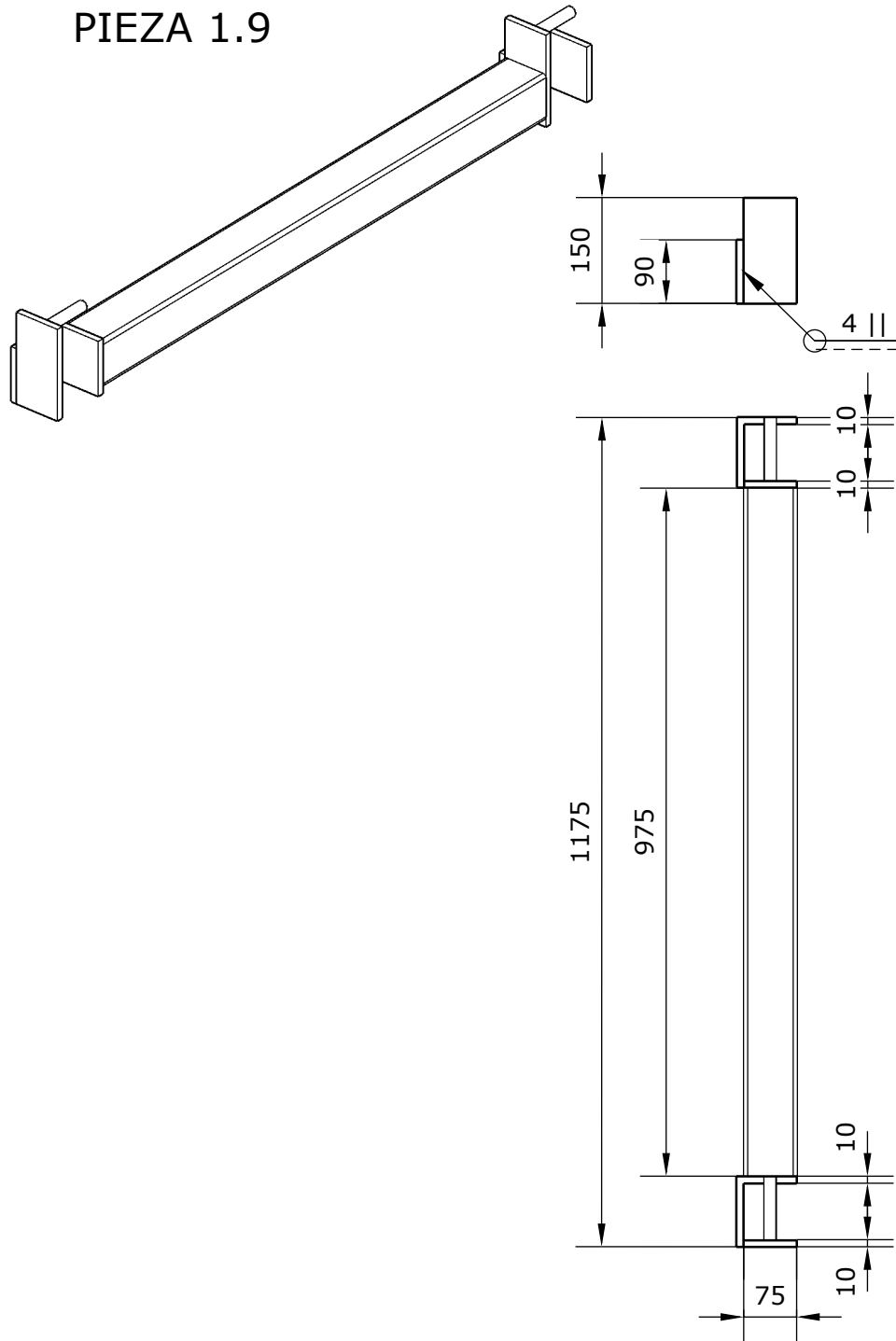


PIEZA 1.16



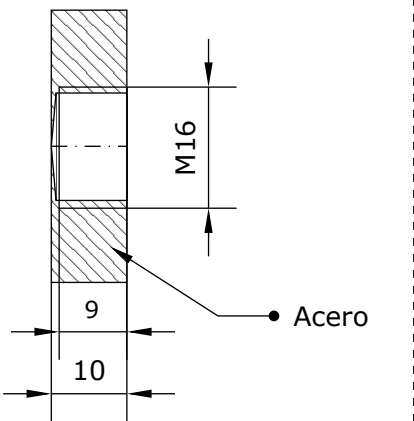
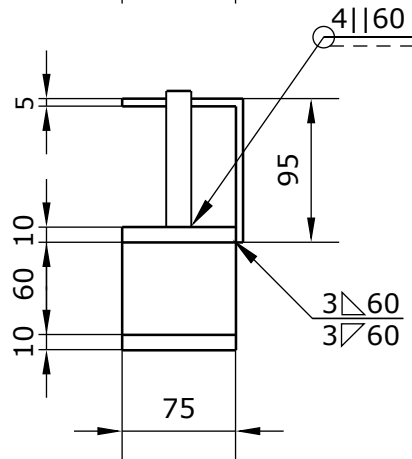
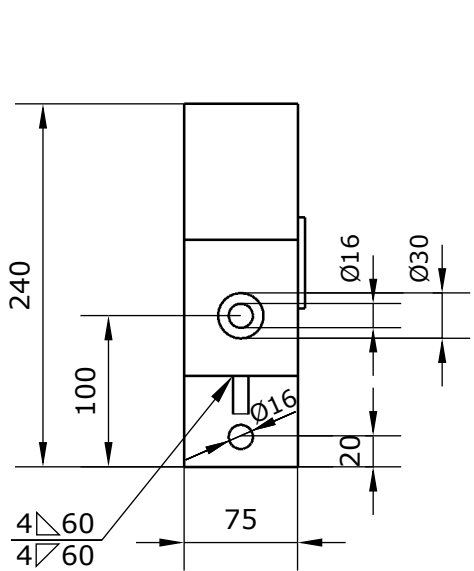
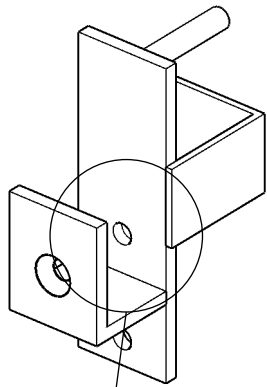
 <p>ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES</p>	 <p>Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos</p>	ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAULA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: LAMINAS DE FIJACIÓN Y TAPA		ESCALA: 1:5	Nº PLANO: 6

PIEZA 1.9



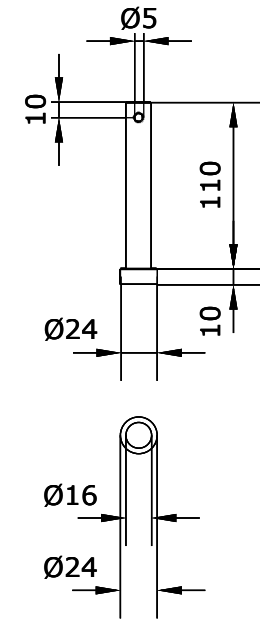
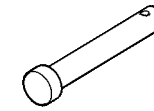
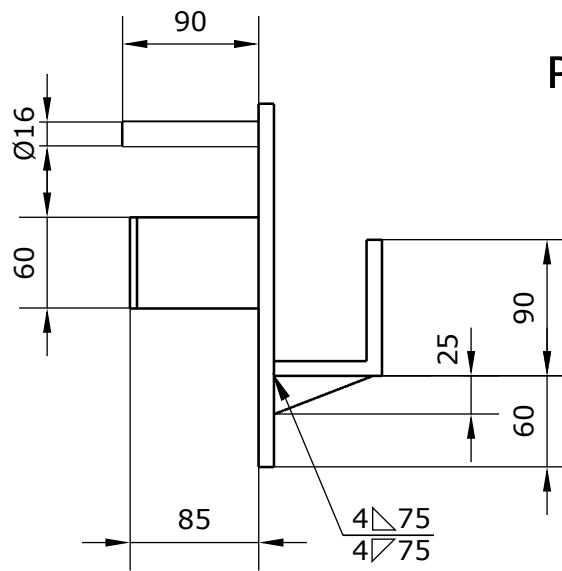
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: SOPORTES SEGURIDAD		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	7

PIEZA 1.12

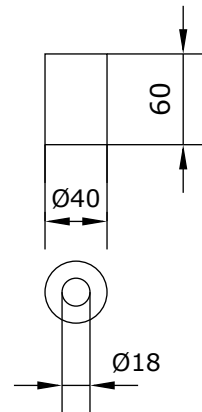
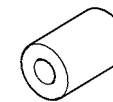


DETALLE TALADRO ROSCADO
ESCALA 1:1

PIEZA 1.10

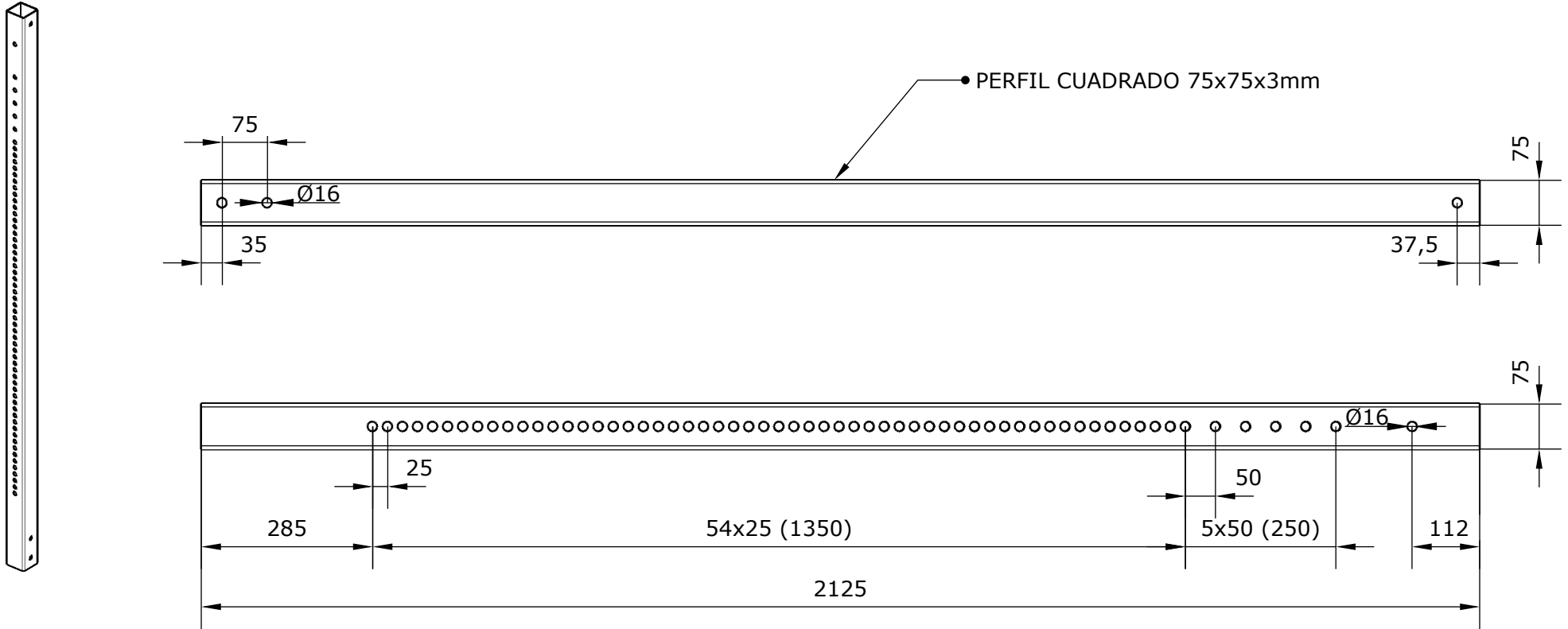


PIEZA 1.12



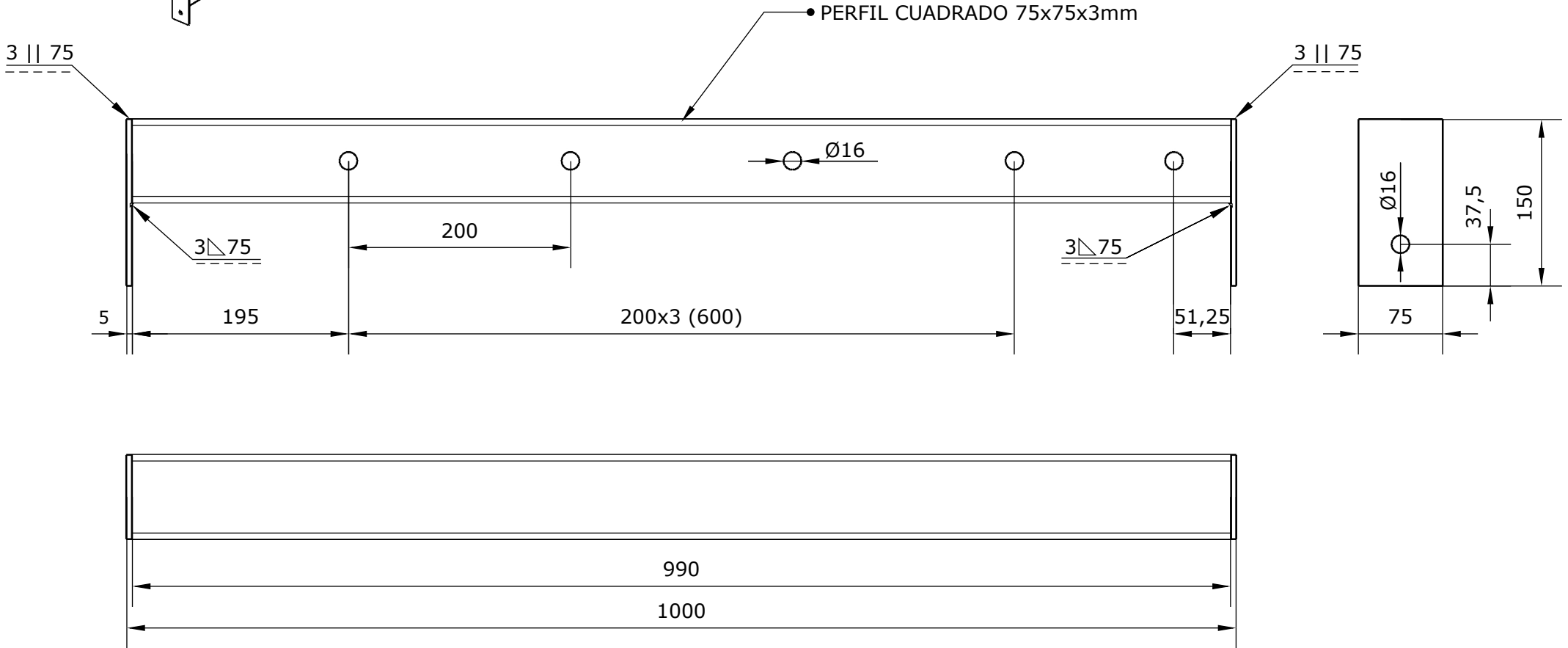
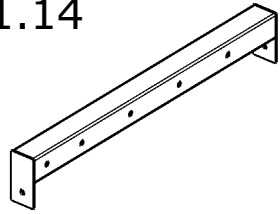
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: ROLLER J-CUP		ESCALA:	1:5
		Nº PLANO:	8


PIEZA 1.13



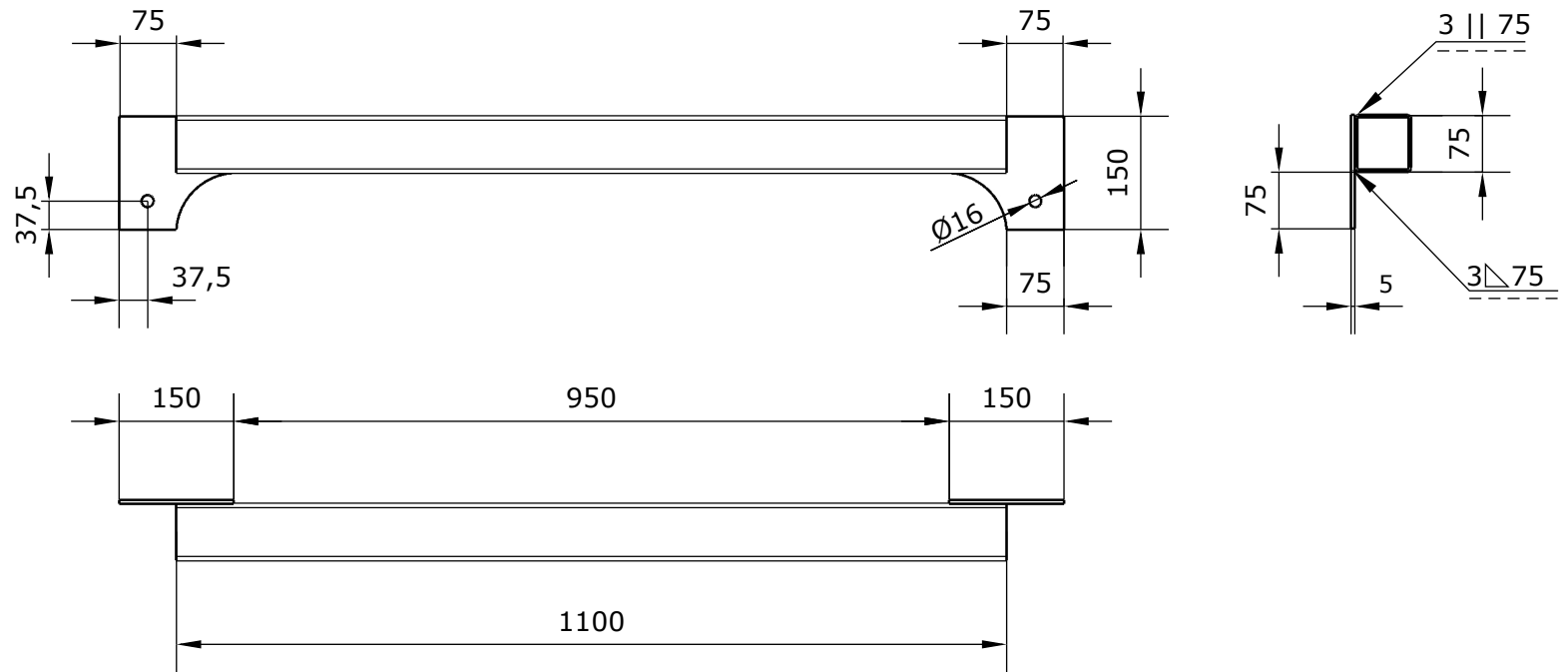
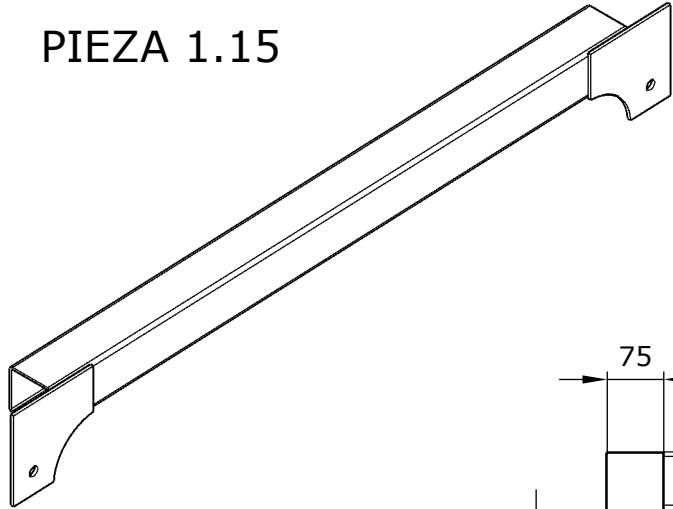
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PERFIL VERTICAL		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	9




PIEZA 1.14



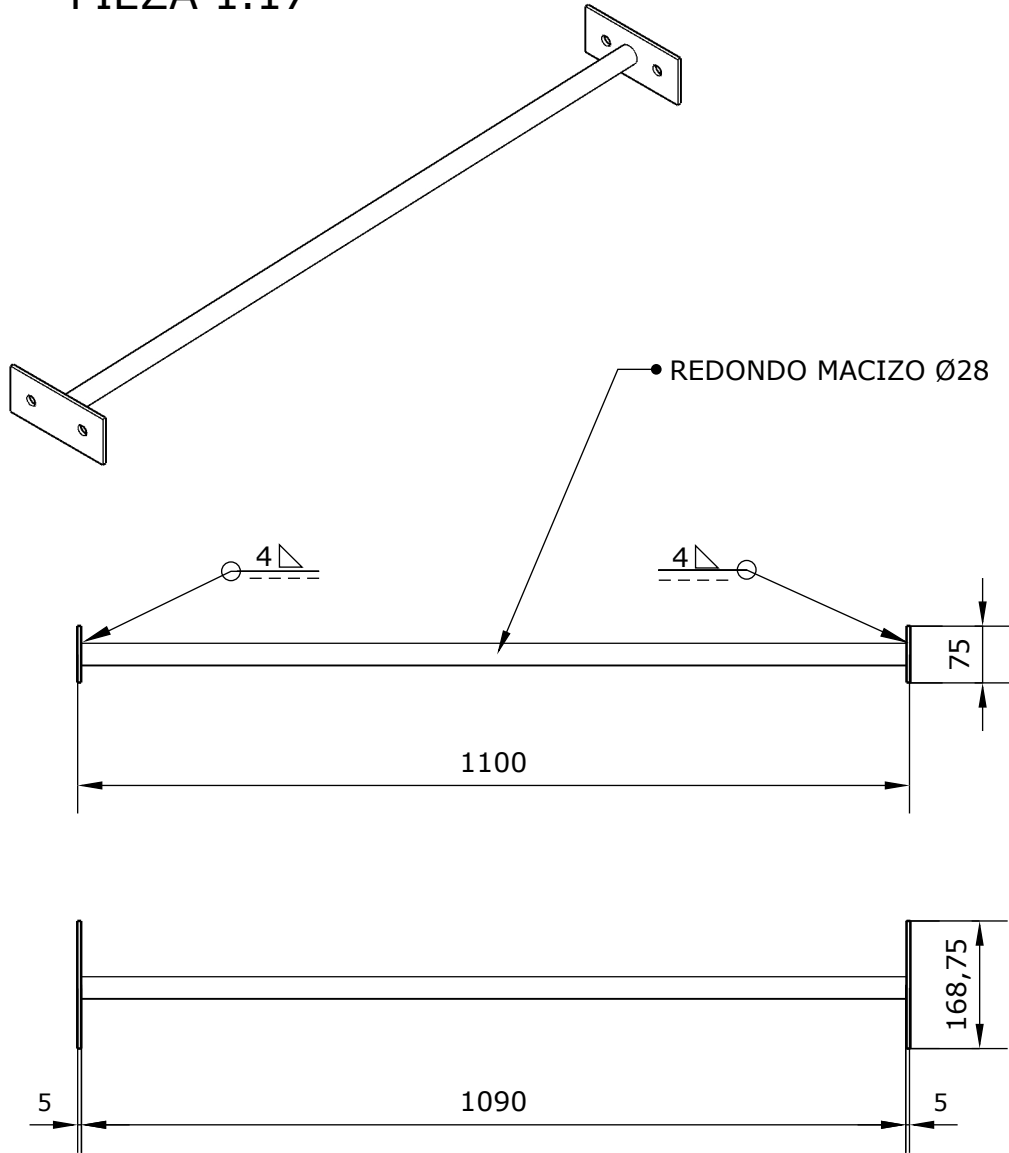
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PERFIL HORIZONTAL 1		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	10

PIEZA 1.15



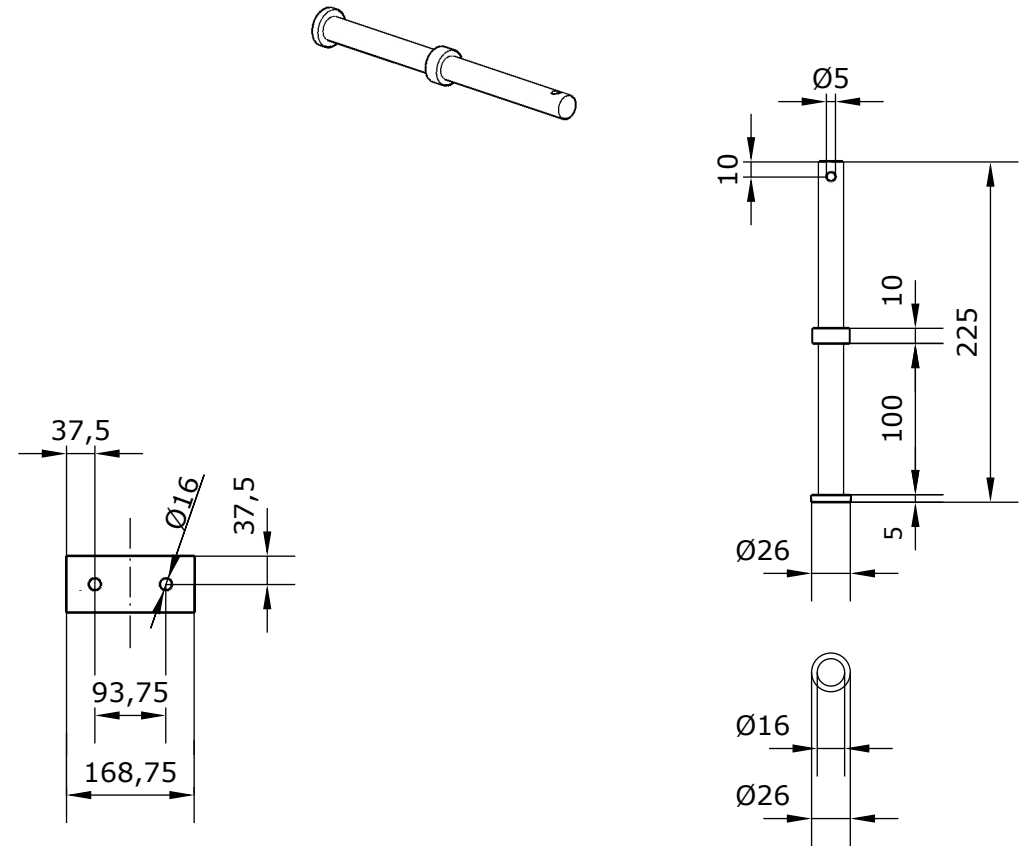
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PERFIL HORIZONTAL 2		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	11

PIEZA 1.17



ESCALA 1:10

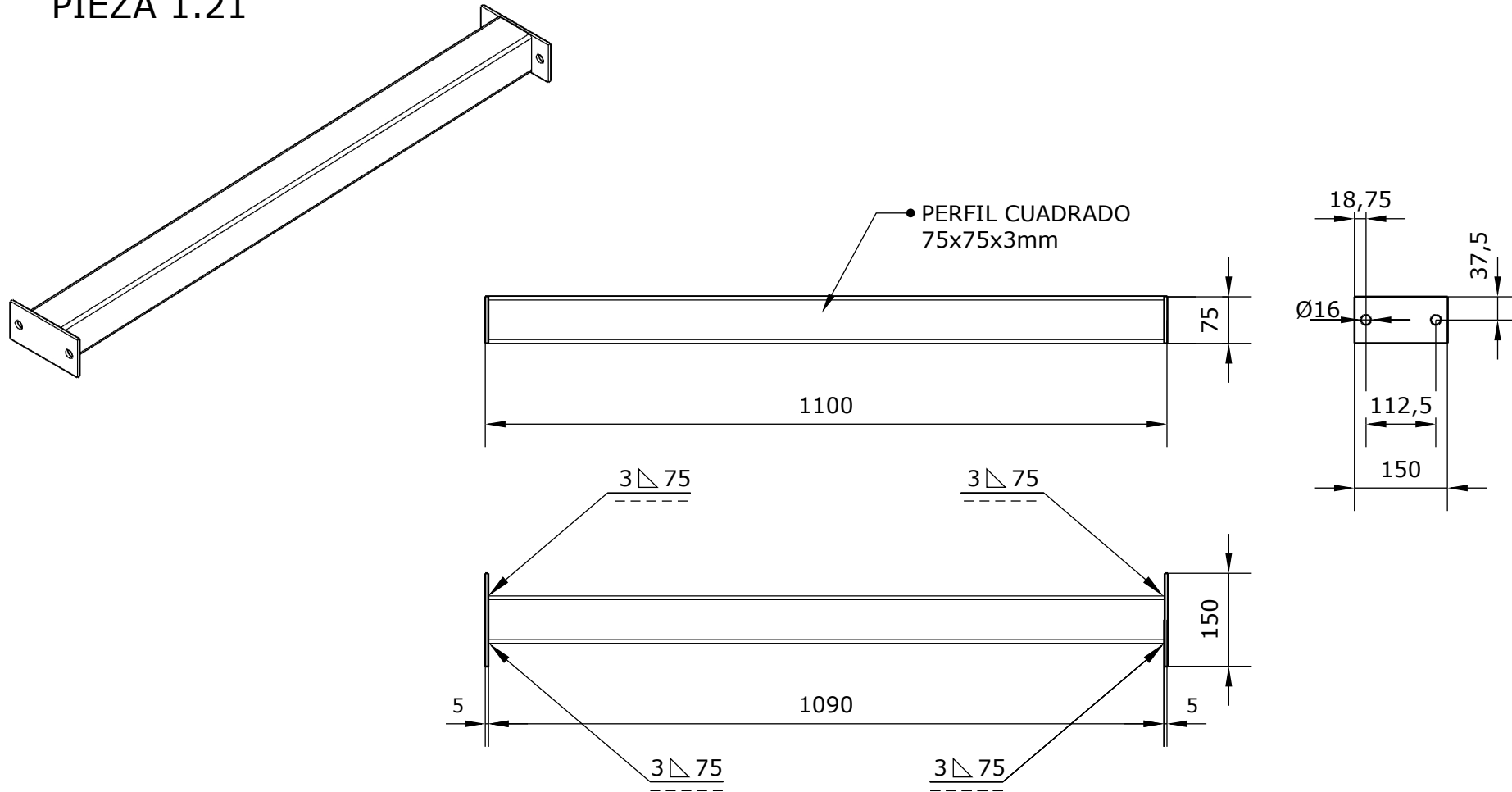
PIEZA 1.20






ESCALA 1:5

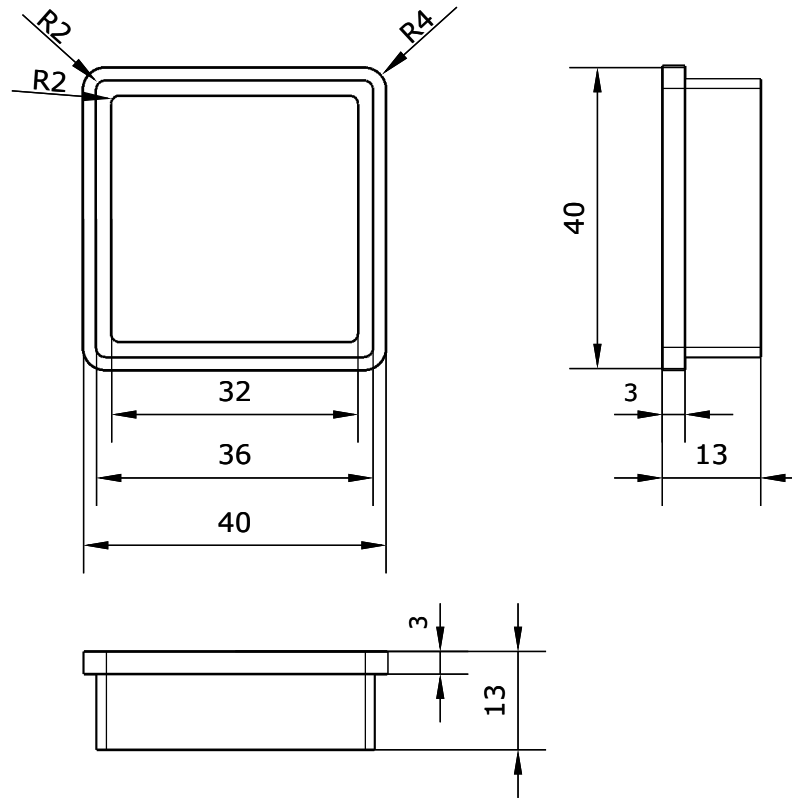
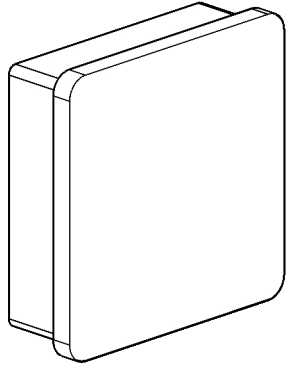
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: BARRA DOMINADAS		ESCALA: INDICADAS	
		Nº PLANO: 12	

PIEZA 1.21

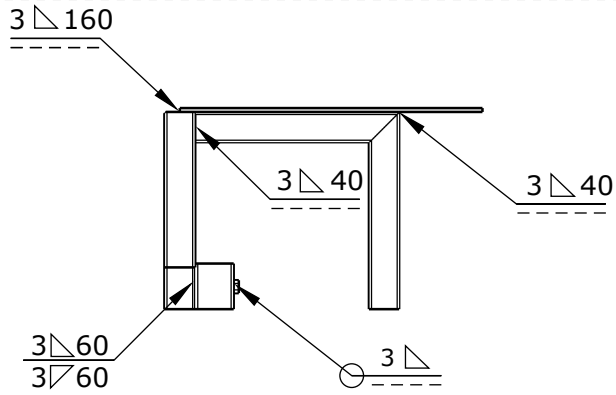


		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PERFIL BASE 2		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	13

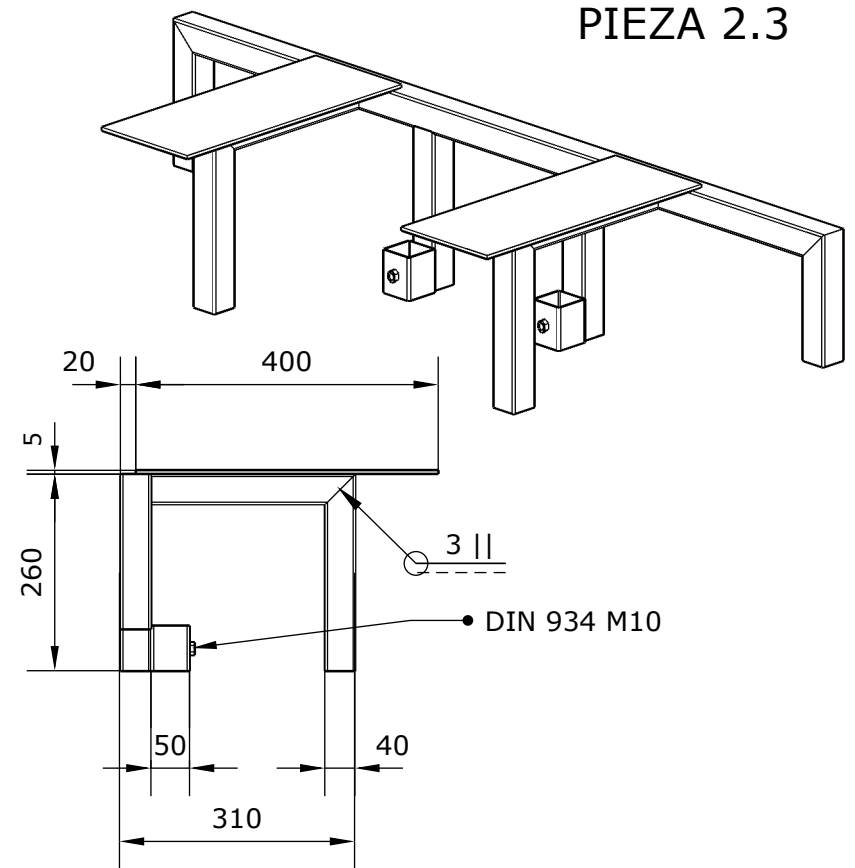
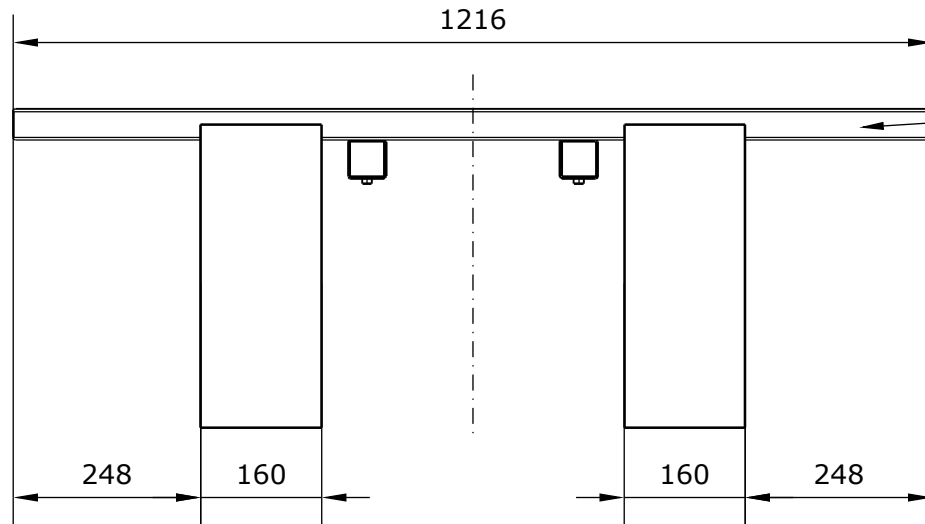
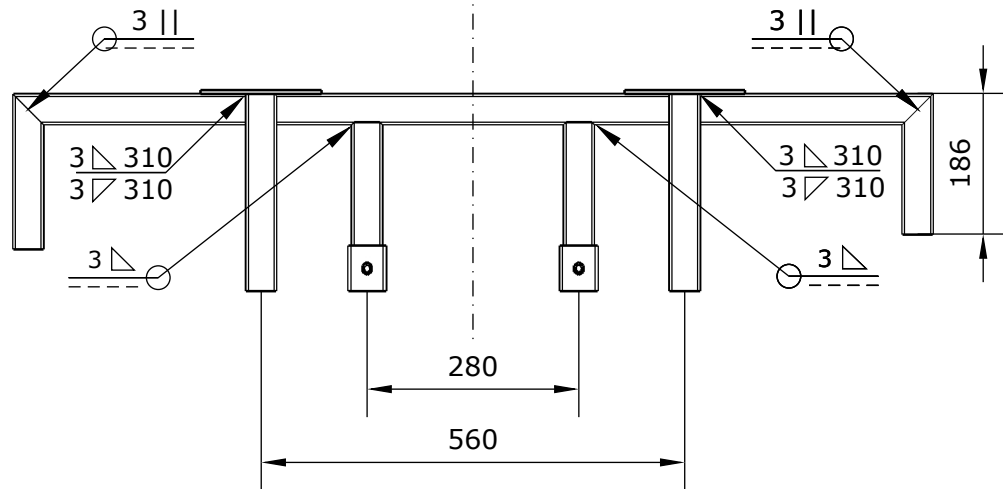
PIEZA 2.2



		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: TAPAS DE SEGURIDAD BANCO		ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 14



DETALLE SOLDADURAS
ESCALA 1:10

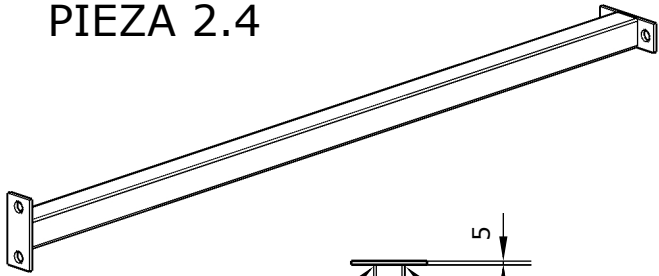


PIEZA 2.3

• PERFIL 40x40x2mm

		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: ANCLAJE BANCO		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	15

PIEZA 2.4

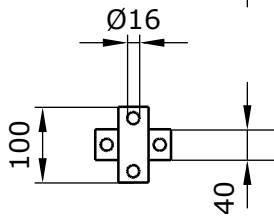


3 ∇ 40

3 ∇ 40

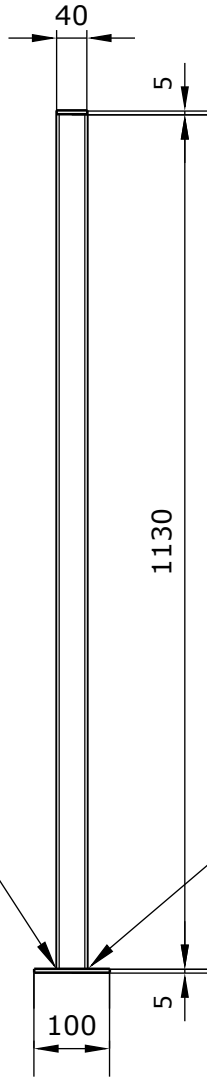
PERFIL CUADRADO
40x40x2mm

1130



ESCALA 1:10

PIEZA 2.5

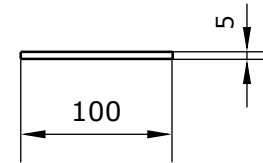
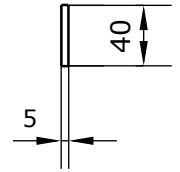
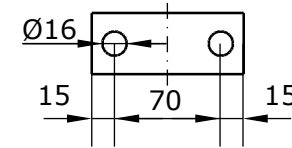


3 ∇ 40

3 ∇ 40

1130

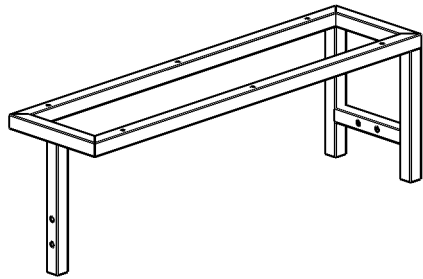
100



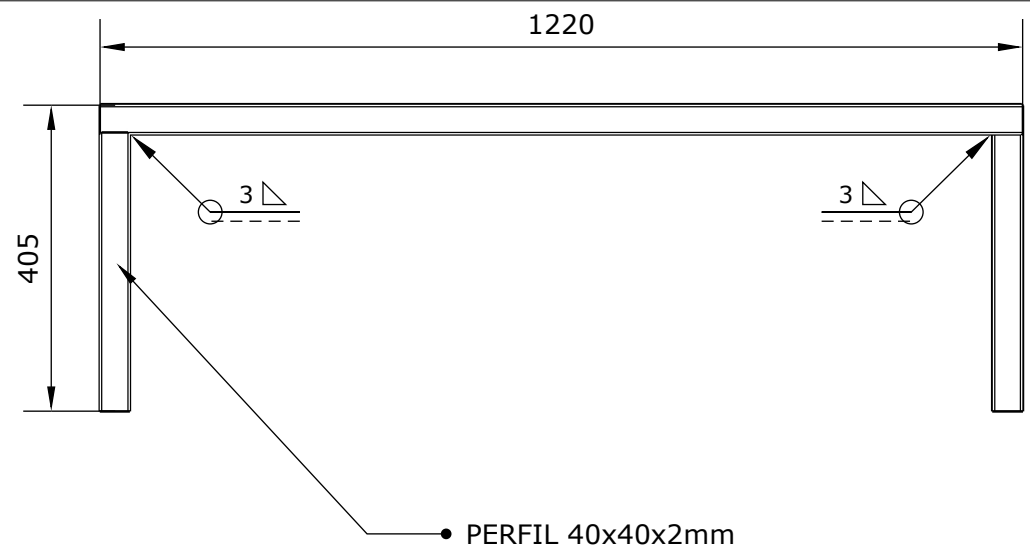
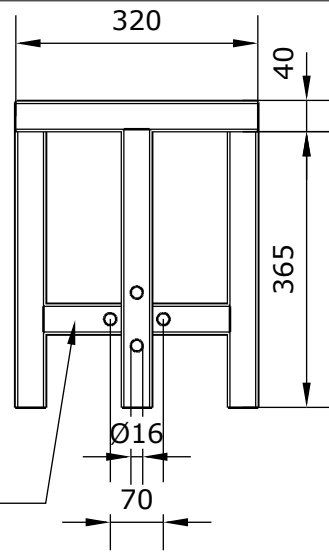
ESCALA 1:5

 <p>ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES</p>	 <p>Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos</p>	ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAULA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: REFUERZO BANCO		ESCALA: INDICADAS	
		Nº PLANO: 16	

PIEZA 2.6

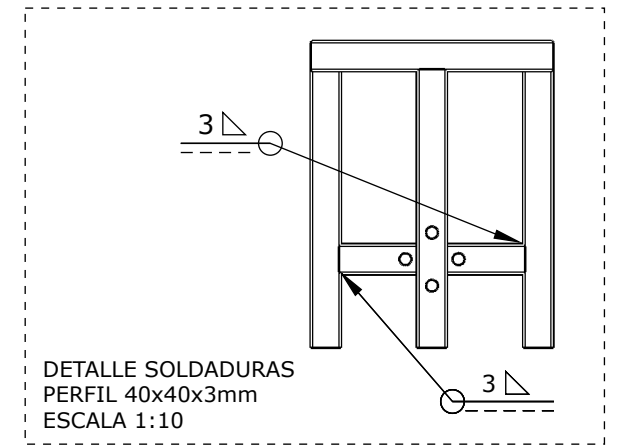
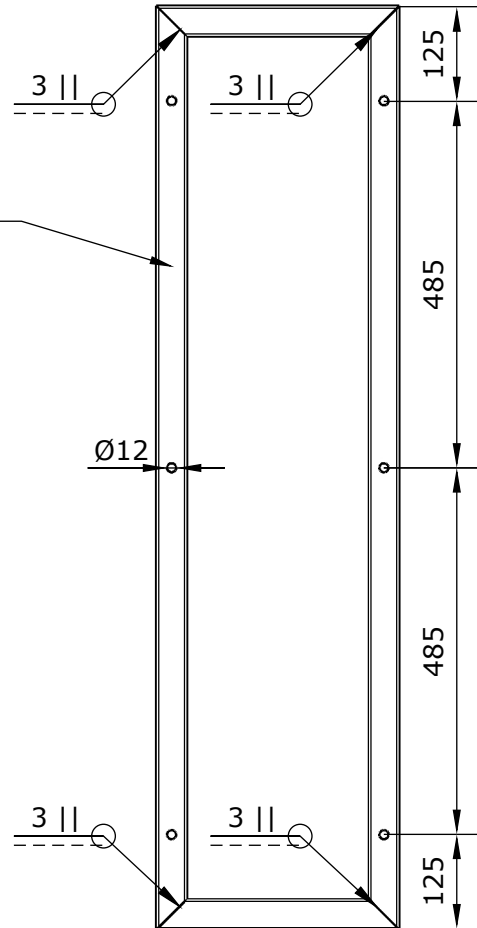


PERFIL 40x40x2mm



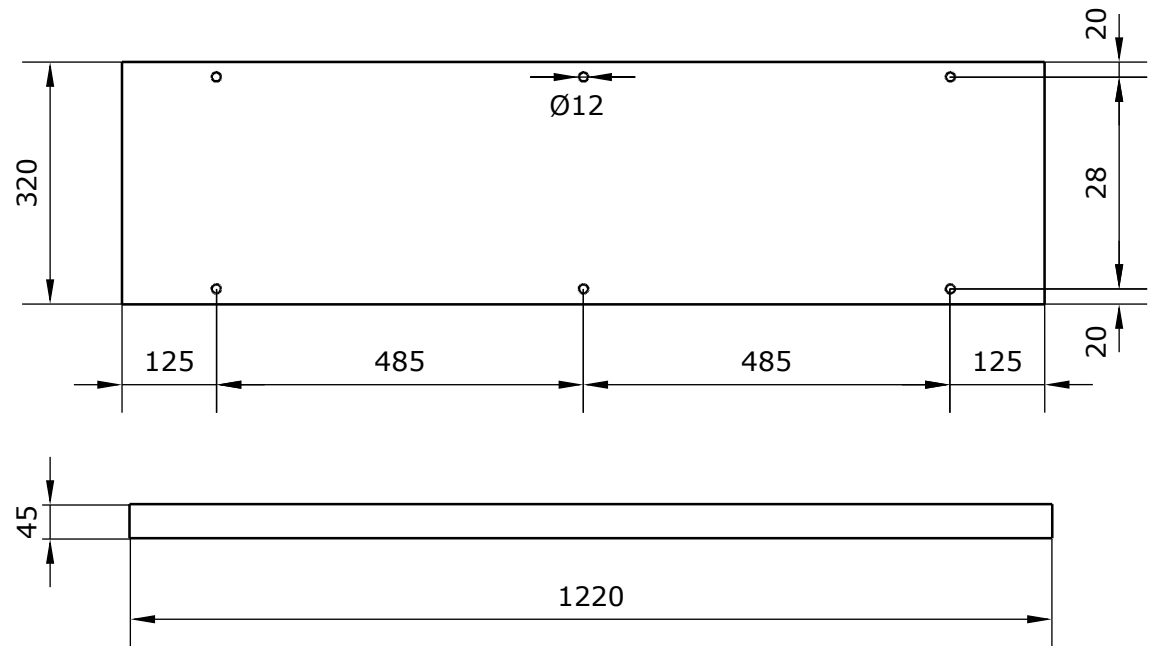
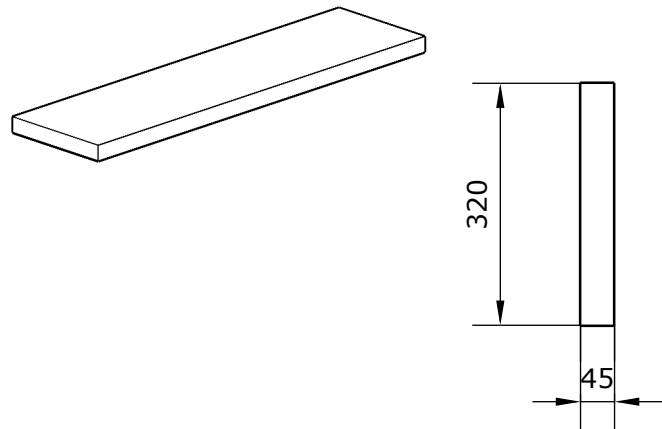
PERFIL 40x40x2mm

PERFIL 40x40x2mm

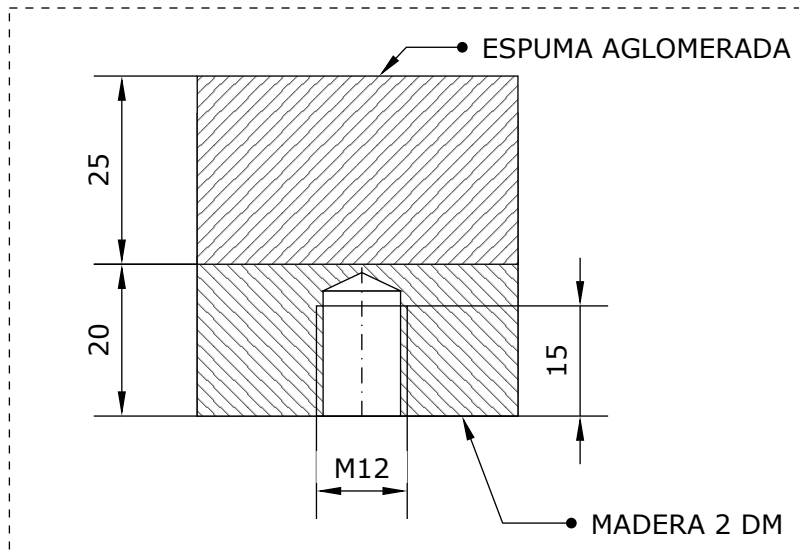


		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: BANCO		ESCALA:	1:10
		Nº PLANO:	17

PIEZA 2.7



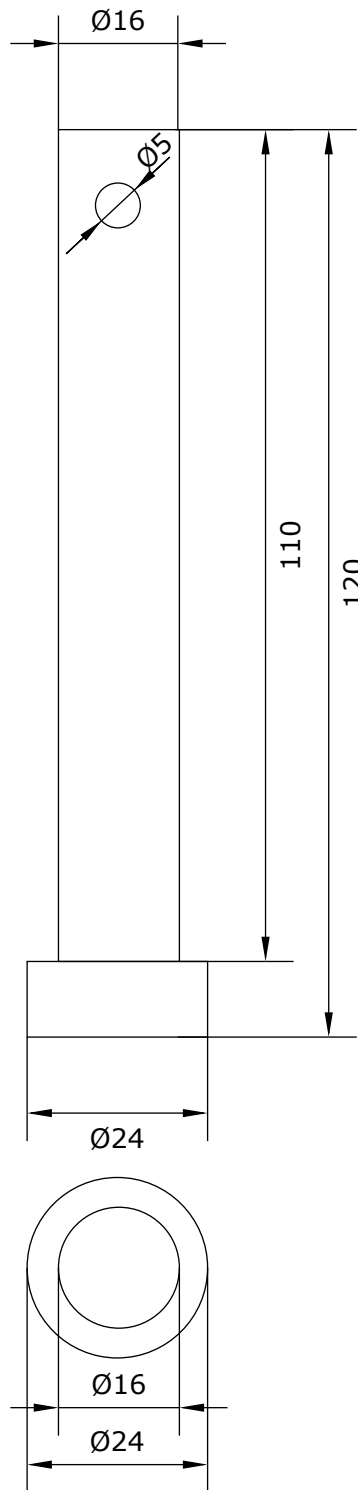
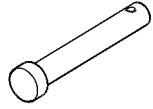
ESCALA 1:10



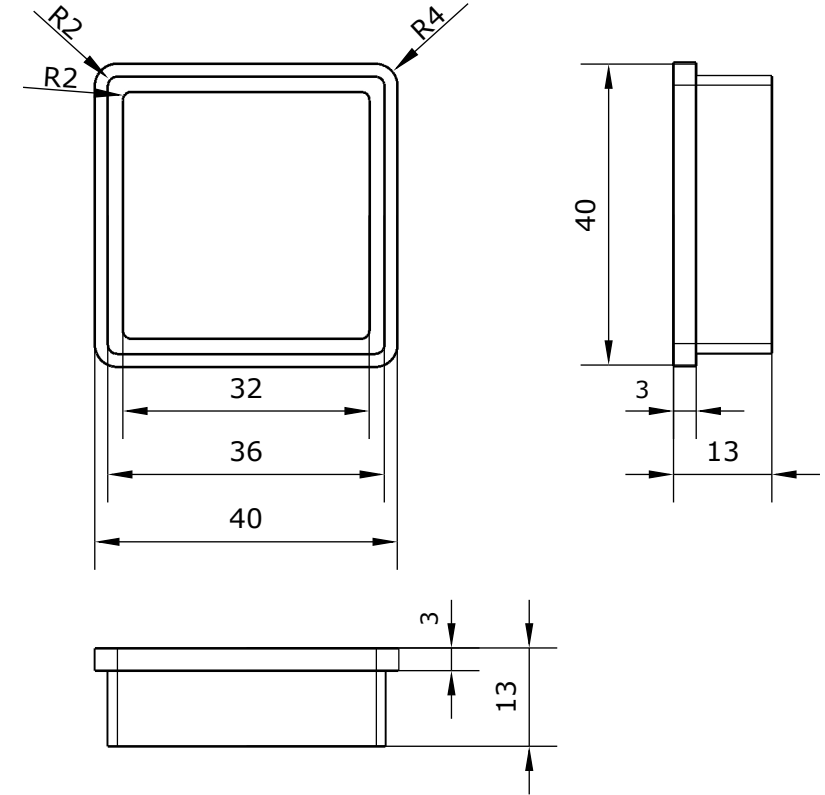
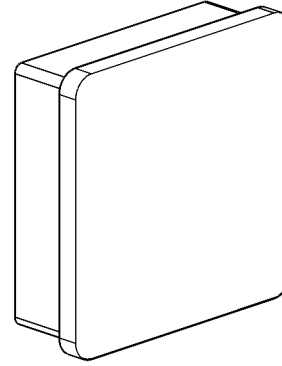
DETALLE TALADRO ROSCADO
ESCALA 1:1




		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: FOAM BANCO		ESCALA: INDICADAS	
		Nº PLANO: 18	

PIEZA 3.3



PIEZA 3.1



		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA
		AUTOR: JULIÁN AGUILAR PIZARRO	
FIRMA: 	TÍTULO: JAUJA DE LEVANTAMIENTO DE POTENCIA		
ESPECIFICACIÓN: PIN Y TAPAS		ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 19



4. Pliego de condiciones

Índice Pliego de condiciones

4.1	Pliego de condiciones generales, obligaciones legales y económico-administrativas	158
4.1.1	Generalidades	158
4.1.1.1	Objeto del Pliego.....	158
4.1.1.2	Documentos del proyecto base para la contratación	158
4.1.1.3	Alcance o limitaciones de los trabajos	158
4.1.1.4	Criterios para las modificaciones al proyecto.....	158
4.1.2	Obligaciones y responsabilidades de las partes.....	159
4.1.2.1	Del proyectista / coordinador de diseño y fabricación.....	159
4.1.2.2	Del fabricante.....	159
4.1.2.3	De las empresas suministradoras o de acopio	159
4.1.2.4	Del Propietario	160
4.1.3	Criterios administrativos	160
4.1.3.1	Generalidades.....	160
4.1.3.2	Criterios de medición	160
4.2	Pliego de condiciones técnicas particulares	161
4.2.1	Descripción del producto	161
4.2.2	Pruebas y ensayos Material y uniones	161
4.2.3	Cláusula de Inalterabilidad de Materiales y Elementos de Unión .	161
4.2.4	Plan de mantenimiento.....	162

4.1 Pliego de condiciones generales, obligaciones legales y económico-administrativas

4.1.1 Generalidades

4.1.1.1 Objeto del Pliego

El presente pliego regula las condiciones jurídicas, técnicas, económicas y administrativas que gobiernan la contratación, ejecución y recepción de los trabajos relativos al Diseño y Análisis Estructural de una Jaula de Levantamiento de Potencia. Su finalidad es salvaguardar la seguridad estructural, la calidad del producto y la correcta gestión de los recursos, estableciendo derechos y obligaciones de las partes intervinientes a lo largo de todas las fases del proyecto.

4.1.1.2 Documentos del proyecto base para la contratación

- Memoria técnica justificativa.
- Planos de conjunto y despiece.
- Pliego de Condiciones Técnicas Particulares (cap. 4.2).
- Mediciones.
- Presupuesto

En caso de discrepancia prevalecerá el documento más exigente en materia de seguridad y calidad.

4.1.1.3 Alcance o limitaciones de los trabajos

Las actividades incluidas abarcan diseño detallado, obtención de materiales, fabricación de componentes, montaje, ensayos y documentación final. Quedan excluidas: cimentaciones, instalaciones eléctricas generales del recinto y elementos móviles ajenos a la jaula.

4.1.1.4 Criterios para las modificaciones al proyecto

1. Justificarse técnicamente mediante memoria suscrita por el proyectista.
2. Obtener aprobación escrita de la Dirección de Proyecto y del Propietario.
3. Mantener o mejorar los niveles de seguridad, funcionalidad y coste previstos.

Las modificaciones que afecten a la geometría principal o a la resistencia estructural requerirán recálculo completo y, en su caso, nuevo trámite de visado colegial.

4.1.2 Obligaciones y responsabilidades de las partes

4.1.2.1 Del proyectista / coordinador de diseño y fabricación

- Garantizar la validez de los cálculos y la conformidad normativa.
- Facilitar al fabricante planos y especificaciones claras y completas.
- Asesorar técnicamente durante la fabricación y resolver consultas en un plazo máximo de 48 h.
- Visar las modificaciones necesarias y emitir la correspondiente orden de cambio.

4.1.2.2 Del fabricante

- Disponer de certificación EN 1090-2 CE, Clase de Ejecución ≥ 2 .
- Aplicar procedimientos de soldadura cualificados y personal homologado.
- Mantener registros de trazabilidad de materiales, consumibles y controles de calidad.
- Respetar el programa de entregas y notificar desviaciones con antelación mínima de tres días.
- Adoptar medidas de seguridad y salud laboral conforme RD 1215/1997 y Ley 31/1995.

4.1.2.3 De las empresas suministradoras o de acopio

- Suministrar productos conforme a las especificaciones de compra y con certificados 3.1.
- Entregar documentación de transporte, fichas de seguridad y marcado CE.
- Coordinar horarios de descarga para evitar interferencias con otras actividades.

- Almacenar los materiales bajo cubierta y sobre superficie nivelada y seca.

4.1.2.4 Del Propietario

- Facilitar acceso a las instalaciones.
- Revisar y aprobar hitos de avance.
- Efectuar los pagos conforme a las certificaciones parciales.
- Asumir la titularidad de la jaula una vez superadas las pruebas de recepción.

4.1.3 Criterios administrativos

4.1.3.1 Generalidades

Los precios unitarios incluyen mano de obra, materiales, equipos, ensayos, embalaje, seguros, tributos y beneficio industrial.

4.1.3.2 Criterios de medición

- Perfiles estructurales y pletinas laminadas de acero: por kilogramo real según peso teórico + 5 % de mermas.
- Soldaduras: por metro lineal de cordón efectivo.
- Pintura: por metro cuadrado de superficie recubierta tras descontar huecos $> 0,1 \text{ m}^2$.

4.2 Pliego de condiciones técnicas particulares

4.2.1 Descripción del producto

La jaula de levantamiento de potencia es una estructura autoportante, modulable, destinada a soportar cargas estáticas y dinámicas derivadas de ejercicios como sentadilla, press de banca, press militar, dominadas, etc.

4.2.2 Pruebas y ensayos Material y uniones

- Carga estática: $1,25 \cdot P_{max}$ (6 125 N), tiempo de sostén 5 min.
- Prueba de vuelco: Momento externo 2 kN·m sin anclaje.

4.2.3 Cláusula de Inalterabilidad de Materiales y Elementos de Unión

Con el fin de garantizar la seguridad estructural y la correcta ejecución del proyecto, se establece que los materiales y la tornillería especificados en los planos, mediciones y documentación técnica son de carácter irremplazable. Esta condición se debe a que todos los cálculos estructurales y de resistencia han sido realizados de forma específica para dichos elementos, considerando sus propiedades mecánicas y geométricas según normativa vigente.

Cualquier posible sustitución o modificación de los materiales, perfiles estructurales, tornillería (como el empleo de tornillos DIN 931 clase 8.8 M16x100, tuercas de freno DIN 985 8 M16, tornillos DIN 7991 10.9 M16x60, etc.), uniones soldadas, o cualquier otro componente especificado, queda terminantemente prohibida salvo justificación técnica expresa y aprobación por parte de la dirección facultativa. En caso de que se apruebe una sustitución, deberá aportarse una revisión completa del cálculo estructural que garantice el mantenimiento de los niveles de seguridad exigidos por el proyecto y por la normativa aplicable (UNE-EN 1993-1-1, UNE-EN 1993-1-8, etc.).

El incumplimiento de esta cláusula podrá dar lugar a la paralización de la ejecución de la obra o fabricación, así como a la exigencia de responsabilidades por parte de la propiedad o los organismos de control técnico competentes.



4.2.4 Plan de mantenimiento

- El usuario deberá limpiar y retirar el magnesio tras la utilización de jaula de potencia, periodicidad diaria.
- El propietario deberá realizar una inspección visual de cordones y apriete de tornillería de manera trimestral.
- De forma anual, el servicio técnico deberá realizar un ensayo no destructivo de soldaduras críticas.
- A los 5 años de uso, será recomendable una sustitución preventiva de la tornillería.

En Málaga, a 22 de junio de 2025

Fdo.: Julián Aguilar Pizarro



5. Mediciones



Índice Mediciones

5.1	Estructura base	165
5.2	Elementos banco y fijación	166
5.3	Elementos de unión	167
5.4	Accesorio Fondera.....	167
5.5	Soldadura	168
5.6	Pintura y acabado.....	168
5.7	Embalaje.....	169

5.1 Estructura base

Para las mediciones de la estructura base será necesario obtener el peso total de acero S 275 de cada elemento, para tener en cuenta la medición final según el peso:

Descripción	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Perfil Cuadrado Acero S275 J0H 75mm x 75mm x 3mm	18,50	0,005476	42,99
Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	1,10	0,000884672	6,94
Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	1,66	0,0003338	2,62

Descripción	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	0,45	0,002225	17,47
Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	0,24	0,00238	18,68

Una vez calculado el peso total de cada elemento, se refleja en la siguiente tabla de medición:

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
01.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 75mm x 75mm x 3mm	42,99
01.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	6,94
01.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	17,47
01.04	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	18,68
01.05	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	2,62
01.06	Ud	Rodillo nylon Ø40 mm	2,00

5.2 Elementos banco y fijación

Al igual que en la estructura base, para las mediciones del banco será necesario obtener el peso total de acero S 275 de cada elemento, para tener en cuenta la medición final según el peso:

Descripción	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 40mm x 40mm x 2mm	9,00	0,001404	11,02
Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 50mm x 50mm x 2mm	0,3	0,0001152	0,91

Descripción	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	0,064	0,00032	2,51

Una vez calculado el peso total de cada elemento, se refleja en la siguiente tabla de medición:

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
02.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 40mm x 40mm x 2mm	11,02
02.02	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	2,51
02.03	Ud	Madera DM 1220x320x20mm	1,00
02.04	Ud	Espuma aglomerada 1220x320x25mm	1,00
02.05	Ud	Tapizado antideslizante 1000x1400mm	1,00
02.06	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 50mm x 50mm x 2mm	0,91

5.3 Elementos de unión

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
03.01	Ud	DIN 985 8 M16	28,00
03.02	Ud	DIN 125-A M16	64,00
03.03	Ud	DIN 11023 Ø4.5mm	7,00
03.04	Ud	DIN 931 8.8 M16x100	28,00
03.05	Ud	DIN 464 5.8 M10x20	4,00
03.06	Ud	DIN 125-A M12	6,00
03.07	Ud	DIN 931 8.8 M12x60	6,00
03.08	Ud	DIN 931 8.8 M16x60	4,00
03.09	Ud	DIN 7991 10.9 M16x80	2,00

5.4 Accesorio Fondera

Para las mediciones de la fondera será necesario obtener el peso total de acero S 275 de cada elemento, para tener en cuenta la medición final según el peso:

Descripción	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Perfil Cuadrado Acero S275 JOH 40mm x 40mm x 2mm	0,60	0,000182	1,43
Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	0,80	0,0004926	3,87
Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	0,12	0,00002413	0,19

Descripción	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	0,0245	0,000245	1,93

Una vez calculado el peso total de cada elemento, se refleja en la siguiente tabla de medición:

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
04.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S275 J0H 40mm x 40mm x 2mm	1,43
04.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	3,87
04.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	1,93
04.04	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	0,19

5.5 Soldadura

Se ha realizado una estimación total de 12 metros lineales de cordón de soldadura. El consumo aproximado de hilo de soldadura es de 3.00 kg, estimando un consumo de hilo de es de 0.25 kg/m para cordones de 3-4mm. Considerando también un 30% adicional para pasadas múltiples (zonas reforzadas) y un 10% adicional por desperdicio y pruebas, se obtiene un consumo de soldadura de 4.20 kg.

En cuanto al gas de protección, se ha realizado una estimación de un caudal medio de 12-15 L/min y un tiempo de arco estimado para 1 metro de soldadura de 1.5-2 min, lo que daría un total de consumo de gas de 360 L. Añadiendo un 15% de pérdida, se obtiene un consumo de gas de 414 L.

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
05.01	kg	Hilo sólido de acero al carbono ER70S-6	4,20
05.02	L	Gas de protección (Ar + 18% CO ₂)	414,00

5.6 Pintura y acabado

En cuanto a la pintura y acabado, el área a pintar de la estructura sería de aproximadamente 10m². Serán necesarias dos fases: imprimación (1 capa) y acabado (2 capas).

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
06.01	L	Epoxi anticorrosiva	2,00
06.02	L	Epoxi-poliéster	4,50

5.7 Embalaje

Código	Tipo	Descripción	Cantidad
07.01	Ud	Palé 2400 × 1000 mm	1,00
07.02	Ud	Film retráctil rollo estándar (50 m)	1,00
07.03	Ud	Cantoneras protectoras (2 m)	10,00
07.04	Ud	Cinchas de amarre	4,00
07.05	Ud	Caja para tornillería 300 × 200 × 150 mm	1,00
07.06	Ud	Bolsa VCI: 300 × 400 mm	1,00

En Málaga, a 22 de junio de 2025

Fdo.: Julián Aguilar Pizarro



6. Presupuesto

Índice Presupuesto

6.1	Cuadro de precios unitarios	172
6.1.1	Estructura base	172
6.1.2	Banco y fijación	172
6.1.3	Elementos de unión	173
6.1.4	Accesorio Fondera	173
6.1.5	Soldadura	173
6.1.6	Pintura y acabado.....	174
6.1.7	Embalaje	174
6.2	Cuadro de precios descompuesto	174
6.2.1	Estructura base	174
6.2.2	Banco y fijación	175
6.2.3	Elementos de unión	177
6.2.4	Accesorio Fondera	177
6.2.5	Soldadura	179
6.2.6	Pintura y acabado.....	179
6.2.7	Embalaje	180
6.3	Presupuesto	181
6.3.1	Presupuesto de ejecución material.....	181
6.3.2	Presupuesto final.....	¡Error! Marcador no definido.2

6.1 Cuadro de precios unitarios

6.1.1 Estructura base

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
01.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 75mm x 75mm x 3mm	2,62
01.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	2,56
01.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	2,42
01.04	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	2,42
01.05	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	2,42
01.06	Ud	Rodillo nylon Ø40 mm	3,99

6.1.2 Banco y fijación

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
02.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 40mm x 40mm x 2mm	2,62
02.02	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	2,42
02.03	Ud	Madera DM 1220x320x20mm	10,74
02.04	Ud	Espuma aglomerada 1220x320x25mm	6,00
02.05	Ud	Tapizado antideslizante 1400x1000mm	17,99
02.06	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 50mm x 50mm x 2mm	2,62

6.1.3 Elementos de unión

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
03.01	Ud	DIN 985 8 M16	0,35
03.02	Ud	DIN 125-A M16	0,10
03.03	Ud	DIN 11023 Ø4.5mm	0,38
03.04	Ud	DIN 931 8.8 M16x100	1,58
03.05	Ud	DIN 464 5.8 M10x20	3,89
03.06	Ud	DIN 125-A M12	0,05
03.07	Ud	DIN 931 8.8 M12x60	0,57
03.08	Ud	DIN 931 8.8 M16x60	1,06
03.09	Ud	DIN 7991 10.9 M16x80	1,30

6.1.4 Accesorio Fondera

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
04.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S275 J0H 40mm x 40mm x 2mm	2,62
04.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	2,56
04.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	2,42
04.04	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	2,42

6.1.5 Soldadura

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
05.01	kg	Hilo sólido de acero al carbono ER70S-6	2,00
05.02	L	Gas de protección (Ar + 18% CO ₂)	0,047

6.1.6 Pintura y acabado

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
06.01	L	Epoxi anticorrosiva	12,49
06.02	L	Epoxi-poliéster	12,65

6.1.7 Embalaje

Código	Tipo	Descripción	Precio unitario (€)
07.01	Ud	Palé madera 2400 × 1000 mm	49,99
07.02	Ud	Film retráctil rollo estándar (50 m)	12,50
07.03	Ud	Cantoneras protectoras (2 m)	18,99
07.04	Ud	Cinchas de amarre	5,59
07.05	Ud	Caja para tornillería 300 × 200 × 150 mm	10,85
07.06	Ud	Bolsa VCI: 300 × 400 mm	1,44

6.2 Cuadro de precios descompuesto

6.2.1 Estructura base

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
01.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 J0H 75mm x 75mm x 3mm	42,99	2,62	112,64
01.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	6,94	2,56	17,77
01.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	17,47	2,42	42,28

01.04	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	18,68	2,42	45,21
01.05	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	2,62	2,42	6,34
01.06	Ud	Rodillo nylon Ø40 mm	2,00	3,99	7,98
Subtotal materiales					232,22
Equipo y maquinaria					
01.07	h	Sierra de cinta semiautomática	0,50	2,32	1,16
01.08	h	Taladro de columna	1,50	2,64	3,96
01.09	h	Lijadora mecánica	0,50	2,32	1,16
Subtotal equipo y maquinaria					6,28
Mano de obra					
01.10	h	Operario	2,5	23,01	57,53
Subtotal mano de obra					57,53
Costes indirectos					
01.11	%	Costes indirectos	0,03	296,03	8,89
Subtotal costes indirectos					8,89
Total presupuesto parcial nº1					304,92

6.2.2 Banco y fijación

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
02.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 JOH	11,02	2,62	28,88

		40mm x 40mm x 2mm			
02.02	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 5mm espesor	2,51	2,42	6,08
02.03	Ud	Madera DM 1220x320x20mm	1,00	10,74	10,74
02.04	Ud	Espuma aglomerada 1220x320x25mm	1,00	6,00	6,00
02.05	Ud	Tapizado antideslizante 1400x1000mm	1,00	17,99	17,99
02.06	kg	Perfil Cuadrado Acero S 275 JOH 50mm x 50mm x 2mm	0,91	2,62	2,39
Subtotal materiales					72,08
Equipo y maquinaria					
02.07	h	Sierra de cinta semiautomática	0,33	2,32	0,77
02.08	h	Taladro de columna	0,33	2,64	0,88
02.09	h	Lijadora mecánica	0,33	2,32	0,77
Subtotal equipo y maquinaria					2,42
Mano de obra					
02.10	h	Operario	1,5	23,01	34,52
Subtotal mano de obra					34,52
Costes indirectos					
02.11	%	Costes indirectos	0,03	109,02	3,27
Subtotal costes indirectos					3,27
Total presupuesto parcial nº2					112,29

6.2.3 Elementos de unión

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
03.01	Ud	DIN 985 8 M16	28,00	0,35	9,80
03.02	Ud	DIN 125-A M16	64,00	0,10	6,40
03.03	Ud	DIN 11023 Ø4.5mm	7,00	0,38	2,66
03.04	Ud	DIN 931 8.8 M16x100	28,00	1,58	44,24
03.05	Ud	DIN 464 5.8 M10x20	4,00	3,89	15,56
03.06	Ud	DIN 125-A M12	6,00	0,05	0,30
03.07	Ud	DIN 931 8.8 M12x60	6,00	0,57	3,42
03.08	Ud	DIN 931 8.8 M16x60	4,00	1,06	4,24
03.09	Ud	DIN 7991 10.9 M16x80	2,00	1,30	2,60
Subtotal materiales					89,22
Costes indirectos					
03.10	%	Costes indirectos	0,03	89,22	2,68
Subtotal costes indirectos					2,68
Total presupuesto parcial nº3					91,90

6.2.4 Accesorio Fondera

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
04.01	kg	Perfil Cuadrado Acero S275 J0H	1,43	2,62	3,75

		40mm x 40mm x 2mm			
04.02	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø28	3,87	2,56	9,91
04.03	kg	Pletina Laminada Acero S 275 JR de 10mm espesor	1,93	2,42	4,67
04.04	kg	Redondo Macizo Acero S 275 JR de Ø16	0,19	2,42	0,46
Subtotal materiales					18,79
Equipo y maquinaria					
04.05	h	Sierra de cinta semiautomática	0,16	2,32	0,38
04.06	h	Taladro de columna	0,16	2,64	0,43
04.07	h	Lijadora mecánica	0,16	2,32	0,38
Subtotal equipo y maquinaria					1,19
Mano de obra					
04.08	h	Operario	0,48	23,01	11,05
Subtotal mano de obra					11,05
Costes indirectos					
04.09	%	Costes indirectos	0,03	31,03	0,94
Subtotal costes indirectos					0,94
Total presupuesto parcial nº4					31,97

6.2.5 Soldadura

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
05.01	kg	Hilo sólido de acero al carbono ER70S-6	4,20	2,00	8,40
05.02	L	Gas de protección (Ar + 18% CO ₂)	414,00	0,047	19,46
Subtotal materiales					27,86
Equipo y maquinaria					
05.03	h	Soldadora	1,00	2,32	2,32
Subtotal equipo y maquinaria					2,32
Mano de obra					
05.04	h	Operario	1,00	23,01	23,01
Subtotal mano de obra					23,01
Costes indirectos					
05.05	%	Costes indirectos	0,03	53,19	1,60
Subtotal costes indirectos					1,60
Total presupuesto parcial nº5					54,79

6.2.6 Pintura y acabado

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
06.01	L	Epoxi anticorrosiva	2,00	12,49	24,98

06.02	L	Epoxi-poliéster	4,50	12,65	56,93
Subtotal materiales					81,91
Equipo y maquinaria					
06.03	h	Pistolas de pintura con compresor	1,50	1,60	2,40
Subtotal equipo y maquinaria					2,40
Mano de obra					
06.04	h	Operario	1,50	23,01	34,52
Subtotal mano de obra					34,52
Costes indirectos					
06.05	%	Costes indirectos	0,03	118,83	3,56
Subtotal costes indirectos					3,56
Total presupuesto parcial nº5					122,39

6.2.7 Embalaje

Código	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
Materiales					
07.01	Ud	Palé madera 2400 × 1000 mm	1,00	49,99	49,99
07.02	Ud	Film retráctil rollo estándar (50 m)	1,00	12,50	12,50
07.03	Ud	Cantoneras protectoras (2 m)	1	18,99	18,99
07.04	Ud	Cinchas de amarre	4,00	5,59	22,36
07.05	Ud	Caja para tornillería	1,00	10,85	10,85

		300 × 200 × 150 mm			
07.06	Ud	Bolsa VCI: 300 × 400 mm	1,00	1,44	1,44
Subtotal materiales					116,13
Mano de obra					
07.07	h	Operario	1,00	23,01	23,01
Subtotal mano de obra					23,01
Costes indirectos					
07.08	%	Costes indirectos	0,03	139,14	4,18
Subtotal costes indirectos					4,18
Total presupuesto parcial nº6					143,32

6.3 Presupuesto

6.3.1 Presupuesto de ejecución material

	Importe (€)
Parcial nº1 (Estructura base)	304,92
Parcial nº2 (Banco y fijación)	112,29
Parcial nº3 (Elementos de unión)	91,90
Parcial nº3 (Accesorio Fondera)	31,97
Parcial nº5 (Soldadura)	54,79
Parcial nº6 (Pintura y acabado)	122,39
Parcial nº7 (Embalaje)	143,32
Total Presupuesto de ejecución material	861,58



6.3.2 Presupuesto final

	Importe (€)
Presupuesto de ejecución de material	861,58
7% de gastos generales	60,31
25% de beneficio industrial	215,40
Suma	1137,29
21% IVA	238,84
Presupuesto de ejecución por contrata	1376,13

El presupuesto total de ejecución por contrata asciende a un total de mil trescientos setenta y seis euros con trece céntimos.

En Málaga, a 22 de junio de 2025

Fdo.: Julián Aguilar Pizarro