



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL DE ALUMINIO PARA EL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO EN EL AEROPUERTO DE MANISES (VALENCIA)

AUTOR: JUAN LUIS SANCHIS MARTÍNEZ
TUTOR: JOSE MIGUEL MOLINES CANO
COTUTOR: ANTONIO JOSÉ JIMÉNEZ MOCHOLÍ

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis tutores, Jose Miguel Molines Cano y Antonio José Jiménez Mocholí.

Asimismo, no puedo olvidar en este momento a mi familia. Gracias a mis padres, a mi hermana y a mis abuelos, por haberme acompañado y animado durante todo mi periodo académico.

"DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PLATAFORMA MÓVIL DE ALUMINIO PARA EL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO EN EL AEROPUERTO DE MANISES (VALENCIA)"

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objeto el diseño y cálculo de una plataforma compuesta por dos subestructuras móviles de aluminio para el mantenimiento de los aviones Bombardier modelos CRJ200/900/1000, en el hangar de Air Nostrum del aeropuerto de Manises, Valencia.

Se trata de dos estructuras móviles simétricas formadas por dos plataformas separadas aproximadamente 220 cm de altura y el conjunto es elevable hasta los 90 cm. Ambas estructuras están destinadas a trabajar conjuntamente para facilitar el acceso al estabilizador vertical del avión.

Se aplican las normativas vigentes: CTE: Código Técnico de la Edificación y el Eurocódigo 9: Diseño de estructuras de aluminio. Una vez realizado el diseño de la estructura se presenta el presupuesto y planos correspondientes.

En el trabajo se ponen en práctica los conocimientos adquiridos en asignaturas como Estructuras, Tecnología de la Construcción, Expresión Gráfica o Proyectos del grado en Tecnologías Industriales y se desarrollan competencias propias del Grado.

Palabras clave: Plataformas elevables; Estructuras de aluminio; Simulación por ordenador.

"DISSENY I CÀLCUL D'UNA PLATAFORMA MÒBIL D'ALUMINI PER AL MANTENIMIENT AERONÀUTIC EN L'AEROPORT DE MANISES (VALÈNCIA)"

RESUM

El present projecte té com a objectiu el disseny i càlcul d'una plataforma composta per dues subestructures mòbils d'alumini per al manteniment dels avions Bombardier models CRJ200/900/1000, en l'hangar de Air Nostrum de l'aeroport de Manises, València.

Es tracta de dues estructures mòbils simètriques formades per dos plataformes separades aproximadament 220 cm d'altura i el conjunt és elevable fins als 90 cm. Ambdós estructures estan destinades a treballar conjuntament per a facilitar l'accés al estabilitzador vertical de l'avió.

S'apliquen les normatives vigents: CTE: Codi tècnic de l'edificació mòbils i el Eurocodi 9: Disseny d'estructures d'alumini. Una vegada realitzat el disseny de l'estructura es presenta el pressupost i plans corresponents.

En el treball es posen en pràctica els coneixements adquirits en assignatures com Estructures, Tecnologia de la Construcció, Expressió Gràfica o Projectes del Grau en Tecnologies Industrials i es desenvolupen competències pròpies del Grau.

Paraules clau: Plataformes elevables; Estructures d'alumini; Simulació per ordinador.

"DESIGN AND COMPUTING OF AN ALUMINIUM MOBILE PLATFORM FOR AIRCRAFT MAINTENANCE IN THE AIRPORT OF MANISES (VALENCIA)"

ABSTRACT

The aim of this project is the design and computing of a structural platform consisting of two aluminium mobile substructures. They are used for aircraft maintenance of CRJ200/900/1000 models of Bombardier aircrafts in the Air Nostrum's hangar in the Airport of Manises, Valencia.

These are two symmetric and mobile structures composed of two platforms which are separated by 220 cm high from each other and they can be lifted up to 90 cm. Both structures are intended to work together in order to enable the access to the plane's vertical rear stabilizer.

The following current standards are applied: CTE: Building technical code, and Eurocode 9: Design of aluminium structures. Once the design is done, budget and plans will be presented.

During the project, specific skills of the Industrial Engineering degree will be developed. Moreover, the knowledge acquired in subjects included in the mentioned degree such as Structures, Construction Technologies, Graphic Engineering and Projects will be also put into practice.

Key words: Lifiable Platforms; Aluminium Structures; Computer Simulation

Índice

MEMORIA.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Objeto del proyecto.....	17
1.2 Justificación del proyecto	17
1.3 Motivaciones del proyecto	17
1.4 Estado del arte	18
1.4.1 Mantenimiento aeronáutico	18
1.4.2 Estabilizador vertical del avión	19
1.4.3 Aviones Bombardier	20
1.4.4 Antecedentes	21
1.5 Descripción de la estructura	22
1.5.1 Normas de uso	25
1.5.2 Mantenimiento de la plataforma	26
1.6 Ubicación del proyecto.....	27
1.6.1 Air Nostrum	28
1.6.2 Hangar de mantenimiento aeronáutico	28
1.7 Procedimiento de diseño.....	29
1.8 Legislación vigente	30
2. CÁLCULO ESTRUCTURAL	31
2.1 Materiales empleados	31
2.2 Perfiles utilizados.....	32
2.3 Acciones	35
2.4 Combinaciones de acciones.....	47
2.5 Comprobaciones.....	50
2.5.1 Estados Límite Últimos	50
2.5.2. Estados límite de Servicio	61
2.6 Reducción de peso de la estructura	67
2.6.1 Perfiles definitivos	67
2.6.2 Comprobación de Estados Límite	71
2.7 Conclusiones.....	77
3. BIBLIOGRAFIA.....	78
PRESUPUESTO.....	79
PLANOS.....	85

Índice de Tablas

TABLA 1 Características de los aviones Bombardier modelos CRJ-200/900/1000.....	20
TABLA 2 Propiedades de los actuadores lineales CA trifásicos del sistema de elevación (Fuente: Catálogo MecVel Actuadores Lineales ALI4)	24
TABLA 3 Propiedades tablero de madera utilizado (Fuente: Catálogo Forest-Truck Birch).....	24
TABLA 4 Características de la aleación de Aluminio EN AW 6082 – Perfiles extruidos y tubos extruidos (Fuente: Eurocódigo 9, fragmento de la Tabla 3,2b)	31
TABLA 5 Propiedades aluminio EN AW 6082.....	31
TABLA 6 Propiedades Acero S235	32
TABLA 7 Perfil cuadrado hueco aluminio extraído pilares (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 02/06/2020)	32
TABLA 8 Perfil rectangular hueco aluminio extraído barras horizontales (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 02/06/2020)	33
TABLA 9 Perfil tubular hueco aluminio extraído barandillas (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 02/06/2020)	33
TABLA 10 Perfil rectangular hueco de aluminio para las cruces (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 02/06/2020)	34
TABLA 11 Perfil IPE acero del bastidor (Fuente: https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#ipe , consultada el día 02/06/2020)	34
TABLA 12 Resumen características perfiles empleados	35
TABLA 13 Peso propio de la estructura	35
TABLA 14 Valores característicos de las Sobrecargas de Uso (Fuente: CTE DB-SE-AE, Tabla 3.1)....	36
TABLA 15 Cargas horizontales sobre tabiques y antepechos (Fuente: Eurocódigo 1-1, Tabla 6.12)37	
TABLA 16 Sobrecargas de uso sobre suelos, balcones y escaleras en edificios (Fuente: Eurocódigo 1-1, Tabla 6.2)	38
TABLA 17 Categorías de terrenos y parámetros del terreno (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 4.1) ..	41
TABLA 18 Valores recomendados para los coeficientes de presión externa en muros verticales de edificios de planta rectangular (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 7.1)	45
TABLA 19 Valores recomendados para los coeficientes de presión externa en cubiertas planas (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 7.2)	46
TABLA 20 Valores de presión del viento sobre las barras verticales de la plataforma	47
TABLA 21 Valores de presión del viento sobre las plantas de la plataforma	47
TABLA 22 Coeficientes parciales de seguridad para las acciones (Fuente: CTE DB-SE, Tabla 4.1) ...	48
TABLA 23 Coeficientes de simultaneidad (Fuente: CTE DB-SE, Tabla 4.2)	49
TABLA 24 Combinaciones de acciones	49
TABLA 25 Factores parciales de seguridad para estados límite últimos (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.1)	50
TABLA 26 Valores de los esfuerzos obtenidos de SAP para la barra más desfavorable de cada familia en N y $N \cdot m$	52
TABLA 27 Cálculo de las tensiones normales y tangentes de cada barra en MPa	52
TABLA 28 Comprobación del ELU de Resistencia en cada barra.....	53
TABLA 29 Esfuerzos obtenidos de SAP2000 sobre el pilar más desfavorable a pandeo en N y $N \cdot m$	54
TABLA 30 Valores del factor de forma α (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.4).....	56

TABLA 31 Valores de los parámetros de esbeltez (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.2)	56
TABLA 32 Valores del coeficiente de imperfección elástica y del límite de estancamiento horizontal (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.6)	58
TABLA 33 Valor del coeficiente de pandeo para pilares (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.8)	59
TABLA 34 Valor mínimo de los coeficientes de reducción por pandeo (χ_{min}) y del exponente Ψ_c	59
TABLA 35 Valores de resistencia a pandeo del axil y de la flexión para el perfil más desfavorable en N y $N \cdot m$	60
TABLA 36 Comprobación del ELU a Pandeo	60
TABLA 37 Valores de los desplazamientos relativos en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la apariencia (en milímetros)	62
TABLA 38 Comprobación del ELS de los pilares de la estructura según el Criterio de Apariencia ...	62
TABLA 39 Valores del desplazamiento relativo vertical en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la apariencia (en milímetros)	63
TABLA 40 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura según el Criterio de Apariencia	63
TABLA 41 Valores de los desplazamientos relativos en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la integridad (en milímetros).....	64
TABLA 42 Comprobación del ELS del desplome local de los pilares de la estructura según el Criterio de Integridad	65
TABLA 43 Valor del desplazamiento relativo en el nudo más desfavorable de la estructura para la integridad (en milímetros)	65
TABLA 44 Comprobación del ELS del desplome total de los pilares de la estructura según el Criterio de Integridad	65
TABLA 45 Valores del desplazamiento relativo vertical en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la integridad (en milímetros)	66
TABLA 46 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura según el Criterio de Integridad	66
TABLA 47 Perfil cuadrado hueco aluminio extraído pilares de la estructura reducida de peso (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 27/06/2020)	68
TABLA 48 Perfil rectangular hueco aluminio extraído barras horizontales de la estructura reducida de peso (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 27/06/2020)	68
TABLA 49 Perfil rectangular hueco aluminio para las cruces de la estructura reducida de peso (Fuente: https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/ , consultada el día 27/06/2020)	69
TABLA 50 Perfil IPE acero del bastidor de la estructura reducida de peso (Fuente: https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#ipe , consultada el día 27/06/2020)	69
TABLA 51 Resumen características perfiles empleados en la estructura reducida de peso	70
TABLA 52 Peso propio de la plataforma utilizando los perfiles iniciales en KN	70
TABLA 53 Peso propio de la plataforma definitiva, utilizando los perfiles de menor peso en KN ...	71
TABLA 54 Valores obtenidos en SAP para la barra más desfavorable de cada familia de la estructura reducida de peso, en N y $N \cdot m$	72

TABLA 55 Cálculo de las tensiones normales y tangentes de cada barra de la estructura reducida de peso, en MPa.....	72
TABLA 56 Comprobación del ELU de Resistencia en cada barra de la estructura reducida de peso.....	72
TABLA 57 Esfuerzos obtenidos de SAP2000 sobre el pilar más desfavorable a pandeo de la estructura reducida de peso, en N y $N \cdot m$	73
TABLA 58 Valor mínimo de los coeficientes de reducción por pandeo (χ_{min}) y del exponente Ψ_c para la estructura reducida	73
TABLA 59 Valores de la resistencia a pandeo del axil y de la flexión para el perfil más desfavorable de la estructura reducida de peso, en N y $N \cdot m$	73
TABLA 60 Comprobación del ELU a Pandeo de la estructura reducida de peso	74
TABLA 61 Comprobación del ELS de los pilares de la estructura reducida de peso según el Criterio de Apariencia (desplazamientos en milímetros)	74
TABLA 62 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura reducida de peso según el Criterio de Apariencia (desplazamientos en milímetros)	74
TABLA 63 Comprobación del ELS del desplome local de los pilares de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros)	75
TABLA 64 Comprobación del ELS del desplome total de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros)	75
TABLA 65 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros).....	76

Índice de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1 Estabilizador vertical de un avión Bombardier modelo CRJ 1000 de la flota de Air Nostrum (Fuente: https://www.iberia.com/es/flota/air-nostrum/CRJ1000/)	19
ILUSTRACIÓN 2 Reducción del deslizamiento lateral aerodinámico gracias al estabilizador vertical del avión.....	19
ILUSTRACIÓN 3 Aviones Bombardier modelos CRJ 200/900/1000 (Fuente: https://www.pinterest.com.mx/pin/762234305660610064/).....	20
ILUSTRACIÓN 4 Semiestructura de la plataforma de trabajo antecesora (Fuente: Manual Albret Docks).....	21
ILUSTRACIÓN 5 Subestructura derecha.....	22
ILUSTRACIÓN 6 Plataforma en posición de trabajo	23
ILUSTRACIÓN 7 Propiedades ruedas utilizadas (Fuente: Manual Roydisa).....	25
ILUSTRACIÓN 8 Vista exterior del hangar desde la pista de aterrizaje (Fuente: https://megalux.es/proyecto/air-nostrum-adjudica-a-megalux-la-renovacion-de-sus-instalaciones/).....	27
ILUSTRACIÓN 9 Ubicación del hangar en el Aeropuerto de Manises (Fuente: https://www.google.es/maps/@39.4847057,-0.4820821,1628m/data=!3m1!1e3)	27
ILUSTRACIÓN 10 Interior del hangar (Fuente: http://www.airnostrum.es/page.asp?ruta=HTML/Serv_Tecnicos/1_Trabajos_Aeronaves.htm&titulo=Mantenimiento&subtitulo=Mantenimiento%20a%20terceros)	28
ILUSTRACIÓN 11 Diseño de la plataforma de trabajo en AutoCAD	29
ILUSTRACIÓN 12 Situación estructura respecto a las puertas del hangar	39
ILUSTRACIÓN 13 Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento (Fuente: Eurocódigo 1-4, Anexo Nacional)	40
ILUSTRACIÓN 14 Altura de referencia en función de h y b, y perfil de velocidades y presión correspondiente (Fuente: Eurocódigo 1, Figura 7.4)	44
ILUSTRACIÓN 15 Leyenda para muros verticales (Fuente: Eurocódigo 1-4, Figura 7.5)	45
ILUSTRACIÓN 16 Leyenda para las cubiertas planas (Fuente: Eurocódigo 1, Figura 7.6).....	46
ILUSTRACIÓN 17 Pilar más desfavorable a pandeo de la plataforma de trabajo.....	54
ILUSTRACIÓN 18 Clasificación de las secciones transversales (Fuente: Eurocódigo 9, apartado 6.1.4.2)	55
ILUSTRACIÓN 19 Clasificación de las secciones transversales en función de sus parámetros de esbeltez (Fuente: Eurocódigo 9, apartado 6.1.4.4)	57
ILUSTRACIÓN 20 Desplome local y total (Fuente: CTE DB-SE, Figura 22)	64

Índice de Gráficas

GRÁFICA 1 Coeficiente de exposición (Fuente: Eurocódigo 1-4, figura 4.2)	43
--	----

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto del proyecto

El objeto del presente Trabajo de Fin de Grado es el diseño y cálculo de una plataforma móvil de aluminio para realizar las tareas de mantenimiento necesarias en la cola de los aviones Bombardier modelos CRJ 200/900/1000 en el hangar de Air Nostrum en Manises, Valencia.

El cálculo se ha realizado de forma que cumple la normativa vigente relativa a este tipo de estructuras. Además, el proyecto incluye el presupuesto y planos que resulten necesarios para la total definición del mismo.

1.2 Justificación del proyecto

El desarrollo del Trabajo Final de Grado pone en práctica los conocimientos adquiridos durante la realización del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, impartido por la Escuela Superior de Ingeniería Industrial, en la Universitat Politècnica de Valencia.

Concretamente en este proyecto resultan de utilidad las aptitudes aprendidas en asignaturas relacionadas con la construcción (Elasticidad y Resistencia de Materiales, Estructuras y Tecnología de la Construcción), asignaturas sobre elaboraciones de proyectos (Proyectos) y asignaturas relacionadas con el diseño y la elaboración de los planos (Ingeniería Gráfica y Expresión Gráfica).

El diseño de la plataforma se aborda mediante el software Autocad de Autodesk y el cálculo de la estructura se lleva a cabo mediante el software SAP2000.

1.3 Motivaciones del proyecto

Los aviones Bombardier modelos CRJ 200/900/1000 son aviones comerciales cuyo mantenimiento es muy específico y riguroso. Para realizar de manera correcta y eficiente las diferentes labores sobre éstos, es necesario contar con todos los recursos y medios que faciliten estas tareas.

La principal utilidad de este proyecto es la de responder a la necesidad de los técnicos de alcanzar con facilidad y comodidad la cola trasera (estabilizador vertical) de los aviones. Además, dicha estructura se ajusta a las dimensiones concretas de los modelos de aeronaves para los que ha sido específicamente creada.

Por otro lado, la elección de este tema para mi Trabajo de Fin de Grado responde a mi interés por el sector de la construcción y por el desarrollo de este tipo de proyectos.

1.4 Estado del arte

1.4.1 Mantenimiento aeronáutico

El mantenimiento aeronáutico consiste básicamente en la realización de una serie de inspecciones periódicas de carácter preventivo y correctivo, que deben realizarse en todas las aeronaves comerciales y civiles. Cada avión sigue un calendario de mantenimiento establecido por el propio fabricante y acorde a la normativa vigente y al programa de inspección continua aprobado por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA).

Resulta de vital importancia llevar a cabo de forma rigurosa dicho calendario de mantenimiento, con el fin de garantizar la seguridad de los pasajeros en cada vuelo. Además, las aerolíneas ponen un especial cuidado en el mantenimiento de sus aviones porque esto les permite minimizar las averías. Una avería no prevista, conocida como “Aircraft On Ground” en jerga aeronáutica, impide que la aeronave cumpla su cometido, lo cual conlleva importantes pérdidas económicas para la empresa. Es por ello, que la organización y planificación del hangar para cumplir con todos los calendarios de mantenimiento de cada una de las aeronaves, adquiere gran relevancia en el desarrollo eficiente de la actividad de la aerolínea.

Las revisiones que se realizan sobre los aviones son diversas y se planifican en función de los días, horas de vuelo o ciclos que ha superado la aeronave. Se distinguen revisiones de tipo A, B, C, D y E, siendo la de tipo A la más sencilla y rutinaria de todas; se realiza cada 400-600 horas o cada 200-300 ciclos y es una inspección general tanto del exterior como del interior, y que dura entre 1 y 2 días.

La revisión que más nos interesa es la de tipo E, conocida como Overhaul, ya que es en ella donde se requiere el acceso de los operarios a la cola trasera del avión y, por lo tanto, es en la única en la que se utiliza nuestra plataforma. Este tipo de inspección tiene una duración estimada de 28 a 30 días hábiles, en los cuales se procede a desmontar todo el interior del avión (asientos, lavabos, paneles de pared, techo, instrumentos de la cabina de los pilotos...) y los componentes se llevan a los talleres especializados, en busca de cualquier defecto. Finalmente, se vuelve a montar el avión.

Las tareas específicas que, durante las revisiones Overhaul, tienen lugar sobre el estabilizador vertical del avión son diferentes en las diferentes flotas. No obstante, algunas de las tareas típicas son:

- Apertura y cierre de registros para acceso a inspección visual y/o engrase de motores y servos de actuación de elevadores y timón.
- Comprobación de juego en los anclajes de las superficies móviles (elevadores y timón), así como ruidos, engrase de puntos, rodamientos, articulaciones...
- Cambio de luces de anticolidión superiores.
- Comprobación de fugas hidráulicas en tuberías y uniones.

1.4.2 Estabilizador vertical del avión

El estabilizador vertical, o cola vertical, de una aeronave normalmente se encuentra en el extremo trasero del fuselaje o cuerpo, como puede observarse en la siguiente ilustración:



ILUSTRACIÓN 1 Estabilizador vertical de un avión Bombardier modelo CRJ 1000 de la flota de Air Nostrum (Fuente: <https://www.iberia.com/es/flota/air-nostrum/CRJ1000/>)

La principal función del estabilizador vertical es conseguir que la aeronave reduzca el deslizamiento lateral aerodinámico. Para entender este efecto, se dispone la ilustración 2.

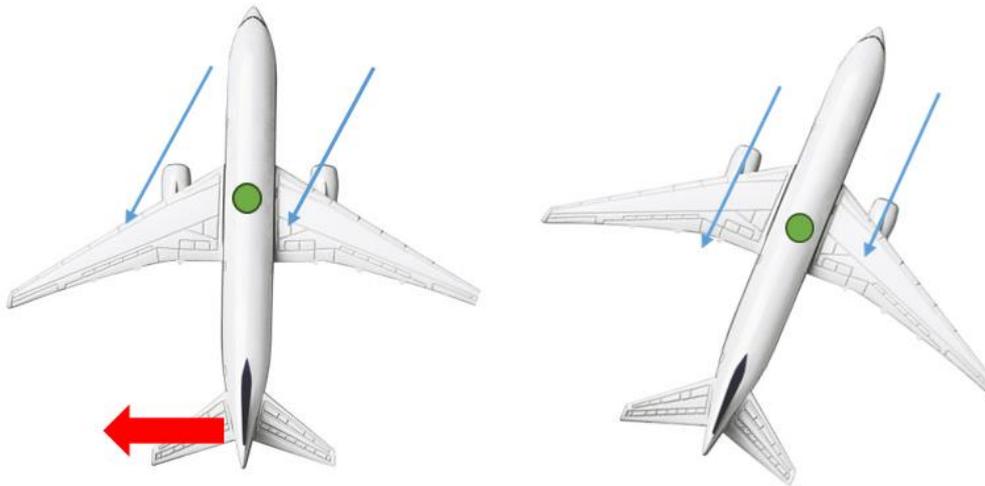


ILUSTRACIÓN 2 Reducción del deslizamiento lateral aerodinámico gracias al estabilizador vertical del avión

En la figura de la izquierda se observa que, cuando existe una perturbación del viento (líneas azules), el avión se desvía y deja de estar alineado con la corriente de aire incidente. Esto provoca una fuerza en el estabilizador vertical del avión (flecha roja) que, a su vez, crea un momento en el centro de gravedad (punto verde). De esta manera, la aeronave vuelve a estar alineada con el viento incidente, gracias al estabilizador vertical, sin necesidad de la intervención del piloto, como puede apreciarse en la figura de la derecha.

El extremo final del estabilizador se conoce como timón y es móvil, permitiendo así que el piloto de la aeronave controle la guiñada o movimiento del avión en el eje vertical.

1.4.3 Aviones Bombardier

La flota actual de Air Nostrum está compuesta por un total de 42 aeronaves en servicio, entre aviones ATR-72 y los aviones fabricados por la canadiense Bombardier CRJ-200, CRJ-900 y CRJ-1000, para los cuales está diseñada nuestra plataforma.



ILUSTRACIÓN 3 Aviones Bombardier modelos CRJ 200/900/1000
(Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/pin/762234305660610064/>)

Las características de estos aviones se ven resumidas en la siguiente tabla, a partir de la información obtenida en la página web oficial de Iberia (<https://www.iberia.com/es/flota/air-nostrum/>).

Modelo	Butacas	Unidades	Longitud (m)	Envergadura (m)	Altura (m)
CRJ-200	50	16	26,77	21,21	6,22
CRJ-900	89	11	36,4	24,8	7,51
CRJ-1000	100	10	39,1	26,1	7,13

TABLA 1 Características de los aviones Bombardier modelos CRJ-200/900/1000

1.4.4 Antecedentes

En el hangar, concretamente en el lateral derecho del mismo, ya se utiliza una plataforma similar a la que es objeto de este proyecto. Tiene una estructura parecida y fue diseñada con el mismo propósito: alcanzar la cola trasera de los aviones Bombardier modelos CRJ-200/900/1000 para facilitar su mantenimiento. Además, esta plataforma también está compuesta por dos subestructuras simétricas que trabajan conjuntamente. A continuación, se dispone una ilustración de una de ellas:

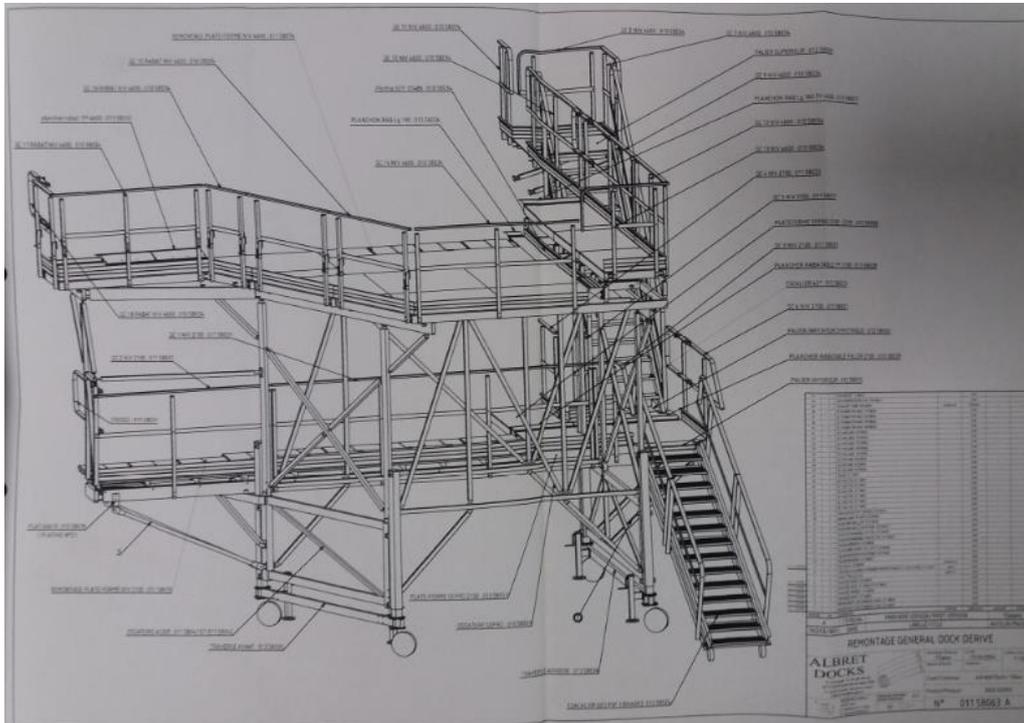


ILUSTRACIÓN 4 Semiestructura de la plataforma de trabajo antecesora (Fuente: Manual Albret Docks)

El incremento del número de revisiones Overhaul llevadas a cabo en el hangar conlleva la necesidad de disponer de una plataforma adicional. De esta manera, el hangar puede realizar dichas inspecciones a dos aviones al mismo tiempo.

Además, la nueva plataforma cuenta con mejoras respecto a su antecesora, entre las cuales destacan las siguientes:

- El sistema de elevación, que le permite variar la altura de la estructura lo suficiente para operar mejor sobre el estabilizador vertical de cada uno de los tres modelos.
- Mejora de la unión entre las semiestructuras, en la parte posterior y anterior. En la antecesora, la unión se realiza mediante chapas abatibles de un lado a otro, mientras que en la nueva plataforma son cajones deslizantes.
- Mayor área de trabajo en la planta superior, favoreciendo la movilidad de los operarios y la comodidad en la realización de las tareas pertinentes.

1.5 Descripción de la estructura

La estructura básica es una estructura de aluminio fabricada en perfiles de extrusión, soportada por un bastidor inferior de acero.

El conjunto se compone de dos plataformas de trabajo (babor y estribor), simétricas y formadas por dos niveles con una separación entre sí de 2,44 metros de altura. Están diseñadas para trabajar como un mismo conjunto de trabajo ya que solo una de ellas (estribor) tiene escalera. En la Ilustración 5 se puede observar dicha subestructura:



ILUSTRACIÓN 5 Subestructura derecha

Estas subestructuras son móviles y se separan convenientemente para abrazar la cola trasera de la aeronave. La Ilustración 6 muestra como el estabilizador vertical del avión queda atrapado entre ambas subestructuras, que trabajan como un único conjunto. De esta manera, los operarios pueden acceder con facilidad a cualquier lugar de esta parte trasera de la aeronave y realizar así las tareas de mantenimiento en condiciones óptimas.



ILUSTRACIÓN 6 Plataforma en posición de trabajo

Además, se disponen unos cajones deslizantes en las zonas de paso entre ambas subestructuras que permiten la unión entre las mismas, así como que el estabilizador vertical quede rodeado por completo por ambos lados. Estos elementos de conexión se pueden abrir y cerrar manualmente y tienen un límite de carga de 120 kg cada uno. Los cajones deslizantes están señalizados con una goma amarilla que rodea sus bordes y se pueden ver en la Ilustración 5, donde salen recogidos.

Como hemos comentado anteriormente, sólo la subestructura derecha (estribor) dispone de escalera de acceso al nivel 1 auto regulable en altura. Para ello, esta escalera cuenta con un par de ruedas, lo cual le permite a la escalera adaptar diferentes posiciones en función de la altura del nivel 1. También dispone de una escalera fija que conecta el nivel 1 con el 2.

Ambos niveles de la plataforma de trabajo incluyen un sistema de barandillas de 1 metro de altura con semibarandilla intermedia, fabricadas también con perfil de extrusión de aluminio.

Por último, cabe destacar los siguientes elementos que intervienen en el conjunto de la estructura:

- Sistema de elevación

Las dos subestructuras disponen de un sistema de elevación, que permite aumentar la altura del conjunto en un rango de 90 cm. Esto permite la adaptación de la estructura a cada uno de los diferentes modelos para los que se ha diseñado ya que los tamaños de los aviones Bombardier modelos CRJ 200/900/1000 difieren entre sí.

Este sistema está compuesto por 4 motores lineales eléctricos, en cada una de las subestructuras, y por un cuadro eléctrico con un PLC (Programmable Logic Controller) para controlar y regular todo el sistema.

Los motores utilizados son actuadores lineales CA trifásicos de la marca MecVel. En concreto el modelo utilizado es ALI4-F-CA versión M04, cuyas características son:



ALI4 (Vac 3-phase)					
Fmax (N)	Speed (mm/s)	Version	Motor size	Motor power (KW)	Motor speed (rpm)
2100	93	M01	IEC71	0,55	2800
3900	47	M02	IEC71	0,55	2800
5300	23	M03	IEC63	0,37	1400
8600	9	M04	IEC63	0,22	1400
9400	6	M05	IEC63	0,18	1400
10000	3	M06	IEC63	0,13	1400
10000	2	M07	IEC56	0,09	1400

TABLA 2 Propiedades de los actuadores lineales CA trifásicos del sistema de elevación
(Fuente: Catálogo MecVel Actuadores Lineales ALI4)

- Madera

El suelo de las plataformas, en ambas plantas, es de madera de abedul remachada a la estructura. El área total que cubre es de 77, 63 m²:

Nivel 1: $A_1 = 6,935 \cdot 1,75 \cdot 2 = 24,2725 \text{ m}^2$

Nivel 2: $A_2 = 4,48 \cdot 10 + 2,445 \cdot 1,75 \cdot 2 = 53,3575 \text{ m}^2$

El tablero es un encolado de clase III (EN 314-2) de 1 cm de espesor disponible en Forest Traffic y sus características se resumen en la siguiente tabla:

	Unidad	Valores	Normas
Densidad	Kg/m ³	650 ± 50	UNE-EN 323
Módulo de elasticidad	Longitudinal	>10.300 MPa	UNE-EN 310
	Transversal	>7.180 MPa	UNE-EN 310
Resistencia flexión	Longitudinal	>41 MPa	UNE-EN 310
	Transversal	>33 MPa	UNE-EN 310
Emisiones formaldehído		E1	EN 717-2
		CARB Phase 1 [§]	
		CARB Phase 2 [§]	93120
		CARB ULEF [§]	
		TSCA Title VI	
Resistencia a la abrasión	Ciclos	>3.600	DIN 53799
Ensayo de rodadura	Ciclos	>7.900	Carga de 300kg/rueda
Coefficiente de anti-resbabilidad		CLASE III	UNE-ENV 12633:2003 Anexo A
Resistencia al descolado	MPa	96,5	UNE-EN ISO 178
Absorción de agua a 20°	%	2,31	UNE-EN ISO 62
Resistencia al despegado por tracción	N	2330	ASTm C 297
Reacción al fuego		D-S2,d0	UNE 13501-1
		M1 [§]	UNE EN 23727

TABLA 3 Propiedades tablero de madera utilizado (Fuente: Catálogo Forest-Truck Birch)

- Ruedas

Cada subestructura cuenta con 4 ruedas que permiten su movilidad. Al mismo tiempo, al lado de estas ruedas se disponen 4 gatos (en cada subestructura) con los cuales se ha de nivelar la plataforma para fijarla cuando la misma esté en posición de trabajo.

Además, la escalera de acceso al nivel 1 también tiene 2 ruedas en su parte inferior, necesarias para la regulación de ésta ante las posibles variaciones de altura de la plataforma.

En definitiva, la plataforma cuenta con un total de 10 ruedas, las cuales disponen todas de frenos. Son ruedas de poliuretano “TR” con perfil redondo con núcleo de aluminio de diámetro 160 mm. Sus propiedades se describen en el catálogo de la empresa proveedora Roydisa:



ILUSTRACIÓN 7 Propiedades ruedas utilizadas (Fuente: Manual Roydisa)

1.5.1 Normas de uso

Es aconsejable seguir las siguientes indicaciones de uso de las plataformas de trabajo para que puedan realizar correctamente su función, así para no comprometer la seguridad de los operarios que la van a usar:

- No se subirán a la estructura más de 5 personas y se respetará el límite de peso admisible en cada cajón deslizante, el cual está debidamente señalizado y es de 120 kg.
- La plataforma ha sido diseñada para trabajar en el interior del hangar. No debe de ser utilizada en el exterior.
- Las subestructuras se moverán entre dos operarios al menos, dadas las dimensiones de las mismas, con especial precaución en resaltos, canaletas, etc. Siempre se revisarán antes del movimiento que las ruedas no estén frenadas.
- No se podrá mover la estructura con personal ni material sobre ella.
- Una vez colocada en la posición de trabajo, se frenarán todas las ruedas y se nivelará la estructura con los gatos mecánicos de tal manera que la plataforma trabaje sobre éstos, no sobre las ruedas.

- El sistema de elevación eléctrico se usará solamente con la estructura nivelada sobre gatos mecánicos y en su posición de trabajo. No se podrá elevar/bajar la plataforma con personal ni material sobre ella y con los cajones deslizantes recogidos.
- Los cajones deslizantes de extraen manualmente y se deben fijar en la posición definitiva de trabajo con los pasadores previstos para el bloqueo.
- Se debe tener especial precaución durante la fase de colocación y separación de la plataforma a la aeronave para que no haya contactos con la misma. Para ajustar las plataformas a la aeronave se disponen los cajones deslizantes.
- Subir y bajar de la estructura por las escaleras habilitadas para ello. No subir ni pisar las barras horizontales ni diagonales de la estructura. No saltar sobre ninguno de los módulos.
- Se comprobará antes del uso que todos los elementos están en correcto estado.
- No se podrán montar poleas ni elevar materiales pesados por el exterior de la estructura.

1.5.2 Mantenimiento de la plataforma

Es conveniente llevar a cabo un mantenimiento a la plataforma de trabajo con el objetivo de prevenir posibles incidencias o averías. A continuación, se indican las pautas a seguir para ello:

- Mantener los componentes de la estructura limpios.
- Inspeccionar todos los componentes de la estructura con regularidad para identificar posibles daños. Comprobar ruedas, frenos, gatos, cajones deslizantes, etc.
- Notificar cualquier irregularidad para proceder a su arreglo o sustitución.
- Realizar una revisión cada 24 meses por parte de un técnico especializado, en el que se compruebe:
 - Estabilidad general de la estructura
 - Gatos estabilizadores nivelados
 - Estado de las ruedas y frenos
 - Barandilla perimetral en todas las zonas de trabajo
 - Cargas máximas admisibles
 - Elementos de seguridad y protecciones
 - Uniones de vigas
 - Escaleras de acceso
 - Inspección del estado de los materiales

1.6 Ubicación del proyecto

La plataforma se ubica en el interior del hangar de mantenimiento aeronáutico de la empresa Air Nostrum, situado en la pista de aterrizaje del Aeropuerto de Manises, en Valencia, España.



ILUSTRACIÓN 8 Vista exterior del hangar desde la pista de aterrizaje (Fuente: <https://megalux.es/proyecto/air-nostrum-adjudica-a-megalux-la-renovacion-de-sus-instalaciones/>)



ILUSTRACIÓN 9 Ubicación del hangar en el Aeropuerto de Manises (Fuente: <https://www.google.es/maps/@39.4847057,-0.4820821,1628m/data=!3m1!1e3>)

1.6.1 Air Nostrum

Air Nostrum es una empresa valenciana dedicada al transporte aéreo de pasajeros. Fue creada en el año 1994 para cubrir un nicho de mercado sin competencia a nivel nacional, ofreciendo vuelos interprovinciales a nivel regional con pequeños aviones de turbo-hélices de 50 pasajeros.

Actualmente, es una importante empresa en el sector aeronáutico español, aliada comercialmente con el grupo Iberia, con vuelos nacionales e internacionales y dispone de una plantilla de 1.400 empleados.

1.6.2 Hangar de mantenimiento aeronáutico

Air Nostrum cuenta con el hangar más grande de aviación regional en Europa, con un total de 6.100 m² en talleres, almacenes de 3.500 m² y oficinas de 1.800 m². Dispone de la certificación EASA PART-145 y la certificación medioambiental ISO-14001.

El hangar está organizado por talleres, cada uno especializado en una determinada parte del avión. De esta manera, se encuentra el Taller de Ruedas y Frenos, de Motores, de Chapa y Pintura, de Interiores, de Baterías... Los talleres se sitúan en la planta 0 y encima de éstos, en la planta 1, se encuentran las oficinas. Las oficinas se dividen en departamentos, algunos son: departamento de Ingeniería, de documentación y manuales técnicos, de planificación y control de los talleres, de relación con proveedores, etc.

En el último ejercicio, el número de operaciones que registraron retrasos siendo achacables a problemas técnicos fue de tan sólo 1 por cada 173. Con esta proporción, la denominada fiabilidad técnica de despacho alcanza un nivel de un 99,42%, lo que le otorgó a Air Nostrum la máxima distinción europea en la categoría de aeronaves de 70 a 100 plazas. Además, se considera también como la compañía de mayor fiabilidad en aviones de cincuenta asientos CRJ200. Es decir, el hangar de Air Nostrum destaca a nivel europeo en el mantenimiento de los modelos CRJ 200/900/1000, aviones objeto de nuestra plataforma.

El hangar está destinado principalmente al mantenimiento de su flota de aviones, pero también ofrece servicios a terceros. A continuación, se presenta una imagen del interior del mismo:



ILUSTRACIÓN 10 Interior del hangar (Fuente: http://www.airnostrum.es/page.asp?ruta=HTML/Serv_Tecnicos/1_Trabajos_Aeronaves.htm&titulo=Mantenimiento&subtitulo=Mantenimiento%20a%20terceros)

Concretamente, nuestra plataforma de trabajo se ubica de manera indefinida en el lateral izquierdo del hangar. Esta posición viene justificada por lo comentado en el apartado 1.4.1; dado que

la estructura se utiliza únicamente en las reparaciones Overhaul y éstas son las que requieren el uso del hangar durante un periodo mayor de tiempo, se reservan ambos laterales del hangar para la realización de este tipo de inspecciones. De esta manera, son los aviones los que son dirigidos a esta zona para poder realizarles las revisiones Overhaul.

1.7 Procedimiento de diseño

- AutoCAD2014. Autodesk.

AutoCAD es un software de diseño asistido por ordenador para crear con precisión dibujos en 2D y 3D. En él, se introduce la disposición de las diferentes barras que componen la estructura con sus correspondientes medidas, como puede observarse en la siguiente ilustración:

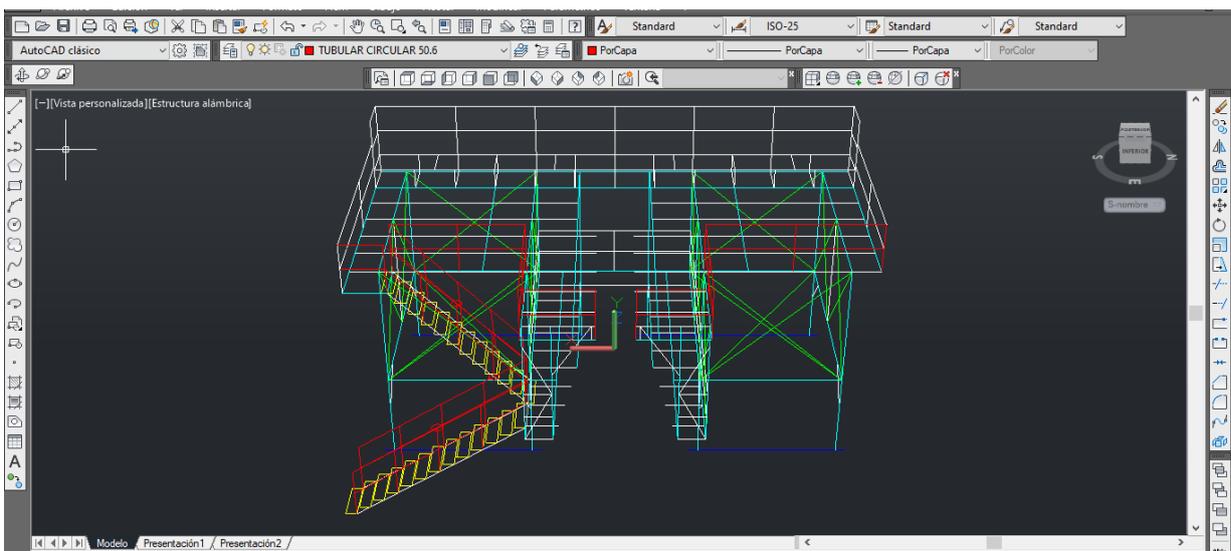


ILUSTRACIÓN 11 Diseño de la plataforma de trabajo en AutoCAD

- SAP2000 v16. CSI América.

SAP2000 es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras.

La estructura diseñada en AutoCAD se importa a SAP2000 y se introducen tanto la geometría como las características de los materiales utilizados en cada una de las barras que conforman dicha estructura. Además, también se establecen las cargas que tendrán lugar sobre la estructura durante su vida útil y las combinaciones de éstas que se producirán.

A partir de la información obtenida en este programa, se procede a la comprobación estructural de la plataforma, siguiendo la normativa vigente.

- Microsoft Office (Word, Excel, Powerpoint, Acces)

1.8 Legislación vigente

No existe una normativa específica para una estructura como la que es objeto de este proyecto, ya que no se trata de una edificación. No obstante, se adoptan valores cuya consideración es necesaria para garantizar la seguridad y funcionalidad de la plataforma de trabajo, con arreglo a las siguientes normas:

- Código Técnico de la Edificación y sus documentos básicos: DB-SE, DB-SE-AE y DB-SE-A.
- Eurocódigo 1.1: *Acciones en Estructuras. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso en edificios.*
- Eurocódigo 1.4: *Acciones en Estructuras. Acciones de Viento.*
- Eurocode 9: *Design of aluminium structures.*

2. CÁLCULO ESTRUCTURAL

En este apartado se aborda el Cálculo de Seguridad Estructural de la plataforma. En primer lugar, se presentan los materiales que han sido utilizados en su construcción y los perfiles seleccionados. Después, se han definido las acciones que ha de soportar y en qué situaciones lo hace. Por último, se aborda el cálculo, dividiéndolo en dos grandes grupos: Estados Límite Últimos (ELU) y Estados Límite de Servicio (ELS).

2.1 Materiales empleados

La estructura está principalmente compuesta por la aleación de aluminio EN AW 6082 (AlSi1MgMn) de Temple T6 (tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial). El límite elástico de esta aleación se define en la siguiente tabla:

Alloy EN-AW	Product form	Temper	Thick-ness t mm 1) 3)	f_o 1)	f_u 1)	A 5) 2)	$f_{o,haz}$ 4)	$f_{u,haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	n_p 7)
				N/mm ²	%	N/mm ²		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$			
6082	EP,ET,ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	100	160	0,91	0,78	B	8
	EP/O, EP/H	T5	$t \leq 5$	230	270	8	125	185	0,54	0,69	B	28
	EP/O,EP/H ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8	125	185	0,50	0,64	A	32
			$5 < t \leq 15$	260	310	10			0,48	0,60	A	25
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			0,50	0,63	A	27
			$20 < t \leq 150$	260	310	8			0,48	0,60	A	25
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			0,49	0,60	A	22
			$5 < t \leq 20$	240	310	10			0,52	0,60	A	17

TABLA 4 Características de la aleación de Aluminio EN AW 6082 – Perfiles extruidos y tubos extruidos (Fuente: Eurocódigo 9, fragmento de la Tabla 3,2b)

El resto de sus propiedades, obtenidas del apartado 3.2.5 del Eurocódigo 9 – Diseño de Estructuras de Aluminio, pueden observarse a continuación:

PROPIEDADES ALUMINIO EN AW 6082 – T6	
Módulo de Elasticidad (E)	70 000 N/mm ²
Módulo de Rigidez (G)	27 000 N/mm ²
Coefficiente de Poisson (γ)	0,3
Coefficiente de Dilatación Térmica (α)	$2,3 * 10^{-5} (^\circ\text{C})^{-1}$
Densidad (ρ)	2 700 kg/m ³
Límite elástico (f_y)	250 N/mm ²

TABLA 5 Propiedades aluminio EN AW 6082

La estructura descansa sobre un bastidor de acero S235, cuyas características las podemos encontrar en el apartado 4.2 del CTE DB SE-A y se indican en la siguiente tabla:

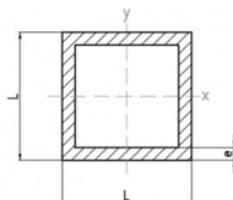
PROPIEDADES ACERO S235	
Módulo de Elasticidad (E)	210 000 N/mm ²
Módulo de Rigidez (G)	81 000 N/mm ²
Coefficiente de Poisson (γ)	0,3
Coefficiente de Dilatación Térmica (α)	$1,2 * 10^{-5} (^\circ\text{C})^{-1}$
Densidad (ρ)	7 850 kg/m ³
Límite elástico (f_y)	235 N/mm ²

TABLA 6 Propiedades Acero S235

2.2 Perfiles utilizados

En este apartado se presentan los perfiles utilizados en el diseño de la estructura. Es importante destacar que estos no son definitivos, ya que posteriormente se realizarán las comprobaciones de los estados límite de la plataforma y, si es necesario, se cambiarán los perfiles que así los requieran, de manera que se garantice la seguridad, estabilidad y funcionalidad de la plataforma de trabajo.

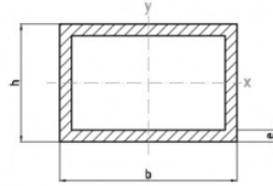
La estructura básica de la plataforma está compuesta por perfiles de extrusión de aluminio (aleación EN AW 6082-T6) proveídas por Alu-Stock. Los pilares de la estructura están constituidos por barras de sección cuadrada hueca, y el perfil elegido es:



l x l	e	Peso	$I_{xc}=I_{yc}$	$W_{xc}=W_{yc}$
90 x 90	4,0	3,901	169,982	37,774
100 x 100	1,5	1,675	95,589	19,118
100 x 100	2,0	2,223	125,545	25,109
100 x 100	2,5	2,764	154,578	30,916
100 x 100	3,0	3,300	182,709	36,542
100 x 100	4,0	4,355	236,339	47,268
100 x 100	5,0	5,387	286,583	57,317
100 x 100	10,0	10,206	492,000	98,400
120 x 120	2,0	2,676	219,134	36,522
120 x 120	2,5	3,331	270,495	45,082

TABLA 7 Perfil cuadrado hueco aluminio extraído pilares (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 02/06/2020)

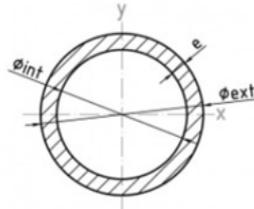
Las barras horizontales que forman un mallado sobre el que se sitúa la madera de ambos niveles de la plataforma, está fabricado con perfiles rectangulares huecos:



b x h	e	Peso	Ixc	Ipx	Wxc	Wyc
100 x 50	2,0	1,656	26,298	77,518	10,519	15,504
100 x 50	2,5	2,055	32,026	95,151	12,810	19,030
100 x 50	3,0	2,449	37,439	112,119	14,976	22,424
100 x 50	4,0	3,221	47,366	144,126	18,946	28,825
100 x 50	5,0	3,969	56,167	173,667	22,467	34,733
100 x 50	8,0	6,078	76,654	248,734	30,662	49,747
100 x 60	2,0	1,769	39,507	87,123	13,169	17,425
100 x 60	4,0	3,447	72,201	162,569	24,067	32,514
100 x 80	3,0	2,960	109,241	154,473	27,310	30,895
110 x 40	2,0	1,656	17,454	86,362	8,727	15,702

TABLA 8 Perfil rectangular hueco aluminio extraído barras horizontales (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 02/06/2020)

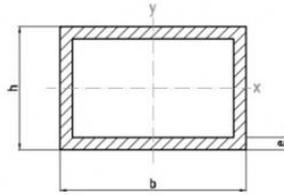
El sistema de barandillas incluido en la plataforma está constituido por perfiles tubulares huecos de extrusión de aluminio. Las características del perfil seleccionado se indican en la siguiente tabla:



phi_ext x phi_int	e	Peso	Ixc=lyc	Wxc=Wyc
51 x 47	2,00	0,873	9,256	3,630
52 x 40	6,00	2,458	23,324	8,971
52 x 46	3,00	1,309	13,912	5,351
54 x 50	2,00	0,926	11,060	4,096
55 x 40	7,50	3,173	32,352	11,764
55 x 43	6,00	2,618	28,136	10,231
55 x 45	5,00	2,227	24,789	9,014
55 x 50	2,50	1,169	14,238	5,178
55 x 52	1,50	0,715	9,027	3,283
56 x 46	5,00	2,271	26,296	9,392

TABLA 9 Perfil tubular hueco aluminio extraído barandillas (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 02/06/2020)

Entre los dos niveles de la plataforma se disponen barras en forma de cruz que aportan mayor resistencia y estabilidad a la estructura, asemejándose a las Cruces de San Andrés. Dichas cruces también son de aluminio 6082-T6 y se ha elegido un perfil rectangular hueco 70 x 30, como se puede ver a continuación:



b x h	e	Peso	Ixc	Iyx	Wxc	Wyc
70 x 20	2,0	0,975	2,414	18,834	2,414	5,381
70 x 20	3,0	1,429	3,203	26,583	3,203	7,595
70 x 30	1,5	0,825	4,760	18,078	3,174	5,165
70 x 30	2,0	1,089	6,083	23,459	4,055	6,703
70 x 30	2,5	1,347	7,286	28,536	4,858	8,153
70 x 45	2,0	1,259	15,250	30,397	6,778	8,685
70 x 50	2,0	1,315	19,382	32,710	7,753	9,346
70 x 50	3,0	1,939	27,485	46,797	10,994	13,371

TABLA 10 Perfil rectangular hueco de aluminio para las cruces (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 02/06/2020)

Por otro lado, para el bastidor de acero S235 del que dispone la estructura se ha seleccionado un perfil IPE 200, cuyas propiedades son:

Perfiles IPE																						
Perfil	Dimensiones								Términos de sección								Agujeros		Peso			
	h	b	e	e ₁	r ₁	h ₁	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _z	I _z	w	a	e ₂	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	mm	mm	mm	kg/m	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,30	1,65	2,630	1.981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3.959	44	13	5,0	15,80	P
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,90	83,2	1.300,0	146,0	7,42	101,00	22,20	2,05	5,060	7.431	48	13	5,3	18,80	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	898	33,40	143	2.770	232	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22.070	58	17	5,9	26,20	P

TABLA 11 Perfil IPE acero del bastidor (Fuente: <https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#ipe>, consultada el día 02/06/2020)

Por lo tanto, las características principales de los diferentes perfiles con los que se dimensiona la estructura, para posteriormente proceder a su comprobación, se resumen en la siguiente tabla (Tabla 10):

RESUMEN CARACTERÍSTICAS PERFILES							
PERFIL	MATERIAL	A (mm ²)	Peso (kg/m)	Iz (10 ⁴ mm ⁴)	Iy (10 ⁴ mm ⁴)	Wz (10 ³ mm ³)	Wy (10 ³ mm ³)
100 x 100	ALUMINIO EN AW 6082	1900	5,387	286,583	286,583	57,317	57,317
100 x 50	ALUMINIO EN AW 6082	1136	3,221	47,366	144,126	18,946	28,825
55 x 50	ALUMINIO EN AW 6082	412,33	1,169	14,238	14,238	5,18	5,18
70 x 30	ALUMINIO EN AW 6082	384	1,089	6,083	23,459	4,055	6,703
IPE 200	ACERO S235	2850	22,4	1940	142	194	28,5

TABLA 12 Resumen características perfiles empleados

2.3 Acciones

- Cargas permanentes (G)

De acuerdo con el UNE-EN 1991-1-1, el peso propio de la construcción debe expresarse como un solo valor característico y calcularse en función de las dimensiones nominales y de los valores característicos de los pesos específicos, incluyendo elementos estructurales y no estructurales.

Las cargas debidas al peso propio de la estructura las aplica el programa de cálculo utilizado (SAP 2000) según las características de los perfiles empleados. Es decir, lo calcula directamente considerando el peso específico de los materiales utilizados.

Los pesos propios considerados en la ejecución de la estructura se observan en la Tabla 11, tanto en kg y kg/m como en KN y KN/mm, que son las unidades utilizadas en SAP2000:

PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA		
Peso/Metro Lineal pilares	5,387 kg/m	$5,28 \cdot 10^{-5}$ KN/mm
Peso/Metro Lineal barras horizontales	3,221 kg/m	$3,16 \cdot 10^{-5}$ KN/mm
Peso/Metro Lineal barandillas	1,169 kg/m	$1,15 \cdot 10^{-5}$ KN/mm
Peso/Metro Lineal cruces	1,089 kg/m	$1,07 \cdot 10^{-5}$ KN/mm
Peso/Metro Lineal perfil IPE 200	22,4 kg/m	$2,2 \cdot 10^{-4}$ KN/mm
Peso Ruedas (10 ruedas x 3,46 kg)	34,6 kg	0,3391 KN
Peso Sistema de Elevación (8 motores x 4,5 kg)	36 kg	0,3528 KN
Peso Madera (650 kg/m ³ x 1 cm)	6,5 kg/m ²	$6,37 \cdot 10^{-8}$ KN/mm ²

TABLA 13 Peso propio de la estructura

- Sobrecarga de Uso (Q)

De acuerdo con el UNE-EN 1991-1-1, las sobrecargas de uso en edificios son aquellas debidas a la ocupación de los mismos y corresponden a modelos de cargas uniformemente repartidas, de cargas lineales o de cargas concentradas o de combinaciones de las mismas.

Puesto que nuestra plataforma está destinada a una única y específica función, la de realización de labores de mantenimiento en el estabilizador vertical de los aviones, la sobrecarga de uso a considerar será debida al uso que los operarios hacen de dicha estructura. Además, debido a la naturaleza de estas labores, no se contemplan otros valores indicados en el apartado 6.1 del UNE-EN 1991-1-1 como mobiliario y objetos móviles, vehículos, realización de eventos no usuales...

Los efectos de la sobrecarga de uso de la plataforma pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente sobre sus dos niveles de altura. El valor de la misma se define en el Código Técnico de la Edificación, en función de la categoría de uso a la que se asemeja nuestra estructura, como se puede observar en la siguiente tabla:

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

TABLA 14 Valores característicos de las Sobrecargas de Uso (Fuente: CTE DB-SE-AE, Tabla 3.1)

Por lo tanto, se elige una carga uniformemente distribuida de 0,4 kN/m², ya que el peso de todo lo que puede gravitar sobre los dos pisos de la plataforma será similar al que puede gravitar sobre una cubierta ligera sobre correas, accesible sólo para conservación (Categoría G1).

Además, para la realización de las labores no es necesaria la intervención de más de dos operarios. Por ello, se diseña la estructura con los siguientes límites de carga:

- 400 kg en total sobre la estructura (5 personas).
- 120 kg por cajón deslizante.

En definitiva, respecto a la Sobrecarga de Uso sobre la estructura, se va a realizar el cálculo para la situación más desfavorable: Carga de 400 kg en el borde de los voladizos, además de la carga uniformemente distribuida de $0,4 \text{ KN/m}^2$ sobre las superficies de las dos alturas de la plataforma de trabajo.

Por otro lado, la plataforma dispone de un sistema de barandillas alrededor de sus dos niveles de altura y en las escaleras. Sobre dichas barandillas se aplica una carga horizontal uniformemente distribuida que viene definida en el apartado 6.4 del Eurocódigo 1-1: *Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso*. De acuerdo con dicha normativa, se considera una carga lineal q_k a la altura del tabique o de los antepechos, o en su lugar a 1,20 metros de altura, si estos superan dicha medida.

En el caso que nos ocupa, dicha carga horizontal se aplica sobre el borde superior de la barandilla (pues ésta mide 1 metro) y su valor característico se obtiene de la siguiente tabla:

Zonas de carga	q_k [kN/m]
Categoría A	q_k
Categoría B y C1	q_k
Categorías C2 -a C4 y D	q_k
Categoría C5	q_k
Categoría E	q_k
Categoría F	Véase el anexo B
Categoría G	Véase el anexo B
NOTA 1 Para las categorías A, B y C1, q_k puede escogerse de entre los valores del rango <u>0,2</u> kN/m a 1,0 (0,5) kN/m.	
NOTA 2 Para las categorías C2 a C4, q_k puede escogerse de entre los valores del rango 0,8 kN/m a <u>1,0</u> kN/m.	
NOTA 3 Para la categoría C5, q_k puede escogerse de entre los valores del rango <u>3,0</u> kN/m a 5,0 kN/m.	
NOTA 4 Para la categoría E, q_k puede escogerse de entre los valores del rango 0,8 kN/m a <u>2,0</u> kN/m. Para la categoría E las cargas horizontales dependen de la ocupación. Por lo tanto el valor de q_k se define como un valor mínimo y debería ser comprobado para una ocupación concreta.	
NOTA 5 Cuando las NOTAS 1, 2, 3 y 4 establezcan un rango, el valor puede fijarse en el anexo nacional . El valor recomendado es el que aparece subrayado.	
NOTA 6 El anexo nacional puede disponer cargas puntuales Q_k adicionales y/o especificaciones referentes a impactos por cuerpo blando para la verificación analítica o experimental.	

TABLA 15 Cargas horizontales sobre tabiques y antepechos (Fuente: Eurocódigo 1-1, Tabla 6.12)

A pesar de que el caso específico de nuestra plataforma no está contemplado en la normativa, debido al uso que se va a realizar de esta, resulta aconsejable escoger el valor menos desfavorable de la categoría A. Por lo tanto, la carga horizontal que deberán de soportar las barandillas de nuestra plataforma será de $0,2 \text{ KN/m}$.

Finalmente, el Eurocódigo 1.1 también establece unas sobrecargas de uso específicas para las escaleras y que han de ser consideradas en nuestra plataforma.

Categorías de zonas de carga	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Categoría A		
- Suelos	1,5 a <u>2,0</u>	<u>2,0</u> a 3,0
- Escaleras	2,0 a 4,0	<u>2,0</u> a 4,0
- Balcones	<u>2,5</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 3,0
Categoría B	2,0 a <u>3,0</u>	1,5 a <u>4,5</u>
Categoría C		
- C1	2,0 a <u>3,0</u>	3,0 a <u>4,0</u>
- C2	3,0 a <u>4,0</u>	2,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- C3	3,0 a <u>5,0</u>	<u>4,0</u> a 7,0
- C4	4,5 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>
- C5	<u>5,0</u> a 7,5	3,5 a <u>4,5</u>
Categoría D		
- D1	<u>4,0</u> a 5,0	3,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- D2	4,0 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>

TABLA 16 Sobrecargas de uso sobre suelos, balcones y escaleras en edificios
(Fuente: Eurocódigo 1-1, Tabla 6.2)

Como se ha comentado anteriormente, el uso que se va a dar a nuestra plataforma es similar al de las estructuras de la Categoría A. De acuerdo con dicha normativa, se adopta una sobrecarga de uso de 2 KN/m^2 sobre la escaleras.

- Carga de Nieve (N)

En este proyecto no se tiene en cuenta la carga de Nieve, ya que la estructura va a estar en todo momento situada en el interior del hangar, por lo que resulta imposible que se pueda acumular nieve en alguna parte de la estructura.

- Carga de Viento (V)

Este apartado se ha realizado siguiendo las indicaciones del UNE-EN 1991-1-1, es decir, la parte 1-4 “Acciones Generales” del Eurocódigo 1: Acciones en Estructuras.

La representación de la acción del viento se lleva a cabo mediante el conjunto simplificado de presiones o fuerzas cuyos efectos son equivalentes a los efectos extremos del viento turbulento. Los valores de dichas acciones fijas variables son valores característicos, calculados a partir de la velocidad básica del viento.

A pesar de que nuestra estructura está situada en el interior del hangar, se ve afectada por el viento frontal que entra en éste cuando se abren sus puertas, debido al flujo de entrada y salida de los aviones. Esto lo podemos observar en la siguiente figura, donde vemos la situación de la plataforma (en la imagen solo se aprecia una de las dos subestructuras) frente a las puertas del hangar. Por lo tanto, vamos a considerar el viento que entra en el hangar por las puertas 1,2 y 3 (las dos primeras no se ven en la imagen).



ILUSTRACIÓN 12 Situación estructura respecto a las puertas del hangar

Se procede al cálculo del viento frontal que incide sobre la estructura según el Eurocódigo 1. En primer lugar, se procede al cálculo de la Velocidad Media del viento (V_m) a partir de la ecuación:

$$V_m = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot V_b \quad (2.1)$$

donde

V_b es la velocidad del viento

$C_r(z)$ es el factor de rugosidad

$C_0(z)$ es el coeficiente topográfico

siendo

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad (2.2)$$

donde

$V_{b,0}$ es el valor fundamental de la velocidad básica del viento

C_{dir} es el factor direccional

C_{season} es el factor estacional

$V_{b,0} = 26$ m/s, ya que el hangar está situado en la Zona de Servicio del Aeropuerto de Manises y, por lo tanto, está situada en la Zona A. Esto se puede observar en la siguiente figura, que corresponde a la Figura AN.1 del Anexo Nacional del Eurocódigo 1:



ILUSTRACIÓN 13 Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento (Fuente: Eurocódigo 1-4, Anexo Nacional)

$C_{dir} = 1$, se adopta el valor recomendado por el Eurocódigo 1 (nota 2 del punto 4.2).

$C_{season} = 1$, se adopta el valor recomendado por el Eurocódigo 1 (nota 3 del punto 4.2).

El valor de la velocidad básica del viento es:

$$V_b = 1 \cdot 1 \cdot 26 = 26 \text{ m/s}$$

Una vez obtenido el valor de V_b , se procede al cálculo de los dos coeficientes ($C_r(z)$ y $C_0(z)$) necesarios para obtener la velocidad media V_m .

$C_0(z) = 1$, valor recomendado en el punto 4.3.1 del Eurocódigo 1, dado que la orografía del terreno donde se sitúa el hangar no conlleva un cambio en la velocidad del viento. En otras palabras,

se adopta el valor recomendado porque no se especifica lo contrario en el punto 4.3.3 del Eurocódigo 1.

Para la determinación del cálculo del factor de rugosidad se ha seguido el cálculo recomendado por el Eurocódigo 1 en el punto 4.3.2 del mismo. Este procedimiento viene dado por la expresión (2.3), y se basa en un perfil logarítmico de velocidades.

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{m\acute{a}x} \quad (2.3)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{min}) \quad \text{para } z \leq z_{min}$$

donde

z_0 es la longitud de la rugosidad

k_r es el factor del terreno, que depende de la longitud de la rugosidad z_0 y calculado utilizando:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (2.4)$$

donde

$z_{m\acute{a}x} = 200$ metros

z_{min} es la altura mínima, determinada por la tabla 4.1 del Eurocódigo 1 en función de la categoría del terreno:

Categoría de terreno		z_0 m	z_{min} m
0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos	0,01	1
II	Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos	0,05	2
III	Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)	0,3	5
IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m	1,0	10

NOTA Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1.

TABLA 17 Categorías de terrenos y parámetros del terreno (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 4.1)

Debido a que la plataforma está en el interior del hangar, se le asigna al terreno la Categoría IV, ya que va a estar poco expuesta al viento y esta es la categoría menos desfavorable. De esta manera, quedan definidos los siguientes parámetros:

$z_0 = 1$ metro

$z_{min} = 10$ metros

$z_{0,II} = 0,05$ metros (categoría de terreno II, tabla 9)

Por lo tanto, sustituyendo estos valores en la ecuación (2.4) se obtiene:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{1}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2343$$

Debido a que la altura máxima de la plataforma es 5,986 metros, se calcula $C_r(z)$ siguiendo la segunda ecuación de la expresión (2.3)

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) = 0,2343 \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right) = 0,5396$$

Con el valor del factor de rugosidad, se calcula la velocidad media del viento utilizando la ecuación (2.1):

$$v_m(z) = 0,5396 \cdot 1 \cdot 26 = 14,0286 \text{ m/s}$$

Después de determinar el valor de la velocidad media del viento, se calcula la presión correspondiente a la velocidad de pico $q_p(z)$, que incluye la velocidad media del viento y las fluctuaciones de velocidad a corto plazo. Para ello, se sigue el procedimiento recomendado por el Eurocódigo 1 en el punto 4.5:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.5)$$

donde

$I_v(z)$ es la intensidad de la turbulencia

ρ es la densidad del aire

$c_e(z)$ es el factor de exposición

q_b es la presión correspondiente a la velocidad media de referencia del viento, la cual se calcula mediante la siguiente expresión:

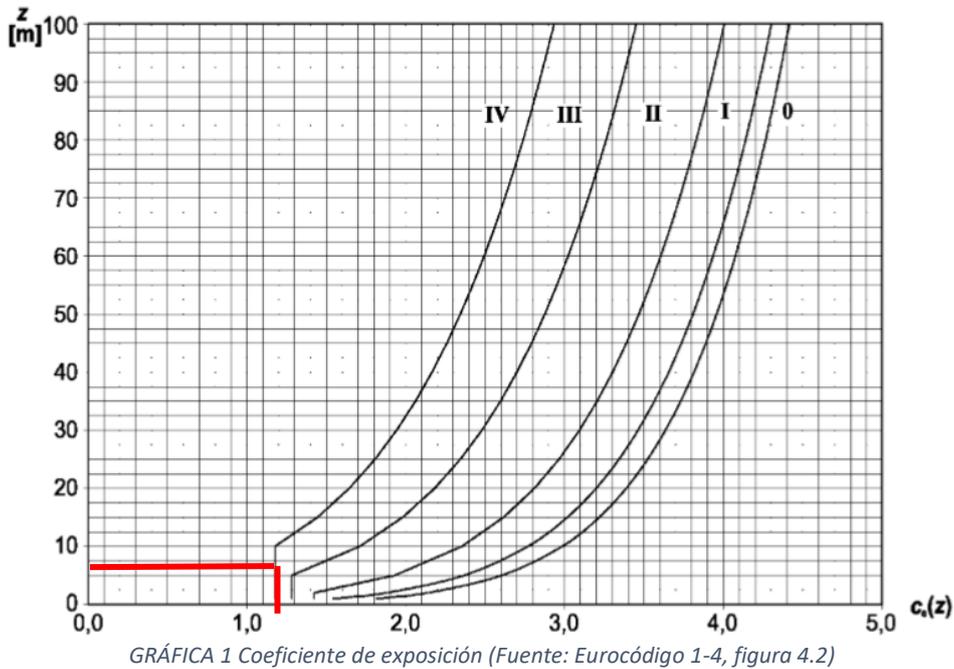
$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.6)$$

Para obtener el valor de la presión correspondiente a la velocidad de pico se calculan previamente $c_e(z)$ y q_b .

Para la obtención de la presión correspondiente a la velocidad media del viento (q_b) utilizamos el valor de ρ definido en el Anexo Nacional del Eurocódigo 1; $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. De esta manera queda:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 26^2 = 422,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}^2 = 422,5 \text{ N/m}^2$$

El valor del factor de exposición se obtiene a partir de la figura 4.2 del Eurocódigo 1 (Gráfica 1) para terrenos llanos donde $C_0(z) = 1$, en función de la categoría del terreno y la altura sobre el terreno ($z = 5,986$ metros):



De esta manera, el valor del coeficiente de exposición será:

$$c_e(z) = 1,2$$

Por lo tanto, ya se puede calcular el valor de la presión correspondiente a la velocidad de pico ($q_p(z)$), según la expresión (2.5):

$$q_p(z) = 1,2 \cdot 422,5 = 507 \text{ N/m}^2$$

Conocida la presión correspondiente a la velocidad de pico, se procede al cálculo de la presión del viento sobre la estructura. Dicha presión w_e se calcula a partir de la expresión 5.1 del Eurocódigo 1:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot C_{pe} \quad (2.7)$$

donde

$q_p(z_e)$ es la presión correspondiente a la velocidad de pico. z_e es la altura de referencia para la presión externa

C_{pe} es el coeficiente de presión para la presión exterior

Por lo tanto, solo es necesario calcular el valor de C_{pe} . Según el apartado 7 del Eurocódigo 1 parte 1-4, el procedimiento de obtención de dicho coeficiente se realiza en función del tipo de estructura. Nuestra plataforma se asemeja a un edificio de planta rectangular, con muros verticales y

cubierta plana, el cálculo del cual se aborda siguiendo el punto 7.2.2 de la parte 1-4 del Eurocódigo 1.

La altura de referencia (z_e) para este tipo de estructuras depende de la relación h/b y será siempre la altura superior de las diferentes partes de los muros. Este valor se da en la Ilustración 4:

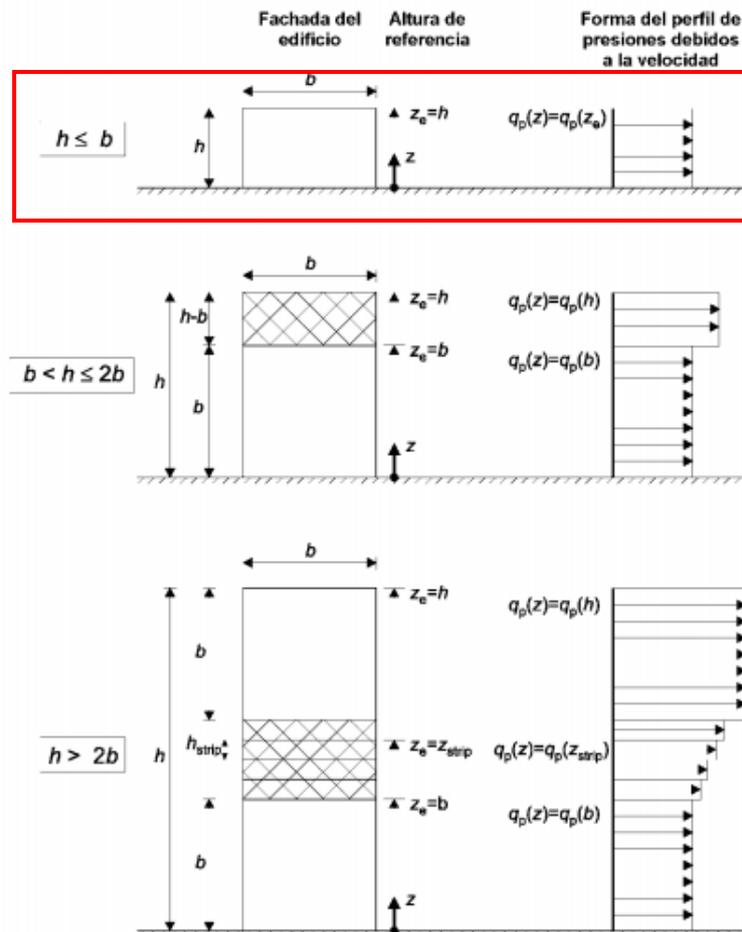


ILUSTRACIÓN 14 Altura de referencia en función de h y b , y perfil de velocidades y presión correspondiente (Fuente: Eurocódigo 1, Figura 7.4)

Como las dimensiones de la plataforma son: $h = 5,986$ metros y $b = 10,868$ metros, se tiene que, según el primer caso de la Ilustración 4:

$$z_e = h = 5,986 \text{ metros}$$

Por lo que:

$$q_p(z_e) = q_p(z) = 507 \text{ N/m}^2$$

Respecto a los coeficientes de presión externa (C_{pe}), se tiene que $A \leq 1 \text{ m}^2$, por lo que se procede al cálculo de $C_{pe,1}$.

Se obtiene el valor de $C_{pe,1}$ sobre los muros verticales a partir de:

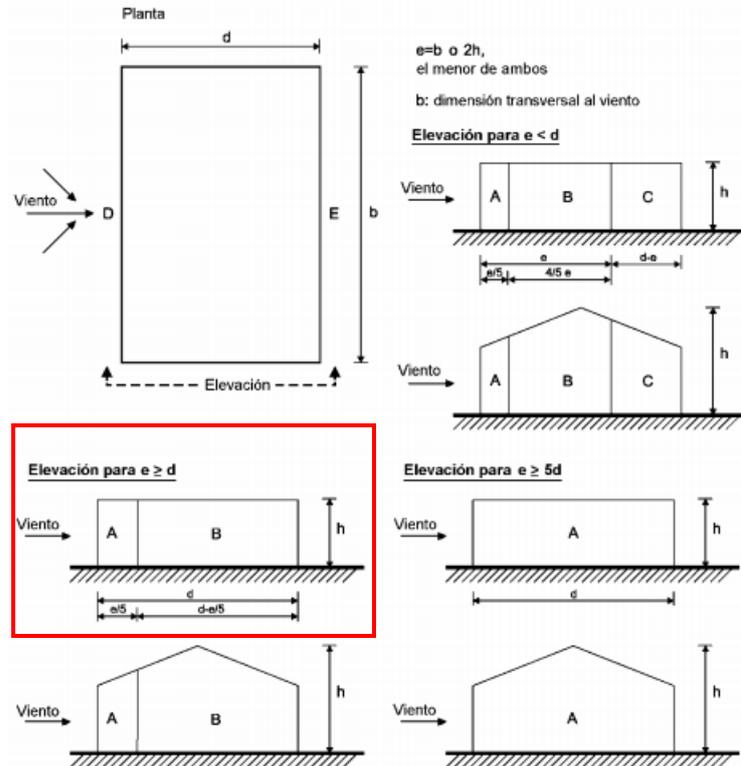


ILUSTRACIÓN 15 Leyenda para muros verticales (Fuente: Eurocódigo 1-4, Figura 7.5)

Zona	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

TABLA 18 Valores recomendados para los coeficientes de presión externa en muros verticales de edificios de planta rectangular (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 7.1)

Considerando que:

$$\frac{h}{d} = \frac{5,986}{6,935} = 0,8632$$

$$e = b = 10,868 \geq d$$

Para el efecto del viento sobre la cubierta de la plataforma, se siguen las indicaciones del apartado 7.2.3 “Cubiertas planas” del Eurocódigo 1, de donde se obtiene:

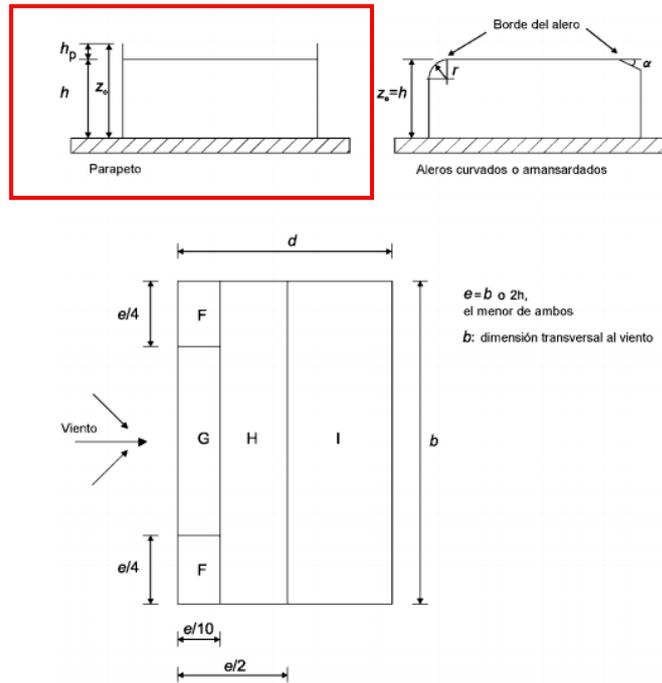


ILUSTRACIÓN 16 Leyenda para las cubiertas planas (Fuente: Eurocódigo 1, Figura 7.6)

Tipo de cubierta		Zona							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Cubierta con aleros afilados		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Con barandillas	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Alero curvado	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
Alero amansardado	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

TABLA 19 Valores recomendados para los coeficientes de presión externa en cubiertas planas (Fuente: Eurocódigo 1-4, Tabla 7.2)

Teniendo en cuenta que

$$\frac{h_p}{h} = \frac{1,105}{4,881} = 0,2264$$

Por consiguiente, ya se puede calcular la presión del viento sobre cada superficie exterior de la estructura. Estos son introducidos en el programa de cálculo SAP 2000 para la comprobación de los Estados Límite y quedan indicados en las siguientes tablas:

Zona	C_{pe}	$q_p(z_e)$	w_e (N/m ²)
A	-1,4	507	-709,8
B	-1,1	507	-557,7
D	+1	507	507
E	-0,5	507	-253,5

TABLA 20 Valores de presión del viento sobre las barras verticales de la plataforma

Zona	C_{pe}	$q_p(z_e)$	w_e (N/m ²)
F	-1,8	507	-912,6
G	-1,4	507	-709,8
H	-1,2	507	-608,4
I	$\pm 0,2$	507	$\pm 101,4$

TABLA 21 Valores de presión del viento sobre las plantas de la plataforma

2.4 Combinaciones de acciones

De acuerdo con el CTE DB-SE, se realizan distintas combinaciones de carga dependiendo del criterio de comprobación estudiado. Para nuestra estructura, las combinaciones que se han comprobado provienen de las que se observan a continuación (obtenidas del CTE DB-SE):

Capacidad portante. Debido a la naturaleza de las acciones que se ejercen sobre la plataforma, el valor de cálculo de los efectos de las acciones corresponde a:

- Situación persistente o transitoria.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.9)$$

Aptitud al servicio:

- Acciones de corta duración con efectos irreversibles (combinación característica).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.10)$$

- Acciones de corta duración con efectos reversible (combinación frecuente).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.10)$$

- Acciones de larga duración (combinación casi permanente).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.11)$$

donde

G, P, Q hacen referencia a las cargas permanentes (peso propio), de pretensado y variables, respectivamente. En nuestro caso, solo disponemos de dos cargas variables: Sobrecarga de uso (Q) y viento (V)

$\gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$ son los coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2 son los coeficientes de simultaneidad, de valor de combinación, frecuente y casi permanente, respectivamente

Las combinaciones de acciones para la comprobación de los Estados Límite Últimos y de Servicio se obtienen a partir de las situaciones expuestas anteriormente. Los valores correspondientes a los coeficientes parciales de seguridad (Tabla 20) y de simultaneidad (Tabla 21) se muestran en las tablas siguientes:

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

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

TABLA 22 Coeficientes parciales de seguridad para las acciones (Fuente: CTE DB-SE, Tabla 4.1)

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

TABLA 23 Coeficientes de simultaneidad (Fuente: CTE DB-SE, Tabla 4.2)

A continuación, se pueden observar las combinaciones se han comprobado para cada criterio (Tabla 19):

	Criterio de comprobación	Combinación
ELU	Resistencia	1,35G
		1,35G + 1,5Q
		1,35G + 1,5V
	Pandeo	1,35G + 1,5Q
		1,35G + 1,5V
ELS	Apariencia	1G + 0,3Q
	Integridad	1Q + 0,6V
		1V
	Confort	1V

TABLA 24 Combinaciones de acciones

2.5 Comprobaciones

En el presente apartado se explican las comprobaciones realizadas para garantizar la seguridad y funcionalidad de la plataforma de trabajo, siguiendo las instrucciones y recomendaciones recogidas en el Código Técnico de la Edificación.

Dichas comprobaciones consisten en verificar que, para las situaciones de dimensionado correspondientes, no se sobrepasan los estados límite. El CTE define los estados límite como: “*Se denominan estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguna de los requisitos estructurales para las que ha sido concebido*”.

El estudio de este apartado se ha realizado de manera que se diferencia por un lado los Estados Límite Últimos (ELU) y por otro los Estados Límite de Servicio (ELS).

2.5.1 Estados Límite Últimos

En el CTE queda remarcado que: “*Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo*”. Deben considerarse los debidos a:

- “*Pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido*”.
- “*Fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales*”.

Para la comprobación de los ELU, es necesario conocer el valor de la resistencia de cálculo (f_{yd}) de los dos materiales que intervienen en nuestra estructura.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.12)$$

siendo

f_y el límite elástico del material

γ_{M1} el coeficiente de seguridad aplicado a los Estados Límite Últimos

En el Eurocódigo 9 se define un valor de 250 N/mm^2 para el límite elástico del aluminio EN AW 6082-T6 (apartado 2.1). El coeficiente de seguridad γ_{M1} viene definido en la siguiente tabla:

resistance of cross-sections whatever the class is:	γ_{M1}
resistance of members to instability assessed by member checks:	
resistance of cross-sections in tension to fracture:	γ_{M2}
resistance of joints:	See Section 8

NOTE 1 Partial factors γ_{Mi} may be defined in the National Annex. The following numerical values are recommended:

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

TABLA 25 Factores parciales de seguridad para estados límite últimos (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.1)

Por otro lado, el CTE DB-SE-A determina que el valor del coeficiente parcial de seguridad para el acero es 1,05. Además, ya se ha dado a conocer el límite elástico de dicho material en el apartado 2.1 de este proyecto.

De esta manera, los valores de la resistencia de cálculo para los ELU queda:

$$\begin{array}{ll} \text{Aluminio EN AW 6082-T6} & f_{yd} = \frac{250}{1,10} = 227,27 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Acero S235} & f_{yd} = \frac{235}{1,05} = 223,81 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

2.5.1.1 Estado Límite Último de Resistencia

En este apartado se estudia la resistencia de la estructura frente a las acciones por las que se ve afectada. Para la realización del análisis se han diferenciado 5 familias de barras, de perfiles distintos:

- Pilares (Sección cuadrada hueca 100 x 100)
- Horizontales (Sección rectangular hueca 100 x 50)
- Cruces de San Andrés (Sección rectangular hueca 70 x 30)
- Barandillas (Sección tubular hueca 55 x 50)
- Bastidor horizontal acero (Sección IPE 200)

En primer lugar, se modeliza la estructura en el programa de cálculo SAP2000. En este, se importa desde Autocad el diseño de la plataforma, y se definen las secciones de cada barra, las articulaciones entre las mismas y las hipótesis de carga y las combinaciones de cálculo que tendrán lugar de acuerdo con la normativa vigente.

Se obtiene directamente del software de cálculo los esfuerzos a los cuales están sometidos todos los elementos de la estructura: axil (P), cortantes (V2, V3), momentos flectores (M2, M3) y momento torsor (T). Estos resultados se extraen del software para cada familia de barras, de manera que se comprueba cada una por separado.

La comprobación del ELU de Resistencia de las secciones se lleva a cabo comparando la tensión equivalente de Von Mises (σ_{eq}) con los valores de resistencia de cálculo del material correspondiente (f_{yd}). Se cumple el estado límite último si el porcentaje de tensión equivalente resulta ser menor o igual a 1, es decir, no se alcanza el límite elástico:

$$\frac{\sigma_{eq}}{f_{yd}} \leq 1 \quad (2.13)$$

El cálculo de la tensión equivalente de Von Mises se realiza con ayuda de la siguiente fórmula:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot (\tau_{xy} + \tau_{xz} + \tau_{xs})^2} \quad (2.14)$$

siendo

σ_x la tensión normal de la sección

τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{xs} las tensiones tangentes debidas al cortante en y (V2), al cortante en z (V3) y al momento torsor (T), respectivamente

El cálculo de dichas tensiones se realiza de manera diferente para cada familia de barras, utilizando las ecuaciones más adecuadas en función del tipo de sección de cada una.

A continuación, se muestra la comprobación del ELU de Resistencia de las secciones. Para ello, se comprueba la barra de cada familia en la que se produce la máxima tensión equivalente de Von Mises.

La primera tabla muestra los esfuerzos que sufren estas barras, extraídos directamente del software de cálculo SAP2000. Seguidamente, se exponen los resultados de las tensiones (MPa), que se han calculado a partir de las ecuaciones dispuestas anteriormente en este apartado. Finalmente, se muestra el porcentaje de tensión equivalente de la barra más desfavorable de cada familia, para así comprobar si se cumple o no el ELU de resistencia en cada una de estas barras.

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
PILARES	131	1,35G+1,5Q	-5.309,264	163,898	-6.918,066	47,421	-3.596,726	400,338
HORIZONTALES	628	1,35G+1,5Q	864,622	631,902	1.057,421	0,000	1.033,127	1.151,590
CRUCES S.A.	551	1,35G+1,5Q	-320,936	6,979	0,000	-0,181	0,000	-100,394
BARANDILLAS	364	1,35G+1,5Q	-143,405	-1.814,345	277,712	0,658	192,424	-910,282
BASTIDOR	571	1,35G+1,5Q	633,176	28.041,499	2.367,608	0,000	473,522	5.620,255

TABLA 26 Valores de los esfuerzos obtenidos de SAP para la barra más desfavorable de cada familia en N y N · m

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	M_R	Tensión normal (σ_x)	Tensión tg cortante (τ_{xy})	Tensión tg cortante (τ_{xz})	Tensión tg torsor ($\tau_{xs}, \tau_{x\theta}$)	Tensión eq Von Mises (σ_{eq})
PILARES	131	-	72,530	0,173	7,282	0,525	73,836
HORIZONTALES	628	-	97,385	0,823	2,873	0,000	97,595
CRUCES S.A.	551	-	25,594	0,026	0,000	0,023	25,594
BARANDILLAS	364	930,397	179,961	5,872	0,899	0,064	180,350
BASTIDOR	571	-	45,807	0,315	0,014	0,000	45,811

TABLA 27 Cálculo de las tensiones normales y tangentes de cada barra en MPa

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	Combinación	MAX (σ_{eq})	f_{yd}	σ_{eq}/f_{yd}	CUMPLE/ NO CUMPLE
PILARES	131	1,35G+1,5Q	73,836	227,273	0,325	CUMPLE
HORIZONTALES	628	1,35G+1,5Q	97,595	227,273	0,429	CUMPLE
CRUCES S.A.	551	1,35G+1,5Q	25,594	227,273	0,113	CUMPLE
BARANDILLAS	364	1,35G+1,5Q	180,350	227,273	0,794	CUMPLE
BASTIDOR	571	1,35G+1,5Q	45,811	223,810	0,205	CUMPLE

TABLA 28 Comprobación del ELU de Resistencia en cada barra

Puede observarse que los elementos se encuentran en la peor situación para la combinación de cálculo 1,5G+1,5Q.

Se concluye que los elementos más desfavorables de cada familia cumplen la comprobación del ELU de Resistencia de las secciones y, por consiguiente, todos los elementos de la estructura cumplen dicho ELU.

2.5.1.2. Estado Límite Último de Pandeo

En este apartado se comprueba el ELU de Pandeo para los pilares más desfavorables de la plataforma de trabajo. Para ello, se va a seguir el procedimiento indicado en el *Eurocode 9: Design of Aluminium Structures*.

El pandeo es un fenómeno que se produce en barras esbeltas sometidas a compresión, principalmente en columnas y pilares, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

Resulta de vital importancia comprobar la resistencia de las barras susceptibles a este fenómeno puesto que, al deformarse la estructura, su centro de gravedad se aleja del eje central, aumentando el momento de la fuerza y disminuyendo su resistencia, lo cual podría resultar en un fallo de la estructura por deformación excesiva, comprometiendo así la seguridad de la misma.

El procedimiento a llevar a cabo para la comprobación del estado límite de pandeo en estructuras de aluminio se explica a lo largo del punto 6.3 del Eurocódigo 9. A su vez, dicho apartado diferencia tres situaciones distintas en las que se puede encontrar el elemento estudiado, en función de las cuales se procede de una manera u otra:

- Elementos susceptibles de pandeo por compresión
- Elementos susceptibles de pandeo por flexión
- Elementos susceptibles de pandeo por flexión y compresión

En el caso que nos ocupa, se comprobará a pandeo el pilar más desfavorable, es decir, el que está sometido a un mayor axil de compresión y a un mayor momento flector. Esta es la barra número 132, cuya posición se puede ver en la siguiente ilustración, tomada a partir del modelo de la estructura introducido en el software SAP2000:

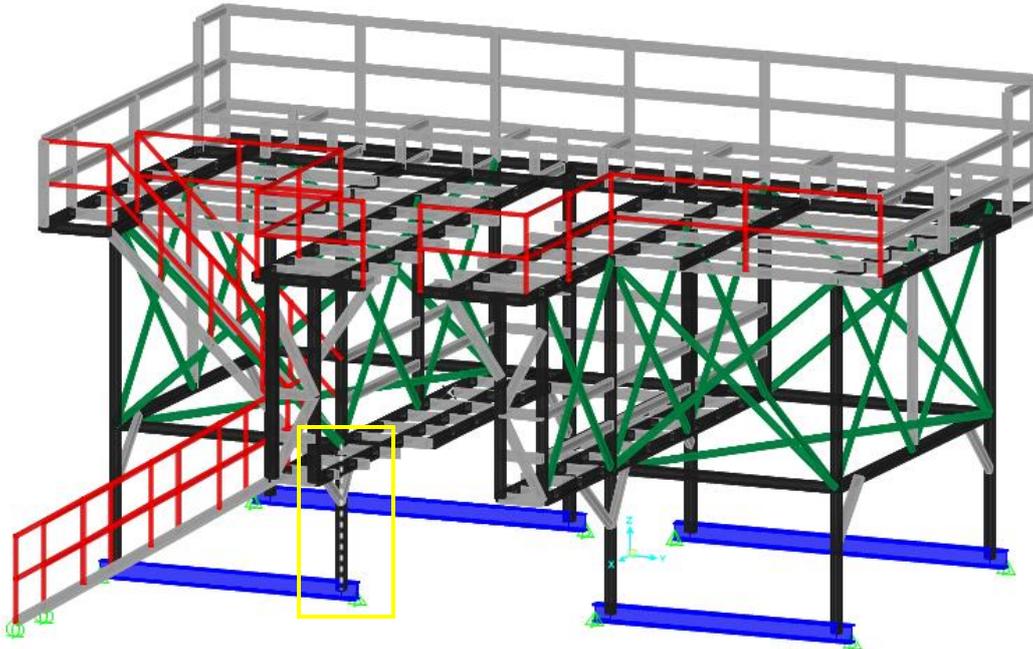


ILUSTRACIÓN 17 Pilar más desfavorable a pandeo de la plataforma de trabajo

Además, dado que este pilar está sometido a flexión y compresión, pertenece a la tercera situación comentada anteriormente, por lo que la comprobación se realiza siguiendo las indicaciones del punto 6.3.3 “*Members in bending and axial compression*” del Eurocódigo 9.

Este pilar está sometido a los siguientes esfuerzos, obtenidos mediante el software SAP2000:

Frame	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
132	1,35G+1,5Q	-28337,5846	622,6746203	2546,64695	71,7293061	2610,01831	412,778587

TABLA 29 Esfuerzos obtenidos de SAP2000 sobre el pilar más desfavorable a pandeo en N y N · m

La verificación que se debe llevar a cabo en el ELU de pandeo, de acuerdo con el Eurocódigo 9, es la siguiente:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \cdot \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1 \quad (2.15)$$

donde

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ son los valores de la fuerza axial de compresión y los momentos de cálculo de mayor valor absoluto sobre el elemento estudiado, obtenido directamente de SAP

$N_{Rd}, M_{y,Rd}, M_{z,Rd}$ son los valores de resistencia a pandeo del axil y de la flexión para cada dirección crítica

$\chi_{min} = \min(\chi_y, \chi_z)$, siendo χ_y, χ_z los valores de los coeficientes de reducción por pandeo en cada plano

$\Psi_c = 0,8$ o, alternativamente, $1,3\chi_y$ ó $1,3\chi_z$ (dependiendo de la dirección de pandeo), siempre y cuando $\Psi_c \geq 0,8$

$\omega_x = \omega_0 = 1$ para pilares sin soldaduras

Los valores de resistencia a pandeo se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_{Rd} = A_{ef} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.16)$$

$$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.17)$$

$$M_{z,Rd} = \alpha_z \cdot W_z \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.18)$$

donde

α_y, α_z son los factores de forma, y son siempre menor o igual a 1,25

W_y, W_z son los módulos resistentes de la sección respecto a cada dirección crítica de pandeo

A_{ef} es el área efectiva del pandeo local para secciones transversales de clase 4. $A_{ef} = A$ para las clases 1, 2, 3.

La clasificación de las secciones transversales viene dada en el apartado 6.1.4.2 del Eurocódigo 9, y se muestra a continuación:

(1) Four classes of cross-sections are defined, as follows:

- Class 1 cross-sections are those that can form a plastic hinge with the rotation capacity required for plastic analysis without reduction of the resistance.

NOTE Further information on class 1 cross-sections is given in Annex G.

- Class 2 cross-sections are those that can develop their plastic moment resistance, but have limited rotation capacity because of local buckling.

- Class 3 cross-sections are those in which the calculated stress in the extreme compression fibre of the aluminium member can reach its proof strength, but local buckling is liable to prevent development of the full plastic moment resistance.

- Class 4 cross-sections are those in which local buckling will occur before the attainment of proof stress in one or more parts of the cross-section.

ILUSTRACIÓN 18 Clasificación de las secciones transversales (Fuente: Eurocódigo 9, apartado 6.1.4.2)

En cuanto a los coeficientes de forma, se determinan en el apartado 6.2.5 mediante la siguiente tabla:

Cross-section class	Without welds	With longitudinal welds
1	$W_{pl} / W_{el}^{*)}$	$W_{pl,haz} / W_{el}^{*)}$
2	W_{pl} / W_{el}	$W_{pl,haz} / W_{el}$
3	$\alpha_{3,u}$	$\alpha_{3,w}$
4	W_{eff} / W_{el}	$W_{eff,haz} / W_{el}$
*) NOTE These formulae are on the conservative side. For more refined value, recommendations are given in Annex F		

TABLA 30 Valores del factor de forma α (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.4)

Debido a que el pilar estudiado pertenece a la clase 3 y no tiene puntos de soldadura, se elige el valor $\alpha_{3,u}$, el cual se calcula mediante la ecuación:

$$\alpha_{3,u} = \left[1 + \left(\frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \cdot \left(\frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1 \right) \right] \quad (2.19)$$

donde

W_{pl} es el módulo plástico de la sección

W_{el} es el módulo elástico de la sección, que aparece en las tablas del apartado 2.2 de este proyecto

β, β_2, β_3 son parámetros de esbeltez

Los parámetros de esbeltez se definen en el apartado 6.1.4.4 del Eurocódigo 9, a partir de la siguiente tabla:

Material classification according to Table 3.2	Internal part			Outstand part		
	β_1 / ϵ	β_2 / ϵ	β_3 / ϵ	β_1 / ϵ	β_2 / ϵ	β_3 / ϵ
Class A, without welds	11	16	22	3	4,5	6
Class A, with welds	9	13	18	2,5	4	5
Class B, without welds	13	16,5	18	3,5	4,5	5
Class B, with welds	10	13,5	15	3	3,5	4
$\epsilon = \sqrt{250/f_o}$, f_o in N/mm ²						

TABLA 31 Valores de los parámetros de esbeltez (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.2)

El parámetro β depende del ancho (b) y espesor (t) de la sección, definiéndose en el apartado 6.1.4.3 de dicha normativa como:

$$\beta = \frac{b}{t} \quad (2.20)$$

Además, el cálculo de los parámetros β, β_2, β_3 nos permite corroborar que la sección transversal de nuestro pilar pertenece a la clase 3, puesto que en la normativa se especifica que:

(1) The classification of parts of cross-sections is linked to the values of the slenderness parameter β as follows:

Parts in beams	Parts in struts
$\beta \leq \beta_1$: class 1	$\beta \leq \beta_2$: class 1 or 2
$\beta_1 < \beta \leq \beta_2$: class 2	$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$: class 3
$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$: class 3	$\beta_3 < \beta$: class 4
$\beta_3 < \beta$: class 4	

ILUSTRACIÓN 19 Clasificación de las secciones transversales en función de sus parámetros de esbeltez
(Fuente: Eurocódigo 9, apartado 6.1.4.4)

Y los valores para la sección de dicho pilar son:

$$\beta = \frac{90}{5} = 18, \quad \beta_2 = 16,5, \quad \beta_3 = 18,5$$

Para conocer el valor de χ_{min} hay que calcular previamente los coeficientes de reducción por pandeo para las dos direcciones críticas (χ_y, χ_z) y comprobar que el valor de cada uno sea menor o igual a 1:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \quad (2.21)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \quad (2.22)$$

donde

$$\begin{aligned} \Phi_y &= 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2) \\ \Phi_z &= 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_z^2) \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{es la esbeltez adimensional para cada dirección crítica de pandeo} \quad (2.24)$$

α es el coeficiente de imperfección elástica

$\bar{\lambda}_0$ es el límite de estancamiento horizontal

N_{cr} es la fuerza crítica elástica para el pandeo relevante basado en las propiedades transversales

Teniendo en cuenta que el pilar que se está comprobando a pandeo es un perfil extruido, y el Eurocódigo 9 define en el punto 3.2.2 que los perfiles extruidos pertenecen a la clase B, los valores de α y $\bar{\lambda}_0$ para el pandeo por flexión se definen en la siguiente tabla:

Material buckling class according to Table 3.2	α	$\bar{\lambda}_0$
Class A	0,20	0,10
Class B	0,32	0,00

TABLA 32 Valores del coeficiente de imperfección elástica y del límite de estancamiento horizontal (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.6)

Como se ha comentado anteriormente, se lleva a cabo la comprobación del pandeo por flexión de la barra más desfavorable. Por ello, la esbeltez adimensional ($\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$) ha de ser siempre menor o igual a 2, y se calcula siguiendo la ecuación específica para el pandeo por flexión, dispuesta en el apartado 6.3.1.3 del Eurocódigo 9:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{A E}} \quad (2.25)$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{ef} f_y}{A E}} \quad (2.26)$$

donde

$$L_{cr} = k \cdot L \quad \text{es la longitud de pandeo en el plano considerado} \quad (2.27)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{es el radio de giro de la sección respecto al plano considerado de pandeo} \quad (2.28)$$

E es el módulo de elasticidad del material. Para la aleación de aluminio EN AW 6082-T6 se tiene que $E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$, como se indica en el punto 2.1 de este proyecto.

Los coeficientes de pandeo (k_y, k_z) son dependientes de las condiciones de apoyo que tenga el elemento, es decir, de las restricciones de los extremos del pilar estudiado en cada plano de pandeo. Estos valores se obtienen a partir de la tabla 6.8 del Eurocódigo 9, la cual se presenta a continuación traducida al castellano:

Condiciones de extremos	K
1. Mantenido en posición y coartado en dirección en ambos extremos	0,7
2. Mantenido en posición en ambos extremos y coartado en dirección en un extremo	0,85
3. Mantenido en posición en ambos extremos, pero sin coartar en dirección	1,0
4. Mantenido en posición en un extremo, y coartado en dirección en ambos extremos	1,25
5. Mantenido en posición y coartado en dirección en un extremo, y parcialmente coartado en dirección pero no mantenido en posición en el otro extremo	1,5
6. Mantenido en posición y coartado en dirección en un extremo, pero no mantenido en posición o coartado en dirección en el otro extremo	2,0

TABLA 33 Valor del coeficiente de pandeo para pilares (Fuente: Eurocódigo 9, Tabla 6.8)

Se determina que, para el pilar número 133 de nuestra plataforma, el valor de ambos coeficientes de pandeo es 1, debido a que la parte superior de la barra está libre en dirección.

Por lo tanto, el valor de la longitud de pandeo en cada plano es:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1 \cdot 1,7 = 1,7 \text{ metros}$$

Una vez explicado el procedimiento de comprobación del estado límite último de pandeo sobre la estructura, se procede a realizar dicho cálculo. Cabe destacar que los resultados obtenidos serán iguales en ambos planos de pandeo, debido a la disposición de la barra ($k_y = k_z = 1$) y la sección transversal cuadrada hueca de la misma, que tiene dos planos de simetría.

Los valores obtenidos se presentan en las tablas dispuestas a continuación:

$L_{cr,y} = L_{cr,z}$	$i_y = i_z$	$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z$	$\Phi_y = \Phi_z$	$\chi_y = \chi_z$	χ_{min}	$\Psi_{c,y} = \Psi_{c,z}$
170,000	3,884	0,833	0,980	0,668	0,668	0,868

TABLA 34 Valor mínimo de los coeficientes de reducción por pandeo (χ_{min}) y del exponente Ψ_c

Para barras afectadas por compresión, el valor de la esbeltez reducida no debe superar un valor de 2. Como puede observarse en la tabla superior, esta primera comprobación parcial de pandeo se cumple para la barra estudiada

Además, también se comprueba que los coeficientes de reducción por pandeo para las dos direcciones críticas no son superiores a 1.

Los valores de resistencia a pandeo del axil y de la flexión para cada dirección crítica, se muestran en la siguiente tabla:

$\alpha_y = \alpha_z$	N_{Rd}	$M_{y,Rd}$	$M_{z,Rd}$
1,250	431818,182	16283,239	16283,239

TABLA 35 Valores de resistencia a pandeo del axil y de la flexión para el perfil más desfavorable en N y $N \cdot m$

A partir de los valores obtenidos en las dos tablas anteriores, y teniendo en cuenta los esfuerzos soportados por el pilar más desfavorable (Tabla 29), se procede a comprobar el pandeo utilizando la ecuación 2.15:

Frame	Combinación	Comprobación plano Y	Comprobación plano Z	CUMPLE/ NO CUMPLE
132	1,35G+1,5Q	0,292	0,292	CUMPLE

TABLA 36 Comprobación del ELU a Pandeo

Por lo tanto, se concluye que la estructura cumple el estado límite de pandeo, tanto en el plano Y como en el Z.

2.5.2. Estados límite de Servicio

En el CTE DB-SE, se define que: “*Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción*”.

Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles, y deben considerarse los relativos a:

- *Las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones.*
- *Los daños o el deterioro que puedan afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.*

Por consiguiente, en este apartado se procede a comprobar y justificar que, bajo los valores representativos de las acciones, en las situaciones persistentes, no se alcanza el estado límite de servicio en la estructura.

Para ello, se llevarán a cabo tres comprobaciones: apariencia, integridad y confort. Las combinaciones de acciones que se verifican en cada caso se han determinado previamente en el apartado 2.4 del presente proyecto.

2.5.2.1. Criterio de Apariencia

De acuerdo con el apartado 4.3.3.2 del Código Técnico de la Edificación: “*Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo es menor que 1/250*”.

Dicha comprobación se realiza directamente sobre los nudos más desfavorables de cada tramo de la estructura, los cuales se obtienen directamente del software de cálculo estructural SAP2000.

Para la realización, se ha tenido en cuenta el movimiento horizontal (ejes X e Y) de los pilares de la plataforma, ya que son estos elementos los susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales.

Además, la estructura se divide en 2 tramos para ser estudiada, correspondientes a la primera y segunda planta de la plataforma.

Se obtiene el valor del desplazamiento (en mm) para el nudo más desfavorable de cada nivel de altura de la plataforma, bajo la combinación de acciones definida en el apartado 2.4 de este proyecto. A partir de dichos movimientos, se ha calculado la resultante del desplazamiento horizontal como:

$$\delta_{rel} = \sqrt{\delta_{rel,x}^2 + \delta_{rel,y}^2} \quad (2.29)$$

El valor del desplazamiento relativo del nudo más desfavorable de los pilares de la estructura puede observarse en la tabla siguiente:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	δ_{rel}
Nivel 1	112	ELS Apariencia	0,8222844	-0,3642389	-0,13712072	0,8993451
Nivel 2	200	ELS Apariencia	0,8284124	0,4567859	-0,9865134	0,9460024

TABLA 37 Valores de los desplazamientos relativos en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la apariencia (en milímetros)

A continuación, se realiza la comprobación del ELS de Deformación para el Criterio de Apariencia, con ayuda de la fórmula recomendada por el CTE:

$$f_r = \frac{\delta_{rel}}{L_{barra}} \quad (2.30)$$

En la tabla siguiente se muestra el resultado de dicha comprobación:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	L_{barra}	δ_{rel}	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	112	ELS Apariencia	1700	0,8993451	0,000529	0,004	CUMPLE
Nivel 2	200	ELS Apariencia	2441	0,9460024	0,000388	0,004	CUMPLE

TABLA 38 Comprobación del ELS de los pilares de la estructura según el Criterio de Apariencia

De esta manera, se comprueba que los pilares de la estructura cumplen el ELS de Apariencia.

Respecto a la apariencia de los elementos horizontales de la plataforma, el CTE determina que: “Se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300”.

Para dicha comprobación, se tiene en cuenta el movimiento vertical (eje Z) de los nudos de la estructura horizontal de las dos alturas de la plataforma. Este parámetro es el desplazamiento relativo ($\delta_{rel,z}$).

El valor del desplazamiento relativo vertical más desfavorable de cada nivel se muestra en la tabla 39:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$
Nivel 1	42	ELS Apariencia	0,5433553	0,168926	-1,53895371
Nivel 2	75	ELS Apariencia	0,2480568	0,3939378	-4,60189

TABLA 39 Valores del desplazamiento relativo vertical en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la apariencia (en milímetros)

Realizando la comprobación de la apariencia del mismo modo que para los pilares, se obtiene:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	L_{barra}	$\delta_{rel,z}$	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	42	ELS Apariencia	516,66	-1,538954	0,002979	0,003333	CUMPLE
Nivel 2	75	ELS Apariencia	1950	-4,601887	0,00236	0,003333	CUMPLE

TABLA 40 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura según el Criterio de Apariencia

Por lo tanto, los elementos horizontales de ambas alturas de la plataforma también cumplen el ELS de apariencia.

En definitiva, se ha comprobado que la estructura cumple el estado límite de servicio de apariencia.

2.5.2.2. Criterio de Integridad

En relación a la integridad de los elementos susceptibles de desplome lateral que conforman la estructura, el CTE considera que: “la estructura global tiene suficiente rigidez lateral si, ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome (δ) es menor de”:

$$\delta_{total} < \frac{1}{500} \text{ de la altura total del edificio}$$

$$\delta_{local} < \frac{1}{250} \text{ de la altura total de la planta}$$

La diferencia entre desplome local y total puede observarse en la siguiente ilustración, dispuesta por el CTE:

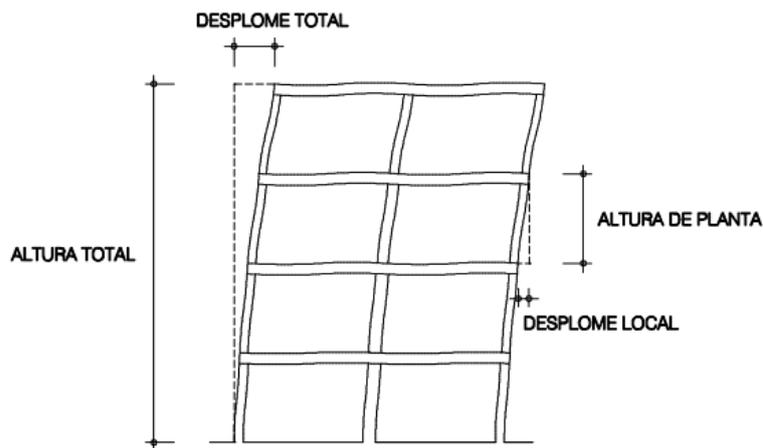


ILUSTRACIÓN 20 Desplome local y total (Fuente: CTE DB-SE, Figura 22)

Para el caso que nos ocupa, se ha realizado la comprobación de desplomes locales y del desplome total a partir de los movimientos obtenidos directamente en el software de cálculo SAP2000.

En primer lugar, se procede a la verificación de los desplomes locales. El valor de la resultante del desplazamiento horizontal (δ_{rel}) del nudo más desfavorable de cada planta se presenta a continuación:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	δ_{rel}
Nivel 1	124	ELS integridad 2 & Confort	-3,0841826	-0,0055208	0,0504021	3,0841875
Nivel 2	192	ELS integridad 2 & Confort	-3,21498064	-1,004219	1,7748175	3,3681681

TABLA 41 Valores de los desplazamientos relativos en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la integridad (en milímetros)

Como se ha observado, el nudo más desfavorable tiene lugar para la segunda combinación de acciones dispuesta en el apartado 2.4 de este proyecto: 1V. Una vez obtenidos los desplazamientos relativos en los mismos, se calcula el desplome relativo local siguiendo la recomendación del CTE:

$$\delta_{rel,local} = \frac{\delta_{rel}}{Altura_{planta}} \quad (2.31)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$Altura_{planta}$	δ_{rel}	$\delta_{rel,local}$	$\delta_{rel,local,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	124	ELS integridad 2 & Confort	2040	3,084187543	0,0015119	0,004	CUMPLE
Nivel 2	192	ELS integridad 2 & Confort	2441	3,368168093	0,0013798	0,004	CUMPLE

TABLA 42 Comprobación del ELS del desplome local de los pilares de la estructura según el Criterio de Integridad

Una vez comprobado que los pilares de la plataforma cumplen con el desplome local, se realiza la verificación del desplome total de la estructura.

La resultante del desplazamiento horizontal total (δ) del edificio tiene un valor de:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	δ_x	δ_y	δ_z	δ
Estructura total	192	ELS integridad 2 & Confort	-6,29916324	-1,0097398	1,8252196	6,3795793

TABLA 43 Valor del desplazamiento relativo en el nudo más desfavorable de la estructura para la integridad (en milímetros)

Y el desplome relativo total de la plataforma se obtiene mediante la ecuación:

$$\delta_{rel,total} = \frac{\delta}{Altura_{total}} \quad (2.32)$$

El resultado de la comprobación del desplome total se puede ver en la tabla 44:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$Altura_{total}$	δ	$\delta_{rel,total}$	$\delta_{rel,total,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Estructura total	192	ELS integridad 2 & Confort	4481	6,379579293	0,0014237	0,002	CUMPLE

TABLA 44 Comprobación del ELS del desplome total de los pilares de la estructura según el Criterio de Integridad

Con esto se concluye que los elementos de nuestra plataforma susceptibles de desplazamientos laterales cumplen el estado límite de servicio de integridad.

En cuanto a los elementos horizontales, que pueden sufrir desplazamientos verticales (eje Z), el Código Técnico de la Edificación determina que: “*Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:*

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) 1/300 en el resto de los casos.”

Por lo tanto, las barras horizontales que conforman el primer y segundo nivel de altura de la plataforma objeto de este proyecto, han de experimentar en sus nudos una flecha menor que 1/300.

A partir de los valores de los desplazamientos de los nudos, obtenidos mediante el programa SAP2000, se detectan los más desfavorables de cada nivel:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$
Nivel 1	142	ELS Integridad 1	-0,83792575	-0,4706623	-1,4327345
Nivel 2	76	ELS Integridad 1	-0,73023535	1,8311617	-3,9099422

TABLA 45 Valores del desplazamiento relativo vertical en los nudos más desfavorables de cada nivel de la estructura para la integridad (en milímetros)

A partir de estos valores de desplazamiento relativo vertical, se calcula la flecha relativa para cada nudo (mediante la ecuación 2.30), obteniéndose lo siguiente:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	L_{barra}	$\delta_{rel,z}$	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	142	ELS Integridad 1	516,66	-1,43273455	0,0027731	0,0033333	CUMPLE
Nivel 2	76	ELS Integridad 1	1950	-3,90994219	0,0020051	0,0033333	CUMPLE

TABLA 46 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura según el Criterio de Integridad

Finalmente, ya se puede afirmar que la estructura estudiada cumple el estado límite de servicio según el criterio de integridad.

2.5.2.3. Criterio de Confort

El CTE no considera el estudio del criterio de confort para los elementos de la estructura susceptibles de sufrir desplazamientos horizontales.

En cuanto a los elementos horizontales de la estructura, según el Código Técnico de la Edificación: *“Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa es menor que 1/350”*.

No obstante, para el caso concreto de este proyecto, el criterio de confort no es necesario calcularlo ya que se comprueba siguiendo la misma combinación característica que en la integridad (1V) y, puesto que ya se ha verificado anteriormente que ésta cumple con una flecha relativa máxima de 1/300, se da por hecho que dicha flecha máxima no supera el valor de 1/350.

De esta manera, se da por finalizada la comprobación del cumplimiento de los estados límites, tanto últimos como de servicio, por parte de la plataforma objeto de este proyecto y de acuerdo con la normativa vigente pertinente.

2.6 Reducción de peso de la estructura

Atendiendo a los resultados obtenidos en las comprobaciones llevadas a cabo en el apartado anterior, se decide realizarle una reducción de peso a la estructura, lo que conlleva una reducción del coste total de la misma

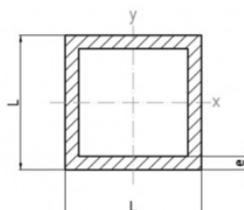
Los cambios en los perfiles utilizados no comprometen la seguridad estructural exigida por la normativa, de manera que la estructura reducida de peso sigue cumpliendo con los estados límite últimos y de servicio, como se justificará posteriormente en el apartado 2.6.2.

2.6.1 Perfiles definitivos

Tras múltiples cambios y pruebas en el software de cálculo SAP2000, y tras la realización de sus respectivas comprobaciones, se han modificado todos los perfiles que conforman la plataforma de trabajo, excepto el utilizado en el sistema de barandillas.

Los nuevos perfiles más ligeros y sus propiedades se detallan a continuación.

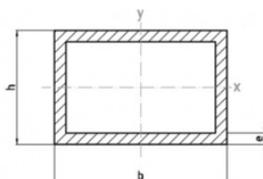
Los perfiles utilizados en los pilares de la estructura se han modificado por un perfil de sección cuadrada hueca de 80 x 80 y 4 milímetros de espesor:



l x l	e	Peso	I _{xc} =I _{yc}	W _{xc} =W _{yc}
70 x 70	3,0	2,279	60,273	17,221
70 x 70	4,0	2,994	76,947	21,985
80 x 80	1,5	1,335	48,391	12,098
80 x 80	2,0	1,769	63,315	15,829
80 x 80	3,0	2,620	91,445	22,861
80 x 80	4,0	3,447	117,385	29,346
80 x 80	5,0	4,253	141,250	35,313
80 x 80	6,0	5,035	163,155	40,789

TABLA 47 Perfil cuadrado hueco aluminio extraído pilares de la estructura reducida de peso (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 27/06/2020)

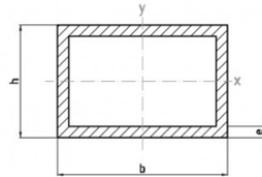
A su vez, las barras horizontales que conforman los dos niveles de altura de la plataforma también se han reducido, tanto en el lado de la sección transversal como en el espesor. El nuevo perfil utilizado para estos elementos es:



b x h	e	Peso	I _{xc}	I _{yc}	W _{xc}	W _{yc}
80 x 30	2,0	1,202	6,869	32,889	4,579	8,222
80 x 30	3,0	1,769	9,475	46,955	6,317	11,739
80 x 40	1,5	0,995	10,164	29,902	5,082	7,476
80 x 40	2,0	1,315	13,118	38,974	6,559	9,743
80 x 40	2,5	1,630	15,870	47,620	7,935	11,905
80 x 40	3,0	1,939	18,429	55,853	9,215	13,963
80 x 40	4,0	2,540	23,006	71,134	11,503	17,783
80 x 40	5,0	3,119	26,917	84,917	13,458	21,229

TABLA 48 Perfil rectangular hueco aluminio extraído barras horizontales de la estructura reducida de peso (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 27/06/2020)

Además, los perfiles utilizados para las cruces laterales de la estructura, tras la reducción de peso de la misma, son:



b x h	e	Peso	lxc	lyc	Wxc	Wyc
25 x 12	1,5	0,289	0,226	0,764	0,377	0,611
25 x 15	1,5	0,315	0,386	0,888	0,515	0,711
30 x 10	1,5	0,315	0,173	1,102	0,346	0,735
30 x 10	2,0	0,408	0,203	1,371	0,406	0,914
30 x 15	1,5	0,357	0,455	1,407	0,607	0,938
30 x 15	2,0	0,465	0,555	1,764	0,740	1,176
30 x 20	1,5	0,400	0,895	1,712	0,895	1,141
30 x 20	2,0	0,522	1,113	2,157	1,113	1,438

TABLA 49 Perfil rectangular hueco aluminio para las cruces de la estructura reducida de peso (Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>, consultada el día 27/06/2020)

Finalmente, el perfil de acero del bastidor horizontal que soporta la estructura también se puede cambiar por un perfil de menor peso, como es el IPE 160, cuyas características se muestran a continuación:

Perfiles IPE																						
Perfil	Dimensiones								Términos de sección								Agujeros		Peso			
	h	b	e	e ₁	r ₁	h ₁	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _z	I _z	w	a	e ₂	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	mm	mm	mm	kg/m	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,90	1,65	2,630	1.981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3.959	44	13	5,0	15,80	P
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	836	23,30	85,2	1.320,0	140,0	7,92	101,00	22,20	2,05	5,000	7.491	46	13	5,3	18,60	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,40	143	2.770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22.670	58	17	5,9	26,20	P

TABLA 50 Perfil IPE acero del bastidor de la estructura reducida de peso (Fuente: <https://ingmecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#ipe>, consultada el día 27/06/2020)

Las principales características de los perfiles definitivos que van a conformar la estructura reducida de peso se resumen en la siguiente tabla:

RESUMEN CARACTERÍSTICAS PERFILES							
PERFIL	MATERIAL	A (mm ²)	Peso (kg/m)	Iz (10 ⁴ mm ⁴)	Iy (10 ⁴ mm ⁴)	Wz (10 ³ mm ³)	Wy (10 ³ mm ³)
80 x 80	ALUMINIO EN AW 6082	1216	3,447	117,385	117,385	29,346	29,346
80 x 40	ALUMINIO EN AW 6082	575	1,63	15,87	47,62	7,935	11,905
55 x 50	ALUMINIO EN AW 6082	412,33	1,169	14,238	14,238	5,18	5,18
30 x 15	ALUMINIO EN AW 6082	126	0,357	0,455	1,407	0,607	0,938
IPE 160	ACERO S235	2010	15,8	869	68,3	109	16,7

TABLA 51 Resumen características perfiles empleados en la estructura reducida de peso

Con el objetivo de justificar esta reducción de peso, se disponen las dos tablas siguientes, en las que viene indicado el peso propio de la plataforma antes y después de la reducción de los perfiles que constituyen la misma.

Cabe destacar que el peso propio de la estructura se obtiene a partir de los dos modelos introducidos en SAP2000; el de la plataforma con los perfiles iniciales y el de la plataforma con los perfiles definitivos y de menor peso.

Para calcular el peso total de la plataforma, se suman los valores de las reacciones en el eje Z en cada uno de los apoyos, cuando la única carga considerada sobre la estructura es el peso propio de la misma.

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
327	PESO PROPIO	Combination	0	0	0,1630747	0	0	0
328	PESO PROPIO	Combination	0	0	0,1666989	0	0	0
389	PESO PROPIO	Combination	0,0334015	0,1192738	2,5714949	0	0	0
391	PESO PROPIO	Combination	-0,025157	-0,1040484	2,9756466	0	0	0
393	PESO PROPIO	Combination	-0,059193	-0,0411279	2,0083286	0	0	0
395	PESO PROPIO	Combination	-0,040801	-0,0315084	4,8859108	0	0	0
397	PESO PROPIO	Combination	0,026866	-0,1125086	2,6014672	0	0	0
399	PESO PROPIO	Combination	-0,060941	0,1147534	2,9773242	0	0	0
401	PESO PROPIO	Combination	-0,08852	0,0625343	2,5286238	0	0	0
403	PESO PROPIO	Combination	0,2282624	-0,0072509	5,0905042	0	0	0
					25,969074			

TABLA 52 Peso propio de la plataforma utilizando los perfiles iniciales en KN

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
327	PESO	Combination	0	0	0,1333152	0	0	0
328	PESO	Combination	0	0	0,1371226	0	0	0
389	PESO	Combination	0,0235517	0,0741774	1,6902068	0	0	0
391	PESO	Combination	-0,017481	-0,0625703	1,8543318	0	0	0
393	PESO	Combination	-0,039121	-0,0207118	1,3496006	0	0	0
395	PESO	Combination	-0,028848	-0,0239121	3,2738859	0	0	0
397	PESO	Combination	0,0184265	-0,0696205	1,7020385	0	0	0
399	PESO	Combination	-0,042979	0,0689325	1,8485678	0	0	0
401	PESO	Combination	-0,058374	0,0397419	1,7032185	0	0	0
403	PESO	Combination	0,151608	-0,0059807	3,5218779	0	0	0
					17,214166			

TABLA 53 Peso propio de la plataforma definitiva, utilizando los perfiles de menor peso en KN

Al convertir estos valores a kilogramos, se obtiene que el peso propio de la plataforma con los perfiles iniciales es de 2649,9055 kg, mientras el de la plataforma con los perfiles reducidos tiene un valor de 1756,5475 kg, por lo que se ha conseguido una disminución de 893,3579 kg del peso total de la plataforma.

Es importante no olvidar que el peso propio total de la plataforma, calculado en las tablas anteriores, incluye también el peso de los elementos no estructurales que forman parte de la misma, como son las ruedas, los motores del sistema de elevación y la madera que constituye cada nivel de altura. Estos valores ya han sido calculados en la Tabla 13 del presente proyecto y no varían, pues la reducción se ha realizado únicamente sobre los perfiles de los elementos estructurales.

2.6.2 Comprobación de Estados Límite

A continuación, se procede a realizar las comprobaciones pertinentes que garanticen que, con estos perfiles de menor peso, la estructura sigue cumpliendo los estados límites especificados en la normativa.

Para la realización de dichas comprobaciones, se han modificado los perfiles en el software SAP2000 y se ha vuelto a realizar el cálculo estructural de la plataforma de trabajo, siguiendo las mismas indicaciones expuestas en el apartado 2.5 del presente proyecto.

2.6.2.1 Estado Límite Último de Resistencia

A continuación, los esfuerzos que sufren las barras más desfavorables de cada familia:

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
PILARES	131	1,35G+1,5Q	-5.702,017	208,046	-6.640,046	48,719	-3.386,054	329,465
HORIZONTALES	628	1,35G+1,5Q	1.006,279	377,571	967,845	0,000	945,783	884,793
CRUCES S.A.	551	1,35G+1,5Q	-382,155	2,290	0,000	-0,025	0,000	-32,942
BARANDILLAS	364	1,35G+1,5Q	-76,767	-2.391,476	264,842	0,286	176,624	-962,635
BASTIDOR	571	1,35G+1,5Q	793,404	24.419,636	2.150,775	0,000	430,155	4.892,437

TABLA 54 Valores obtenidos en SAP para la barra más desfavorable de cada familia de la estructura reducida de peso, en N y N · m

Seguidamente, se muestran los valores de las tensiones (MPa) que sufren las secciones más desfavorables:

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	M_R	Tensión normal (σ_x)	Tensión tg cortante (τ_{xy})	Tensión tg cortante (τ_{xz})	Tensión tg torsor ($\tau_{xs}, \tau_{x\theta}$)	Tensión eq Von Mises (σ_{eq})
PILARES	131	-	131,300	0,342	10,921	1,054	133,022
HORIZONTALES	628	-	192,699	0,974	5,162	0,000	192,992
CRUCES S.A.	551	-	57,303	0,027	0,000	0,022	57,303
BARANDILLAS	364	978,704056	189,125	7,739	0,857	0,028	189,714
BASTIDOR	571	-	71,037	0,385	0,018	0,000	71,041

TABLA 55 Cálculo de las tensiones normales y tangentes de cada barra de la estructura reducida de peso, en MPa

Finalmente, se comprueba el ELU de Resistencia, realizando la comprobación de la tensión equivalente de Von Mises:

FAMILIA ESTUDIADA	Frame	Combinación	MAX (σ_{eq})	f_{yd}	σ_{eq}/f_{yd}	CUMPLE/ NO CUMPLE
PILARES	131	1,35G+1,5Q	133,022	227,273	0,585	CUMPLE
HORIZONTALES	628	1,35G+1,5Q	192,992	227,273	0,849	CUMPLE
CRUCES S.A.	551	1,35G+1,5Q	57,303	227,273	0,252	CUMPLE
BARANDILLAS	364	1,35G+1,5Q	189,714	227,273	0,835	CUMPLE
BASTIDOR	571	1,35G+1,5Q	71,041	223,810	0,317	CUMPLE

TABLA 56 Comprobación del ELU de Resistencia en cada barra de la estructura reducida de peso

Como se observa en la tabla anterior, la barra más desfavorable de cada familia cumple el ELU de Resistencia y, por consiguiente, todas las barras que conforman la plataforma de trabajo cumplen el estado límite de resistencia.

2.6.2.2 Estado Límite Último de Pandeo

En este apartado se comprueba el ELU de pandeo de la estructura modificada, siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado 2.5.1.2 de este proyecto.

Además, el pilar más desfavorable a pandeo es también la barra número 133, ya que es la que sufre un mayor axil de compresión y un mayor momento flector. Estos esfuerzos se obtienen directamente del software de cálculo SAP2000 y se muestran en la Tabla 57:

Frame	OutputCase	P	V2	V3	T	M2	M3
132	1,35G+1,5Q	-24960,8	778,7926967	2308,1828	51,814795	2365,63286	392,12873

TABLA 57 Esfuerzos obtenidos de SAP2000 sobre el pilar más desfavorable a pandeo de la estructura reducida de peso, en N y N · m

También es importante destacar que el perfil empleado en los pilares de la estructura reducida de peso pertenece a la clase 3 de secciones transversales, como puede comprobarse a continuación:

$$\beta = \frac{72}{4} = 18, \quad \beta_2 = 16,5, \quad \beta_3 = 18,5$$

$$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$$

El valor mínimo del coeficiente de reducción por pandeo (χ_{min}) y del coeficiente Ψ_c , necesarios para llevar a cabo la verificación de la ecuación 2.15, se disponen en la siguiente tabla:

$L_{cr,y} = L_{cr,z}$	$i_y = i_z$	$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z$	$\Phi_y = \Phi_z$	$\chi_y = \chi_z$	χ_{min}	$\Psi_{c,y} = \Psi_{c,z}$
170,000	3,107	1,041	1,209	0,549	0,668	0,713

TABLA 58 Valor mínimo de los coeficientes de reducción por pandeo (χ_{min}) y del exponente Ψ_c para la estructura reducida

A continuación, se calculan los valores de la resistencia a pandeo del axil y de la flexión para cada dirección crítica:

$\alpha_y = \alpha_z$	N_{Rd}	$M_{y,Rd}$	$M_{z,Rd}$
1,250	276363,636	8336,932	8336,932

TABLA 59 Valores de la resistencia a pandeo del axil y de la flexión para el perfil más desfavorable de la estructura reducida de peso, en N y N · m

Por lo tanto, ya se puede comprobar el pilar más desfavorable a pandeo, obteniéndose:

Frame	Combinación	Comprobación plano Y	Comprobación plano Z	CUMPLE/ NO CUMPLE
132	1,35G+1,5Q	0,561	0,561	CUMPLE

TABLA 60 Comprobación del ELU a Pandeo de la estructura reducida de peso

Los resultados de la tabla anterior verifican el cumplimiento del estado límite de pandeo de la barra más desfavorable, por lo que se garantiza que de toda la plataforma de trabajo, a la cual se le ha realizado una reducción de peso, cumple con el ELU de Pandeo.

2.6.2.3 Estado Límite de Servicio. Criterio de Apariencia

En este apartado se comprueba el ELS de Apariencia para los elementos que conforman la estructura tras su reducción de peso. Dicho cálculo se lleva a cabo con los desplazamientos de los nudos más desfavorables de cada nivel estudiado, obtenidos directamente del software de cálculo SAP2000, y siguiendo el procedimiento explicado en el punto 2.5.2.1 de este proyecto.

Respecto a los elementos susceptibles de sufrir desplazamientos horizontales, como son los pilares de nuestra estructura de trabajo, se comprueba que la flecha relativa de los nudos más desfavorables no supere el valor de 1/250. Esta comprobación se muestra en la siguiente tabla:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	δ_{rel}	L_{barra}	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	112	ELS Apariencia	1,530248	-1,03537	-0,33953	1,847605	1700	0,001087	0,004	CUMPLE
Nivel 2	200	ELS Apariencia	1,886987	0,025109	-3,06461	1,887154	2441	0,000773	0,004	CUMPLE

TABLA 61 Comprobación del ELS de los pilares de la estructura reducida de peso según el Criterio de Apariencia (desplazamientos en milímetros)

Por otro lado, las barras horizontales que conforman cada nivel de altura de la plataforma también han de cumplir el criterio de apariencia debido a sus desplazamientos verticales. Para ello, el CTE establece una flecha máxima de 1/300. Los resultados de esta comprobación sobre los nudos más desfavorables de dichos elementos horizontales son:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	L_{barra}	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	42	ELS Apariencia	1,048728	0,348975	-1,69569	516,66	0,003282	0,0033333	CUMPLE
Nivel 2	75	ELS Apariencia	0,592753	0,748636	-5,6783	1950	0,0029119	0,0033333	CUMPLE

TABLA 62 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura reducida de peso según el Criterio de Apariencia (desplazamientos en milímetros)

Como puede observarse en las dos tablas anteriores, las barras más solicitadas cumplen el ELS de Deformación de acuerdo con el Criterio de Apariencia, por lo que también lo cumple la estructura cuyos perfiles se han reducido.

2.6.2.4 Estado Límite de Servicio. Criterio de Integridad

Atendiendo a los nuevos valores de desplazamientos de los nudos de las barras tras su reducción de peso, se precisa verificar que la estructura sigue cumpliendo el estado límite de servicio según el criterio de integridad, de acuerdo con las indicaciones recogidas en el CTE-SE y desarrolladas en el punto 2.5.2.2 del presente proyecto.

En primer lugar, se comprueba tanto el desplome local ($\delta_{rel,local} < 1/250$) como el desplome total ($\delta_{rel,total} < 1/500$) de los pilares de la estructura.

Para comprobar el desplome local de los pilares, se estudia el nudo más desfavorable de cada planta, obteniéndose como resultado:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	δ_{rel}	Altura _{planta}	$\delta_{rel,local}$	$\delta_{rel,local,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	124	ELS integridad 2 & Confort	-6,35892	-0,00175	0,12418	6,35892	2040	0,00311712	0,004	CUMPLE
Nivel 2	192	ELS integridad 2 & Confort	-6,68548	-2,33698	4,62675	7,08217	2441	0,00290134	0,004	CUMPLE

TABLA 63 Comprobación del ELS del desplome local de los pilares de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros)

En cuanto al desplome total de la estructura, su comprobación se muestra en la siguiente tabla:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	δ_x	δ_y	δ_z	δ	Altura _{total}	$\delta_{rel,total}$	$\delta_{rel,total,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Estructura total	192	ELS integridad 2 & Confort	-13,0444	-2,33873	4,75093	13,2524	4481	0,00295746	0,002	CUMPLE

TABLA 64 Comprobación del ELS del desplome total de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros)

También se ha de comprobar el criterio de integridad en las barras horizontales de las dos plantas de la plataforma, ya que sufren desplazamientos verticales, cuya flecha relativa no debe superar el valor de 1/300, de acuerdo con el CTE.

A continuación, se dispone la tabla que recoge la comprobación de dicho criterio sobre las barras más desfavorables:

Nivel estudiado	Joint	OutputCase	$\delta_{rel,x}$	$\delta_{rel,y}$	$\delta_{rel,z}$	L_{barra}	f_r	$f_{r,max}$	CUMPLE/NO CUMPLE
Nivel 1	142	ELS Integridad 1	-1,37228	-1,17299	-1,61812	516,66	0,003132	0,00333333	CUMPLE
Nivel 2	76	ELS Integridad 1	-2,75201	2,736071	-5,81946	1950	0,002984	0,00333333	CUMPLE

TABLA 65 Comprobación del ELS de los elementos horizontales de la estructura reducida de peso según el Criterio de Integridad (desplazamientos en milímetros)

A consecuencia de los resultados obtenidos en las tablas anteriores, queda demostrado que la plataforma, tras haber sido modificada para reducir su peso, cumple con el estado límite de servicio según el criterio de integridad, ya que se cumple en los nudos más desfavorables para cada caso.

2.6.2.5 Estado Límite de Servicio. Criterio de Confort

Al igual que se exponía en el punto 2.5.2.3 de este proyecto, no es necesario realizar la comprobación del ELS del criterio de confort para este caso concreto, ya que se ha demostrado, en el apartado anterior, que se cumple dicho criterio para la estructura reducida de peso.

Esto es consecuencia de que la combinación de acciones utilizada en el estudio del criterio de confort es también la empleada en el criterio de integridad (recibe el nombre de “ELS Integridad 2 & Confort”) y se ha demostrado que la flecha máxima en el nudo más desfavorable no supera el valor de 1/300, lo que demuestra que de ninguna manera podrá superar la flecha máxima estipulada en el CTE para el criterio de confort (1/350).

2.7 Conclusiones

En el presente proyecto se ha realizado el diseño y cálculo de una plataforma de aluminio utilizada para realizar labores de mantenimiento en el estabilizador vertical de los aviones Bombardier CRJ200/900/1000, en el hangar de Air Nostrum, ubicado en el aeropuerto de Manises, Valencia.

Todo el proyecto se ha realizado en base a la normativa vigente para esta clase de proyectos: Eurocódigo 1, Eurocódigo 9 y el Código Técnico de la Edificación.

La plataforma está compuesta por dos subestructuras que trabajan conjuntamente y dispone de dos niveles de altura, los cuales pueden elevarse en un rango de 90 centímetros.

Una vez se clarificadas las características principales que ha de tener esta plataforma para cumplir su objetivo de manera eficiente, se diseña la estructura en el programa Autocad. En este paso, se determinan las diferentes barras que constituyen la plataforma, así como la longitud y disposición de las mismas. Este paso es necesario para la introducción de la estructura en el software de cálculo SAP2000.

Seguidamente, se determinan los materiales empleados y se eligen los perfiles iniciales de las barras de la estructura. Además, se obtienen los valores de las cargas a las que la plataforma va a estar expuesta: Cargas permanentes, sobrecarga de uso y viento. Estas cargas se calculan de acuerdo a la normativa vigente (CTE y Eurocódigo 1), en función del uso que se realizará de la plataforma y del lugar donde se ubica.

Tras introducir en el programa de cálculo de estructuras SAP2000 los materiales, perfiles y cargas calculadas anteriormente, se obtienen los esfuerzos y movimientos que tienen lugar sobre cada barra y cada nudo de la estructura, en función de cada combinación de acciones a la que está expuesta.

A partir de este punto, se realizan las comprobaciones de los estados límites, tanto últimos como de servicio, acordes con el CTE y el Eurocódigo 9, mediante Excel y con la información obtenida de SAP2000. Se concluye que la plataforma de trabajo cumple todas las comprobaciones pertinentes, siguiendo nuevamente la normativa.

En vista de los resultados obtenidos en dichas comprobaciones, se lleva a cabo una reducción de los perfiles utilizados, lo que conlleva una reducción de peso de la estructura de 893,3579 kg y, por tanto, una disminución del coste total de la misma. Se vuelve a comprobar que la estructura reducida de peso cumple con los estados límites.

De esta manera, la estructura constituida por perfiles de menor peso tendrá un coste más económico, garantizando la seguridad de las personas y la funcionalidad de la plataforma.

Además, se elabora el presupuesto del proyecto con ayuda del software Arquímedes de CYPE, cuyo valor asciende a la cantidad de 25.764,86 €.

Finalmente, se elaboran los planos de la estructura, detallando las dimensiones y geometría de la plataforma.

3. BIBLIOGRAFIA

Libros

- Gere, James M.; Timoschenko, Stephen P. (2009) Resistencia de materiales, Thomson, Madrid.
- Jiménez Mocholí, Antonio J.; Ivorra Chorro, Salvador (2006) Elasticidad y Resistencia de Materiales: Apuntes de Clase, Universitat Politècnica de València, València.

Apuntes y normas

- Apuntes de Tecnología de la Construcción del departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil.
- Código Técnico de la Edificación y sus documentos básicos (DB-SE, DB-AE, DB-SE A, DB-SE C).
- EAE, Instrucción de Acero Estructural
- Eurocódigo 1.1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios.
- Eurocódigo 1.4: Acciones en Estructuras. Acciones de Viento.
- Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio.
- Guía Steel Building in Europe - Edificios de Acero de una sola planta, Parte 1: Guía del Arquitecto
- Guía Steel Building in Europe - Edificios de Acero de una sola planta, Parte 6: Diseño detallado de pilares Compuestos

Software utilizado

- SAP2000 v16. CSI América.
- AutoCAD2014. Autodesk.
- Microsoft Office (Word, Excel, Power point, Access).

PRESUPUESTO

4. PRESUPUESTOS PARCIALES

Presupuesto parcial nº1 ESTRUCTURA DE ALUMINIO

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	AL01	kg	Perfiles cuadrados huecos, de 80 x 80 milímetros y 4 de espesor, de aluminio EN AW 6082 con tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial T6.	490,31	2.44	1196,36
1.2	AL02	kg	Perfiles rectangulares huecos, de 80 x 40 milímetros y 2,5 de espesor, de aluminio EN AW 6082 con tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial T6.	334,87	2.44	817,08
1.3	AL03	kg	Perfiles tubulares huecos, de diámetro exterior e interior de 55 y 50 milímetros respectivamente, de aluminio EN AW 6082 con tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial T6.	86,62	2.44	211,36
1.4	AL04	kg	Perfiles rectangulares huecos, de 30 x 15 milímetros y 1,5 de espesor, de aluminio EN AW 6082 con tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial T6.	39,4	2.44	96,14
Total presupuesto parcial nº1 ESTRUCTURA DE ALUMINIO:						2320,94

Presupuesto parcial nº2 BASTIDOR DE ACERO

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1	AC01	kg	Perfiles IPE 160 de acero S235 laminados en caliente.	230,15	1,93	444,19
Total presupuesto parcial nº2 BASTIDOR DE ACERO:						444,19

Presupuesto parcial nº3 ELEMENTOS PLATAFORMA

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1	CP01	m ²	Instalación de panel de madera de abedul de Clase III (EN 314-2) de 1 centímetros de espesor remachada a la estructura.	77,63	29,59	2297,07
3.2	CP02	Ud	Instalación del sistema de elevación de la plataforma; actuadores lineales CA trifásicos de la marca MecVel, modelo ALI4-F-CA versión M04, i.i circuito eléctrico.	8	936,80	7494,40
3.3	CP03	Ud	Suministro e instalación del nuevo PLC, puesta en marcha de los automatismos y regulaciones de la automatización, i.i. pruebas de funcionamiento manual/automático del PLC. Totalmente instalada, transporte, montaje y conexionado.	1	1134,15	1134,15
3.4	CP04	Ud	Instalación de ruedas de poliuretano "TR" con perfil redondo con núcleo de aluminio de diámetro 160 mm y freno incorporado, i.i. montaje y nivelación.	10	82,50	825,00
Total presupuesto parcial nº3 ELEMENTOS PLATAFORMA:						11750,62

Presupuesto parcial nº4 CALIDAD Y ENSAYOS

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
4.1	CE01	Ud	Ensayo destructivo sobre una muestra de perfil extruido de aluminio, con determinación de: límite elástico, resistencia a tracción, módulo de elasticidad y alargamiento.	4	188,70	754,80
4.2	CE02	Ud	Ensayo destructivo sobre una muestra de perfil IPE de acero, con determinación de: límite elástico, resistencia a tracción, módulo de elasticidad y alargamiento.	1	157,97	157,97
4.3	CE03	Ud	Comprobación del estado de los actuadores lineales CA trifásicos ALI4-F-CA del sistema de elevación, para descartar averías y con determinación de: potencia y velocidad.	8	18,75	150,00
4.4	CE04	Ud	Ensayo del funcionamiento del sistema de elevación.	1	28,30	28,30
4.5	CE05	Ud	Comprobación del estado de las ruedas, evaluación el estado de las mismas y del funcionamiento de los frenos.	10	13,86	138,60
4.6	CE06	Ud	Evaluación del estado de la madera de abedul EN 314-2 de 1 cm de espesor, y ensayo para determinar la tensión límite elástica y de rotura.	1	140,19	140,19
4.7	CE07	Ud	Inspección visual sobre el remachado del tablero de madera en la estructura horizontal de una planta de la plataforma.	2	54,24	108,48
Total presupuesto parcial nº4 CALIDAD Y ENSAYOS:						1478,34

Presupuesto parcial nº5 SEGURIDAD Y SALUD

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
5.1	SEG01	Ud	Partida alzada en materia de seguridad y salud.	1	1599,41	1599,41
Total presupuesto parcial nº5 SEGURIDAD Y SALUD:						1599,41

Presupuesto parcial nº6 GESTIÓN DE RESIDUOS

Num.	Código	Ud	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
6.1	GR01	Ud	Partida alzada en materia de gestión de residuos, derivados del corte de los elementos de aluminio y acero, i.i residuos del tablero de madera y del cableado eléctrico.	1	300,00	300,00
Total presupuesto parcial nº6 GESTIÓN DE RESIDUOS:						300,00

5. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

1. Estructura de aluminio	2.320,94 €
2. Bastidor de acero	444,19 €
3. Elementos plataforma	11.750,62 €
4. Calidad y ensayos	1.478,34 €
5. Seguridad y salud	1.599,41 €
6. Gestión de residuos	300,00 €

Total: **17.893,50 €**

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	17.893,50 €
Gastos generales (13% PEM)	2.326,16 €
Beneficio industrial (6% PEM)	1.073,61 €
PRESUPUESTO BRUTO	21.293,27 €
IVA (21%)	4.471,59 €

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA **25.764,86 €**

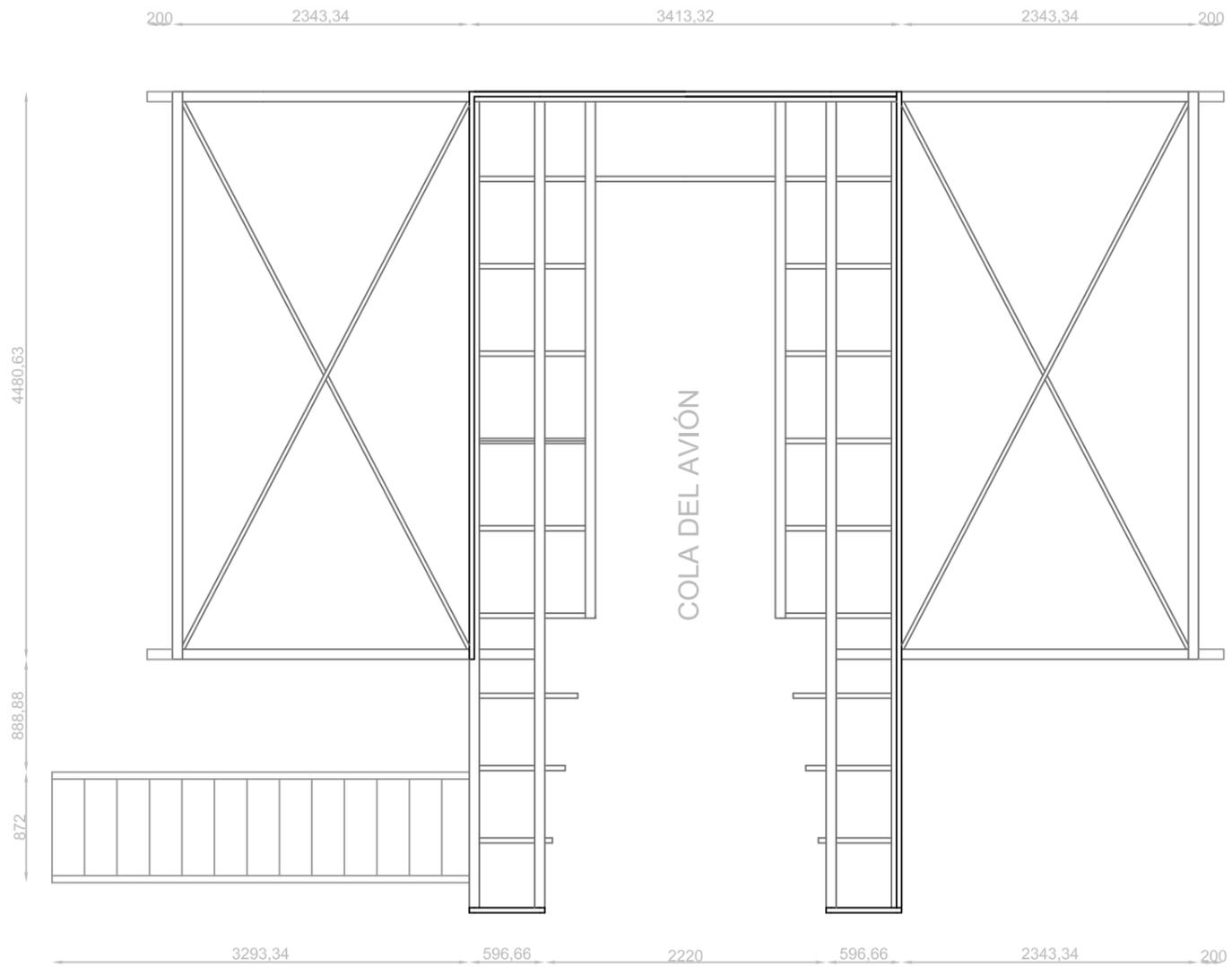
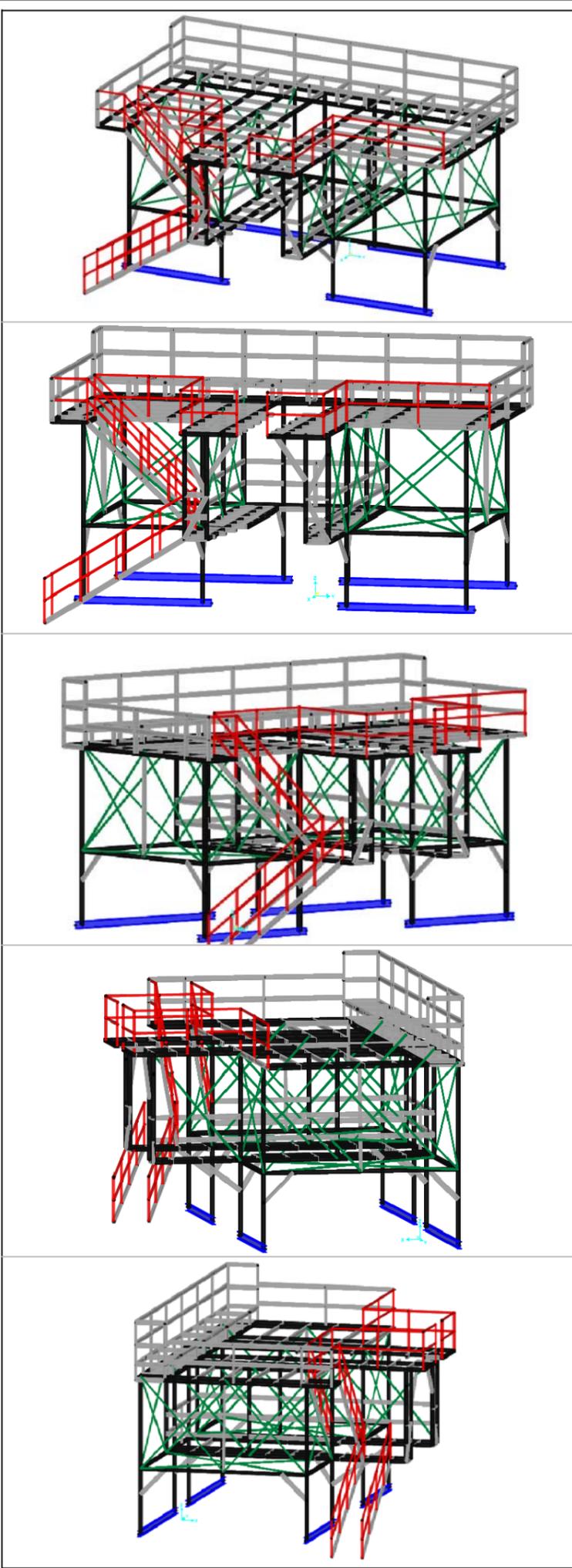
El presupuesto de ejecución por contrata asciende a la expresada cantidad de **VEINTICINCO MIL SETECIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS**.

PLANOS

01 Planta cota 2,040 m

02 Planta cota 4,481 m

03 Alzado y perfil



Proyecto : Diseño y cálculo de una plataforma móvil de aluminio para el mantenimiento aeronáutico

01

Situación : AEROPUERTO DE MANISES (Valencia)

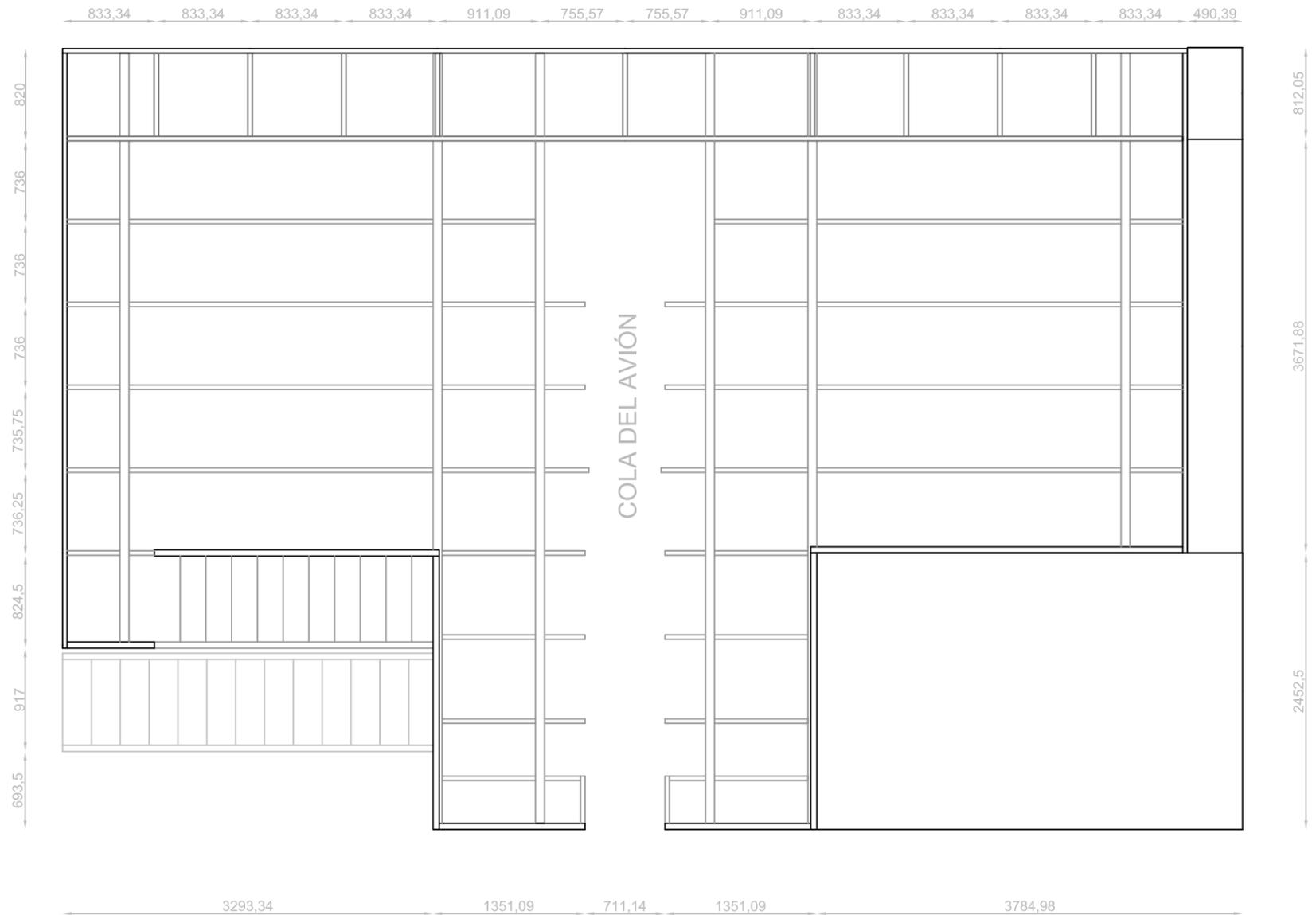
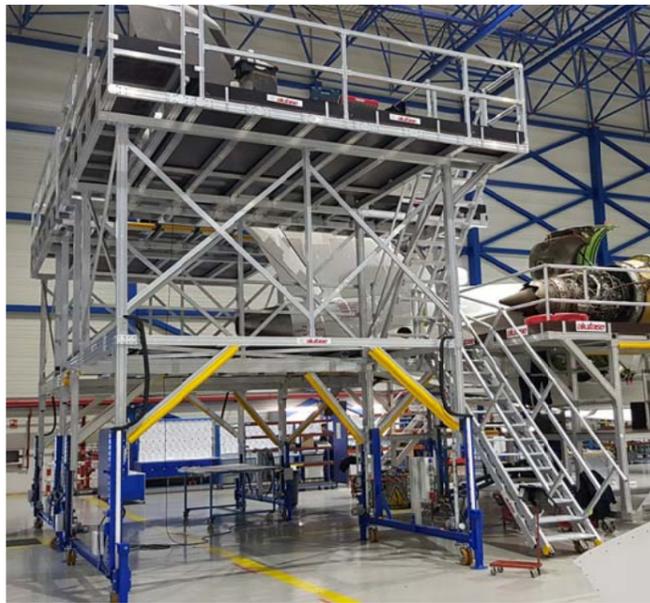
Fecha : Julio 2020

Escala : 1/50

Plano : PLANTA COTA 2,040 m

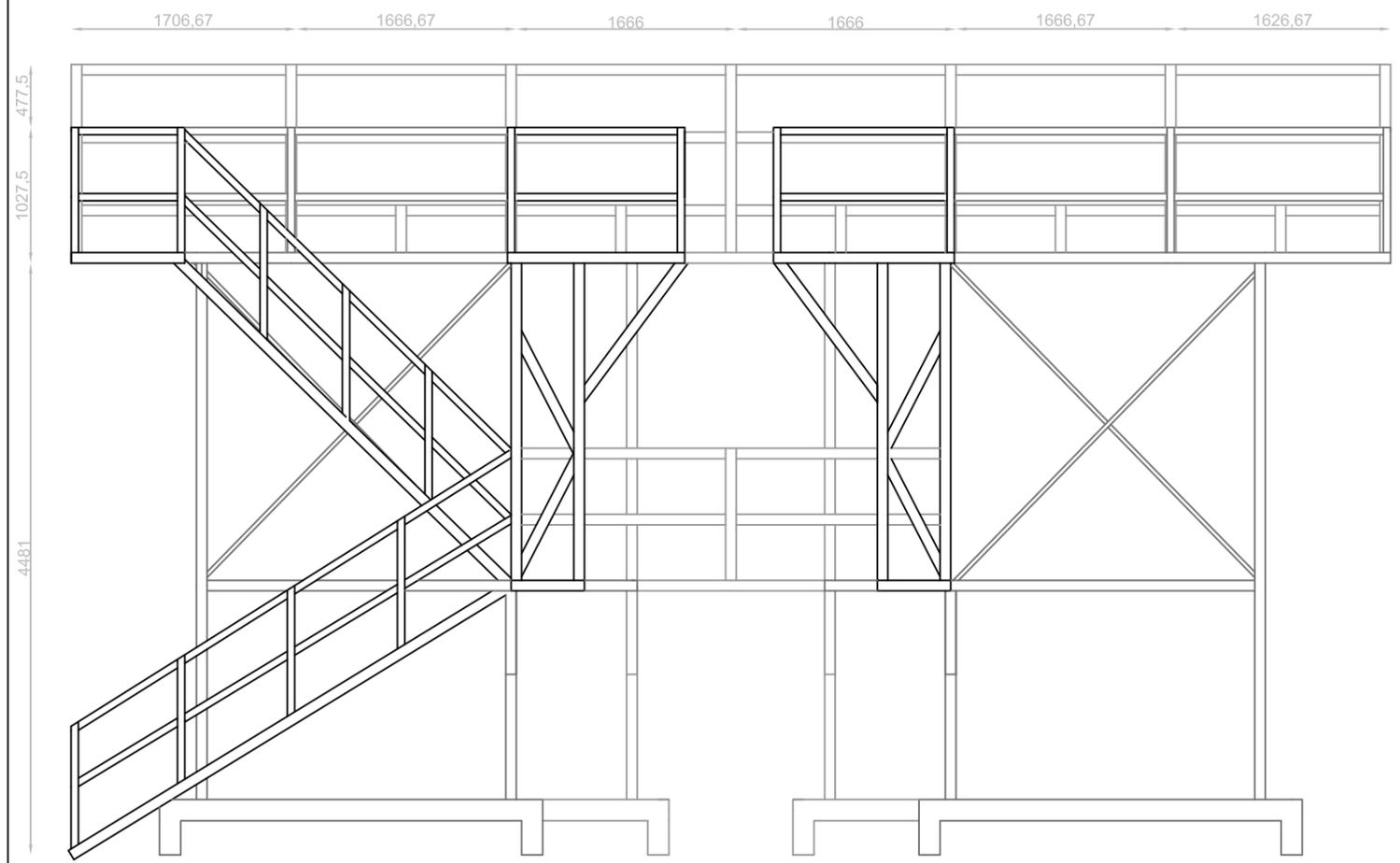
Autor: Juan Luis Sanchis Martínez



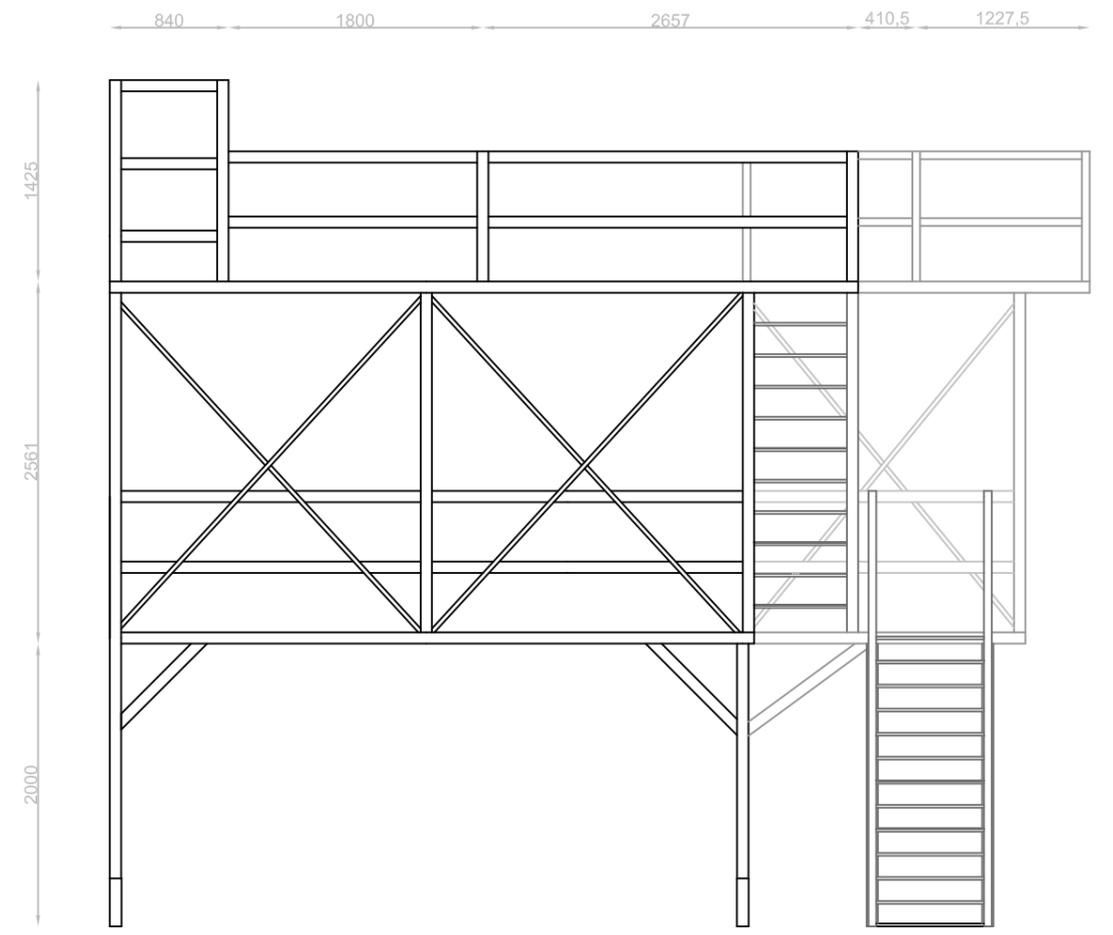


Proyecto :	Diseño y cálculo de una plataforma móvil de aluminio para el mantenimiento aeronáutico		02
Situación :	AEROPUERTO DE MANISES (Valencia)	Fecha : Julio 2020	
Plano :	PLANTA 4,481 m		
Autor:	Juan Luis Sanchis Martínez		





ALZADO PRINCIPAL



PERFIL

Proyecto : Diseño y cálculo de una plataforma móvil de aluminio para el mantenimiento aeronáutico

03

Situación : AEROPUERTO DE MANISES (Valencia)

Fecha : Julio 2020

Escala : 1/50

Plano : ALZADO Y PERFIL

Autor: Juan Luis Sanchis Martínez

