



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**Diseño de herrajes para estructuras
portables**

Autor:

Labrador Simón, Marina

Tutores:

Lorenzana Ibán, Antolín
Magdaleno González, Álvaro
Departamento C.A., I.T.,
M.M.C. y Teoría de Estructuras

Valladolid, Septiembre 2024



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante este proceso:

En primer lugar, a mi familia, por su constante apoyo y comprensión en los momentos más complicados. A pesar de las dificultades personales, siempre estuvisteis ahí para ofrecerme un hombro en el que apoyarme.

A mis amigos, gracias por ser esa fuente constante de motivación y ánimo. Vuestra presencia, aunque a veces lejana, fue esencial para mantenerme enfocada y con la energía suficiente para culminar esta etapa.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros de trabajo, quienes no solo comprendieron mis momentos de estrés y agotamiento, sino que además me animaron a seguir adelante, recordándome constantemente que valía la pena el esfuerzo. Vuestra paciencia, empatía y palabras de aliento fueron fundamentales para encontrar un equilibrio entre el trabajo y este proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a mi tutor Antolín, por haberme aceptado como su alumna para la realización de este TFG. Su orientación y comentarios me ayudaron a llevarlo a cabo.

Gracias a todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuído a que este proyecto haya comenzado, se haya desarrollado y, al fin, haya acabado.





RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado aborda el diseño y desarrollo de herrajes para estructuras portables, enfocándose en andas procesionales. La propuesta utiliza perfiles tipo Vierendeel, representados por escaleras de mano, unidas mediante una unión tipo omega diseñada para este proyecto. Se desarrollan también otros herrajes necesarios para la estructura.

El objetivo es crear una solución fácil de producir e industrializar, manteniendo estética y funcionalidad. El TFG analiza diversos materiales, uniones y perfiles estructurales, destacando el aluminio por su resistencia, durabilidad, ligereza y facilidad de procesamiento.

Finalmente, se evalúa la capacidad de la solución para cumplir con los requisitos de las andas procesionales, como resistencia estructural, facilidad de montaje y desmontaje, y estética, peso y economía, proponiendo una solución innovadora y eficiente para la producción industrial.

PALABRAS CLAVE

Parihuela, herrajes, aluminio, viga Vierendeel, escaleras de mano.

ABSTRACT

This final degree project deals with the design and development of hardware for portable structures, focusing on processional platforms. The proposal uses Vierendeel type profiles, represented by ladders, joined by means of an omega type joint designed for this project. Other fittings necessary for the structure are also developed.

The aim is to create a solution that is easy to produce and industrialise, while maintaining aesthetics and functionality. The TFG analyses various materials, joints and structural profiles, highlighting aluminium for its strength, durability, lightness and ease of processing.

Finally, it evaluates the capacity of the solution to meet the requirements of the processional platforms, such as structural strength, ease of assembly and disassembly, aesthetics, weight and economy, proposing an innovative and efficient solution for industrial production.

KEYWORDS

Scaffolding, fittings, aluminium, Vierendeel beam, ladders.





ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. Introducción y objetivos.	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes y motivación.	4
1.3 Objetivos.	6
CAPÍTULO 2. Diferentes alternativas.	7
2.1 Materiales.....	7
2.1.1 Aluminio	7
2.1.2 Acero	11
2.1.3 Madera.....	15
2.1.4 Fibra de vidrio.....	17
2.2 Elementos estructurales industriales	19
2.2.1 Vigas Truss.....	20
2.2.2 Vigas Vierendeel.....	23
2.3 Tipos de uniones.	26
2.3.1 Unión por soldadura.....	26
2.3.2 Uniones mecánicas.....	30
CAPÍTULO 3. Propuesta concreta.....	35
3.1 El bastidor.....	35
3.2 Los varales.....	52
3.3 El tablero con su artesonado	56
3.4 Los herrajes.....	59
3.4.1 Gama de abrazaderas	59
3.4.2 Cómo fabricar la abrazadera.....	61
CAPÍTULO 4. Resultados, conclusiones, líneas futuras.....	67
4.1 Resultados.....	67
4.2 Conclusiones	70
4.3 Líneas futuras.....	72
4.4 Consideraciones adicionales.....	73
5 Referencias.....	75
ANEXOS.....	79
Anexo 1: Ficha técnica escalera EURO 1:.....	79
Anexo 2: Ficha técnica de los tornillos usados en los herrajes referencia K0871.110X25:	80



Anexo 3: Ficha técnica de las arandelas usadas en los herrajes referencia K0868.610 :.....	82
Anexo 4: Ficha técnica de las tuercas usadas en los herrajes referencia K0700.1104:.....	84
Anexo 5: Plano escalera corta.	86
Anexo 6: Plano escalera larga.....	88
Anexo 7: Plano abrazadera paramétrica.....	90
Anexo 8: Plano bastidor con abrazaderas	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Andas de madera de pino. [1]	2
Figura 2. Parihuela de aluminio. [2]	2
Figura 3. Escalera simple de apoyo de aluminio. [4]	3
Figura 4. Truss de aluminio. [5]	3
Figura 5. Obtención del aluminio metálico. [11]	7
Figura 6. Proceso de reciclaje del aluminio. [13]	8
Figura 7. Tubos de aluminio. [15]	9
Figura 8. Chapas de aluminio. [16]	10
Figura 9. Carrocería de aluminio de un automóvil. [17]	10
Figura 10. Obtención del acero. [18]	11
Figura 11. Ciclo del acero. [19]	12
Figura 12. Vía de tren de acero. [23]	14
Figura 13. Paellera de acero inoxidable. [24]	14
Figura 14. Estructura de un puente de acero. [25]	14
Figura 15. Ciclo de la madera. [27]	15
Figura 16. Uso estructural de la madera de pino silvestre. [29]	17
Figura 17. Obtención de fibra de vidrio mediante pultrusión. [31]	17
Figura 18. Distribución de material en un Boeing 787. [33]	18
Figura 19. Viga Truss con montantes intercalados. [34]	20
Figura 20. Tipos de vigas Truss. [36]	21
Figura 21. Puente ferroviario Gatton con diseño de celosía Pratt. [37]	22
Figura 22. Viga en celosía en una nave industrial. [38]	23
Figura 23. Estructura Truss para iluminación y sonido. [39]	23
Figura 24. Viga Vierendeel. [40]	24
Figura 25. Distribución de esfuerzos de una viga Vierendeel. [41]	24
Figura 26. Puente Hafe vu Léck con forma de viga Vierendeel. [43]	25
Figura 27. Vigas Vierendeel en el teatro Alla Scala de Milán. [44]	25
Figura 28. Uniones soldadas. [45]	26
Figura 29. Unión desmontable roscada: Tornillo con tuerca. [48]	30
Figura 30. Unión desmontable no roscada: pasadores. [49]	30
Figura 31. Unión fija: Remaches. [50]	31
Figura 32. Unión con placa de empalme. [51]	31
Figura 33. Unión atornillada de tubos de aluminio . [52]	32
Figura 34. Unión atornillada de dos perfiles cuadrados. [53]	32
Figura 35. Unión tipo L. [54]	33
Figura 36. Uniones de tipo T. [55]	33
Figura 37. Andas de la Cofradía de la Esclavitud de Segovia. [56]	35
Figura 38. Detalle de los peldaños engastados de la escalera Serie A1. [57]	36
Figura 39. Escalera de aluminio transformable EURO 1. [58]	38
Figura 40. Barra estabilizadora. [58]	38
Figura 41. Zapatas basculantes estándar. [58]	39
Figura 42. Barandillas. [58]	39
Figura 43. E1 - 8	41
Figura 44. Dimensiones escalera corta	42



Figura 45. E1 - 14 43

Figura 46. Dimensiones escalera larga. 44

Figura 47. Bastidor de andas formado por escaleras E1-8 y E1-14. 45

Figura 48. Superposición de escaleras E1-8 (escalera superior) con E1-14 (escalera inferior). 45

Figura 49. Escalera corta colocada entre las zancas de la escalera larga. 46

Figura 50. Abrazadera tipo omega para perfil 57x27mm 48

Figura 51. Plano abrazadera paramétrica..... 49

Figura 52. Abrazaderas tipo omegas unidas mediante tornillos, arandelas y tuercas..... 50

Figura 53. Bastidor formado por escaleras y abrazaderas. 51

Figura 54. Dimensiones bastidor. 52

Figura 55. Varal de una anda de semana santa a hombros de costaleros. [62] 52

Figura 56. Varal macizo de madera de pino..... 53

Figura 57. Bastidor de la parihuela con la disposición de varales propuesta. 53

Figura 58. Abrazadera del varal. 54

Figura 59. Abrazaderas tipo omega que une zancas de escaleras con los varales de la parihuela..... 55

Figura 60. Almohadilla para paso de Semana Santa. [63] 56

Figura 61. Tablero de madera de pino de la parihuela. 56

Figura 62. Abrazadera tipo omega anclada al tablero mediante tornillos. 57

Figura 63. Artesonado de madera de pino de la parihuela..... 57

Figura 64. Abrazadera tipo omega dimensiones para peldaño de 27x25 mm. 58

Figura 65. Abrazadera tipo omega anclada al artesonado mediante tornillos 58

Figura 66. Parihuela con tablero y su artesonado. 58

Figura 67. Abrazadera tipo omega para perfil 57x27 mm. 60

Figura 68. Abrazadera tipo omega para perfil 67x27 mm. 60

Figura 69. Abrazadera tipo omega para perfil 84x27 mm. 60

Figura 70. Fresadora CNC para aluminio. [64] 63

Figura 71. Plegadora para aluminio Dachdecker ZRF-3250 con cortador. [65] 63

Figura 72. Centro de taladrado CNC. [66] 64

Figura 73. Limas de agujas planas y dientes finos. [67] 64

Figura 74. Cesta de la compra de las escaleras E1-8 y E1-14. [68] 69



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudio de materiales.	19
Tabla 2. Tipos de soldadura por fusión sin soplete. [46].....	27
Tabla 3. Catálogo de escaleras E1 según ficha técnica. [58].....	40
Tabla 4. Dimensiones de la abrazadera que une las escaleras.....	50
Tabla 5. Gama de abrazaderas.....	59



CAPÍTULO 1. Introducción y objetivos.

1.1 Introducción.

La evolución de la tecnología en las últimas décadas ha sido un fenómeno marcado por un cambio radical en la forma en la que se concibe, diseña, construye y gestiona el mundo que nos rodea. Tanto es así que la influencia de la ingeniería ha alcanzado incluso áreas que aparentemente están alejadas de sus dominios tradicionales como ocurre con la cultura. Este contexto de intersección entre ingeniería y cultura se puede ver aplicado en las estructuras ceremoniales que han desempeñado un papel importante a lo largo de la historia en eventos festivos y religiosos como son las andas.

Las andas, también llamadas parihuelas, son estructuras portátiles sólidas y resistentes utilizadas para soportar cargas pesadas. Su principal finalidad es llevar una imagen religiosa y sagrada como, por ejemplo, una virgen o un santo entre otros símbolos de la fe católica, en procesiones durante eventos religiosos comunes en la tradición cristiana. Las andas son especialmente conocidas en algunas regiones de España durante la Semana Santa y también en varios países de América Latina como México, Colombia, Perú y Guatemala.

Estas andas están diseñadas para ser transportadas por anderos también conocidos como costaleros, un grupo de personas que llevan el peso de toda la estructura en sus hombros. Dependiendo de la figura que se cargue en las andas, la capacidad de carga, la tradición cultural y estética, accesibilidad y transporte, el tamaño y dimensiones de las andas pueden variar considerablemente. En función de todo lo mencionado anteriormente pueden ser necesarios desde dos anderos hasta un gran número, siempre buscando distribuir el peso de manera equitativa para evitar lesiones o accidentes y de esta forma facilitar el transporte de manera segura y eficiente.

En cuanto a los materiales utilizados en la construcción de estas estructuras portables hay diversidad según la disponibilidad de recursos, durabilidad y resistencia de los materiales, estética y decoración de las andas, y el peso global de la estructura. Tradicionalmente las andas han sido construidas de madera resistente y duradera como la de roble o la de pino tratado para exteriores. Sin embargo, en versiones más modernas se pueden encontrar andas hechas de otro tipo de materiales fuertes como son el acero y el aluminio.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de unas andas procesionales elaboradas con madera de pino.



Figura 1. Andas de madera de pino. [1]

En la figura 2 se muestra otro ejemplo de andas, en este caso, elaborada con aluminio.

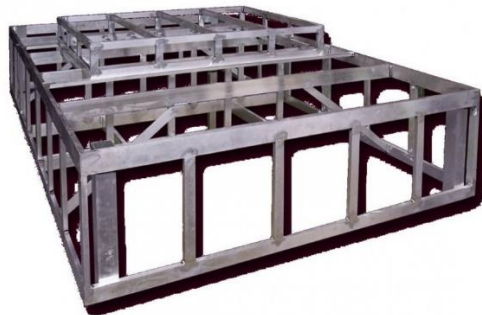


Figura 2. Parihuela de aluminio. [2]

Este tipo de estructuras ya elaboradas no suelen ser fáciles de montar y desmontar y además tienen un valor económico considerable que varía dependiendo de los costes asociados a su fabricación, mantenimiento y el almacenamiento.

Para cumplir con la demanda creciente en la industria de eventos de construcciones temporales y estructuras portátiles que sean no solo resistentes y versátiles, sino fáciles de montar y desmontar, ligeras y low cost, se abre un amplio abanico de posibilidades poniendo en práctica la tecnología madura.

La tecnología madura es aquella que ha alcanzado un estado de desarrollo y estabilidad adoptando un nivel alto de confiabilidad, eficiencia y disponibilidad en el mercado. Son aquellas tecnologías que se han estandarizado y optimizado a lo largo del tiempo, lo que ha permitido resolver problemas y mejorar su rendimiento. Debido a la estabilidad que poseen estas tecnologías, suelen tener una amplia disponibilidad de recursos y documentación técnica. Este es el caso de los elementos industrializados entre los que se encuentran concretamente las escaleras manuales. [3]

Una escalera manual o móvil es un dispositivo portátil que generalmente consta de dos largueros paralelos que están conectados por travesaños y que se utiliza para subir o bajar una persona de un nivel a otro. Existen muchos tipos de escaleras manuales y de todo tipo de materiales, pero la que es más susceptible de ser usada como parte de una estructura portable es la escalera simple de apoyo.



Figura 3. Escalera simple de apoyo de aluminio. [4]

La escalera mostrada en la figura 3 se asemeja a las vigas Vierendeel, estructura formada por barras de perfil rectangular dispuestas en forma de celosía ortogonal prescindiendo de las tradicionales diagonales. En el capítulo 2 se verá con más detalle este tipo de vigas.

Otro tipo de vigas que también son apropiadas para la construcción de estructuras portables son las vigas Truss. Estas vigas forman una estructura reticular de barras rectas normalmente de perfil circular interconectadas en nudos formando triángulos. La figura 4 es un ejemplo de viga Truss, de la cual se entrará en más detalle en el capítulo 2.



Figura 4. Truss de aluminio. [5]

Una vez que se tienen los principales elementos que compondrán la estructura portable, es imprescindible el diseño de unos herrajes que se adapten a estos elementos de forma que no comprometan la seguridad, estabilidad y resistencia de la estructura global.

De eso se basará este TFG, todo el procedimiento a seguir para diseñar herrajes que se ajusten al tipo de estructura portable que se obtienen haciendo uso, por un lado de un tipo de viga en concreto que se verá posteriormente.

1.2 Antecedentes y motivación.

Las uniones utilizadas en estructuras portátiles han evolucionado a lo largo del tiempo adaptándose a las necesidades específicas de cada época dependiendo de los avances tecnológicos, materiales y recursos disponibles, y técnicas de fabricación.

En las primeras estructuras portátiles utilizadas por las antiguas civilizaciones nómadas las uniones eran muy simples. Principalmente los elementos estructurales eran de madera y los unían mediante nudos con cuerdas de cuero crudo. Eran funcionales para la época, a pesar de que requerían habilidades artesanales para el mantenimiento de estas uniones. [6]

Más tarde, se empezó a usar la madera en forma de ensamblajes de carpintería con uniones como espiga y mortajas o espigas y ranuras. Se trata de una unión fuerte, duradera y se utiliza para unir dos piezas de madera en ángulo recto. Existen muchos tipos de este tipo de unión y en la actualidad es muy frecuente debido a su estética, ya que es una junta visualmente atractiva y puede ser usada como un elemento decorativo. [7]

Con la llegada de la metalurgia, las uniones utilizadas en las estructuras portátiles eran de metal y servían para unir elementos de madera o metal. Especialmente en la Edad Media, las uniones metálicas más comunes eran abrazaderas, pernos, grapas y clavos. Estas proporcionaban una mayor durabilidad y resistencia que las de madera, sin embargo, el coste del metal era más elevado y había una disponibilidad más limitada.

A partir del siglo XIX, con el desarrollo de la fundición del hierro, se comenzaron a incorporar uniones de hierro fundido más elaboradas, resistentes y fáciles de montar y desmontar que las existentes tradicionalmente de madera. Se popularizaron estas uniones principalmente por la construcción de puentes de hierro fundido, pues la mayor parte de las aplicaciones de este tipo de uniones en forma de pernos y pasadores se extendió al contexto militar y de emergencia, como por ejemplo, para la construcción de puentes Bailey en la Segunda Guerra Mundial. [8]

Estos puentes prefabricados portátiles eran fáciles de transportar en camiones. Se montaban y desmontaban rápidamente pues su cometido era extender la ayuda a lugares golpeados o aislados por desastres naturales, guerra o terrorismo. [9]

Durante el siglo XX hubo una evolución de la técnica y los diferentes tipos de soldadura. Desde la soldadura por puntos y de resistencia hasta la soldadura de arco de gas inerte de tungsteno (TIG) y la soldadura de gas inerte metal (MIG), la soldadura se utilizó para unir estructuras metálicas en la construcción de infraestructuras como en la industria automotriz y aeroespacial. Se convirtió en una unión popular por su alta velocidad y calidad. [10]

En la actualidad, las estructuras portátiles tienen una amplia gama de variedad en cuanto a los tipos de uniones. Estas pueden ser de conexión rápida, como los tornillos y pernos de alta resistencia; uniones adhesivas, como las resinas epoxi; también sistemas de unión modular, como ocurre con los perfiles de aluminio con conectores especiales. Todas estas uniones ofrecen rapidez de montaje y desmontaje, además de resistencia estructural, por lo que son ideales para el auge de la construcción temporal.

Por ello mismo, la motivación detrás de este TFG abarca diferentes aspectos. Primero de todo, el diseño de herrajes para estructuras portables trata un área de investigación y de estudio relevante en el ámbito de la ingeniería y de la arquitectura. Los herrajes pasan desapercibidos en la vida diaria de los seres humanos y, a pesar de ello, desempeñan un papel crucial para la estabilidad, la seguridad y la funcionalidad de las estructuras portables, como por ejemplo, en los típicos andamios de construcción.

Además, este TFG incluye un análisis detallado de materiales así como de varios tipos de uniones, lo cual supone un desafío académico importante. Las estructuras portátiles se pueden utilizar en una variedad de contextos, desde la construcción temporal y el entretenimiento hasta las situaciones de emergencia y desastres naturales. Diseñar herrajes robustos y versátiles puede tener un impacto significativo en estas áreas, aumentando la capacidad de respuesta y la adaptabilidad en una variedad de situaciones. Un diseño que maximiza el uso de materiales reciclables y eficientes energéticamente no solo es económico, sino que también reduce el impacto ambiental, lo que está en línea con las tendencias globales hacia prácticas más sostenibles.

1.3 Objetivos.

El objetivo principal es el diseño de herrajes eficientes, seguros y sostenibles que sean ligeros, resistentes y fáciles de ensamblar y desensamblar para estructuras portables utilizando elementos industriales como escaleras de mano y vigas.

Debido a que las estructuras portables propuestas se tratan de unas andas, también incluye el conocimiento adquirido de la historia, el diseño y la funcionalidad de las andas, especialmente en contextos religiosos y otros usos históricos, su evolución a lo largo del tiempo en cuanto a materiales y métodos de construcción tradicionales y modernos utilizados en las andas.

Llevar a cabo el objetivo principal, implica, por una parte, realizar un análisis exhaustivo de diferentes materiales utilizados en la fabricación de herrajes, como el aluminio, acero, madera y fibra de vidrio, evaluar las propiedades mecánicas, físicas, químicas y térmicas de cada material, comparar la sostenibilidad, el coste y la facilidad de procesamiento de cada material para finalmente determinar el material óptimo para los herrajes basándose en los resultados del estudio.

Por otra parte, también implica conocer y comparar diferentes tipos de vigas utilizadas en la construcción de estructuras portables, en concreto las vigas Vierendeel y Truss, analizar las características estructurales y estéticas de las vigas Vierendeel y Truss.

Con respecto al diseño de los herrajes es necesario el estudio de diversos tipos de uniones utilizadas en la construcción de herrajes y estructuras portables, analizar las uniones atornilladas y soldadas, así como otros tipos de uniones no convencionales, evaluar la resistencia, durabilidad y facilidad de implementación de cada tipo de unión.

De esta manera, tras escoger el tipo de elemento estructural industrial que formará parte de la estructura portable y el tipo de unión, se lleva a cabo su modelación en 3D y se obtienen los planos correspondientes usando un software de diseño asistido por ordenador como es CATIA.

CAPÍTULO 2. Diferentes alternativas.

2.1 Materiales.

La selección del material óptimo desempeña un papel crucial en el diseño de un herraje destinado a estructuras portables. Puesto que el objetivo es garantizar la resistencia, durabilidad, ligereza, economía, eficiencia y además, la sostenibilidad del producto final, el siguiente capítulo se centrará en evaluar las propiedades de los materiales candidatos, tanto mecánicas como térmicas. A su vez se estudiará su disponibilidad en el mercado y se analizarán las ventajas y limitaciones de dichos materiales en términos de resistencia, peso, facilidad de procesamiento y costes de fabricación.

Los materiales candidatos son de diferente naturaleza entre los que se encuentran metales, aleaciones, polímeros y composites. Estos son respectivamente el aluminio, el acero, la madera y fibra de vidrio.

2.1.1 Aluminio

El aluminio es el metal más abundante de la corteza terrestre aunque en la naturaleza raramente se encuentra en su forma más pura. Principalmente se obtiene a partir del mineral bauxita. Este proceso se divide en dos fases: La primera fase se trata de la extracción de la alúmina a través de un proceso de refinación (Proceso Bayer) para, posteriormente, en la segunda fase llevar a cabo la reducción en aluminio metálico mediante electrólisis en la que la alúmina se disuelve en criolita fundida y se somete a corriente eléctrica a través de unos electrodos de carbón como se muestra en la figura 5.

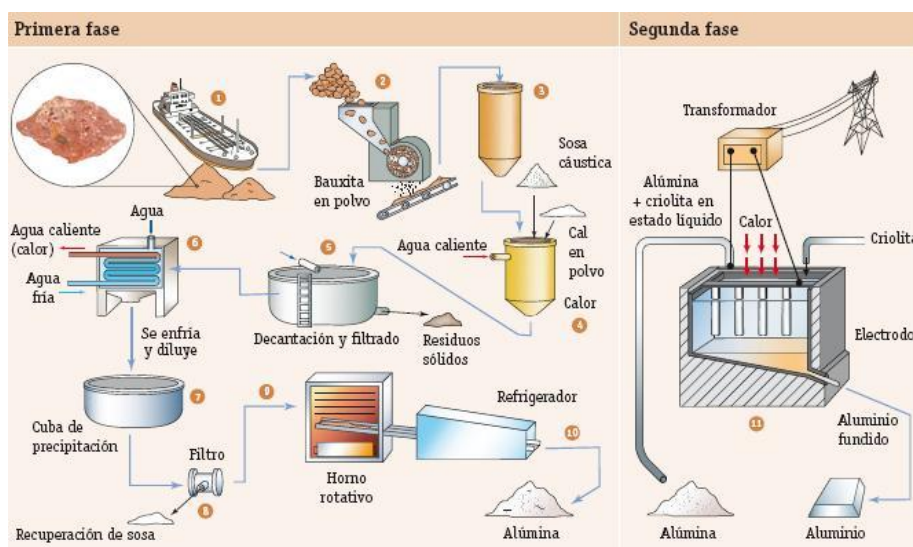


Figura 5. Obtención del aluminio metálico. [11]

El coste de fabricación del aluminio es bastante alto debido a que se necesita el uso intensivo de recursos naturales como la bauxita además de grandes cantidades de energía durante la electrólisis pues se requieren temperaturas extremadamente altas para fundir la criolita y mantenerla líquida. También se necesitan grandes cantidades de agua en el proceso Bayer y para la refrigeración de la maquinaria en varias de las etapas de fabricación del aluminio.

Sin embargo, el proceso de obtención de aluminio secundario requiere un menor consumo energético del orden del 5% la energía total consumida en el proceso de obtención de aluminio primario. La producción de aluminio secundario o reciclaje de aluminio se basa en refundir el metal permitiendo utilizar de nuevo el aluminio al final de su vida útil. De esta manera se reducen significativamente las emisiones de dióxido de carbono colaborando con el medio ambiente. [12]

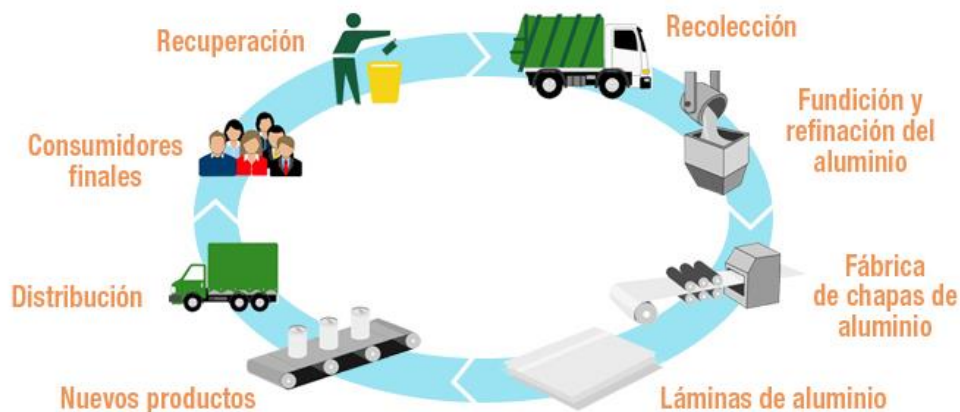


Figura 6. Proceso de reciclaje del aluminio. [13]

El aluminio desempeña un papel fundamental en la industria moderna. Posee una combinación excepcional de propiedades físicas y químicas.

Las propiedades físicas y mecánicas que más destacan son su resistencia, ligereza, ductilidad y durabilidad. El aluminio es un material con una vida útil muy larga. Es el metal más ligero de todos con una densidad de 2700 kg/m^3 a 20°C , tres veces menor que la del acero. Además, cuenta con una resistencia mecánica alta en comparación con su peso. Cuenta con un módulo de elasticidad o módulo de Young (E) de 70 GPa y un módulo de elasticidad transversal o de cizalladura (G) de $26,3 \text{ GPa}$. El módulo de elasticidad E indica la rigidez que posee el material ante deformaciones elásticas y el módulo de elasticidad transversal G indica la rigidez cuando se le aplican esfuerzos cortantes al material.

Entre sus propiedades químicas cabe destacar su resistencia a la corrosión. El aluminio es un elemento muy electropositivo y reactivo por lo que al entrar en contacto con el oxígeno de la atmósfera reacciona inmediatamente formándose una fina capa de óxido de aluminio conocido como alúmina Al_2O_3 . Esta capa natural de espesor microscópico del orden de 0,01 micras es extremadamente resistente y envuelve toda la pieza impidiendo que el proceso de oxidación pueda seguir avanzando. [14]

Esto le confiere unas excelentes propiedades de protección frente a la corrosión y a la oxidación por parte de agentes externos. Algunos compuestos químicos pueden afectar al aluminio como los cloruros o el ácido cítrico, sin embargo, el elemento que más le perjudica es el mercurio ya que, en contacto con la capa de alúmina, penetra de manera muy rápida dejando expuesta la superficie del aluminio degradándolo. Si se requiriese una mayor protección frente a la corrosión, el aluminio podrá protegerse mediante anodización que se trata de un proceso químico electrolítico que permite la obtención de una capa más espesa de forma artificial de hasta 150 micras aproximadamente. También podrá protegerse mediante otro tipo de recubrimientos como el lacado que se trata de la aplicación de un revestimiento de tipo orgánico.

Como propiedad térmica destaca el alto coeficiente de conductividad térmica que posee el aluminio de 209-230 W/m · K, lo que lo hace un material muy útil en aplicaciones donde se requiere disipación de calor, y por el contrario, no es apto como un material de aislamiento térmico.

También posee un alto coeficiente de conductividad eléctrica de $37,8 \cdot 10^6$ S/m. Por ello, es muy común su uso en la fabricación de componentes eléctricos como en cables de baja, media y alta tensión.

Desde el punto de vista de la fabricación, por ser un material tan dúctil, blando y maleable, el aluminio puede ser forjado, laminado (láminas muy finas en caliente o en frío), en planchas y bandas, es soldable, de fácil mecanizado, y permite la elaboración de piezas por fundición, extrusión y estirados como tubos, barras, perfiles, alambres, etc. Es decir, es un material muy versátil. Además, se pueden usar aleaciones si se requiere una mayor resistencia y mejores propiedades mecánicas.



Figura 7. Tubos de aluminio. [15]

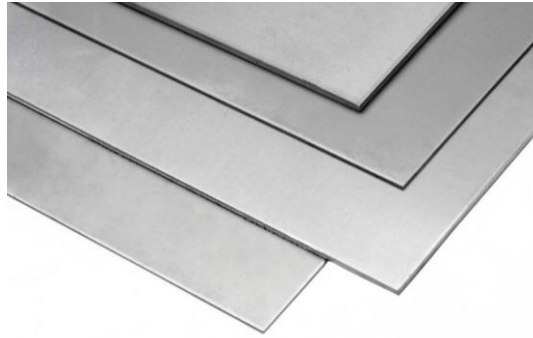


Figura 8. Chapas de aluminio. [16]

Debido a las propiedades únicas del aluminio, existe una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias como en la construcción, en transporte, embalaje, en la industria eléctrica y electrónica, aeroespacial, energías renovables, etc.

En la construcción se puede encontrar en forma de perfiles de aluminio para marcos de ventanas y puertas, barandillas, escaleras, etc. En el transporte se puede encontrar por su bajo peso y alta resistencia en las carrocerías de automóviles como se muestra en la figura 9, aviones, trenes, barcos, etc.



Figura 9. Carrocería de aluminio de un automóvil. [17]

Como embalaje, el aluminio es capaz de proteger productos de la luz, el aire y la humedad. Por ello, es muy común encontrarlo como envases de alimentos, latas de refrescos y tapas de botellas, entre otros. Además, al ser reciclable, se convierte en una opción sostenible de envasado.

En la industria eléctrica y electrónica destaca en la fabricación de cables debido a su alta conductividad eléctrica. También, en componentes electrónicos de ordenadores, radiadores de refrigeración y disipadores de calor. En la industria de las energías renovables el aluminio se utiliza en la fabricación de componentes y estructuras de montaje para paneles solares y turbinas eólicas y en sistemas de almacenamiento de energía.

2.1.2 Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, entorno a un 0,02% y 2,1% de contenido de carbono en peso. El acero se obtiene extrayendo el mineral de hierro de la tierra e introduciéndolo en un alto horno junto con coque y caliza, donde, a altas temperaturas, el coque reduce el mineral de hierro resultando en hierro líquido o arrabio con altos niveles de carbono y otras impurezas. Para reducir su contenido de carbono y eliminar impurezas, el arrabio se refina en un convertidor o un horno de arco eléctrico como se muestra en la figura 10. Este método produce acero fundido, al que se pueden agregar otros elementos como el manganeso, cromo, níquel, vanadio y molibdeno para obtener propiedades específicas mejoradas del acero. El acero fundido se vierte en moldes para formar lingotes, que luego se laminan en placas, láminas, barras, perfiles, etc., para que sea más fácil de manipular.

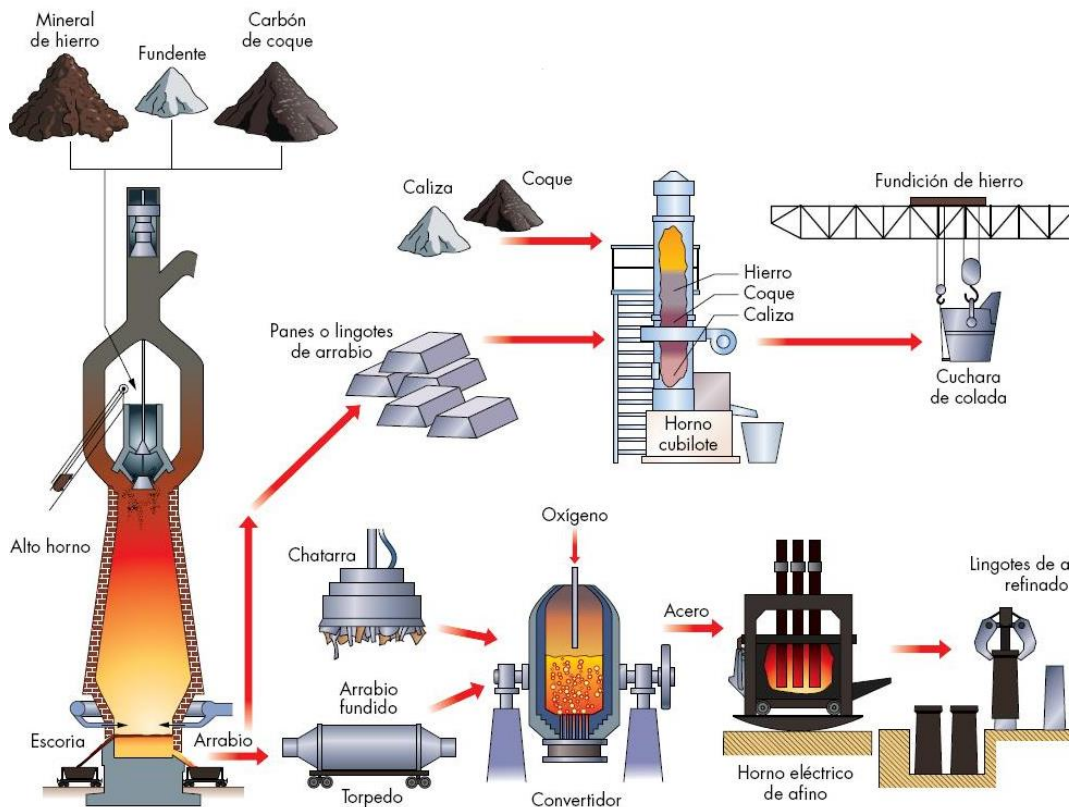


Figura 10. Obtención del acero. [18]

La fabricación de acero es costosa porque puede requerir herramientas y equipos especializados para procesos como la soldadura, el corte y el mecanizado de aceros de alta resistencia. Además, pueden ser extremadamente energéticamente intensivos. El acero requiere una gran cantidad de materias primas y energía para su fabricación, a pesar de que es relativamente barato en comparación con otros materiales de alta resistencia.

Para mantener la integridad estructural y evitar la corrosión, las estructuras de acero pueden necesitar mantenimiento regular, como repintado o recubrimiento, lo que aumentan los costes a largo plazo.

Al igual que el aluminio, el acero es un material 100% reciclable, de vital importancia para la economía circular. Por ello, es uno de los materiales más usados en el mundo, ya que debido a que la mayor parte de aceros son magnéticos, por su composición y su estructura molecular, resulta fácil de reciclar usando imanes para separar los materiales. Esto supone un ahorro energético del 70% ya que evita la extracción y transporte de materias primas, y el consumo de agua disminuye en un 40%. El uso de acero reciclado supone la reducción una vez y media su peso en dióxido de carbono. El reciclaje del acero no solo abarata costes, sino que contribuye con el medio ambiente.

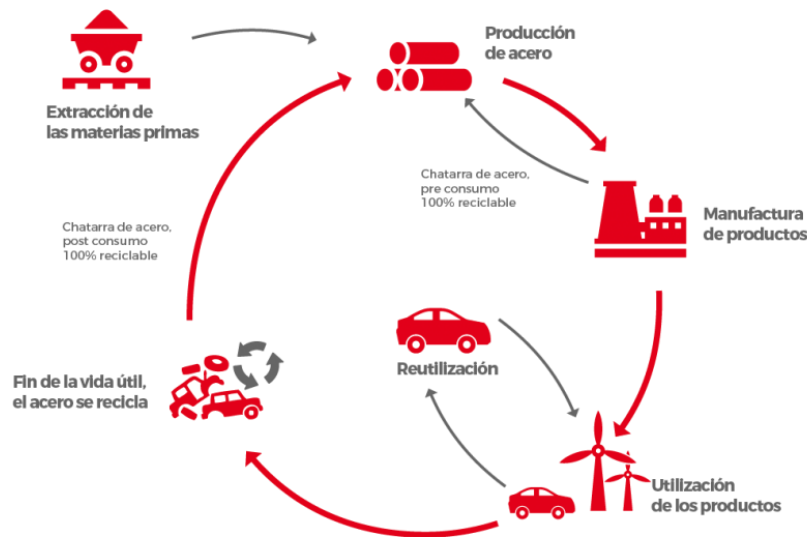


Figura 11. Ciclo del acero. [19]

El acero, al igual que el aluminio, desempeña un papel crucial en la fabricación de maquinaria, vehículos, herramientas, equipos industriales y sobre todo en la construcción de infraestructuras como puentes, rascacielos, carreteras, redes de transporte, etc.

El acero posee unas características mecánicas notables entre las que se encuentran su alta resistencia a la tracción, lo que le confiere la capacidad de soportar grandes fuerzas antes de romperse; su gran tenacidad, característica que le permite absorber energía de manera repentina sin fracturarse y soportar impactos cíclicos y repetitivos antes de fallar; su alta ductilidad, que le hace capaz de estirarse o deformarse plásticamente bajo la acción de fuerzas de tracción sin romperse, es decir, el acero se alarga y adelgaza en la dirección de la carga, pero conservando su integridad; su maleabilidad, característica que le permite adoptar una variedad de formas debidas a fuerzas de compresión

sin perder funcionalidad al ser doblado o manipulado; su dureza, la cual depende de la cantidad de carbono presente en la mezcla de hierro y carbono, lo que significa que cuanto más carbono haya en la mezcla, más fuerte será el acero resultante. Cuenta con un módulo de elasticidad o módulo de Young (E) de 210 GPa y un módulo de elasticidad transversal o de cizalladura (G) de 85 GPa y tiene una densidad de 7850 kg/m³. [20]

Destaca su buena soldabilidad, pues se pueden unir piezas de acero fácilmente obteniendo resultados homogéneos sin dañar el material ni afectar a su integridad estructural. Sin embargo, el acero es un material susceptible a la corrosión, pues reacciona con el aire que lo rodea y con la humedad o con gotas de agua y se convierte en óxido. En presencia de sal se corroe más rápidamente. Para evitarlo, se le suele aplicar algún tipo de tratamiento superficial como el galvanizado, cromado, niquelado o cincado.

El acero posee una conductividad térmica moderada de alrededor de 45 W/m·K lo que puede ser ventajoso en algunas aplicaciones pero desventajoso en otras donde se requiere aislamiento térmico. Es conductor de la electricidad contando con una conductividad eléctrica de $3 \cdot 10^6$ S/m, lo que permite la transmisión eficiente de la electricidad reduciendo las pérdidas de energía durante la conducción, aunque no tan eficientemente como el aluminio. También, se emplea en una variedad de procesos industriales, incluida la fabricación de cables eléctricos, componentes electrónicos y sistemas de transmisión de energía. [21]

En resumen, gracias a todas estas propiedades del acero, este material se encuentra presente en todos los aspectos de nuestra vida cotidiana como humanos, ya que llevamos a cabo una gran cantidad de actividades dentro de estructuras hechas con este tipo de aleación, y utilizamos diariamente transportes, objetos u herramientas fabricadas con este material.

Algunas de las tantas variedades de formas y prestaciones que ofrece el acero son:

Por su resistencia a la tracción, tenacidad y capacidad de soportar cargas pesadas lo hacen indispensable en aplicaciones donde se requiere alta resistencia mecánica y fiabilidad, como componentes de maquinaria para vehículos, maquinaria agrícola, armas militares o tecnología. También en vehículos completos dando forma a la carrocería y al esqueleto de todo tipo de vehículos como los barcos, los vehículos blindados, los ferrocarriles y vías. [22]



Figura 12. Vía de tren de acero. [23]

También, lo podemos encontrar en herramientas para todo tipo de aplicaciones como destornilladores, llaves, martillos, muelles de válvulas, tornillos, tuercas, remaches, chapas troqueladas, etc., incluidos los utensilios de cocina como sartenes, ollas, etc.



Figura 13. Paellera de acero inoxidable. [24]

Por último, cabe destacar la importancia del acero en forma de componentes estructurales complejos y exigentes, en puentes, en edificios en forma de vigas, tubos, placas, canales, perfiles, etc., gracias a que su maleabilidad facilita su conformado en una variedad de formas y tamaños, lo que lo hace un material ideal.



Figura 14. Estructura de un puente de acero. [25]

2.1.3 Madera

La madera es uno de los materiales más antiguos y versátiles que la humanidad ha utilizado, además de popular en la construcción y el diseño de interiores debido a sus propiedades y su disponibilidad. Proviene de la parte estructural y leñosa de los árboles, y ha sido esencial para el desarrollo de la civilización, siendo utilizada en una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción de hogares hasta la fabricación de muebles, utensilios, herramientas y obras de arte.

No obstante, no toda la madera es apta para la construcción, ya que solo la madera aserrada destinada a ser empleada en estructuras o con fines estructurales se conoce como madera estructural debido a sus características mecánicas. Algunas de las maderas estructurales más utilizadas en España son la madera de pino, de roble europeo, de abeto y de castaño. La selección de la madera adecuada se basa en cumplir con los requisitos anteriormente descritos de resistencia, durabilidad, peso, facilidad de procesamiento, coste y sostenibilidad. Por lo tanto, la madera de pino es la opción más adecuada, en concreto, la madera de pino silvestre.

El pino silvestre se cultiva en bosques gestionados de manera sostenible en diversas partes de España, especialmente en las zonas montañosas del norte y centro del país. La tala se realiza en invierno para reducir el contenido de savia y el riesgo de hongos e insectos. Para reducir su contenido de humedad, la madera recién cortada se deja secar al aire libre durante varios meses. Luego, es secada en hornos para lograr un contenido de humedad uniforme, lo que lo hace ideal para su uso en construcción y carpintería. Después, la madera se corta y cepilla de acuerdo con los requisitos del producto final, incluyendo algún tratamiento químico para aumentar la durabilidad y la resistencia al fuego e insectos. [26]



Figura 15. Ciclo de la madera. [27]



El coste de fabricación de la madera de pino, debido a su abundancia y rápido crecimiento, es relativamente bajo. Dependiendo del grado de tratamiento y acabado, el coste de procesamiento sigue siendo económico comparado con maderas duras como el roble, y mucho menor a otro tipo de materiales que requieran de maquinaria especial y energías como el aluminio y el acero.

La madera de pino puede ser reciclada y reutilizada para fabricar tableros aglomerados, madera contrachapada y otros productos compuestos, lo que contribuye a su sostenibilidad ambiental. Además, los restos de madera pueden utilizarse para la producción de energía (biomasa) o compostaje.

Una de las propiedades mecánicas que posee la madera de pino es la resistencia a la compresión moderada de aproximadamente 50-55 MPa que le permite soportar cargas verticales sin sufrir deformación significativa. También tiene una resistencia a la flexión moderada de alrededor de 80-90 MPa. Un módulo de elasticidad entre 9.000 y 12.000 MPa que le permite cierta flexibilidad sin fracturarse. Esto puede resultar ventajoso para estructuras portátiles que puedan estar sujetas a movimientos y vibraciones. La madera de pino silvestre tiene una dureza media, lo cual facilita el trabajo con herramientas manuales y eléctricas sin causar un desgaste excesivo.

La madera de pino presenta una densidad de 450 a 550 kg/m³ y la combinación de ligereza y resistencia hacen que sea fácil de transportar y montar. Además, tiene una textura fina a media y el grano recto facilitan el corte, la unión y el acabado, lo que permite una fabricación eficiente y precisa.

La alta proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina garantiza una buena integridad estructural. Además, la buena compatibilidad con tratamientos químicos facilita la aplicación de protectores y acabados, mejorando la durabilidad y la resistencia a factores ambientales. Esto es muy recomendable porque la madera de pino es combustible, pero puede tratarse con retardantes de fuego. También presenta propiedades de aislamiento térmico que se derivan de su baja conductividad térmica.

La madera de pino se utiliza principalmente en la construcción como marcos de puertas y ventanas, vigas, tableros de construcción, paneles, en carpintería e inmobiliaria, así como papelería y embalajes en forma de palets, cajas y tableros contrachapados. [28]



Figura 16. Uso estructural de la madera de pino silvestre. [29]

2.1.4 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto hecho de fibras de vidrio embebidas en una matriz de resina. El proceso de obtención se inicia con la fusión de las materias primas como es el caso de la arena de sílice, carbonato de sodio y carbonato de calcio en un horno a altas temperaturas para generar vidrio líquido. Este vidrio una vez fundido se extruye a través de una platina de extrusión con pequeños orificios para formar filamentos finos. Estos filamentos o fibras se enfrían rápidamente mediante corrientes de aire controladas para que solidifiquen y se recubren con agentes que mejoran la adhesión a las resinas y protegen contra el desgaste. Por último, las fibras de vidrio se impregnan con resinas (como poliéster, epoxi o viniléster) y se moldean mediante diferentes procesos como la laminación, el moldeo por compresión, la pultrusión o el moldeo por inyección, para conseguir las formas deseadas. [30]

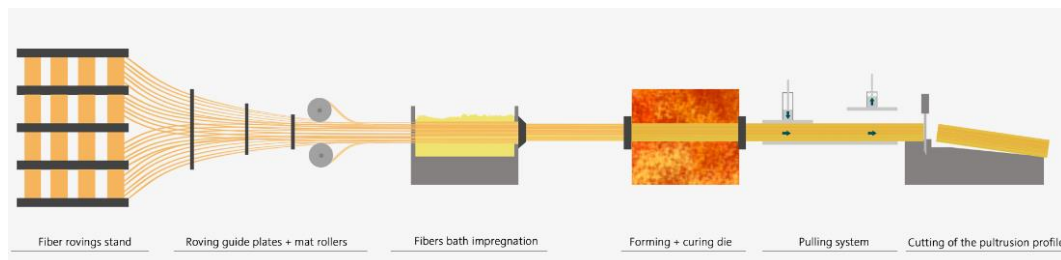


Figura 17. Obtención de fibra de vidrio mediante pultrusión. [31]

La fabricación de fibra de vidrio puede tener un coste inicial alto debido a que requiere equipos y técnicas especializadas. No obstante, los procesos de fabricación en masa podrían disminuir estos costes. Además, la fibra de vidrio es un material muy complejo de reciclar y muy costoso. A pesar de que la fibra de vidrio tiene una larga vida útil y un bajo mantenimiento y los avances tecnológicos están mejorando la eficiencia del reciclaje de compuestos de fibra de vidrio supone un problema de sostenibilidad actualmente.

Como propiedades mecánicas, la fibra de vidrio destaca por su alta resistencia a la tracción de aproximadamente de 1.500 a 3.500 MPa y a la compresión, que la hace capaz de soportar cargas pesadas sin deformarse. Además tiene gran resistencia a los impactos, pues puede resistir fuertes impactos sin dañarse. Cuenta con un módulo de elasticidad en tracción de aproximadamente 70-80 GPa.

La propiedad física más notable es su baja densidad entorno a 2600 kg/m³, lo que la hace ligera en comparación con metales como el acero. Por ello, tiene una excepcional relación resistencia-peso. La fibra de vidrio tiene una baja absorción de agua, lo que contribuye a su durabilidad en condiciones húmedas. La fibra de vidrio es ideal para ambientes agresivos porque es resistente a la mayoría de los productos químicos y a la corrosión.

Como propiedades térmicas, cabe destacar la baja conductividad térmica de alrededor de 0,04 W/(m·K), lo que la convierte en un buen aislante térmico. Además, puede soportar temperaturas elevadas sin deformarse ni perder sus propiedades mecánicas, con una temperatura de uso continuo alrededor de 200-300 °C. En cuanto a su reacción al fuego, la fibra de vidrio no es inflamable y no contribuye en la propagación del fuego.

La capacidad de adaptarse a una amplia variedad de formas y diseños es una de las características más notables de la fibra de vidrio. Puede ser moldeada en prácticamente cualquier forma deseada, lo que lo convierte en una opción popular para la fabricación de componentes estructurales complejos y de precisión en industrias como la automotriz, la aeroespacial, la naval y la construcción. [32]

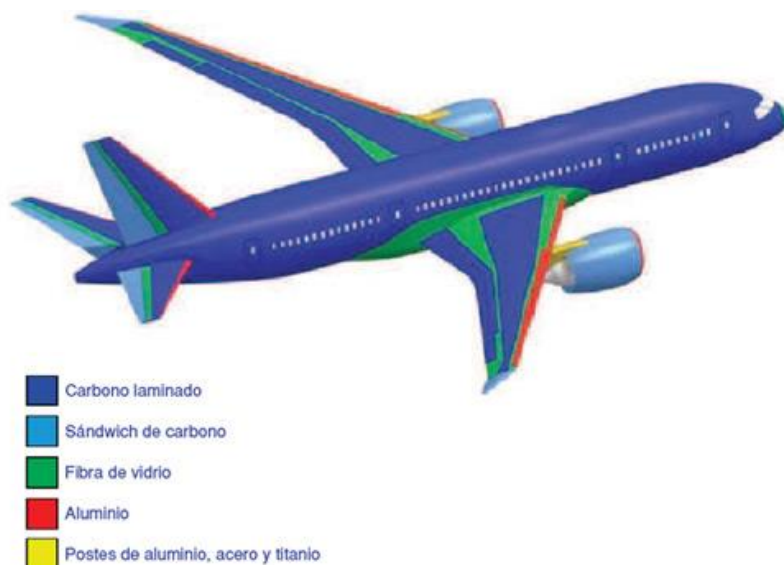


Figura 18. Distribución de material en un Boeing 787. [33]

La fibra de vidrio también es ideal para aplicaciones en la construcción de edificios, vehículos y equipo industrial porque es un excelente aislante térmico y acústico. También es atractiva para la fabricación de productos de consumo como muebles, equipos deportivos y artículos de recreación al aire libre debido a su ligereza y facilidad de manipulación.

La siguiente tabla 1 comparativa muestra el resumen del análisis de cada uno de los diferentes materiales (aluminio, acero, madera de pino y fibra de vidrio) en cuanto a su resistencia, durabilidad, ligereza, sostenibilidad, disponibilidad en el mercado, facilidad de procesamiento y coste de fabricación:

Materiales	Resistencia	Durabilidad	Ligereza	Sostenibilidad	Disponibilidad en el mercado	Facilidad de procesamiento	Coste de fabricación
Aluminio	Alta	Alta	Alta	Muy alta	Alta	Alta	Moderado
Acero	Muy alta	Muy alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Moderado
Madera de pino	Moderada	Moderada	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Bajo

Tabla 1. Estudio de materiales.

Como resultado de este estudio, el material que cumple con todas las prestaciones y requerimientos para la construcción de un herraje para estructuras portables es el aluminio.

El aluminio es una excelente combinación de resistencia y durabilidad, lo que lo hace esencial para los herrajes de estructuras portables que deben soportar cargas significativas y resistir la corrosión. Además, la estructura portátil será más fácil de transportar y montar gracias a la baja densidad que posee el aluminio. También, su fácil mecanización permite la creación precisa y eficiente del herraje. Por otra parte, es altamente reciclable y cumple con los estándares de sostenibilidad, y tiene un valor a largo plazo superior debido a su durabilidad y bajo mantenimiento. Asimismo, la disponibilidad del aluminio garantiza un suministro estable y confiable durante la producción.

2.2 Elementos estructurales industriales

En la construcción de estructuras portátiles, el uso de elementos estructurales industriales como vigas, columnas y perfiles se han modificado y desarrollado para cumplir con los requisitos específicos de las estructuras portátiles. Estos componentes están hechos con materiales y tecnologías avanzadas que permiten una instalación, desmantelamiento y reubicación rápidos sin comprometer la integridad estructural ni la seguridad.

La evolución de los materiales y las técnicas de construcción han permitido la creación de soluciones que no solo cumplen con los requisitos de resistencia y durabilidad, sino que también son ligeras, fáciles de montar y visualmente atractivas. En este capítulo se tratarán dos tipos diferentes de vigas como elementos estructurales industriales para la construcción de estructuras portables, como son las andas.

2.2.1 Vigas Truss

Las vigas Truss, también conocidas como vigas en celosía o vigas Warren, fueron patentadas por el ingeniero británico James Warren en 1848 y son un tipo de estructura triangulada que distribuye eficientemente las cargas a través de sus nudos.

Las vigas Truss se componen principalmente por cordones superiores e inferiores, montantes, diagonales y nudos.

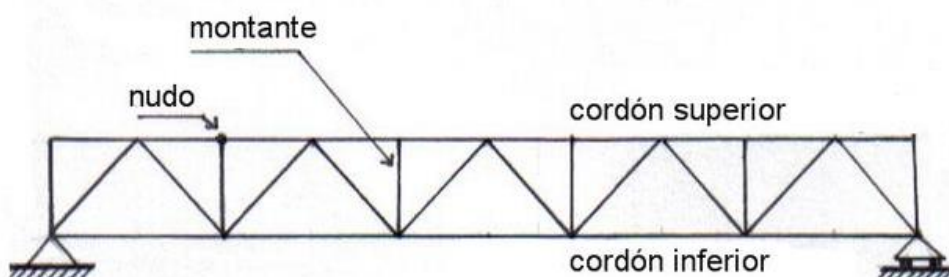


Figura 19. Viga Truss con montantes intercalados. [34]

El elemento superior de la viga Truss, que soporta la compresión en la mayoría de las aplicaciones de carga, es el cordón superior. Se extiende a lo largo de la parte superior de la estructura y conecta los nudos superiores.

El elemento inferior que generalmente soporta la tensión es el cordón inferior. Se extiende a lo largo de la parte inferior de la estructura y conecta los nudos inferiores.

Los elementos verticales que conectan los cordones superior e inferior se denominan montantes. Ayudan a estabilizar la estructura y a transferir las cargas verticales hacia los cordones. Los montantes son principalmente capaces de soportar fuerzas de compresión.

Los elementos inclinados que conectan los cordones superior e inferior se denominan diagonales. Su objetivo principal es proporcionar estabilidad lateral a la estructura y resistir las fuerzas de tracción o compresión. Las diagonales disminuyen el pandeo en los montantes y ayudan a distribuir las cargas.

Los elementos de la viga truss (cordones, montantes y diagonales) se conectan entre sí en puntos llamados nudos. La transferencia efectiva de cargas a través de la estructura requiere nudos. El rendimiento de una viga truss depende de la integridad y la rigidez dichos nudos. [35]

Existen diversidad de configuraciones de vigas Truss, cada una con sus ventajas y aplicaciones. Algunos ejemplos son:

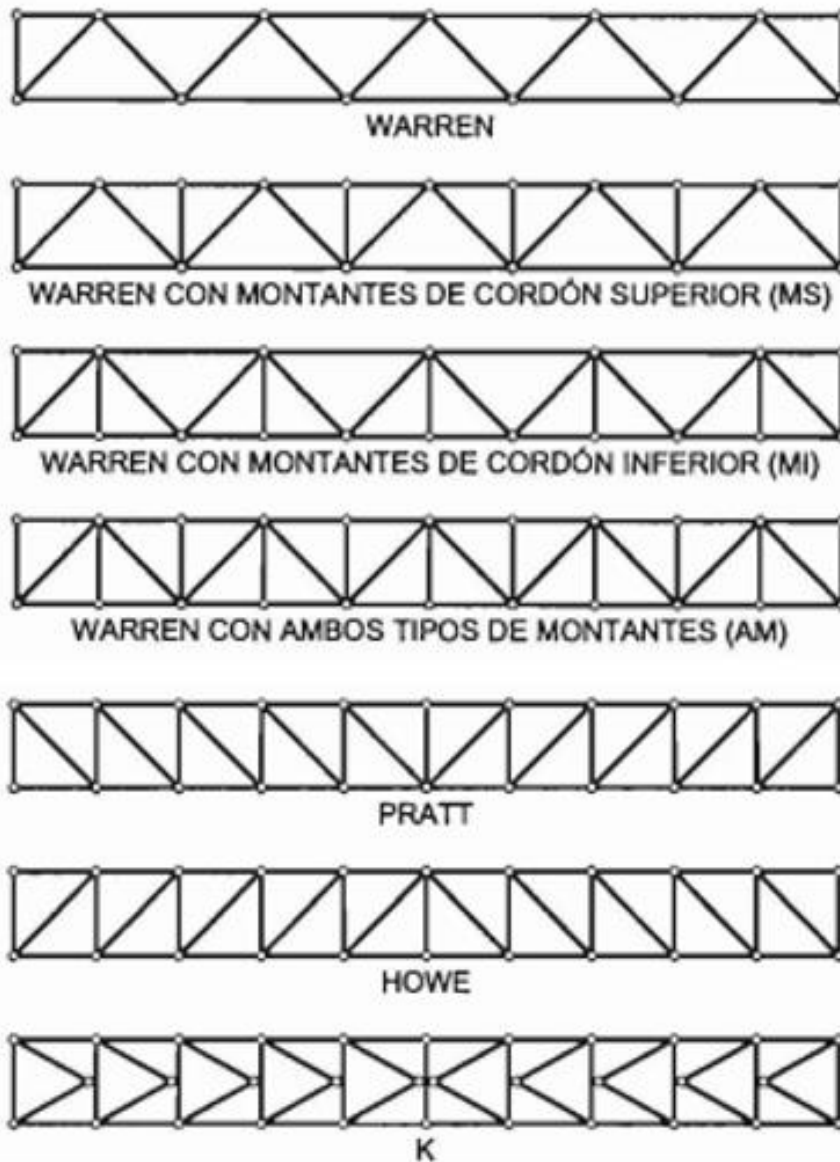


Figura 20. Tipos de vigas Truss. [36]

Por una parte, las vigas Truss soportan esfuerzos axiales de compresión en los miembros comprimidos como son las diagonales y algunos de los montantes. La estabilidad de estos miembros es crucial para evitar pandeo. Los diagonales, que también son miembros traccionados, soportan esfuerzos de tracción, lo que permite que las cargas se distribuyan a través de la estructura.

Por otra parte, en una viga Truss ideal, los elementos individuales están diseñados para minimizar los momentos de flexión. Sin embargo, en la práctica, puede haber algunos momentos de flexión en las conexiones, especialmente si las uniones no son ideales.

Los esfuerzos de corte se transmiten principalmente a través de las diagonales y los nudos. La acción combinada de los miembros comprimidos y traccionados distribuye estos esfuerzos a lo largo de la estructura. Las vigas Truss están generalmente diseñadas para minimizar los efectos de torsión. Sin embargo, puede haber esfuerzos de torsión que deben gestionarse adecuadamente si la carga no se aplica centralmente.

Debido a su eficiencia en la distribución de cargas y a su capacidad para soportar grandes luces con un uso relativamente reducido de material, las vigas Truss se utilizan ampliamente en la construcción. Las aplicaciones comunes incluyen:

En puentes donde las vigas Truss brindan resistencia y estabilidad y permiten grandes luces sin soportes intermedios.

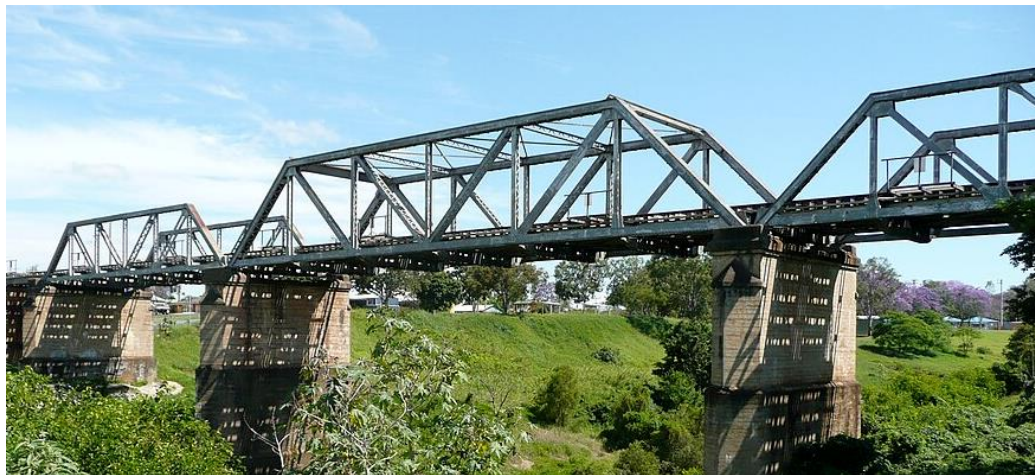


Figura 21. Puente ferroviario Gatton con diseño de celosía Pratt. [37]

En edificios industriales, utilizadas en techos y pisos para soportar grandes cargas y brindar espacios abiertos.



Figura 22. Viga en celosía en una nave industrial. [38]

En torres de telecomunicaciones, proporcionando soporte estructural eficiente para alturas considerables.

En estructuras portátiles, combinando ligereza y resistencia en escenarios móviles y andamios.

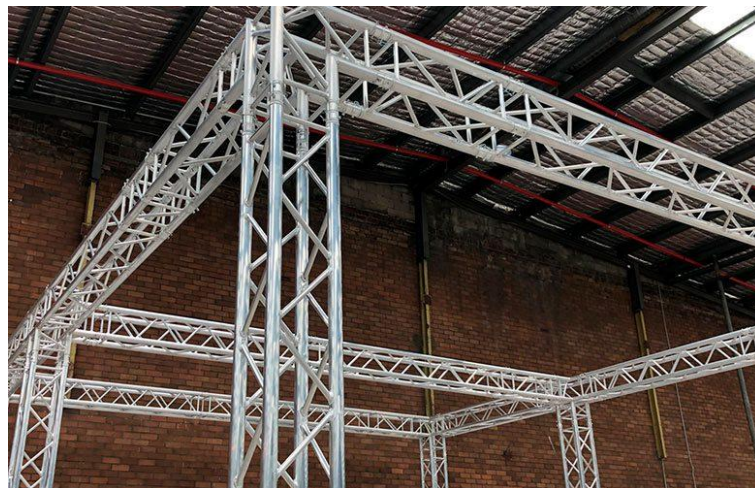


Figura 23. Estructura Truss para iluminación y sonido. [39]

2.2.2 Vigas Vierendeel

Las vigas Vierendeel, nombradas así en honor al ingeniero belga Arthur Vierendeel, son estructuras de celosía que se distinguen de las vigas Truss por no tener diagonales. Las vigas Vierendeel se componen de elementos horizontales y verticales conectados en ángulos rectos, lo que crea aberturas rectangulares o cuadradas en lugar de triángulos rígidos para la distribución de cargas como muestra la figura 24.

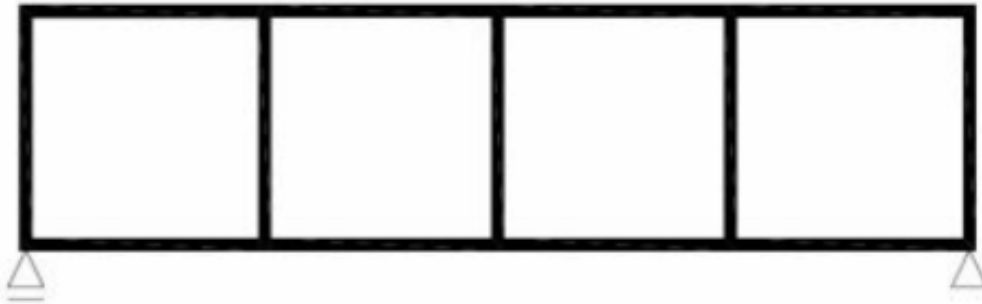


Figura 24. Viga Vierendeel. [40]

Excepto por las diagonales, las vigas Vierendeel, al igual que las vigas Truss, también se componen de cordones superiores e inferiores, montantes y nudos.

El cordón superior, el elemento horizontal superior, soporta la compresión en la mayoría de las aplicaciones de carga. El cordón inferior, el elemento horizontal inferior, generalmente soporta la tensión y fuerzas de tracción.

Los montantes, los elementos verticales que conectan los cordones superior e inferior, ayudan a transferir las cargas verticales hacia los cordones y proporcionan estabilidad a la estructura, soportando fuerzas de compresión, manteniendo la integridad estructural y la separación entre los cordones.

Los nudos de una viga Vierendeel, que unen los cordones y los montantes, deben ser rígidos para mantener la estabilidad estructural y son esenciales para la transferencia eficiente de cargas. Debido a la ausencia de diagonales, los nudos deben diseñarse para soportar momentos flectores significativos, así como fuerzas axiales y de corte.

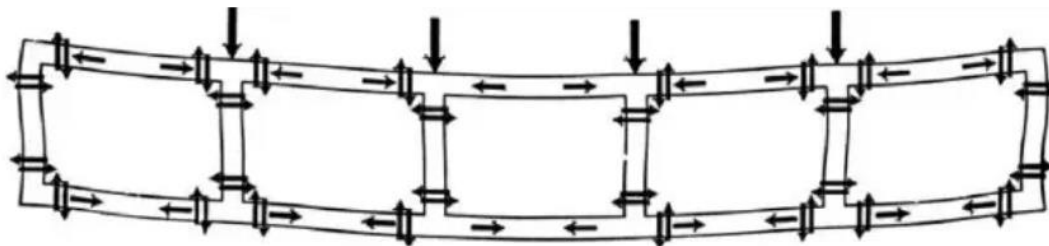


Figura 25. Distribución de esfuerzos de una viga Vierendeel. [41]

Como muestra la figura 25, las vigas Vierendeel soportan una serie de esfuerzos. Los montantes están sujetos principalmente a esfuerzos de compresión, especialmente en las áreas más cercanas a los apoyos. Al transferir las cargas hacia los apoyos estos también soportan los esfuerzos de corte, que son cruciales en las uniones y en la base de los montantes. La tracción puede afectar a los cordones, particularmente aquellos que están en la parte superior de la viga bajo cargas distribuidas.

Para resistir las cargas, las vigas Vierendeel, al carecer de diagonales, dependen en gran medida de la flexión de cordones y montantes. Por ello, los cordones tanto superiores como inferiores, soportan momentos de flexión importantes. Además, la torsión puede ocurrir si las cargas no están perfectamente alineadas o si la viga está sometida a fuerzas laterales.

Las vigas Vierendeel, al igual que las vigas Truss, tienen una amplia gama de aplicaciones. Algunas de ellas son:

En puentes peatonales y vehiculares, donde el diseño estético es crucial ya que la falta de diagonales permite grandes aberturas rectangulares, lo cual es estéticamente agradable y funcional. [42]



Figura 26. Puente Hafele vu Léč con forma de viga Vierendeel. [43]

Además, es muy común en edificios comerciales y residenciales, en fachadas y marcos de ventanas grandes, lo que proporciona un diseño limpio y elegante.

Y, como era de esperar, en estructuras portables temporales que requieren un ensamblaje y desmontaje rápidos y una apariencia atractiva.



Figura 27. Vigas Vierendeel en el teatro Alla Scala de Milán. [44]

2.3 Tipos de uniones.

La unión de perfiles es un factor crucial en la construcción y diseño de estructuras que determina la integridad, resistencia y durabilidad de la estructura final. Los perfiles rectangulares y redondos, que son dos de las formas más utilizadas en la ingeniería estructural, requieren técnicas de unión eficientes y seguras. Las uniones atornilladas y las uniones por soldadura son dos de los métodos más populares y confiables que se pueden encontrar entre las varias opciones disponibles.

2.3.1 Unión por soldadura.



Figura 28. Uniones soldadas. [45]

La soldadura es un proceso que une permanentemente dos o más piezas de material, generalmente metales o termoplásticos, estableciendo la continuidad entre ellas. Esta se puede lograr de varias maneras, como aplicando calor, presión o una combinación de ambos, para lograr una fusión localizada que se solidifica al enfriarse, formando una conexión resistente y continua.

El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Para este caso, las piezas a unir son de aluminio y, teniendo en cuenta que la unión debe ser resistente y duradera para que soporte bien la estructura, el mejor tipo de soldadura es el de soldadura por fusión. La soldadura por fusión se refiere a la coalescencia de materiales, en la que los bordes de las piezas a unir se funden y se mezclan, con o sin la adición de un material de aporte, conocido como metal de soldadura. Este material también se funde y se integra con las piezas base para formar una junta soldada.

En la tabla 2 se muestra la gran variedad de tipos de soldadura de fusión que existen:

SOLDADURA	SIGLAS	WELDING
TIG	TIG	Tungsten Inert Gas welding
	GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
MAG	GMAW	Gas Metal Arc Welding
MIG		
Por resistencia		
- Por puntos		Spot Welding
- Por proyecciones/resaltes		Projection Welding
- De costura/roldana		Seam Welding
- A tope		Resistance Butt Welding
Por arco		Arc Welding
Electrodo consumible manual	MMA	Manual Metal Arc welding/stick welding
Electrodo revestido	SMAW	Shielded Metal Arc Welding
	FCAW	Flux-Cored Arc Welding
Arco sumergido	SAW	Submerged Arc Welding
Por electro escoria	ESW	Electro Slag Welding
Por plasma		
Por arco de plasma	PAW	Plasma Arc Welding
Con haz de electrones	EBW	Electron Beam Welding
Láser	LBW	Laser Beam Welding
Soldadura con termita o aluminotérmica	TW	Thermite Welding

Tabla 2. Tipos de soldadura por fusión sin soplete. [46]

En la soldadura por fusión, la energía del proceso se produce mediante el calentamiento, la fusión y el relleno de los materiales de base. Respecto a la fuente de calor utilizada en la soldadura por fusión, es necesario que proporcione una alta densidad de energía térmica en relación con el tiempo, lo que significa que se necesita una gran cantidad de potencia. Además, debe ser capaz de localizar el calor en el menor espacio posible y la temperatura producida debe ser estable y mucho mayor que la de los materiales a fundir.

Las ventajas de este tipo de soldadura incluyen que se produce una buena continuidad en la unión y que se pueden usar espesores grandes. Sin embargo, las piezas originales sufren grandes deformaciones y las reacciones de oxidación y corrosión son muy rápidas a altas temperaturas.

La soldadura TIG (Gas Tungsten Inert), también conocida como soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), es un proceso de soldadura por arco que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible. El metal se calienta hasta su punto de fusión cuando se forma un arco entre el electrodo de tungsteno y la



pieza de trabajo. El electrodo y la zona de soldadura se protegen de la oxidación y otras contaminaciones atmosféricas mediante el uso de un gas inerte, generalmente argón o helio.

Para lograr soldaduras de alta calidad y precisión, el proceso de soldadura TIG requiere una serie de componentes esenciales. El electrodo de tungsteno es una parte importante de la soldadura TIG. El tungsteno se utiliza porque su punto de fusión excepcionalmente alto, que alcanza aproximadamente $3,422^{\circ}\text{C}$, le permite mantener su forma incluso en las temperaturas extremas que se producen durante la soldadura. Este electrodo no se consume durante el proceso, lo que lo diferencia de otros procesos de soldadura por arco, lo que aumenta la estabilidad del arco y permite un control más preciso.

La calidad y la integridad de la soldadura TIG dependen del gas de protección. El arco eléctrico y la zona de soldadura están envueltos por un flujo constante de gas inerte, como argón, helio o una mezcla de ambos, lo que crea una barrera que los protege de la atmósfera cercana. Esta protección es esencial para evitar la contaminación del aire por oxígeno y nitrógeno, ya que estos contaminantes pueden causar defectos como porosidad, inclusiones y oxidación, comprometiendo la resistencia y el acabado de la soldadura final.

Otro componente crucial de este proceso es el material de aporte. La soldadura TIG se diferencia de otras técnicas de soldadura por arco al agregar el material de aporte manualmente usando una varilla de metal separada del electrodo. Esta varilla se funde en la zona de soldadura y se combina con el material base para crear una junta sólida. Este método de alimentación manual permite un control preciso sobre la cantidad y colocación del material de aporte, lo que resulta en soldaduras más limpias y detalladas, resulta ideal para aplicaciones que requieren alta precisión y estética.

Dependiendo del tipo de material que se esté soldando, la fuente de energía utilizada en la soldadura TIG es un generador de corriente que puede funcionar en corriente continua (DC) o alterna (AC). Por ejemplo, los materiales como el acero inoxidable se utilizan con frecuencia con corriente continua debido a su capacidad para proporcionar una penetración de soldadura profunda y estable. Por el contrario, los metales como el aluminio, como es el caso, suelen requerir corriente alterna porque ayuda a limpiar la capa natural de óxido del aluminio durante el proceso de soldadura, lo que garantiza una unión más sólida y de alta calidad.

En la industria de la soldadura, la soldadura TIG (Gas Tungsteno Inerte) tiene una serie de características que la hacen única. Producir soldaduras de alta calidad es una de sus principales ventajas. La limpieza, la falta de escoria y la alta integridad estructural de estas soldaduras son esenciales para aplicaciones importantes como las de la industria aeroespacial y nuclear.

La soldadura TIG es ideal para trabajos que requieren la máxima confiabilidad y durabilidad debido a su alta precisión y calidad.

La versatilidad de la soldadura TIG es otra gran ventaja. El acero, el acero inoxidable, el aluminio, el magnesio, el cobre, el titanio, el magnesio y una variedad de aleaciones exóticas están entre los muchos metales que este método puede soldar. Es ideal para proyectos que involucran varios tipos de metales o que requieren uniones de materiales especializados debido a su capacidad para trabajar con varios materiales.

Además, la soldadura TIG permite al soldador realizar uniones delicadas y detalles finos con gran precisión porque permite un control preciso del arco y del material de aporte. Este control es esencial en trabajos donde se requiere una estética impecable o una alta precisión en las uniones soldadas. Además, la soldadura TIG no produce chispas ni proyecciones, lo que resulta en un acabado más limpio y reduce la necesidad de limpieza o retrabajo posterior.

Sin embargo, la soldadura TIG tiene algunos inconvenientes. Uno de ellos es la velocidad del proceso, que es más lenta en comparación con otras técnicas como la soldadura MIG. En proyectos de gran envergadura, donde la velocidad de ejecución es crucial, esto puede aumentar los costes de producción. Además, para lograr los mejores resultados posibles, la soldadura TIG requiere un alto nivel de habilidad y experiencia del operador. Esto significa que, en comparación con otros métodos de soldadura, la capacitación y el desarrollo de habilidades pueden ser más exigentes.

Por último, pero no menos importante, los equipos de soldadura TIG suelen costar más que otros métodos de soldadura por arco. Aunque el coste suele justificarse en aplicaciones que requieren la alta calidad y precisión del proceso TIG, este factor puede ser un obstáculo para pequeñas empresas o proyectos con presupuestos limitados.

Para realizar la soldadura TIG en aluminio, primero se debe preparar la superficie del material. Esto implica limpiar los perfiles de aluminio para eliminar cualquier óxido, grasa o suciedad que pueda dañar la calidad de la soldadura. Para evitar la contaminación, se debe usar un cepillo de acero inoxidable y asegurándose de que no haya sido usado en otros metales.

Una vez que la superficie se haya limpiado, es hora de instalar el equipo de soldadura TIG. Se debe elegir el gas inerte adecuado para este proceso, que generalmente es argón puro o una mezcla de argón y helio para el aluminio. Dependiendo de las necesidades específicas del trabajo, también es importante elegir el electrodo de tungsteno correcto, que puede ser de tungsteno puro o contener un pequeño porcentaje de torio o cerio.

La corriente de soldadura se ajusta según el grosor del material de aluminio después de preparar el equipo. El movimiento constante del electrodo a lo largo de la junta durante el proceso de soldadura es esencial para mantener un

control preciso del arco eléctrico. El material de aporte, que generalmente es una varilla de aluminio compatible, se alimenta manualmente al charco de soldadura mientras se avanza. Este método minucioso garantiza una soldadura uniforme, sólida y de alta calidad. [47]

2.3.2 Uniones mecánicas

Las uniones mecánicas han sido las más empleadas para todo tipo de materiales hasta principios del siglo XX, en el cual la soldadura de los materiales metálicos tomó relevancia. A pesar de ello, hoy en día se siguen usando las uniones mecánicas por la infinidad de aplicaciones y la diversidad que existe entre los diferentes tipos de uniones.

Estas uniones mecánicas pueden ser tanto desmontables (roscadas y no roscadas como pasadores, chavetas y lengüetas) como fijas (roblonadas, remachadas, grapadas/cosidas, gargoladas/plegadas, etc).



Figura 29. Unión desmontable roscada: Tornillo con tuerca. [48]



Figura 30. Unión desmontable no roscada: pasadores. [49]



Figura 31. Unión fija: Remaches. [50]

Usando los elementos de unión anteriores, algunas de las uniones atornilladas más comunes para perfiles rectangulares son:

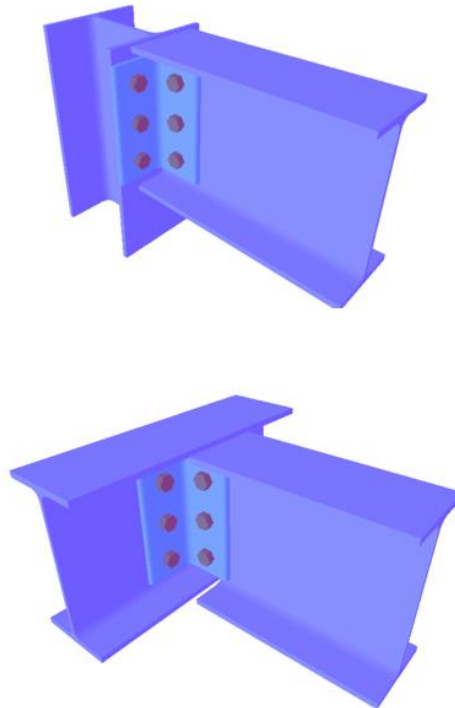


Figura 32. Unión con placa de empalme. [51]

Este tipo de uniones como el que se muestra en la figura 32 utiliza placas de metal para conectar perfiles rectangulares mediante tornillos sin necesidad de soldadura. Las placas de empalme son planchas de metal perforadas que se colocan sobre las superficies de los perfiles a unir. Los pernos o tornillos que atraviesan tanto los perfiles como la placa pueden insertarse a través de los orificios que se han perforado previamente en estas placas, lo que garantiza una conexión firme entre ellos.

Sus principales aplicaciones incluyen el refuerzo estructural, ya que pueden fortalecer puntos de conexión o reforzar una estructura existente. También son comunes en estructuras modulares, donde se utilizan para construir andamios, bastidores, marcos y otras estructuras temporales o portátiles. Una ventaja del uso de placas de empalme es que pueden distribuir las cargas en los puntos de unión, reduciendo el riesgo de falla en un solo punto. Además, resulta fácil de desmontar y ajustar.



Figura 33. Unión atornillada de tubos de aluminio . [52]



Figura 34. Unión atornillada de dos perfiles cuadrados. [53]

Unir los tubos directamente con tornillos, figuras 33 y 34) es un método efectivo y adaptable para crear estructuras sólidas y desmontables. Seguir un proceso meticuloso de corte, alineación, perforación y ensamblaje puede crear uniones sólidas y bien alineadas. Estas uniones funcionan bien para una variedad de aplicaciones industriales y de construcción, muy común en la fabricación de muebles metálicos como mesas, sillas, estanterías, donde la estética y la precisión en el ensamblaje son importantes.

Para lograrlo, primero se diseña el corte que indique cómo deben unirse los tubos, se mide y se marca en dichos tubos. Luego se cortan con sierras de metal y se desbarban para suavizar los bordes y facilitar el ajuste de las piezas. Los tubos se alinean para determinar la ubicación de los agujeros y luego se perfora para unirlos con tornillos, tuercas y arandelas, realizando un buen

apretado, evitando hacerlo excesivamente, ya que esto podría deformar los tubos o dañar las roscas de los tornillos.

Sin embargo, las uniones atornilladas necesitan mantenimiento regular para mantenerlas firmes porque pueden aflojarse con el tiempo debido a la vibración o al uso repetido. Es importante tener en cuenta en el diseño que la necesidad de perforar orificios en los tubos puede debilitar las secciones donde se realizan las perforaciones.



Figura 35. Unión tipo L.. [54]



Figura 36. Uniones de tipo T. [55]

Los elementos de fijación, como las abrazaderas de tipo L y T, se utilizan para unir perfiles, como tubos rectangulares o circulares, en diferentes configuraciones. Estas abrazaderas son esenciales para ensamblar estructuras de manera rápida y efectiva sin soldaduras o perforaciones adicionales. Estas abrazaderas se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales y estructurales, especialmente en situaciones en las que la facilidad de montaje, la flexibilidad y la posibilidad de desmontaje son cruciales, como es el caso.

Las abrazaderas de tipo L tienen como objetivo unir dos perfiles en un ángulo recto de 90 grados. Debido a su forma, que se asemeja a la letra L, se



denominan "L". Son útiles para aplicaciones donde se necesita un soporte en un solo plano, comunes en la construcción de esquinas o bordes de estructuras, ofreciendo un soporte sólido en ángulos rectos. También se usan como refuerzos adicionales en esquinas para mejorar la estabilidad y la resistencia de la estructura. Estas abrazaderas necesitan una correcta alineación para asegurar una conexión fuerte.

Las abrazaderas de tipo T están diseñadas para unir tres perfiles, donde uno se une perpendicularmente a los otros dos, formando una configuración en forma de "T". Esta configuración es útil para crear intersecciones dentro de una estructura donde diferentes perfiles necesitan un punto de conexión central. Se utilizan con frecuencia en uniones centrales de marcos o estructuras modulares, como estanterías o soportes que requieren una conexión fuerte en tres direcciones. Las abrazaderas de tipo T son útiles para agregar refuerzos verticales a estructuras horizontales, como barras transversales en mesas o estanterías. Como limitación, respecto a otros métodos de unión, este tipo de abrazadera necesita más espacio y puede interferir a la estética.

Después de haber analizado los diferentes tipos de uniones, tanto sus ventajas como desventajas y sus aplicaciones más comunes, se procederá a escoger el tipo de diseño de herraje que unirán los elementos industriales seleccionados para la construcción de una estructura portable, en este caso, de una parihuela.

CAPÍTULO 3. Propuesta concreta.

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el diseño de herrajes para una estructura innovadora de parihuela. Esta parihuela innovadora es conocida por ser una estructura fundamental en las procesiones religiosas, ya que soporta el paso. Puede ser que lleve una imagen de la Virgen, de Cristo u otras figuras sacras y se compone de varios elementos clave que aseguran su resistencia, funcionalidad y durabilidad. Estos elementos claves son: el bastidor, los herrajes, los varales y el tablero con su artesanado.



Figura 37. Andas de la Cofradía de la Esclavitud de Segovia. [56]

3.1 El bastidor

El bastidor es el esqueleto principal de la parihuela, cuya función es soportar el peso total de la estructura, incluida la imagen que se va a portar. En este caso, el bastidor estará compuesto por escaleras de mano dispuestas de manera estratégica, que actuarán como vigas estructurales tipo Vierendeel. Este tipo de viga es la mejor opción para construir una estructura portable, robusta y estética porque satisface una variedad de requisitos técnicos y funcionales. Las vigas Vierendeel permiten la creación de estructuras abiertas, lo que mejora tanto la estética como la resistencia de la parihuela sin la necesidad de uniones diagonales. Estas escaleras, por su forma y disposición, proporcionan rigidez estructural y ayudan a distribuir de manera uniforme las cargas a lo largo de toda la estructura.

La capacidad de integrarse fácilmente en un diseño modular es otra razón clave por la que las vigas Vierendeel son una opción popular. Aprovechando la rigidez inherente de estos elementos y su disponibilidad en el mercado, se ha decidido utilizar escaleras de mano de diferentes longitudes como vigas Vierendeel en este proyecto.

Este método no solo reduce los costes, sino que también facilita el ensamblaje y desensamblaje de la estructura, lo que es importante para una parihuela que necesita ser transportada y montada en una variedad de escenarios.

La fabricación de escaleras comerciales en el entorno industrial se caracteriza por su eficiencia y automatización, sin necesidad de soldaduras ni tornillos, lo que simplifica el proceso. Se parte de perfiles de aluminio, un material ideal por su combinación de ligereza y resistencia a la corrosión. Estos perfiles se obtienen mediante el proceso de extrusión, en el que el aluminio fundido es moldeado para adquirir la forma deseada, generalmente tubular o rectangular.

Una vez obtenidos los perfiles, son cortados a la medida requerida utilizando maquinaria de corte automatizada, lo que asegura la precisión y uniformidad en cada pieza. En lugar de unir los peldaños a los largueros mediante métodos tradicionales como tornillos o soldadura, se emplean técnicas mecánicas como el remachado o sistemas de presión controlada. Estas uniones, realizadas con prensas especializadas, garantizan una fijación sólida y segura, sin necesidad de realizar perforaciones adicionales como se muestra en la figura 38, una escalera con los peldaños engastados y relieves antideslizantes.



Figura 38. Detalle de los peldaños engastados de la escalera Serie A1. [57]

El proceso se completa con el tratamiento de la superficie de los perfiles, que suele incluir un anodizado para mejorar su durabilidad y darle un acabado estético atractivo. Se agregan también componentes de seguridad, como tacos antideslizantes de PVC en los extremos de la escalera, junto con etiquetas de identificación y, en algunos casos, barandillas o elementos adicionales de protección.

Gracias a este método de producción, las escaleras resultantes son ligeras, duraderas y fáciles de montar, características que las hacen idóneas para formar parte del bastidor de una parihuela, como se plantea en este TFG.

Las escaleras de mano escogidas para este fin son de la marca SVELT. Se trata de una empresa líder en Italia y España en el sector de escaleras y andamios, consolidándose como un referente internacional también en sistemas de acceso especiales.

Ofrecen documentación detallada, bajo pedido, para proyectos complejos, brindando al cliente una visión clara de la estructura a fabricar. Toda la documentación incluye un manual de instrucciones, las especificaciones técnicas del equipo, el manual de montaje, y cualquier componente que se suministre.

Algunos de sus productos:

- Andamios y estructuras especiales.
- Escaleras profesionales.
- Escaleras de aluminio domésticas.
- Escaleras especiales y a medida.
- Accesorios para andamios y escaleras.
- Rampas de aluminio.
- Elevador de materiales.
- Plataformas aéreas y elevadores.
- Barandillas y pasarelas.
- Carros y vehículos eléctricos.
- Altillos y accesorios.
- Cajas de Aluminio.

Dentro del gran catálogo existente sobre escaleras de mano de aluminio, la opción escogida es la de la serie EURO, en concreto las del tipo EURO 1. Se tratan de escaleras transformables de aluminio nervado de alta gama para uso profesional de un tramo.



Figura 39. Escalera de aluminio transformable EURO 1. [58]

Estas escaleras están disponibles en versiones de dos y tres tramos. Si la altura de trabajo supera los 3 metros, la escalera incluye una barra estabilizadora obligatoria, figura 40.



Figura 40. Barra estabilizadora. [58]

El ancho de la escalera sin estabilizador es de 42,30 cm. Además, la escalera cuenta con tacos de PVC antideslizantes, que proporcionan un apoyo seguro en el suelo. Los peldaños, que tienen una sección de 27 x 27 mm, también son antideslizantes, y están colocados con una distancia de 28 cm entre ellos, garantizando una mayor seguridad durante su uso. Para las escaleras sin estabilizador existe la disponibilidad de unaz zapatas basculantes opcionales estándar (55 x 120 mm) o maxi (59 x 178 mm), figura 41.



Figura 41. Zapatas basculantes estándar. [58]

La escalera se suministra junto con un manual de uso y mantenimiento, y lleva una etiqueta identificativa. Además, ofrece la posibilidad de añadir un kit de dos barandillas, disponibles en dos tamaños, de un metro y dos metros.



Figura 42. Barandillas. [58]

Para el uso que se le van a dar a estas escaleras, no serán necesarias ni las barras estabilizadoras, ni el kit de barandillas, ni los tacos de PVC antideslizantes.

Las escaleras cumplen con las siguientes normas:

- UNE-EN 131-1:2016: Escaleras. Parte 1. Terminología, tipos y dimensiones funcionales.
- UNE-EN 131-2:2010+A2:2017: Escaleras. Parte 2. Requisitos, ensayos y marcados. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2018).
- UNE-EN 131-3:2018: Escaleras. Parte 3. Marcado e información destinada al usuario. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2018).

Para el uso convencional de las escaleras de mano, la capacidad de carga que pueden soportar son de 150 kg y tienen 5 años de garantía. El número de peldaños varía desde 8 peldaños hasta 20, según la altura de la escalera, pues puede variar desde los 2,32 m, si la escalera tiene 8 peldaños, a 5,67 m, si la escalera tiene 20 peldaños.

REF	Peldaños	Ancho (cm)	Longitud (m)	Perfil (mm)	Peso (kg)
E1-8	8	42,3	2,32	57 x 27	4,00
E1-10	10	42,3	2,87	57 x 27	5,00
E1-12	12	42,3	3,42	57 x 27	6,00
E1-14	14	42,3	4,02	57 x 27	7,00
E1-16	16	42,3	4,57	67 x 27	9,00
E1-18	18	42,3	5,12	67 x 27	10,00
E1-20	20	42,3	5,67	84 x 27	12,00

Tabla 3. Catálogo de escaleras E1 según ficha técnica. [58]

Las escaleras que se van a usar para formar parte del bastidor son E1-8 de 8 peldaños y 2,32 m de altura, y E1-14 de 14 peldaños y 4,02 m de altura. Dependiendo de las escaleras escogidas, se tendrá un tamaño de bastidor diferente y, por tanto, de andas. El tamaño escogido suele ser común en las parihuelas.

Llevando a Catia V5 las escaleras escogidas se tiene:

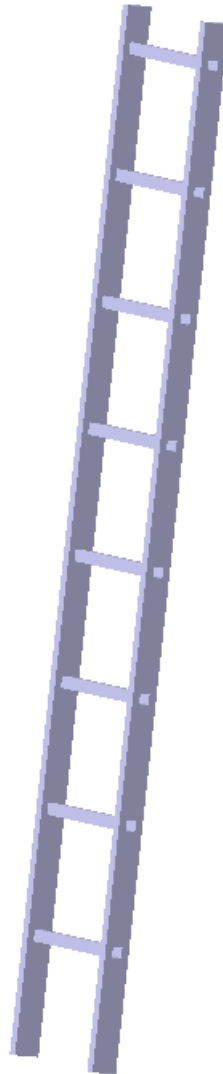


Figura 43. E1 - 8

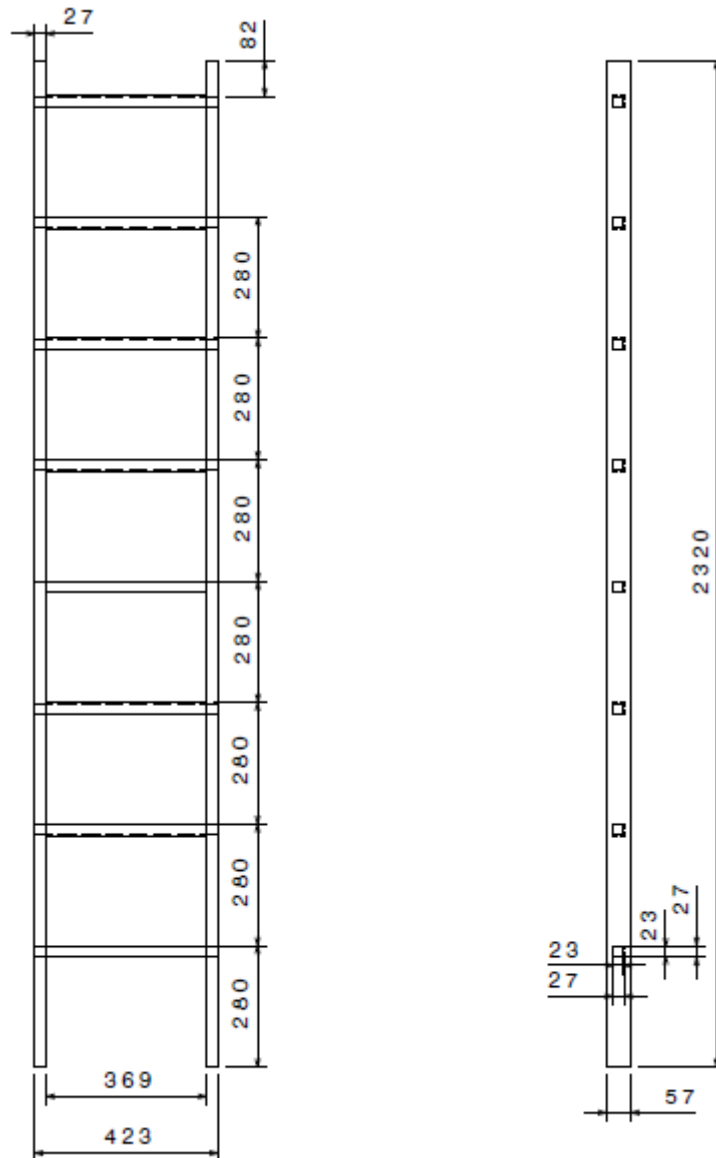


Figura 44. Dimensiones escalera corta.

Para construir la estructura que formará parte del bastidor de las andas se necesitarán 4 escaleras E1-8 y 2 escaleras E1-14.

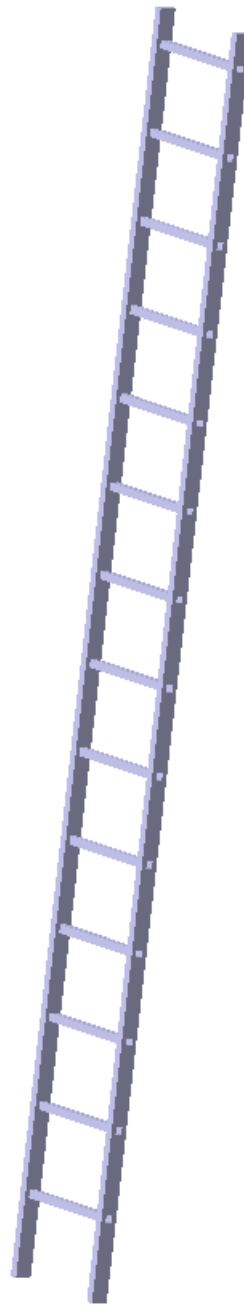


Figura 45. E1 - 14

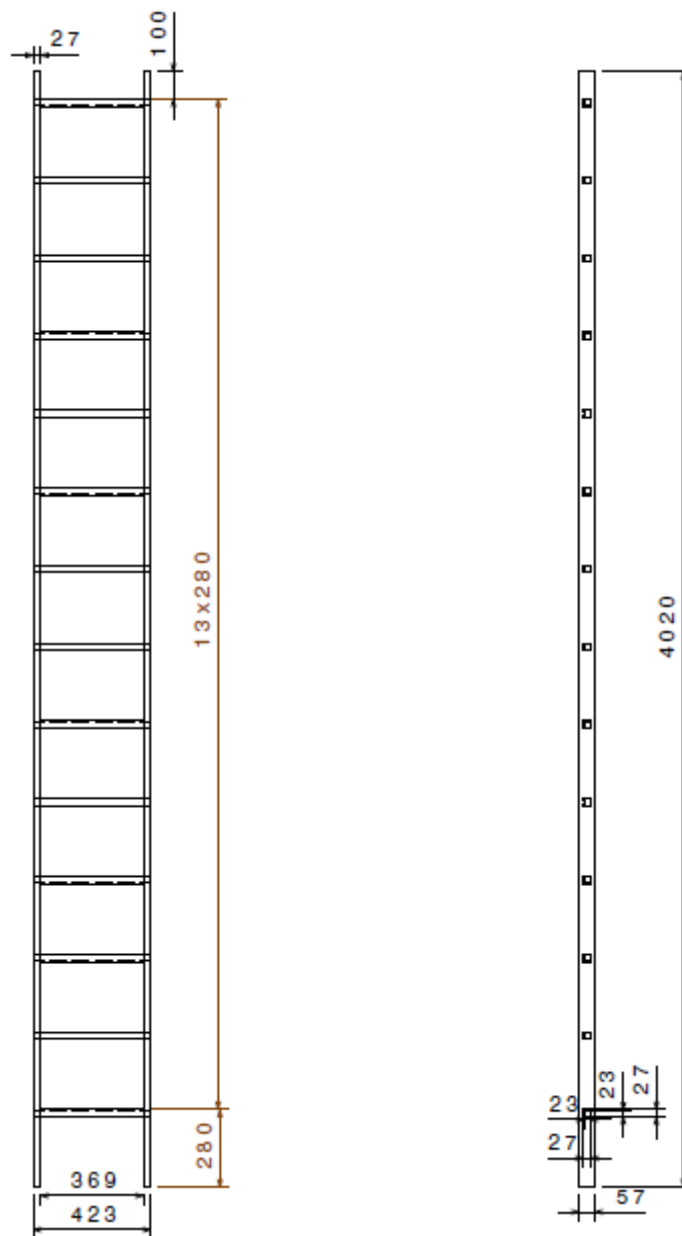


Figura 46. Dimensiones escalera larga.

Con las 2 escaleras de E1-14 y 4 escaleras E1-8 dispuestas de forma perpendicular formando un rectángulo se obtiene una estructura sólida y resistente. La estructura quedaría de la siguiente manera, figura 47:

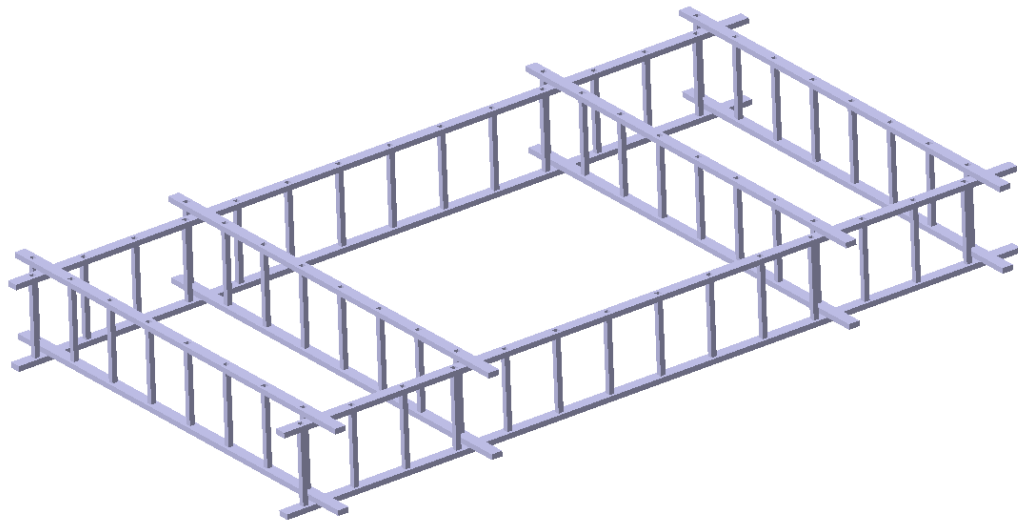


Figura 47. Bastidor de andas formado por escaleras E1-8 y E1-14.

Puesto que ambas escaleras tienen el mismo ancho, se han superpuesto una encima de otra sobre las zancas de las escaleras como muestra la figura 48 para luego poder unir las.

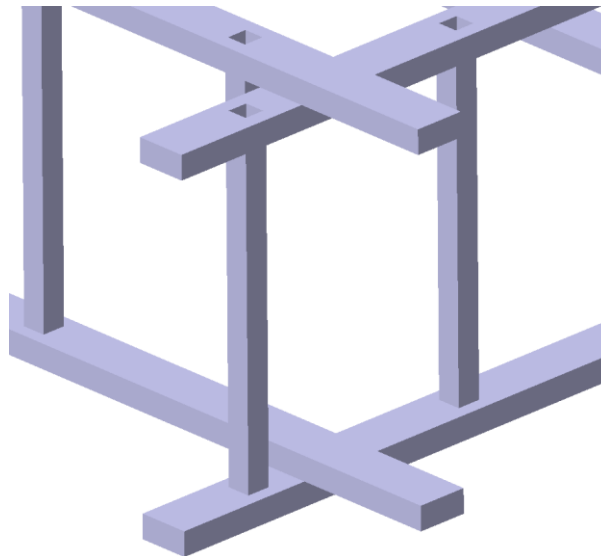


Figura 48. Superposición de escaleras E1-8 (escalera superior) con E1-14 (escalera inferior).

Otro tipo de configuración de las escaleras podría ser con una escalera dentro de otra, es decir, colocar una escalera corta de menor anchura por dentro de las zancas de la escalera larga. Esto se podría conseguir encontrando escaleras de estrecho especial en el mercado o incluso con escaleras telescópicas, de tal manera que las escaleras quedarían de la siguiente forma como indica la figura 49:

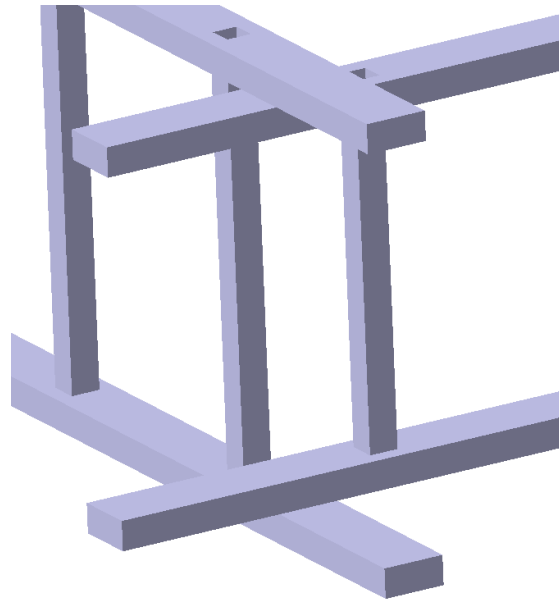


Figura 49. Escalera corta colocada entre las zancas de la escalera larga.

Para la propuesta de parihuela, la disposición de las escaleras será la que se muestra en la figura 48 ya que las escaleras escogidas para ello son del mismo ancho.

La estructura del bastidor de la parihuela, conformada por dos escaleras largas y cuatro cortas unidas de forma perpendicular para formar un rectángulo, está diseñada para soportar cargas significativas. Para entender por qué esta estructura puede manejar cargas elevadas, es útil considerar cómo se distribuyen las cargas y cómo las características de las escaleras contribuyen a la estabilidad y resistencia de la parihuela.

Las escaleras utilizadas en la parihuela tienen una capacidad de carga individual de 150 kg en su función normal, lo que significa que están diseñadas para soportar una carga de 150 kg cuando están en su uso previsto, aplicando una carga vertical. En la configuración de la parihuela, las escaleras se colocan de manera que las largas forman los laterales del rectángulo y las cortas actúan como travesaños transversales, creando un bastidor robusto y estable. Es decir, se están aplicando las cargas de forma diferente a lo que el fabricante indica respecto de la capacidad máxima de carga.

Dado que no está indicado qué cargas soportan las escaleras en la disposición que se propone en este trabajo, se supone como hipótesis esa misma carga máxima de 150 kg para la configuración propuesta, de tal manera que se pueda hacer una estimación numérica que no corresponderá con la realidad, pero dará una visión general.

Cuando se colocan dos escaleras largas y cuatro cortas en la disposición perpendicular, las escaleras largas, situadas en los lados del rectángulo, distribuyen la carga longitudinalmente a lo largo de su longitud. Dado que cada escalera puede soportar 150 kg hipotéticamente en esa disposición, la carga total distribuida a lo largo de cada una de estas escaleras aumenta la capacidad de la estructura para soportar cargas mayores. Las escaleras cortas refuerzan la estructura al proporcionar soporte transversal, distribuyendo las cargas aplicadas en el centro del rectángulo hacia las escaleras largas. Esto ayuda a prevenir deformaciones y proporciona estabilidad adicional.

La capacidad de carga combinada de la estructura se puede estimar teniendo en cuenta el refuerzo proporcionado por las escaleras cortas. Aunque la carga total que puede soportar la estructura depende de factores como la calidad de las uniones, que se verá más adelante, y la distribución de la carga, se puede hacer una estimación general:

- Carga total de las escaleras largas: Cada escalera larga soporta 150 kg hipotéticamente en la configuración propuesta, y con dos escaleras largas, la carga total soportada sería:

$$\text{Carga total escaleras largas: } 150 \text{ kg} \times 2 = 300 \text{ kg} \quad (1)$$

- Carga total de las escaleras cortas: Cada escalera corta también soporta 150 kg. Como hay cuatro escaleras cortas actuando como refuerzo transversal, la carga total soportada sería:

$$\text{Carga total escaleras cortas: } 150 \text{ kg} \times 4 = 600 \text{ kg} \quad (2)$$

Dado que las escaleras cortas están distribuidas transversalmente, la carga total soportada por la estructura completa no es simplemente la suma de las capacidades individuales, sino que se debe considerar la capacidad de carga redistribuida y la interacción entre las escaleras.

Para una estimación conservadora y considerando la interacción entre las escaleras y posibles factores de seguridad, podríamos asumir que la estructura puede soportar aproximadamente el 75% de la suma de las capacidades individuales de las escaleras. Esto nos da:

$$\text{Capacidad total estimada} = (300 \text{ kg} + 600 \text{ kg}) \times 0,75 = 675 \text{ kg} \quad (3)$$

Dicho esto, la estructura del bastidor de la parihuela, formada por dos escaleras largas y cuatro cortas unidas perpendicularmente, está diseñada para soportar una carga considerable. Basado en la capacidad individual de las escaleras y la disposición de carga, se estima que la estructura podría soportar alrededor de 675 kg considerando que cada escalera soportase como máximo 150 kg.

Esta capacidad se debe a la distribución efectiva de la carga y el refuerzo proporcionado por las escaleras cortas. Sin embargo, es importante realizar pruebas adicionales y considerar los factores de seguridad en aplicaciones reales, ya que probablemente la carga que pueda soportar la parihuela sea mayor a la estimada y sería útil saberlo para escoger la imagen sacra adecuada a portar en la parihuela. A pesar de ello, ese no es el objetivo de este TFG, por lo que solo se refleja esta estimación para saber su factibilidad.

El siguiente paso sería el diseño de la unión que permita una conexión sólida entre las zancas de las escaleras, lo que garantiza que la estructura final pueda soportar las cargas esperadas sin deformarse ni perder estabilidad.

Para ello, los herrajes que unirán dichas zancas serán unas abrazaderas de tipo omega de tal forma que, al posicionar las abrazaderas sobre dichas zancas de las escaleras, estas puedan unirse mediante un sistema de tornillo, arandela y tuerca. Para ello, las abrazaderas vistas desde arriba tienen una forma cuadrada pues al ser simétricas tanto en x como en y, los orificios estarán alineados.

Esto se consigue primero diseñando la U que contendrá la zanca de la escalera de 57 x 27 mm . En este caso, la U de la abrazadera medirá 57x25 mm para que al unirla con la otra abrazadera y colocar los tornillos, arandelas y tuercas, pueda tener un buen ajuste y apriete, y las zancas de las escaleras queden rígidas y estables.

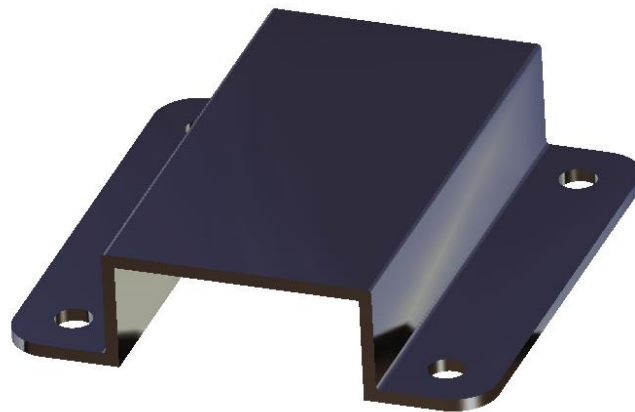


Figura 50. Abrazadera tipo omega para perfil 57x27mm

Se ha supuesto un espesor de la chapa de aluminio que da forma a las abrazaderas de 3 mm. De la U salen unas aletas que será donde estén los orificios en los que después se introducirán los tornillos. Estas aletas tienen una anchura de 25 mm y los orificios irán posicionados a 13 mm respecto de las esquinas de las aletas. De esta manera, los orificios están simétricos y alineados en el momento en que se quiera unir con otra abrazadera de sus mismas dimensiones.

Las aletas tienen un redondeo de radio 10 mm en sus esquinas, de 1 mm en la intersección entre las aletas y la U, y de 1 mm también en las esquinas superiores de la U.

En la siguiente figura 51 se muestra el plano de la abrazadera de forma paramétrica:

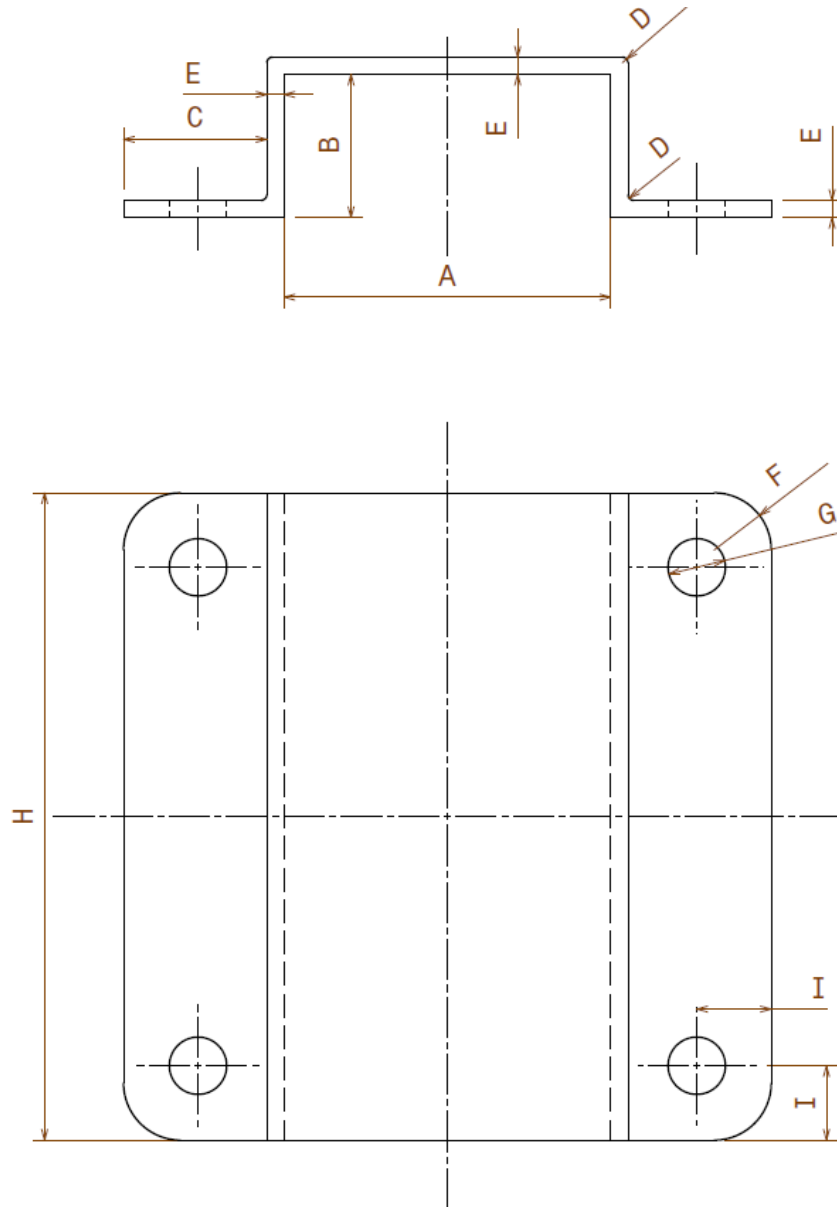


Figura 51. Plano abrazadera paramétrica.

En la siguiente tabla 4 se muestran las dimensiones de la abrazadera usada para unir los perfiles de las escaleras:

Dimensiones de la abrazadera	Anchura interna (A)	Altura interna (B)	Anchura de aletas (C)	Radio de acuerdo de la U (D)	Espesor (E)	Radio de acuerdo de esquinas aletas (F)	Diámetro de agujeros pasantes (G)	Longitud abrazadera (H) $H=2xC+2xE+A$	Distancia centro agujeros respecto esquinas aletas (I)
57x25 mm	57 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	113 mm	13 mm

Tabla 4. Dimensiones de la abrazadera que une las escaleras.

En el apartado 3.4.1 se verá con más detalle la gama de abrazaderas que podría haber dependiendo de las dimensiones de la zanca de las escaleras que ofrece la ficha técnica de las escaleras EURO 1. También se mostrarán el resto de abrazaderas que se usarán a lo largo de la construcción de la parihuela. En el apartado 3.4.2 se verá cómo sería el proceso de fabricación de una abrazadera de este tipo para poder industrializarlas.

Aunque no se realizan cálculos sobre los esfuerzos que soportan los herrajes diseñados, las dimensiones se han basado en uniones ya existentes comerciales, por lo que deberían aguantar las cargas sin producirse deformaciones. De ocurrir algún tipo de deformación, se podría aumentar el espesor de la chapa de aluminio a 4 mm y modificar alguna dimensión más.

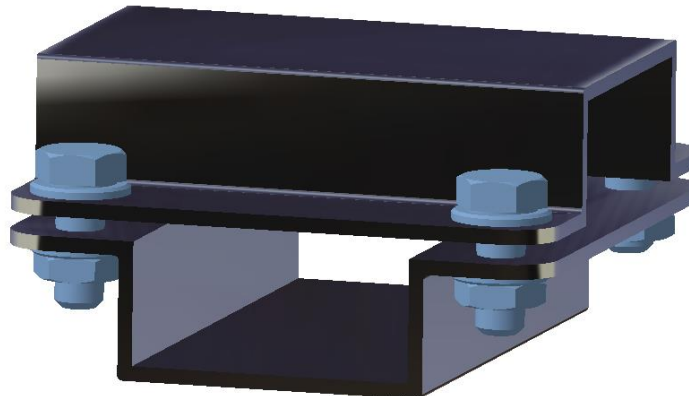


Figura 52. Abrazaderas tipo omegas unidas mediante tornillos, arandelas y tuercas.

Se utilizarán tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017 de acero inoxidable A2 M10 x 25 [59], arandelas de acero inoxidable A2 M10 [60] y tuercas hexagonales forma baja DIN 439 M10 x 1,25 para unir las zancas de las escaleras de aluminio del bastidor. Estos componentes ofrecen importantes ventajas en términos de resistencia, durabilidad y protección contra la corrosión. [61]

Los tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017 (M10 x 25) de acero inoxidable A2 destacan por su alta resistencia a la corrosión, lo que los hace ideales para su uso en exteriores o en ambientes húmedos. Además, ofrecen una excelente resistencia a la tracción, garantizando una unión estable entre los perfiles de aluminio, y su disponibilidad estándar facilita su adquisición y reemplazo.

Las arandelas de acero inoxidable A2 (M10) distribuyen la presión de manera uniforme entre el tornillo y el perfil de aluminio, evitando daños al aluminio de las escaleras, pues es el material más blando. Además, ayudan a prevenir el aflojamiento de los tornillos debido a las vibraciones, lo que es crucial en estructuras sometidas a cargas dinámicas.

Por su parte, las tuercas hexagonales de forma baja DIN 439 (M10 x 1,25) tienen un perfil compacto, mejorando la estética de la unión al no sobresalir demasiado. Su rosca fina asegura un ajuste más preciso, lo que aumenta la resistencia al aflojamiento y garantiza una conexión más firme.

Aunque tanto los tornillos como el aluminio ofrecen una buena resistencia a la corrosión, es recomendable utilizar un compuesto anti-galvánico o recubrimiento especial para evitar la corrosión galvánica que puede ocurrir en el contacto entre distintos metales. En conjunto, estos elementos garantizan una unión sólida y duradera, siempre que se sigan las mejores prácticas en el proceso de instalación.

Colocando las abrazaderas en todas las zancas de las escaleras que precisan esta unión, además de los tornillos, arandelas y tuercas ya mencionados se obtiene la figura 53:

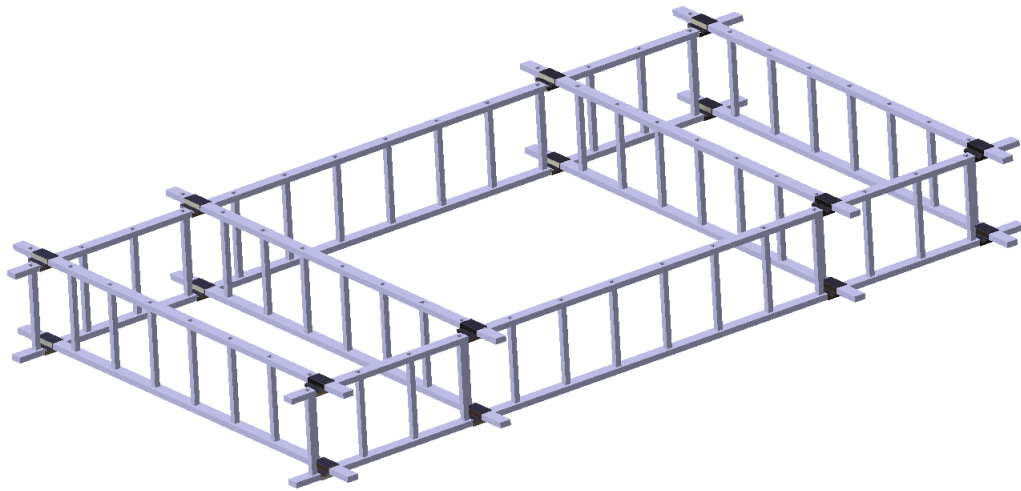


Figura 53. Bastidor formado por escaleras y abrazaderas.

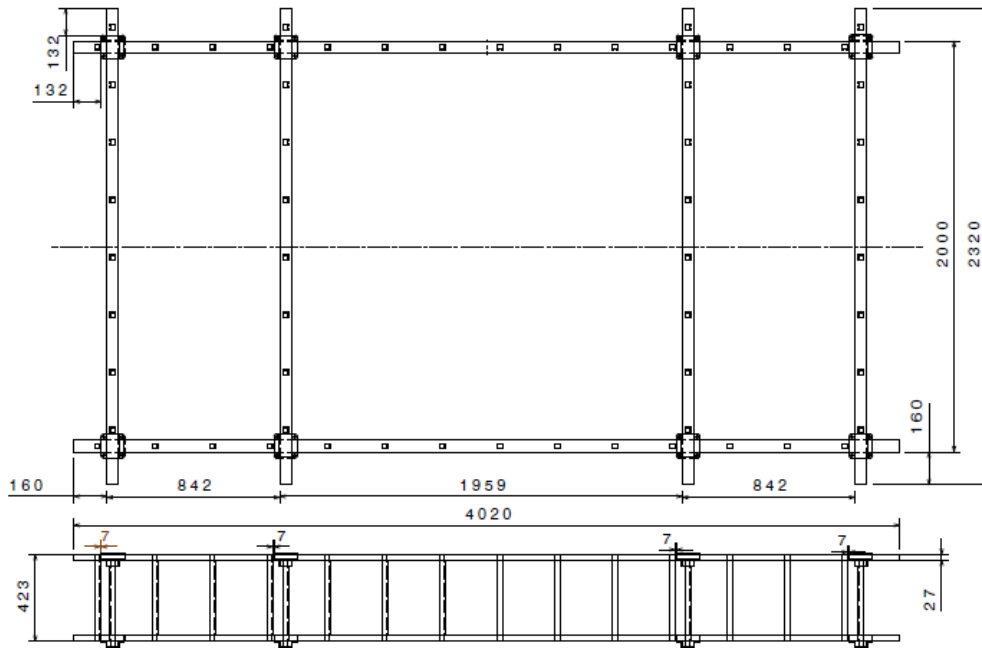


Figura 54. Dimensiones bastidor.

3.2 Los varales

Los varales son los bastones o barras horizontales que se extienden a lo largo de la parihuela y son cruciales, ya que son los elementos que los portadores de la procesión sostienen para levantar y cargar la estructura. Estos varales deben distribuir la carga de forma uniforme entre cada uno de ellos



Figura 55. Varal de una anda de semana santa a hombros de costaleros. [62]

El número total de varales en las andas depende del tamaño global de las andas y el número de costaleros que llevarán el paso a sus hombros. Normalmente suelen ser de 3 o 4 varales y el número de costaleros según el peso total que deban cargar los portadores. Estos varales suelen ser vigas de madera maciza de unos 3 o 4 metros de longitud, dispuestos tanto en la parte delantera como en la parte trasera de la parihuela.

En la parihuela propuesta, el varal que forme parte de ella será una viga de madera de pino macizo, de 3 metros de longitud y de dimensiones 60 x 120 mm, común en muchos pasos de Semana Santa.



Figura 56. Varal macizo de madera de pino.

En la propuesta de parihuela, habrá 8 varales en total colocados de 4 en 4. Los primeros 4 estarán en la parte frontal de la parihuela y los otros 4 en la parte trasera. Entre varales hay una distancia de 50 cm, distancia mínima para que los costaleros puedan cargar sobre sus hombros el peso de la parihuela sin entorpecerse con el resto de costaleros.

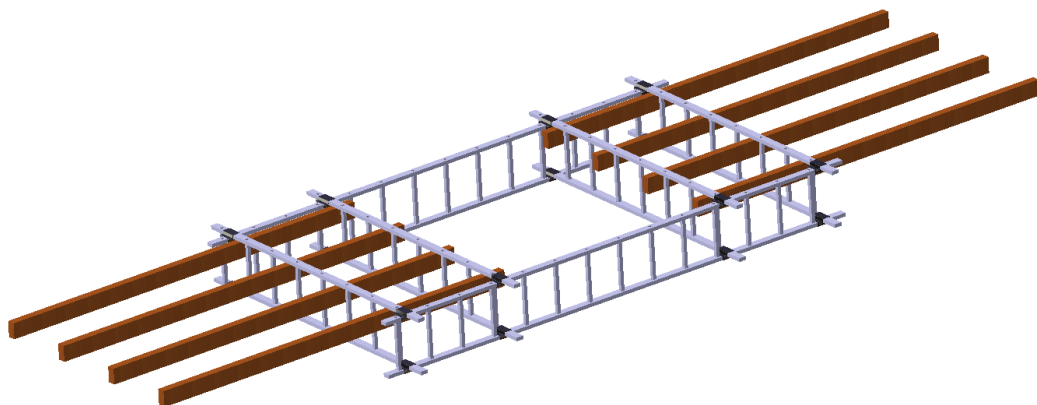


Figura 57. Bastidor de la parihuela con la disposición de varales propuesta.

Los varales se unirán al bastidor a través de herrajes diseñados específicamente para esta función. Estos herrajes deberán asegurar que los varales estén firmemente sujetos a las escaleras, de modo que no se muevan durante el proceso de levantamiento y transporte. Dado que los varales son los puntos de contacto entre la estructura y los portadores, es fundamental que las uniones sean fuertes, confiables y ergonómicas.

Puesto que la viga de madera tiene de dimensiones 60 x 120 mm, el diseño del herraje también de tipo omega será de 60 x 118 mm. Al igual que en el herraje propuesto para unir las zancas de las escaleras de aluminio, este también será de aluminio de 3 mm de espesor y se unirá al herraje de las zancas también con los tornillos, arandelas y tuercas anteriores.

En este caso, la abrazadera que une el varal con las zancas de la escalera tendrá unas aletas de 23,5 mm en vez de 25 mm, y los orificios se encontrarán a 13 mm de las esquinas de las aletas. De esta manera, los orificios estarán alineados y podrán unir los varales con las zancas de las escaleras de forma rígida.

Esta abrazadera también posee los mismos redondeos que la anterior descrita, es decir, las aletas tienen un redondeo de radio 10 mm en sus esquinas, de 1 mm en la intersección entre las aletas y la U, y de 1 mm también en las esquinas superiores de la U.



Figura 58. Abrazadera del varal.

La unión entre la abrazadera del varal con la abrazadera de la zanca de la escalera será con la zanca de la escalera por encima y el varal por debajo. Al colocar los varales debajo de la parihuela, el peso de la estructura y de la imagen que transporta se distribuye equitativamente entre los costaleros, lo que facilita el reparto uniforme de la carga y el transporte durante la procesión. Además, los varales actúan como puntos de apoyo que proporcionan estabilidad a la estructura. Al estar en esta posición, el centro de gravedad es más bajo, mejorando el equilibrio y evitando oscilaciones peligrosas. También permite que los costaleros se alineen correctamente con los hombros bajo los varales, favoreciendo una postura adecuada y reduciendo el riesgo de lesiones en trayectos largos.

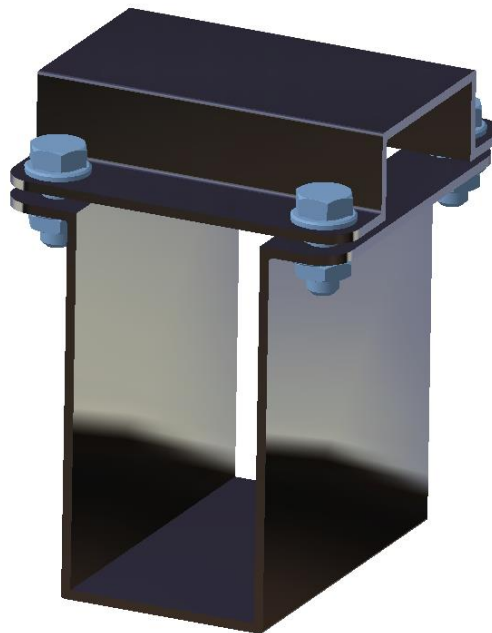


Figura 59. Abrazaderas tipo omega que une zancas de escaleras con los varales de la parihuela.

Cabe mencionar también el uso de almohadillas en estos varales para proporcionar comodidad y protección a los costaleros durante la procesión. Las almohadillas suavizan el contacto directo entre los hombros de los costaleros y los varales, reduciendo la presión y el impacto que el peso de la parihuela genera sobre el cuerpo. Al disminuir la fricción y el roce entre los varales y los hombros, las almohadillas ayudan a evitar lesiones como rozaduras, moratones y puntos de presión prolongada que podrían resultar en daño muscular o nervioso. Las almohadillas también pueden ayudar a distribuir el peso de manera más uniforme a lo largo del área de contacto, evitando que toda la carga recaiga en un solo punto del hombro. Esto mejora la ergonomía y facilita un transporte más equilibrado.

Algunas pueden ser de este tipo:



Figura 60. Almohadilla para paso de Semana Santa. [63]

3.3 El tablero con su artesanado

El tablero es la plataforma superior de la parihuela sobre la cual se colocará la figura religiosa. En la parte inferior de este tablero se encuentra el artesanado, que es un entramado decorativo y estructural que añade belleza y estabilidad a la parihuela. El tablero no solo sirve para sostener la imagen sacra, sino que también distribuye el peso de manera uniforme a través del bastidor.

En la parihuela propuesta, el tablero es de madera de pino al igual que los varales. Será de dimensiones 4020 x 2320 mm. Además, tendrá un espesor de 20 mm.

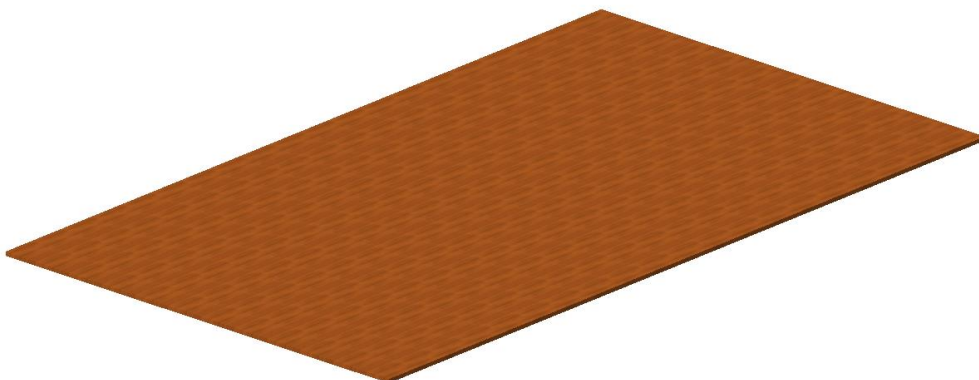


Figura 61. Tablero de madera de pino de la parihuela.

En este diseño de parihuela, el tablero se fijará al bastidor a través de los mismos herrajes utilizados en las uniones del bastidor, las que unen las zancas de las escaleras. Estos herrajes permitirán la conexión de las zancas de las escaleras (los largueros verticales de las escaleras) con la parte inferior del tablero, garantizando una conexión sólida que evite cualquier movimiento indeseado durante la procesión. El tablero se atornillará a estos herrajes para asegurar su firmeza, con los mismos tornillos que se han estado usando hasta ahora.

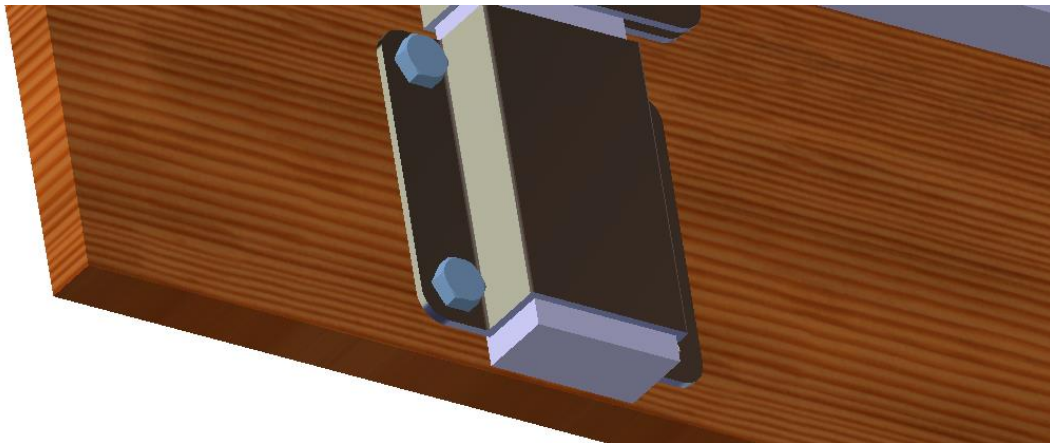


Figura 62. Abrazadera tipo omega anclada al tablero mediante tornillos.

Se han puesto estas abrazaderas en cada uno de los extremos de las escaleras cortas, haciendo un total de 8 herrajes en total para anclar el tablero al bastidor hecho de escaleras.

En cuanto al artesonado, habrá dos tableros de 4020 x 369 mm y tendrá un espesor de 20 mm.

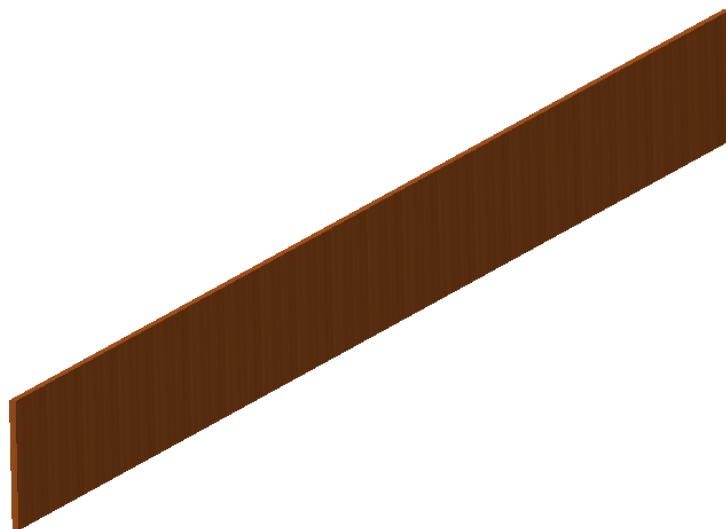


Figura 63. Artesonado de madera de pino de la parihuela.

El artesonado estará anclado con otra abrazadera de tipo omega de dimensiones 27x25 mm, ya que se anclarán a los peldaños de las escaleras como se muestra en la figura 65, justo a la mitad de la altura del peldaño. En total hay 8 abrazaderas de este tipo, 4 por cada tablero del artesonado.

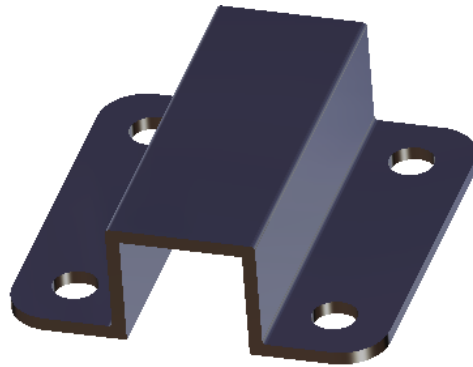


Figura 64. Abrazadera tipo omega dimensiones para peldaño de 27x25 mm.



Figura 65. Abrazadera tipo omega anclada al artesonado mediante tornillos.

La parihuela finalmente tiene el siguiente aspecto:

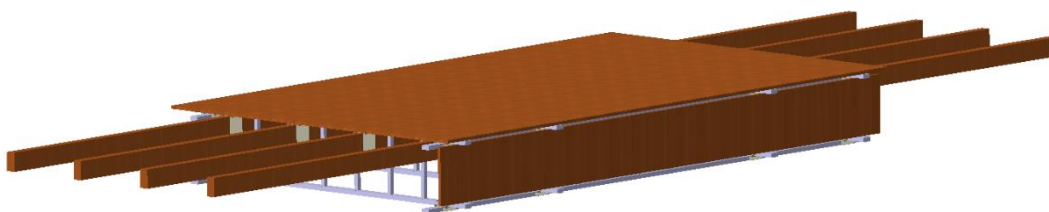


Figura 66. Parihuela con tablero y su artesonado.

3.4 Los herrajes

3.4.1 Gama de abrazaderas

Las abrazaderas tipo omega juegan un papel crucial en la unión de los perfiles de aluminio en escaleras que forman parte del bastidor de la parihuela, y su diseño debe adaptarse a las dimensiones específicas de estos perfiles. En el caso de las zancas de aluminio para escaleras que se han escogido, el perfil era de 57x27 mm y por tanto la abrazadera se adaptaba a esas dimensiones.

Sin embargo, en la ficha técnica de las escaleras EURO 1 aparecían otras dimensiones de perfiles como 67 x 27 mm y 84 x 27 mm. Cada perfil tiene una altura constante de 27 mm, pero el ancho varía, lo que requiere un diseño de abrazadera preciso para asegurar una conexión efectiva si se quieren unir escaleras con esos perfiles.

Todas las abrazaderas tipo omega están diseñadas con aletas de 25 mm de ancho. Estas aletas permiten que los tornillos, arandelas y tuercas se fijen adecuadamente a 13 mm de las esquinas. El diseño de las abrazaderas debe garantizar que los orificios para los elementos de fijación estén alineados. Esto asegura una unión segura y evita problemas durante el montaje.

En la siguiente tabla 5 se muestra una gama de abrazaderas usando los parámetros mostrados en la figura 51 del apartado 3.1.

Dimensiones de la abrazadera	Anchura interna (A)	Altura interna (B)	Anchura de aletas (C)	Radio de acuerdo de la U (D)	Espesor (E)	Radio de acuerdo de esquinas aletas (F)	Diámetro de agujeros pasantes (G)	Longitud abrazadera (H) $H=2xC+2xE+A$	Distancia centro agujeros respecto esquinas aletas (I)
57x25 mm	57 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	113 mm	13 mm
67x25 mm	67 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	123 mm	13 mm
84x25 mm	84 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	140 mm	13 mm
60x118 mm	60 mm	118 mm	23,5 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	113 mm	13 mm
27x25 mm	27 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	83 mm	13 mm

Tabla 5. Gama de abrazaderas.

Las siguientes figuras 67, 68 y 69 muestran una visión 3D de la gama de abrazaderas que existe para los diferentes perfiles de la ficha técnica de las escaleras EURO 1, en las que se puede comprobar que en este caso, la única diferencia que hay entre ellas es el ancho del perfil de la escalera:

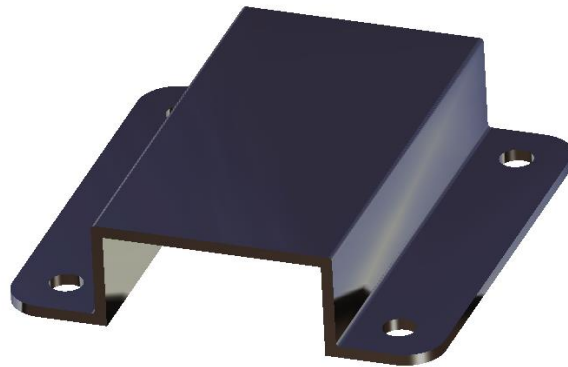


Figura 67. Abrazadera tipo omega para perfil 57 x 27 mm.



Figura 68. Abrazadera tipo omega para perfil 67 x 27 mm.

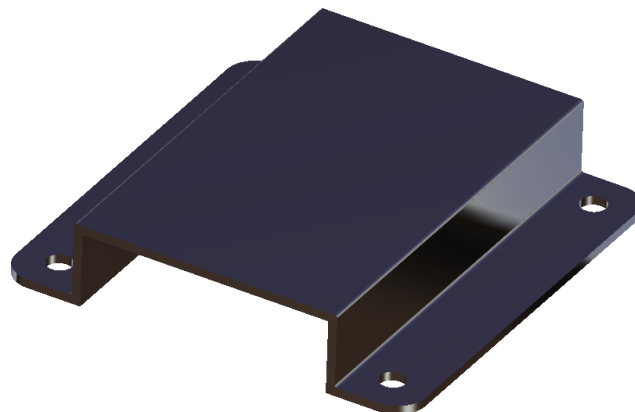


Figura 69. Abrazadera tipo omega para perfil 84 x 27 mm.

Para unir perfiles de diferentes tamaños, es esencial que las abrazaderas tipo omega se adapten a las dimensiones de cada perfil como se ha comentado anteriormente.

Una solución es fabricar abrazaderas específicas para cada tamaño de perfil, asegurando que los orificios de las abrazaderas coincidan con los orificios de los perfiles. Para este caso, el tamaño de las aletas podría variar dependiendo de los perfiles que se vayan a unir, haciendo coincidir los orificios. Como es posible que un perfil estrecho se quiera unir a uno más ancho, los orificios de la abrazadera del perfil estrecho quedarían alejados de la base de la U del herraje, por lo que al apretar los tornillos con las tuercas, podría sufrir deformaciones la chapa de las aletas y doblarse. Para ello, se podrían incluir nervios que hiciesen de soporte y aumentasen la resistencia de las aletas para que al apretar los tornillos la chapa no se deforme.

Otra opción es diseñar abrazaderas con características ajustables que puedan adaptarse a varios tamaños de perfil, proporcionando flexibilidad en la conexión.

3.4.2 Cómo fabricar la abrazadera

Para fabricar la abrazadera tipo omega a partir de una chapa de aluminio de un espesor específico, el proceso sigue varias etapas detalladas que garantizan la precisión y la calidad del producto final. Este proceso puede aplicarse a cualquiera de las abrazaderas propuestas en la gama mostrada anteriormente en la tabla 5, pues es un proceso que se puede parametrizar como se ha indicado anteriormente.

El primer paso consiste en seleccionar el material adecuado, en este caso, una chapa de aluminio de 3 mm de espesor. A continuación, se corta la chapa a las dimensiones generales de la abrazadera sin estar plegada. Este corte puede realizarse mediante varios métodos, como una máquina de corte por láser, que permite obtener cortes precisos y limpios. Otras opciones son el uso de una cizalla o una fresadora CNC, según la disponibilidad de las herramientas.

Una vez cortada la chapa, se procede a formar la parte central de la abrazadera, es decir, la U interna donde se encontraría el perfil a unir. Este proceso requiere de una máquina plegadora de chapa, que doblará el aluminio de forma controlada para conseguir las dimensiones especificadas.

Durante el plegado, es importante utilizar un troquel adecuado que permita realizar los redondeos en las esquinas superiores de la U con un radio de acuerdo, en este caso, de 1 mm, para asegurar que no haya bordes afilados que puedan comprometer la estructura o la seguridad.

La U debe tener una altura concreta, lo que se logra doblando el material en dos puntos bien definidos. Además, en la intersección de la U con las aletas

laterales, también se debe aplicar un radio de acuerdo para suavizar el encuentro entre las superficies.

Tras el plegado de la U, se trabajan las aletas laterales, que también tendrán una anchura concreta. Estas aletas quedarán a ambos lados de la U, extendiéndose de manera plana. Las aletas son una parte crucial, ya que es en ellas donde se realizarán los orificios para fijar la abrazadera. Las aletas deben mantenerse planas y libres de imperfecciones para asegurar un correcto ensamblaje posterior.

A continuación, se realizan los redondeos en las esquinas de las aletas con el radio especificado. Este redondeo puede hacerse mediante una fresadora CNC o con una máquina de corte por láser como la que se usó para cortar la chapa de aluminio en un primer momento. Esto permitirá dar forma a las esquinas sin comprometer la integridad estructural. Este proceso también mejora el acabado estético, eliminando bordes afilados y proporcionando un diseño más suave.

El siguiente paso es la perforación de los cuatro orificios en las aletas. Estos se colocan a una distancia específica de cada esquina de las aletas, y se utilizará una broca adecuada para crear los orificios con el diámetro requerido. El proceso de perforación puede hacerse con un taladro CNC para asegurar precisión y consistencia en el tamaño y la ubicación de los orificios.

Finalmente, se puede optar por aplicar un acabado superficial, como el anodizado. Este tratamiento mejora la resistencia a la corrosión del aluminio y proporciona un acabado estéticamente atractivo. Además, el anodizado ofrece una capa protectora que aumenta la durabilidad de la abrazadera, especialmente en aplicaciones expuestas a condiciones ambientales exigentes, como son las parihuelas de los pasos de Semana Santa.

Resumiendo, el proceso completo de fabricación de la abrazadera omega requiere de varias herramientas especializadas, entre ellas:

- Máquina de corte por láser o fresadora CNC para el corte inicial de la chapa y los redondeos.



Figura 70. Fresadora CNC para aluminio. [64]

- Máquina plegadora de chapa para formar la U.



Figura 71. Plegadora para aluminio Dachdecker ZRF-3250 con cortador. [65]

- Taladro CNC para realizar las perforaciones con precisión.



Figura 72. Centro de taladrado CNC. [66]

- Limas o esmeriles finos para los detalles finales.



Figura 73. Limas de agujas planas y dientes finos. [67]

Este proceso detallado garantiza una fabricación precisa y eficiente de la abrazadera omega, cumpliendo con las especificaciones y ofreciendo una solución resistente y duradera para su uso en estructuras de aluminio.

Ahora bien, uno de los objetivos de este TFG, a parte del diseño de herrajes para estructuras portables como la parihuela, es valorar la posibilidad de industrializar dicho herraje. Para ello, se va a estimar el coste de fabricación de una abrazadera tipo omega como las que se han usado en repetidas ocasiones para la unión entre las escaleras.

El coste de fabricación de las abrazaderas tipo omega está influenciado por varios factores, entre los que destaca el material utilizado, en este caso, de

chapa de aluminio. El precio del aluminio puede variar dependiendo de la calidad y del proveedor, y típicamente oscila entre 5 y 15 €/kg para los tipos de aluminio industriales, como las series 5000 o 6000.

Para calcular el coste del material, se tiene en cuenta el espesor de la chapa, que es de 3 mm, y las dimensiones de la abrazadera antes del plegado, que son de 163 mm x 113 mm. El peso estimado de una abrazadera se puede calcular utilizando la fórmula:

$$\text{Peso} = \text{Área} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad del aluminio} \left(2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (4)$$

La superficie de la chapa es:

$$\text{Área} = 163 \text{ mm} \times 113 \text{ mm} = 0,163 \text{ m} \times 0,113 \text{ m} = 0,0184 \text{ m}^2 \quad (5)$$

El volumen de aluminio es:

$$\text{Volumen} = 0,0184 \text{ m}^2 \times 0,003 \text{ m} = 0,00005 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Con una densidad de 2700 kg/m³ y haciendo uso de la ecuación (4):

$$\text{Peso} = 0,0184 \text{ m}^2 \times 0,003 \text{ m} \times 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,149 \text{ kg} \quad (7)$$

El peso de una abrazadera resulta ser 0,149 kg. Si el precio del aluminio es de aproximadamente 10 €/kg, el coste del material por pieza es de 1,49 €.

El siguiente aspecto en el cálculo del coste es el corte y el plegado de las piezas, que dependen del tipo de maquinaria utilizada, como láser CNC, cizalla o prensa plegadora. El coste de estos procesos puede variar según la complejidad y la cantidad de piezas. El corte por láser CNC puede costar entre 1 € y 5 € por pieza, dependiendo de la cantidad y la precisión requerida, mientras que cada pliegue puede tener un coste de entre 0,50€ y 3 €. Suponiendo un coste promedio de 5 € por pieza para el corte y los cuatro pliegues, se añade este importe al coste total.

El acabado de las abrazaderas también representa un factor importante en el coste final. Si las abrazaderas requieren algún tipo de tratamiento superficial para evitar bordes afilados o mejorar la apariencia, los costes pueden incluir pulido básico o desbarbado, que varía entre 0,50 € y 2 € por pieza, y anodizado, que puede costar entre 1 € y 5 € por pieza. Estos costes adicionales se suman al precio base de fabricación.

Otros factores que afectan el coste incluyen la mano de obra y los costes de configuración de maquinaria. En producciones pequeñas, el coste de la mano de obra es mayor, mientras que en producciones a gran escala, este coste



disminuye. Además, los costes de configuración de maquinaria, que dependen del taller y la maquinaria utilizada, se distribuyen entre el número total de piezas fabricadas.

Considerando todos estos elementos y realizando una estimación para una producción moderada de alrededor de 100 unidades, el coste total por abrazadera se calcula en aproximadamente 8-10 € por pieza. Este es un estimado general, y el coste real puede variar según la cantidad producida y el taller específico. Resulta un precio alto, ya que en el mercado, dependiendo de las dimensiones de la abrazadera, se pueden encontrar desde 2€ hasta 14€ por pieza.

Para reducir estos costes de fabricación, se pueden adoptar varias estrategias. Una opción es optimizar el diseño de las abrazaderas, reduciendo su tamaño o simplificando su diseño para eliminar características innecesarias. Además, buscar proveedores con mejores precios de material o explorar materiales alternativos puede ayudar a disminuir el coste.

La producción en mayores volúmenes puede ofrecer economías de escala, reduciendo el coste por pieza y permitiendo negociar precios más bajos con proveedores y talleres.

La automatización del corte y el plegado, así como la minimización de residuos, también son estrategias efectivas para reducir costes.

Finalmente, optimizar el acabado y reducir la necesidad de mano de obra mediante la automatización y la estandarización del proceso de producción puede contribuir a una reducción significativa en los costes totales.

CAPÍTULO 4. Resultados, conclusiones, líneas futuras.

4.1 Resultados

El objetivo principal de este TFG, a parte de centrarse en el diseño de herrajes para estructuras portables, también es el de aligerar el peso global de la parihuela y que, además, resulte económico.

Para saber si se ha conseguido aligerar la estructura, se realiza la siguiente estimación para la parihuela propuesta:

Se han usado un total de 32 abrazaderas tipo omega de 57 x 25 mm para unir las escaleras, y 8 más para unir el tablero con el bastidor de escaleras. Eso hacen un total de 40 abrazaderas. Sumando las otras 16 que se han usado para unir la zanca de la escalera al varal, hacen 56 abrazaderas tipo omega de 57 x 25 mm. Usando el dato del peso de una sola abrazadera calculado con la ecuación (7) del capítulo 3, se obtiene un total de 8,344 kg como muestra la ecuación (8) de abrazaderas tipo omega de perfil 57 x 25 mm.

$$\text{Peso total abrazadera zancas escaleras} = 0,149 \text{ kg} \times 56 = 8,344 \text{ kg} \quad (8)$$

Si se calcula el peso de las abrazaderas para el perfil del varal de 60 x 118 mm se obtiene:

Las dimensiones de la chapa de aluminio que da forma a la unión del varal son 349 mm como muestra la ecuación (9) de largo y 113 mm de ancho.

$$\text{Longitud} = 2 \times 23,5 \text{ mm} + 2 \times 118 \text{ mm} + 2 \times 3 \text{ mm} + 60 \text{ mm} = 349 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\text{Peso unión varal} = 0,349 \text{ m} \times 0,113 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,319 \text{ kg} \quad (10)$$

Esto hace un peso por abrazadera de 0,319 kg que, teniendo en cuenta que se usan en total 16 abrazaderas de este tipo, el peso de todas las abrazadera del varal es 5,104 kg como muestra la ecuación (11).

$$\text{Peso total unión varal} = 0,319 \text{ kg} \times 16 = 5,104 \text{ kg} \quad (11)$$

Ahora si se calcula el peso de las abrazaderas usadas para unir el artesonado al bastidor se obtiene:

$$\text{Longitud} = 2 \times 25 \text{ mm} + 2 \times 25 \text{ mm} + 2 \times 3 \text{ mm} + 27 \text{ mm} = 133 \text{ mm} \quad (12)$$

$$\text{Peso unión art.} = 0,133 \text{ m} \times 0,113 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} \times 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,121 \text{ kg} \quad (13)$$

Se tiene un total de 8 abrazaderas de este tipo, lo que hace un total de 0,968 kg como muestra la ecuación (14).

$$\text{Peso total} = 0,121 \text{ kg} \times 8 = 0,968 \text{ kg} \quad (14)$$

El peso total de abrazaderas considerando ambos tipos será 14,416 kg como indica la siguiente ecuación (15):

$$\text{Peso total} = 8,344 \text{ kg} + 5,104 \text{ kg} + 0,968 \text{ kg} = 14,416 \text{ kg} \quad (15)$$

Una escalera E1-8, según su ficha técnica, pesa 4 kg y se tienen un total de 4 escaleras, lo que hace un total de 16 kg en escaleras E1-8. La escalera E1-14 pesa 7 kg y se tienen 2, por lo que en total hay 14 kg en escaleras E1-14.

$$\text{Peso total escaleras} = 4 \times 4 \text{ kg} + 2 \times 7 \text{ kg} = 30 \text{ kg} \quad (16)$$

La suma total del peso de las escaleras da un total de 30 kg como indica la ecuación (16).

Ahora se tendrán en cuenta los varales de madera de pino maciza y de los tableros también de madera de pino. La densidad de la madera de pino es de entorno a 500 kg/m³ como se vio en el capítulo 1 en el apartado de madera de pino.

Calculando cuánto pesa un varal de dimensiones 60 x 120 mm y longitud 3 m:

$$\text{Peso varal} = 0,060 \text{ m} \times 0,120 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 10,8 \text{ kg} \quad (17)$$

Si se tienen 8 varales de esas dimensiones:

$$\text{Peso varal total} = 10,8 \text{ kg} \times 8 = 86,4 \text{ kg} \quad (18)$$

El peso total de los varales es 86,4 kg como muestra la ecuación (18).

Calculando el peso del tablero de dimensiones 4020 mm x 2320 mm x 20 mm y los dos que forman parte del artesanado de 4020 mm x 369 mm x 20 mm:

$$\begin{aligned} \text{Peso tableros} &= \\ &= (4,020 \text{ m} \times 2,320 \text{ m} \times 0,020 \text{ m} + 2 \times (4,020 \text{ m} \times 0,369 \text{ m} \times 0,020 \text{ m})) \times 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 122,93 \text{ kg} \end{aligned} \quad (19)$$

Sumando el peso total de madera de pino sale:

$$\text{Peso madera de pino total} = 86,4 \text{ kg} + 122,93 \text{ kg} = 209,33 \text{ kg} \quad (20)$$

La suma total de la estructura es, por tanto, la suma total de cada uno de los elementos:

$$\text{Peso TOTAL} = 14,416 \text{ kg} + 30 \text{ kg} + 209,33 \text{ kg} = 253,746 \text{ kg} \quad (21)$$

El peso total es de 253,746 kg como muestra la ecuación (21).

En cuanto al precio de la parihuela se puede realizar otra estimación teniendo en cuenta el precio de las escaleras, el precio que supone fabricar todas las abrazadera y el precio, por último, de la madera usada para los varales y el tablero.

Si se llevan a la cesta de la compra de uno de los proveedores de escaleras E1 todas las escaleras usadas en el bastidor, se tiene un precio de 568,70 € con IVA incluido.

CESTA DE LA COMPRA

Si esta conforme con el resumen del pedido y desea formalizarlo pulse Finalizar compra.
Si modifica las unidades de algún producto pulse Recalcular precio para realizar los cambios.
Si desea empezar de nuevo su compra pulse Vaciar cesta.
Si desea continuar comprando pulse Continuar.

Producto	Unidades	P.U.	IVA	Importe	Eliminar
Escalera Svelt de aluminio Euro1 altura máx 5,67 m - Escalera Svelt Euro1: Euro1 E1-8	<input type="text" value="4"/>	65,00 €	21%	260,00 €	<input checked="" type="checkbox"/>
Escalera Svelt de aluminio Euro1 altura máx 5,67 m - Escalera Svelt Euro1: Euro E1-14	<input type="text" value="2"/>	105,00 €	21%	210,00 €	<input checked="" type="checkbox"/>
Total (Sin IVA)				470,00 €	
<hr/>					
IVA		Base	IVA	Total	
		470,00 €	21%	98,70 €	
<hr/>					
				Total	568,70 €

VACIAR CESTA RECALCULAR PRECIO SEGUIR COMPRANDO FINALIZAR PEDIDO

Figura 74. Cesta de la compra de las escaleras E1-8 y E1-14. [68]

Si fabricar una abrazadera de tipo omega salía en el Capítulo 3 por 8-10€ la pieza y se tienen 72 abrazaderas, 56 de perfil 57x25 mm y 16 de perfil 60x118 mm, eso harían unos 576 – 720€, es decir, entorno a 650€ de media. Resulta un precio bastante alto para ser unas uniones aunque si se tiene en cuenta que este precio debe ser mucho menor si la abrazadera se industrializa y se abaratan los costes con las opciones propuestas, podría reducirse incluso a la mitad.

El precio de la madera de pino varía dependiendo del tipo de pino que se escoja, pero en promedio es de 20€/m³.

$$\begin{aligned}\text{Volumen tableros} &= \\ 4,020 \text{ m} \times 2,320 \text{ m} \times 0,020 \text{ m} &+ 2 \times (4,020 \text{ m} \times 0,369 \text{ m} \times 0,020 \text{ m}) \\ &= 0,2458 \text{ m}^3\end{aligned}\quad (22)$$

$$\text{Volumen varales} = 8 \times 0,060 \text{ m} \times 0,120 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 0,1728 \text{ m}^3 \quad (23)$$

$$\text{Volumen total} = 0,2458 \text{ m}^3 + 0,1728 \text{ m}^3 = 0,4186 \text{ m}^3 \quad (24)$$

$$\text{Precio total madera} = 0,4186 \text{ m}^3 \times 20 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 8,37 \text{ €} \quad (25)$$

La ecuación (24) muestra el volumen total de madera con un valor de 0,4168 m³ y la ecuación (25) el precio que supone ese volumen de madera, 8,37 €.

El precio total será, por tanto, la suma total del precio de las escaleras, las abrazaderas y la madera:

$$\text{Precio total} = 568,70 \text{ €} + 650 \text{ €} + 8,37 \text{ €} = 1227,07 \text{ €} \quad (26)$$

El precio total sin contar con los elementos de unión como tornillos, arandelas y tuercas, además de la mano de obra que supone el montaje de toda la parihuela es de 1227,07 € como muestra la ecuación (26). Teniendo en cuenta tornillos, arandelas, tuercas y mano de obra, en una primera estimación llegaría incluso a duplicar el valor total de la parihuela.

El coste de una parihuela de Semana Santa puede variar significativamente dependiendo del material, el tamaño, y el diseño. En el caso de parihuelas de madera, que son comunes en muchas procesiones, los precios pueden rondar entre 800 € y 5.000 € dependiendo de la complejidad del trabajo artesanal, la cantidad de adornos, y la mano de obra involucrada.

4.2 Conclusiones

El Trabajo de Fin de Grado ha culminado con el diseño y la evaluación de herrajes tipo omega para la unión de escaleras utilizadas en la formación del bastidor de una parihuela, así como el desarrollo de un herraje específico para la unión del varal con las zancas de las escaleras. A lo largo de este proyecto, se ha abordado el diseño funcional y estético de estos herrajes, con el objetivo de proporcionar soluciones seguras, eficientes y adaptadas a las necesidades específicas de la estructura portante.

El diseño de las abrazaderas tipo omega ha permitido una integración efectiva de las escaleras en la parihuela, garantizando una conexión sólida y estable. La consideración de factores como la ligereza, la resistencia y la facilidad de montaje ha sido fundamental para lograr una estructura que no solo cumple con los requisitos técnicos, sino que también se ajusta a las necesidades operativas y estéticas del proyecto. Además, el desarrollo del herraje para unir el varal con las zancas ha facilitado una conexión robusta y segura, esencial para la estabilidad general de la parihuela.

Las uniones permiten una conexión sólida entre las vigas, lo que garantiza que la estructura final pueda soportar las cargas esperadas sin deformarse ni perder estabilidad. Además, se ha prestado especial atención al diseño modular de dichas uniones, lo que permite un montaje y desmontaje rápidos sin necesidad de herramientas especializadas. Esto no solo facilita el transporte y el almacenamiento de la parihuela, sino que también permite su uso en múltiples configuraciones según las necesidades del momento.

En la propuesta de parihuela de este TFG, se ha realizado una estimación del peso global de la parihuela con uniones incluidas. Se obtuvo un peso de 253,756kg en la ecuación (21). Para comparar, en las procesiones de Semana Santa, los pasos convencionales suelen pesar entre 800 y 1,300 kg, dependiendo del tipo de paso y la cantidad de imágenes o decoraciones que llevan.

En muchos casos, se ha optado por aluminio en las estructuras para reducir el peso y facilitar el transporte por los costaleros. En la parihuela propuesta se tienen ambos materiales comunes en las andas, tanto la madera como el aluminio, por lo que el peso estimado es el esperado. Pesará más o menos dependiendo de la imagen sacra y la decoración ostentosa que se coloque encima de la parihuela.

En términos económicos, se ha realizado una estimación detallada de los costes asociados tanto a la fabricación de los herrajes como a la construcción de la estructura completa sin contar con la mano de obra del montaje de la parihuela. El análisis de costes ha revelado que, con un diseño optimizado y la selección adecuada de materiales, es posible mantener un equilibrio entre la calidad y la economía de producción. La evaluación ha demostrado que, a pesar de los costes iniciales, la implementación de estas soluciones resulta en una estructura eficiente y durable, con un coste total competitivo.

En resumen, este TFG ha logrado desarrollar y evaluar herrajes tipo omega que cumplen con los requisitos técnicos y económicos para la construcción de parihuelas. El diseño de estos componentes no solo mejora la funcionalidad y seguridad de la estructura, sino que también ofrece una perspectiva valiosa sobre cómo optimizar el coste de fabricación en proyectos similares.

La experiencia adquirida a lo largo del proyecto proporciona una base sólida para futuros desarrollos en el campo del diseño de herrajes y estructuras portables, contribuyendo al avance de la ingeniería en tecnologías industriales.

Además, la industrialización del diseño propuesto permite su producción a mayor escala, lo que podría ser beneficioso para otros proyectos que requieran estructuras similares. La solución presentada no solo es funcional, sino también económicamente viable y adaptable a una amplia gama de aplicaciones gracias a la combinación de una viga versátil y una unión innovadora.

4.3 Líneas futuras

En futuras líneas de trabajo del TFG, se podrían realizar todos los cálculos sobre esfuerzos que soporte la estructura así como de las uniones para verificar las estimaciones realizadas.

También se podría explorar la optimización del diseño de las uniones y herrajes para mejorar la eficiencia en la fabricación y ensamblaje de la parihuela. Esto incluiría la posibilidad de utilizar técnicas avanzadas de fabricación, como impresión 3D para prototipos o mecanizado CNC de alta precisión, que permitan una mayor personalización y adaptabilidad a diferentes estructuras.

Además, sería interesante analizar la viabilidad económica y logística de la industrialización del diseño a mayor escala, considerando materiales alternativos y procesos de producción que reduzcan costes y tiempos sin comprometer la calidad y resistencia de la estructura.

Otra línea de trabajo futura sería la implementación de pruebas experimentales en entornos reales, evaluando el rendimiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga y clima. Esto podría incluir el análisis del comportamiento de la estructura en procesiones largas o con diferentes configuraciones de peso, permitiendo ajustar detalles de diseño para una mayor estabilidad o confort de los costaleros.

También, como otra línea futura interesante sería la realización de un prototipo funcional de la estructura diseñada, incluyendo las abrazaderas tipo omega y el ensamblaje completo del bastidor de la parihuela. La creación de un prototipo permitiría validar la viabilidad del diseño en condiciones reales, además de evaluar su comportamiento mecánico, ergonomía y facilidad de montaje.

Este proyecto va dirigido a ingenieros industriales y diseñadores mecánicos interesados en estructuras ligeras y portables, así como a empresas fabricantes de andas y otros equipos procesionales.

Además, puede resultar útil para entidades religiosas o culturales que deseen mejorar la logística y seguridad de sus procesiones mediante una estructura moderna y eficiente. También, para talleres de calderería y metalurgia que busquen implementar soluciones innovadoras en la fabricación de componentes para el sector.

4.4 Consideraciones adicionales

En este Trabajo de Fin de Grado, es crucial tener en cuenta aspectos más allá del diseño y fabricación técnica de la estructura. Estos factores incluyen la sostenibilidad, la seguridad en el proceso de fabricación y el uso de la estructura, y los compromisos adquiridos en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el uso del aluminio como material principal para la estructura responde a criterios clave de responsabilidad medioambiental. El aluminio es un material reciclable en casi su totalidad, lo que reduce considerablemente el impacto ambiental a largo plazo. Además, su ligereza en comparación con otros materiales como el acero minimiza la huella de carbono durante su transporte.

Este aspecto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, particularmente en lo que respecta a la acción climática (ODS 13) y la industria, innovación e infraestructuras sostenibles (ODS 9). Para futuros desarrollos, sería conveniente garantizar que los procesos industriales relacionados con la fabricación de las piezas (extrusión, plegado, anodizado) también cumplan con estándares energéticos responsables y utilicen fuentes de energía renovable cuando sea posible.

En cuanto a la seguridad, tanto en la fase de fabricación como en el uso de la estructura, se han priorizado métodos que minimizan riesgos. La elección de uniones mecánicas en lugar de soldaduras o uniones complejas reduce los riesgos de fallos estructurales y permite un montaje más seguro en el entorno de trabajo. Además, las propiedades anticorrosivas del aluminio y la posibilidad de añadir tratamientos adicionales garantizan que la estructura mantenga su integridad en diferentes condiciones climáticas, reduciendo riesgos para los costaleros. En esta línea, el diseño ergonómico y la correcta distribución de la carga en la estructura aseguran un uso más seguro durante las procesiones.

En lo referente a un estudio económico, si bien este TFG no abarca un análisis económico exhaustivo, se debe tener en cuenta que la industrialización de las uniones y herrajes propuestos está pensada para ser eficiente y accesible. El uso de troqueles personalizados para la fabricación de abrazaderas y uniones tipo omega permite reducir los costes de producción al minimizar el desperdicio de material y optimizar el tiempo de manufactura.



Además, el aluminio, aunque más costoso que otros metales inicialmente, ofrece ventajas a largo plazo por su durabilidad y bajo mantenimiento. Un estudio de costes detallado evaluaría la viabilidad económica del proyecto a gran escala.

Finalmente, la implementación de estas soluciones podría contribuir a la reducción de residuos y al uso eficiente de los recursos durante la fabricación, lo cual también está alineado con los principios de la economía circular y de producción y consumo responsable (ODS 12).

Estos factores, en conjunto, reafirman el compromiso del proyecto con una ingeniería moderna y responsable, que busca soluciones que no solo sean funcionales, sino también sostenibles y seguras para todos los involucrados.

5 Referencias

- [1] Brabander, «Brabander artículos religiosos,» [En línea]. Available: <https://www.articulosreligiososbrabander.es/andas-para-santos-procesional-semana-santa.html>.
- [2] Dearmonia, «Parihuela de aluminio,» [En línea]. Available: <https://www.dearmonia.com/parihuela-de-aluminio/14432-parihuela-de-aluminio.html>.
- [3] L. L. & E. Larson, «Mature technology,» 4 diciembre 2003. [En línea]. Available: <https://rbaef.engineering.dartmouth.edu/documents/mature.pdf>.
- [4] Amazon, «Escalibur | ES.Simple | Escalera de Apoyo de 1 Tramo| Escalera 6 Peldaños | 170x42x8 cm | Utilizada en Trabajos de Bricolaje | Taco Antideslizante | Máxima Seguridad y Confort,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Escalibur-ES-SIMPLE-Utilizada-Bricolaje-Antideslizante/dp/B08HRV4J1C>.
- [5] XSFTRUSS, «Ladder Truss,» [En línea]. Available: <https://www.xsftruss.com/ladder-truss/>.
- [6] issuu, «Uso del cuero crudo a lo largo de la historia,» [En línea]. Available: https://issuu.com/segundodeferrari/docs/guasqueros_argentinos_-_un_arte_vivo_-_textos/s/10847764.
- [7] D. 59, «Junta de mortaja y espiga: una técnica esencial para trabajar la madera,» [En línea]. Available: <https://www.design59furniture.com/es/blogs/joinery-terms/mortise-and-tenon-joint>.
- [8] Selecciones, «Historia del primer puente de hierro fundido,» [En línea]. Available: <https://selecciones.com.ar/selecciones/sabias-que/puente-de-hierro-fundido/>.
- [9] E. Group, «Puente de Acero Modular - Tipo Panel (Puente Bailey),» [En línea]. Available: <https://www.acerlum-esc.com/fabricaci%C3%B3n-de-puentes-modulares-de-acer>.
- [10] E. Atelier, «Cuáles son los tipos de soldadura y cómo se clasifican,» [En línea]. Available: <https://escuelaatelier.com/tipos-de-soldadura-caracteristicas/>.
- [11] M. M. y. Aleaciones, «Metalurgia del aluminio,» [En línea]. Available: <https://metalesysusaleaciones.wordpress.com/2017/04/01/metalurgia-del-aluminio/>.
- [12] S. E. d. I. d. Emisiones, «FABRICACIÓN DE ALUMINIO (EMISIONES DE PROCESO),» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/040301-fabric-aluminio_tcm30-502319.pdf.
- [13] R. Contemar, «Cómo se recicla el aluminio: proceso y beneficios,» [En línea]. Available: <https://www.reciclajecontemar.es/como-se-recicla-el-aluminio/>.
- [14] ingemecánica, «Propiedades Mecánico-Químicas del Aluminio,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn110.html>.
- [15] Zavala, «Tubos de aluminio,» [En línea]. Available: <https://www.zavala.es/productos/metales/aluminio/tubos-aluminio/>.
- [16] E. GmbH, «Chapas de aluminio, chapa cortada a la medida necesaria posible,» [En línea]. Available: <https://evек.red/aluminio/2551-chapa-de-aluminio-12-3mm-almg3-33535-chapa-de-aluminio-placas-de-aluminio-corte-de-chapa-seleccionable-tama-o-deseado.html>.
- [17] E. D. AUTOMÓVIL, «USO DEL ALUMINIO EN EL AUTOMÓVIL,» [En línea]. Available: <https://ortizalvarosua12.blogspot.com/2013/02/uso-del-aluminio-en-el-automovil.html>.



- [18] P. Landín, «Obtención de acero y fundiciones,» 24 abril 2013. [En línea]. Available: <https://pelandintecno.blogspot.com/2013/04/obtencion-de-acero-y-fundiciones.html>.
- [19] SIDENOR, «Sostenibilidad y reciclaje,» [En línea]. Available: <https://www.sidenor.com/es/sidenor/sostenibilidad/reciclaje/>.
- [20] A. electroforjados, «¡Las 14 propiedades del Acero que debes conocer: físicas, químicas y mecánicas!,» [En línea]. Available: <https://aceroelectroforjados.com/blog/las-propiedades-del-acero-que-debes-conocer/>.
- [21] T. Materia, «Propiedades del Acero,» [En línea]. Available: <https://www.totalmateria.com/es/propiedades/propiedades-del-acero/#:~:text=Las%20propiedades%20del%20acero%20m%C3%A1s,la%20resistencia%20a%20la%20corrosi%C3%B3n.>
- [22] F. Planes, 6 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://ferrosplanes.com/aplicaciones-acero-esencial-industrial/>.
- [23] P. S. M. S. d. C.V., «Sabías-que-las-vías-del-tren-son-de-acero,» 7 enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.perfilessantamartha.com.mx/2021/01/07/sabias-que-las-vias-del-tren-son-de-acero/>.
- [24] Amazon, «Lacor - 60840 - Paellera Inducción, Paellera Acero Inoxidable TriChef, Tecnología TriCapa, Asas Inoxidables, Inducción y Horno, 7 Raciones, Fácil Limpieza, Lavavajillas, ø de 40 cm y Altura de 6 cm,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Lacor-Inoxidable-Tecnolog%C3%ADa-Inoxidables-Lavavajillas/dp/BOCNTXJCP5?th=1>.
- [25] U. BRIDGE, «Estructura de puente de acero,» [En línea]. Available: <https://usbridge.com/es/estructura-de-puente-de-acero/>.
- [26] Savia, «Madera de pino: la riqueza de un material emergente,» [En línea]. Available: <https://savia.gal/blog/madera-de-pino>.
- [27] Madera, «La vida ilimitada de la madera; reusable, reciclable y revalorizable,» [En línea]. Available: <https://www.maderea.es/madera-reusable-reciclable-revalorizable/>.
- [28] MAJOFESA, «Madera estructural, qué es y clasificación,» [En línea]. Available: <https://www.majofesa.com/madera-estructural/>.
- [29] Madera, «Uso estructural de la madera de pino silvestre,» [En línea]. Available: <https://www.maderea.es/la-madera-de-pino-silvestre-y-sus-usos/>.
- [30] 3. Make, «Introducción a los composites,» [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/make/guide/material/composite>.
- [31] ate, «Tecnologías de fabricación,» [En línea]. Available: <https://www.composites-ate.com/tecnologias-de-fabricacion/>.
- [32] SINTAC, «¿Qué es la fibra de vidrio?,» [En línea]. Available: <https://sintac.es/que-es-la-fibra-de-vidrio/>.
- [33] P. Gabiria, «La fibra en la industria aeronáutica,» [En línea]. Available: <https://www.poliestergabiria.com/articulo-blog-4-2-3/>.
- [34] B. T. e. I. fácil, «Vigas de celosía. Cálculo y diseño por ordenador,» 4 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://fdiazuceda.blogspot.com/2021/11/proyecto-fin-de-carrera-vigas-de.html>.
- [35] SkyCiv, «¿Qué es una Cercha? Tipos Comunes de Cerchas en Ingeniería Estructural,» [En línea]. Available: <https://skyciv.com/es/docs/tutorials/truss-tutorials/types-of-truss-structures/>.

- [36] D. A. E. M. G. D. A. Javier Estévez Cimadevila, «ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ESTRUCTURAL DE VIGAS,» Escuela Técnica Superior de Arquitectura, A Coruña , 2003.
- [37] Wikiwand, «Puente en celosía,» [En línea]. Available: https://www.wikiwand.com/es/articulos/Puente_en_celos%C3%ADa.
- [38] F. d. D. Ingenieros, «Naves Industriales,» [En línea]. Available: <https://www.fdediegoingenieros.com/naves-industriales/>.
- [39] AudioVisualesFader, «Alquiler de estructuras truss en Madrid,» [En línea]. Available: <https://audiovisualesfader.com/alquiler-material-audiovisual-madrid/alquiler-estructuras-truss/>.
- [40] issuu, «Estructuras de transición,» [En línea]. Available: https://issuu.com/estructuras3sgv/docs/estructuras_20de_20transici_c3_b3n_20te_c3_b3rico_/8.
- [41] scribd, «Vigas Vierendeel,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/629254899/Vigas-vierendeel>.
- [42] Z. I. O. TECHNOLOGY, «Vierendeel: “La construction architecturale en fonte, fer et acier”,» [En línea]. Available: <https://www.e-zigurat.com/es/blog/vierendeel-construction-architecturale-fonte-fer-acier/>.
- [43] V. Y. Piqueras, «Las dificultades asociadas a las vigas Vierendeel y su rotura frágil,» [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/viga-vierendeel/>.
- [44] irisceramicagroup, «Vigas Vierendeel,» [En línea]. Available: <https://www.irisceramicagroup.com/>.
- [45] N. h. tv, «Soldar Uniones en Ángulo Vertical en Perfil Tubular,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MAiDnG83f7s>.
- [46] U. d. Valladolid, *Soldadura - Tecnologías de Fabricación*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2022.
- [47] WELDRACINGPARTS, «Cómo soldar aluminio: Pasos esenciales,» 2 mayo 2023. [En línea]. Available: <https://welldracingparts.com/es/blog/como-soldar-aluminio-pasos-esenciales-n3>.
- [48] F. Zummar, «La tuerca y el tornillo, mantienen todo unido,» [En línea]. Available: <https://zummar.com/la-tuerca-y-el-tornillo-mantienen-todo-unido/>.
- [49] Amazon, «CONPHERON Juego de Pasador de Bloqueo & Pasadores Partidos, Pasadores de Horquilla de Un Solo Orificio de Acero Inoxidable (M3×8mm, 10 Juego),» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/CONPHERON-Pasadores-Partidos-Horquilla-Inoxidable/dp/B0B17KV335>.
- [50] G. B. C.A., «Categoría: Remaches,» [En línea]. Available: <https://insumotextiles.com/categoria/remaches>.
- [51] A. J. Morales, «DISEÑO Y CÁLCULO DE CONEXIONES ARTICULADAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS,» [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/dise%C3%B1o-y-c%C3%A1lculo-de-conexiones-articuladas-en-albert-jimenez-morales/>.
- [52] M. Technic, «JOINTS WITHOUT WELDING.. 3 REAL BRILLIANT IDEAS FOR BOX BAR 90° DEGREE,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=WOW8-4ZI4ng>.
- [53] M. Electrodo, «SECRETO PARA TUBO DE PERFIL - POR QUÉ LOS SOLDADORES GUARDAN SILENCIO SOBRE ESTO??,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=G5NB4rbXF-Q>.
- [54] SiderPanel, «SIDER-SYSTEM | ESTRUCTURAS LIGERAS ATORNILLADAS,» [En línea]. Available: <https://www.sider-panel.com/sider-system/>.



- [55] StarModul, «1010-24 Pieza Unión Tipo T Pendiente Tubo Superior – 10x10cm,» [En línea]. Available: <https://starmodul.com/1010-24-pieza-union-tipo-t-pendiente-tubo-superior-10x10cm/>.
- [56] Lavozderioseco.com, «Arte para la Semana Santa: desde Rioseco a Segovia,» [En línea]. Available: <https://www.lavozderioseco.com/arte-para-la-semana-santa-desde-rioseco-a-segovia/>.
- [57] ALTIPESAPRO, «SERIE A1, ESCALERA DE APOYO SIMPLE,» [En línea]. Available: <https://altipesa.com/wp-content/uploads/2024/05/SERIE-A1-Escalera-de-apoyo-simple.pdf>.
- [58] SVELT, «EURO 1, Escalera de un tramo de aluminio,» [En línea]. Available: <https://www.svelt.it/es/productos/escaleras-profesionales/escaleras-de-aluminio-transformables/euro-e1-escalera-de-aluminio-profesional-de-un-tramo>.
- [59] Kipp, «Tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017,» [En línea]. Available: <https://www.kipp.es/es/Productos/ELEMENTOS-DE-MANDO/Elementos-de-m%C3%A1quinas-elementos-de-dispositivos/Tornillos-tuercas-arandelas/Tornillos-hexagonales-DIN-933-ISO-4017/p/agid.18472?q=%3A%3AMM1652%3Atornillo%3AMM1650%3ADIN%2B933>.
- [60] Kipp, «Arandelas versión media DIN EN ISO 7089 A,» [En línea]. Available: <https://www.kipp.es/es/Productos/ELEMENTOS-DE-MANDO/Elementos-de-m%C3%A1quinas-elementos-de-dispositivos/Tornillos-tuercas-arandelas/Arandelas-versi%C3%B3n-media-DIN-EN-ISO-7089-A/p/agid.22980?q=%3A%3AMM1652%3Aarandela%3AMM908%3AM10>.
- [61] Kipp, «Tuercas hexagonales, forma baja DIN 439,» [En línea]. Available: <https://www.kipp.es/es/Productos/ELEMENTOS-DE-MANDO/Elementos-de-m%C3%A1quinas-elementos-de-dispositivos/Tornillos-tuercas-arandelas/Tuercas-hexagonales-forma-baja-DIN-439/p/agid.14574?q=%3A%3AMM1652%3Atuerca%3AMM908%3AM10X1%252C25>.
- [62] Ortoprono, «Soportes lumbares, costales y de hombros: soluciones adaptadas para vivir plenamente nuestra Semana Santa,» [En línea]. Available: <https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/soportes-lumbares-costales-hombros-soluciones-adaptadas-vivir-plenamente-nuestra-semana-santa/>.
- [63] ZaraSanta, «Almohadillas para paso,» [En línea]. Available: <https://zarasanta.com/es/cofradias/12801-almohadillas-para-paso.html>.
- [64] PEREZCAMPS, «Fresadora CNC para aluminio,» [En línea]. Available: <https://perezcamps.com/es/cnc-aluminio-fresadora/>.
- [65] S. RASTRO MÁQUINAS, «Plegadora para aluminio Dachdecker ZRF-3250 con cortador,» [En línea]. Available: <https://www.rastromaquinas.com/plegadora-para-aluminio-dachdecker-zrf-3250-con-cortador/>.
- [66] DirectIndustry, «Centro de taladrado CNC DONAUPORT 540,» [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/donau/product-7079-596334.html>.
- [67] Amazon, «Lima de metal, limas de aguja planas de dientes finos, limas de esmeril, modelo de ingeniería, tallado de madera, molienda media redonda para varios materiales (SIL-1116),» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/dientes-ingenier%C3%ADa-molienda-materiales-SIL-1116/dp/B09TJNL3GM>.
- [68] ANTAEXCLUSIVAS, «Escalera Svelt de aluminio Euro1 altura máx 5,67 m,» [En línea]. Available: <https://www.antaexclusivas.com/escaleras-svelt-linea-euro/escalera-svelt-de-aluminio-euro1-altura-max-567-m>.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica escalera EURO 1:

EURO E1

EN Professional convertible ladders with edges built with ribbed extruded aluminum uprights, in accordance with European standards EN131, tested by TÜV. Also excellent value for money.
 FR Echelles convertibles professionnelles à bords construites avec des montants en aluminium extrudé nervuré, conformes aux normes européennes EN131, testées par le TÜV. Excellent rapport qualité prix également.
 DE Professionelle umwandlbare Leitern mit Kanten aus gerippten, stranggepressten Aluminiumpfosten, gemäß der europäischen Norm EN131, vom TÜV geprüft. Hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis.
 RO Scări convertibile profesionale cu margini construite cu montanți din aluminiu extrudat cu nervuri, în conformitate cu standardele europene EN131, testate de TÜV. De asemenea, raport calitate/preț excelent.



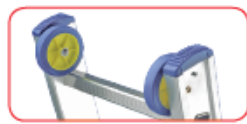
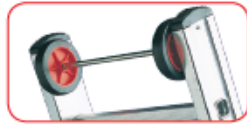
DOTAZION STANDARD - STANDARD EQUIPMENT - STANDARD AUSRÜSTUNG - EQUIPMENT STANDARD

EN Extension wheels (E2 - E2F - E3 - E3F) - Base stabilizer (E2 - E3) - Tools for screwing the stabilizer - Assembly and use instructions - Step section 27 x 27 mm - Load capacity Kg 150 - Internal nylon reinforcement in the stabilizer seat - Aluminum opening hinges - Anti-accidental opening straps - Non-slip rubber feet - Accidental anti-extension device - Accessory for blocking extension beyond the safety height - Distance between steps 28 cm - Packaging in shrink wrap

FR Roues d'extension (E2 - E2F - E3 - E3F) - Stabilisateur de base (E2 - E3) - Outils pour visser le stabilisateur - Instructions de montage et d'utilisation - Section de marche 27 x 27 mm - Capacité de charge Kg 150 - Renfort interne en nylon dans le siège du stabilisateur - Charnières d'ouverture en aluminium - Sangles d'ouverture anti-accidentelles - Pieds en caoutchouc antidérapants - Dispositif anti-extension accidentelle - Accessoire de blocage de l'extension au-delà de la hauteur de sécurité - Distance entre les marches 28 cm - Emballage sous film rétractable

DE Vertiefungsräder (E2 - E2F - E3 - E3F) - Basestabilisator (E2 - E3) - Werkzeuge zum Anschrauben des Stabilisators - Montage- und Gebrauchsanleitung - Stufenabchnitt 27 x 27 mm - Tragfähigkeit 150 kg - Interne Nylonverstärkung im Stabilisatoritz - Öffnungscharniere aus Aluminium - Planen zum Schutz vor unbeabsichtigtem Öffnen - Rutschsichere GummifüÙe - Vorrichtung zum Schutz vor unbeabsichtigtem Ausfahren - Zubehör zum Blockieren des Ausfahrens über die Sicherheitshöhe hinaus - Abstand zwischen den Stufen 28 cm - Verpackung in Schrumpfolie

RO Roti de pedunËtre (E2 - E2F - E3 - E3F) - Stabilizator de bază (E2 - E3) - Unelte pentru înșurubarea stabilizatorului - Instrucțiuni de asamblare și utilizare - Secțiune de treaptă 27 x 27 mm - Capacitate de încărcare Kg 150 - Armatură interioară din nylon în scaunul stabilizatorului - Balamale de deschidere din aluminiu - Cureau anti-deschidere accidentală - Picioare din cauciuc anti-alunecare - Dispozitiv anti-extensie accidentală - Accesoriu pentru blocarea extensiei dincolo de înălțimea de siguranță - Distanța între trepte 28 cm - Ambalare în folie termocontractibilă



E3-E3Fx12/14/16

Optional: SALLAR31
mm 825/1300



EURO E1



VIDEO E1



n.	m	m	mm	Kg	cod.	Cod./mm
8	2,32	1,60	57x27	4,0	SCE10010	no
10	2,87	2,16	57x27	5,0	SCE10020	no
12	3,42	2,72	57x27	6,0	SCE10030	no
14	4,02	3,28	57x27	7,0	SCE10040	no
16	4,57	3,84	67x27	9,0	SCE10050	no
18	5,12	4,40	67x27	10,0	SCE10060	no
20	5,67	4,96	84x27	12,0	SCE10070	no
12A*	3,42	2,72	57x27	8,0	ASCE10030	SALLARE01/897
14A*	4,02	3,28	57x27	9,0	ASCE10040	SALLARE01/897
16A*	4,57	3,84	67x27	11,0	ASCE10050	SALLARE01/897
18A*	5,12	4,40	67x27	12,0	ASCE10060	SALLARE02/1017
20A*	5,67	4,96	84x27	14,0	ASCE10070	SALLARE02/1017



optional



DE C RET
96333

VIA DI SERRAVALLE
IN VIA SERRAVALLE
ANGRECCO/ANGRECCO



150
Kg



EN 131
TESTED BY
CERTIFIED FROM
INDEPENDENT
INSTITUTE
TÜV

Anexo 2: Ficha técnica de los tornillos usados en los herrajes referencia K0871.110X25:

K0871

Tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017



Descripción del artículo/Imágenes del producto



Descripción

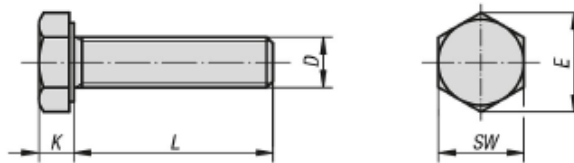
Material:

Acero, acero inoxidable A2 o acero inoxidable A4.

Versión:

Acero con clase de resistencia 8.8, acabado natural (negro) o cincado.
 Acero con clase de resistencia 10.9, acabado natural (negro) o cincado.
 Acero con clase de resistencia 12.9, acabado natural (negro).
 Acero inoxidable A2-70, acabado natural.
 Acero inoxidable A4-70, acabado natural.

Planos



Nuestros productos

Tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017

Referencia	Material del cuerpo de base	Clase de resistencia	Superficie cuerpo de base	D	L	K	SW	E	DIN	IGO
K0871.04X10	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	10	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.04X12	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	12	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.04X16	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	16	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.04X18	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	18	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.04X20	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	20	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.04X25	acero	8.8	acabado natural (negro)	M4	25	2,8	7	7,66	DIN 933	-
K0871.05X10	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	10	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X12	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	12	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X16	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	16	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X18	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	18	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X20	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	20	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X25	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	25	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X30	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	30	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X35	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	35	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.05X40	acero	8.8	acabado natural (negro)	M5	40	3,5	8	8,79	DIN 933	-
K0871.06X10	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	10	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X12	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	12	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X16	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	16	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X18	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	18	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X20	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	20	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X25	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	25	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X30	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	30	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X35	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	35	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X40	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	40	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X45	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	45	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X50	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	50	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X55	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	55	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.06X60	acero	8.8	acabado natural (negro)	M6	60	4	10	11,05	DIN 933	-
K0871.08X16	acero	8.8	acabado natural (negro)	M8	16	5,3	13	14,38	DIN 933	-

K0871

Tornillos hexagonales DIN 933/ISO 4017



Nuestros productos

Referencia	Material del cuerpo de base	Clase de resistencia	Superficie cuerpo de base	D	L	K	SW	E	DIN	ISO
K0871.605X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M5	30	3,5	8	8,79	DIN 933	ISO 4017
K0871.605X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M5	35	3,5	8	8,79	DIN 933	ISO 4017
K0871.605X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M5	40	3,5	8	8,79	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X10	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	10	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X12	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	12	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X16	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	16	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X20	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	20	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X25	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	25	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	30	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	35	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	40	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X45	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	45	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X50	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	50	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X55	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	55	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.606X60	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M6	60	4	10	11,05	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X16	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	16	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X18	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	18	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X20	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	20	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X25	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	25	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	30	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	35	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	40	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X45	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	45	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X50	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	50	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X60	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	60	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X70	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	70	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X80	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	80	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X90	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	90	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.608X100	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M8	100	5,3	13	14,38	DIN 933	ISO 4017
K0871.610X16	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	16	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X20	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	20	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X25	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	25	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	30	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	35	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	40	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X45	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	45	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X50	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	50	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X60	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	60	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X70	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	70	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X80	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	80	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X90	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	90	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.610X100	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M10	100	6,4	17	18,9	DIN 933	-
K0871.612X20	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	20	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X25	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	25	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	30	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	35	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	40	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X45	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	45	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X50	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	50	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X60	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	60	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X70	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	70	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X80	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	80	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X90	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	90	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X100	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	100	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X110	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	110	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.612X120	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M12	120	7,5	19	21,1	DIN 933	-
K0871.616X30	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M16	30	10	24	26,75	DIN 933	ISO 4017
K0871.616X35	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M16	35	10	24	26,75	DIN 933	ISO 4017
K0871.616X40	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M16	40	10	24	26,75	DIN 933	ISO 4017
K0871.616X45	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M16	45	10	24	26,75	DIN 933	ISO 4017
K0871.616X50	acero inoxidable A4	70	acabado natural	M16	50	10	24	26,75	DIN 933	ISO 4017

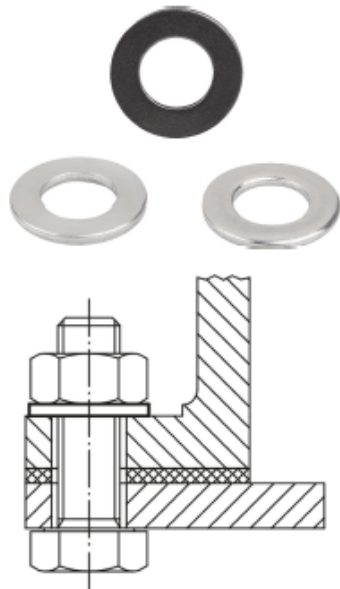
Anexo 3: Ficha técnica de las arandelas usadas en los herrajes referencia K0868.610 :

K0868

Arandelas versión media DIN EN ISO 7089 A



Descripción del artículo/Imágenes del producto



Descripción

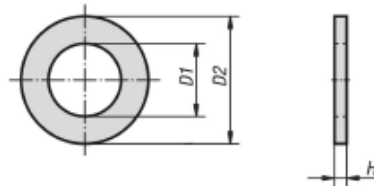
Material:

Acero, acero inoxidable A2 o acero inoxidable A4.

Versión:

Acero, acabado natural.
Acero inoxidable A2, acabado natural.
Acero inoxidable A4, acabado natural.

Planos



Nuestros productos

Arandelas, versión media DIN EN ISO 7089 A

Referencia	Material del cuerpo de base	Clase de resistencia	Tapa tornillos	D1	D2	H
K0868.03	acero	-	M3	3,2	7	0,5
K0868.04	acero	-	M4	4,3	9	0,8
K0868.05	acero	-	M5	5,3	10	1
K0868.06	acero	-	M6	6,4	12	1,6
K0868.08	acero	-	M8	8,4	16	1,6
K0868.10	acero	-	M10	10,5	20	2
K0868.12	acero	-	M12	13	24	2,5
K0868.14	acero	-	M14	15	28	2,5
K0868.16	acero	-	M16	17	30	3
K0868.20	acero	-	M20	21	37	3
K0868.24	acero	-	M24	25	44	4

K0868

Arandelas versión media DIN EN ISO 7089 A



Nuestros productos

Referencia	Material del cuerpo de base	Clase de resistencia	Para tornillos	D1	D2	H
K0868.30	acero	-	M30	31	56	4
K0868.36	acero	-	M36	37	66	5
K0868.103	acero inoxidable A2	70	M3	3,2	7	0,5
K0868.104	acero inoxidable A2	70	M4	4,3	9	0,8
K0868.105	acero inoxidable A2	70	M5	5,3	10	1
K0868.106	acero inoxidable A2	70	M6	6,4	12	1,6
K0868.108	acero inoxidable A2	70	M8	8,4	16	1,6
K0868.110	acero inoxidable A2	70	M10	10,5	20	2
K0868.112	acero inoxidable A2	70	M12	13	24	2,5
K0868.114	acero inoxidable A2	70	M14	15	28	2,5
K0868.116	acero inoxidable A2	70	M16	17	30	3
K0868.120	acero inoxidable A2	70	M20	21	37	3
K0868.124	acero inoxidable A2	70	M24	25	44	4
K0868.130	acero inoxidable A2	70	M30	31	56	4
K0868.136	acero inoxidable A2	70	M36	37	66	5
K0868.603	acero inoxidable A4	70	M3	3,2	7	0,5
K0868.604	acero inoxidable A4	70	M4	4,3	9	0,8
K0868.605	acero inoxidable A4	70	M5	5,3	10	1
K0868.606	acero inoxidable A4	70	M6	6,4	12	1,6
K0868.608	acero inoxidable A4	70	M8	8,4	16	1,6
K0868.610	acero inoxidable A4	70	M10	10,5	20	2
K0868.612	acero inoxidable A4	70	M12	13	24	2,5
K0868.614	acero inoxidable A4	70	M14	15	28	2,5
K0868.616	acero inoxidable A4	70	M16	17	30	3
K0868.620	acero inoxidable A4	70	M20	21	37	3
K0868.624	acero inoxidable A4	70	M24	25	44	4
K0868.630	acero inoxidable A4	70	M30	31	56	4
K0868.636	acero inoxidable A4	70	M36	37	66	5

Anexo 4: Ficha técnica de las tuercas usadas en los herrajes referencia K0700.1104:

K0700

Tuercas hexagonales, forma baja DIN 439



Descripción del artículo/Imágenes del producto



Descripción

Material:

Acero, acero inoxidable A2 o acero inoxidable A4.

Versión:

Acero con clase de resistencia 04, cincado mediante procedimiento galvanico o bruñido.

Acero inoxidable A2, acabado natural.

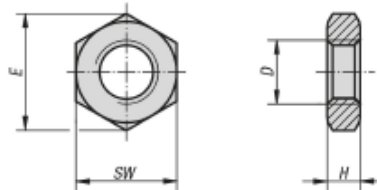
Acero inoxidable A4, acabado natural.

Indicación:

Esta tuerca hexagonal se utiliza en uniones por tornillos con capacidad de carga limitada, por ejemplo, como contratuercas de articulaciones de horquilla o vástagos articulados.

En la tabla se indican las alturas máximas H de las tuercas.

Planos



Nuestros productos

Tuercas hexagonales, forma baja DIN 439 / ISO 4035

Referencia	Material del cuerpo de base	Superficie cuerpo de base	Versión 2	D	E	H	SW	DIN	ISO
K0700.006	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M6X0,75	11,05	3,2	10	DIN 439	-
K0700.008	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M8X1	14,38	4	13	DIN 439	-
K0700.05	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M5	8,79	2,7	8	DIN 439	ISO 4035
K0700.06	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.061	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.08	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.081	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.10	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.101	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.103	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M10X1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.1031	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M10X1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.104	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M10X1,25	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.1041	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M10X1,25	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.12	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M12	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.121	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M12	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.123	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M12X1,25	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.1231	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M12X1,25	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.124	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M12X1,5	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.1241	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M12X1,5	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.16	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M16	26,76	8	24	DIN 439	ISO 4035
K0700.161	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca a la izquierda	M16	26,76	8	24	DIN 439	ISO 4035
K0700.163	acero	cincado mediante procedimiento galvanico	rosca cuadrada	M16x1,5	26,76	8	24	DIN 439	-

K0700

Tuercas hexagonales, forma baja DIN 439

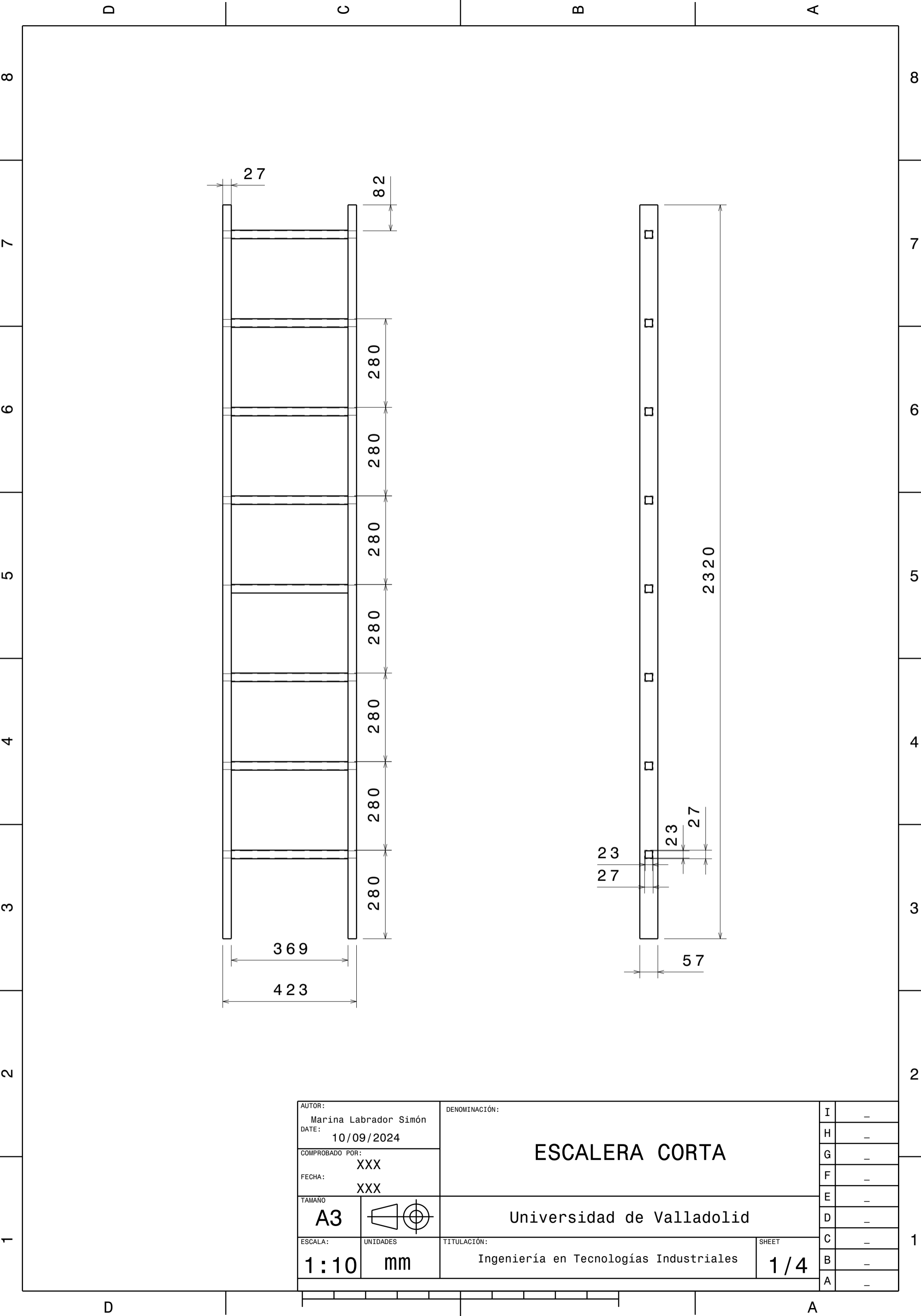


Nuestros productos

Referencia	Material del cuerpo de base	Superficie cuerpo de base	Versión 2	D	E	H	GW	DIN	ISO
K0700.183	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M18x1,5	29,56	9	27	DIN 439	-
K0700.203	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M20x1,5	32,95	10	30	DIN 439	-
K0700.2031	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca a la izquierda	M20x1,5	32,95	10	30	DIN 439	-
K0700.223	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M22x1,5	36,9	10	32	DIN 439	-
K0700.2231	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca a la izquierda	M22x1,5	36,9	10	32	DIN 439	-
K0700.14	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M14	24,49	7	22	DIN 439	-
K0700.20	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M20	32,95	10	30	DIN 439	ISO 4035
K0700.24	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M24	39,55	12	36	DIN 439	ISO 4035
K0700.30	acero	cincado mediante procedimiento galvanizado	rosca cuadrada	M30	50,85	15	46	DIN 439	ISO 4035
K0700.205	acero	bruñido	rosca cuadrada	M5	8,79	2,7	8	DIN 439	ISO 4035
K0700.206	acero	bruñido	rosca cuadrada	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.2063	acero	bruñido	rosca cuadrada	M6x0,75	11,05	3,2	10	DIN 439	-
K0700.208	acero	bruñido	rosca cuadrada	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.2083	acero	bruñido	rosca cuadrada	M8x1	14,38	4	13	DIN 439	-
K0700.210	acero	bruñido	rosca cuadrada	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.2103	acero	bruñido	rosca cuadrada	M10x1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.212	acero	bruñido	rosca cuadrada	M12	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.2124	acero	bruñido	rosca cuadrada	M12x1,5	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.216	acero	bruñido	rosca cuadrada	M16	26,76	8	24	DIN 439	ISO 4035
K0700.2163	acero	bruñido	rosca cuadrada	M16x1,5	26,76	8	24	DIN 439	-
K0700.2203	acero	bruñido	rosca cuadrada	M20x1,5	32,95	10	30	DIN 439	-
K0700.2243	acero	bruñido	rosca cuadrada	M24x2	39,6	12	36	DIN 439	-
K0700.105	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M5	8,79	2,7	8	DIN 439	ISO 4035
K0700.106	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.1061	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.1062	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M6x0,75	11,05	3,2	10	DIN 439	-
K0700.108	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.1081	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.1083	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M8x1	14,38	4	13	DIN 439	-
K0700.110	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.1101	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.1103	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M10x1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.11031	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M10x1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.1104	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M10x1,25	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.11041	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M10x1,25	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.112	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M12	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.1121	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M12	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.1123	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M12x1,25	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.11231	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M12x1,25	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.1124	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M12x1,5	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.11241	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M12x1,5	21,1	6	19	DIN 439	-
K0700.116	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M16	26,76	8	24	DIN 439	ISO 4035
K0700.1161	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M16	26,76	8	24	DIN 439	ISO 4035
K0700.1163	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M16x1,5	26,76	8	24	DIN 439	-
K0700.120	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M20	32,95	10	30	DIN 439	ISO 4035
K0700.1203	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M20x1,5	32,95	10	30	DIN 439	-
K0700.12031	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M20x1,5	32,95	10	30	DIN 439	-
K0700.1223	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M22x1,5	36,9	10	32	DIN 439	-
K0700.12231	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca a la izquierda	M22x1,5	36,9	10	32	DIN 439	-
K0700.1243	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M24x2	39,6	12	36	DIN 439	-
K0700.114	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M14	24,49	7	22	DIN 439	-
K0700.1244	acero inoxidable A2	acabado natural	rosca cuadrada	M24	39,55	12	36	DIN 439	ISO 4035
K0700.605	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M5	8,79	2,7	8	DIN 439	ISO 4035
K0700.606	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M6	11,05	3,2	10	DIN 439	ISO 4035
K0700.6062	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M6x0,75	11,05	3,2	10	DIN 439	-
K0700.608	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M8	14,38	4	13	DIN 439	ISO 4035
K0700.6083	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M8x1	14,38	4	13	DIN 439	-
K0700.610	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M10	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.6103	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M10x1	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.6104	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M10x1,25	18,9	5	17	DIN 439	-
K0700.612	acero inoxidable A4	acabado natural	rosca cuadrada	M12	21,1	6	19	DIN 439	-



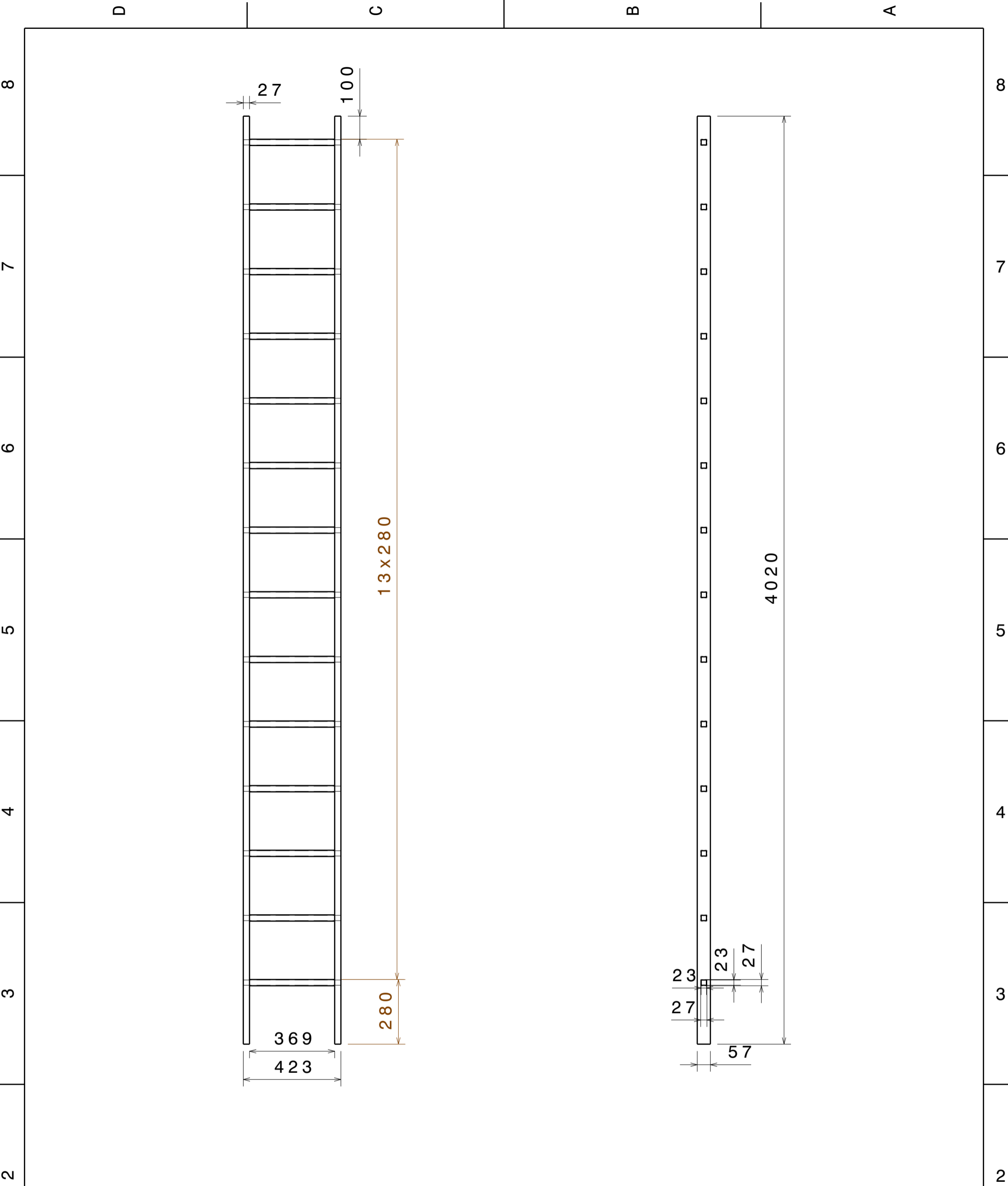
Anexo 5: Plano escalera corta.



AUTOR: Marina Labrador Simón		DENOMINACIÓN:		I	-
DATE: 10/09/2024		ESCALERA CORTA		H	-
COMPROBADO POR: XXX				G	-
FECHA: XXX		Universidad de Valladolid		F	-
TAMANO: A3		Ingeniería en Tecnologías Industriales		E	-
ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm			TITULACIÓN:	SHEET: 1/4
				C	-
				B	-
				A	-



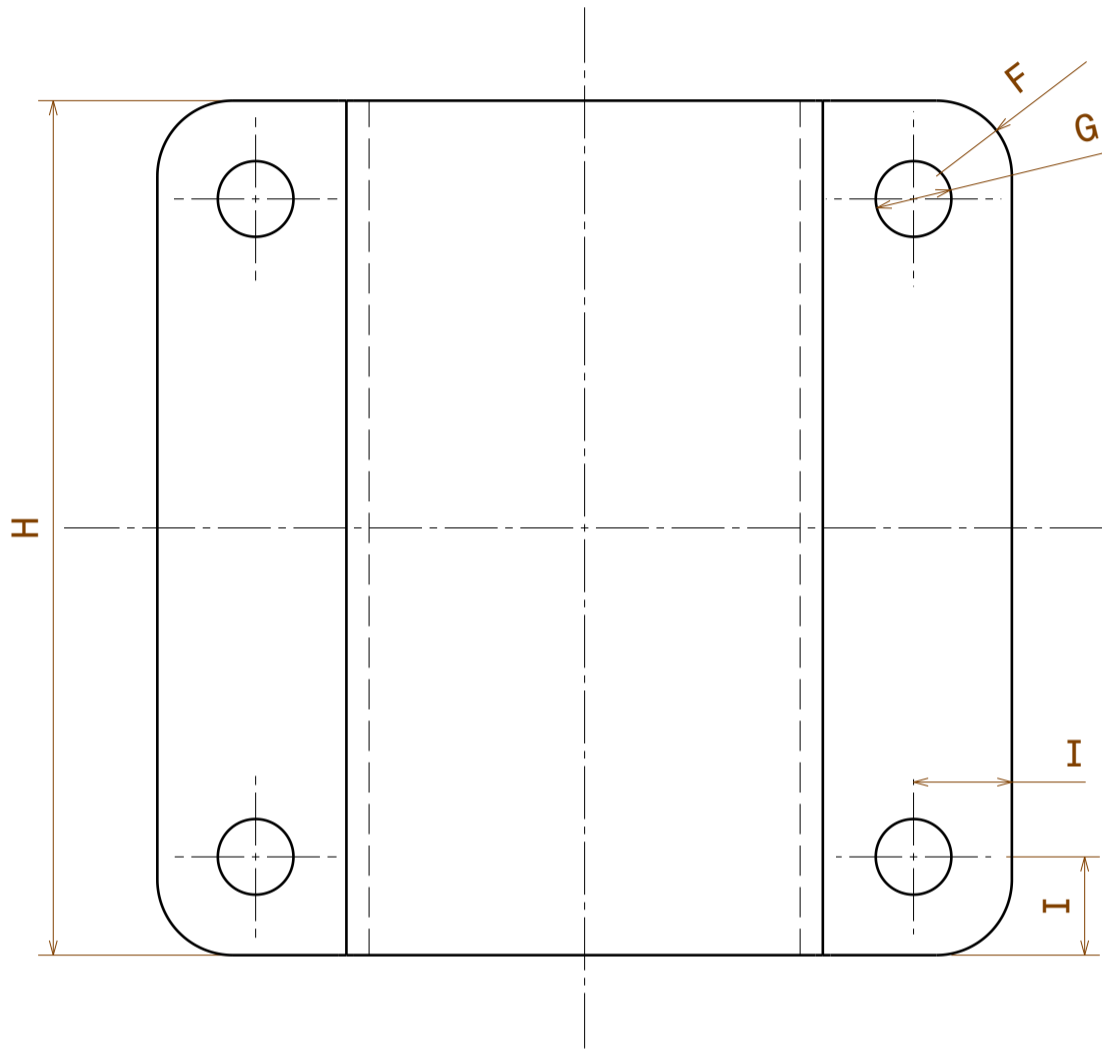
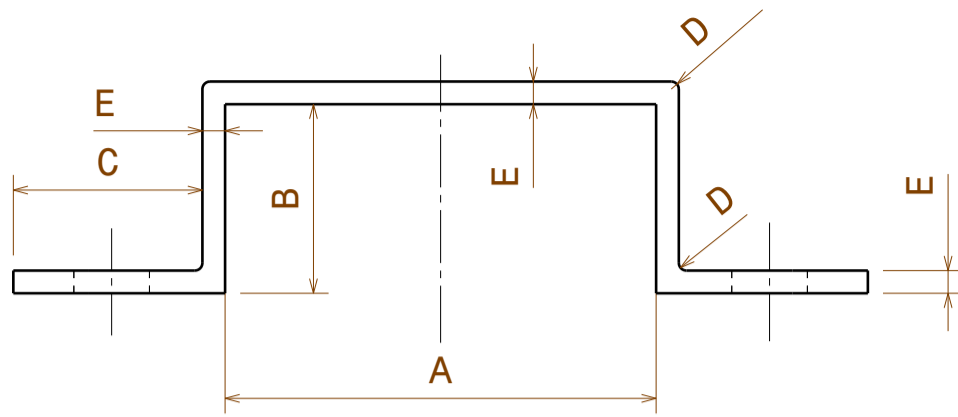
Anexo 6: Plano escalera larga.



AUTOR: Marina Labrador Simón		ESCALERA LARGA		I	-
FECHA: 10/09/2024				H	-
COMPROBADO POR: XXX		Universidad de Valladolid		G	-
FECHA: XXX				F	-
TAMAÑO: A3		Ingeniería en Tecnologías Industriales		E	-
ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm			D	-
TITULACIÓN:		HOJA		C	-
		2/4		B	-
				A	-



Anexo 7: Plano abrazadera paramétrica.

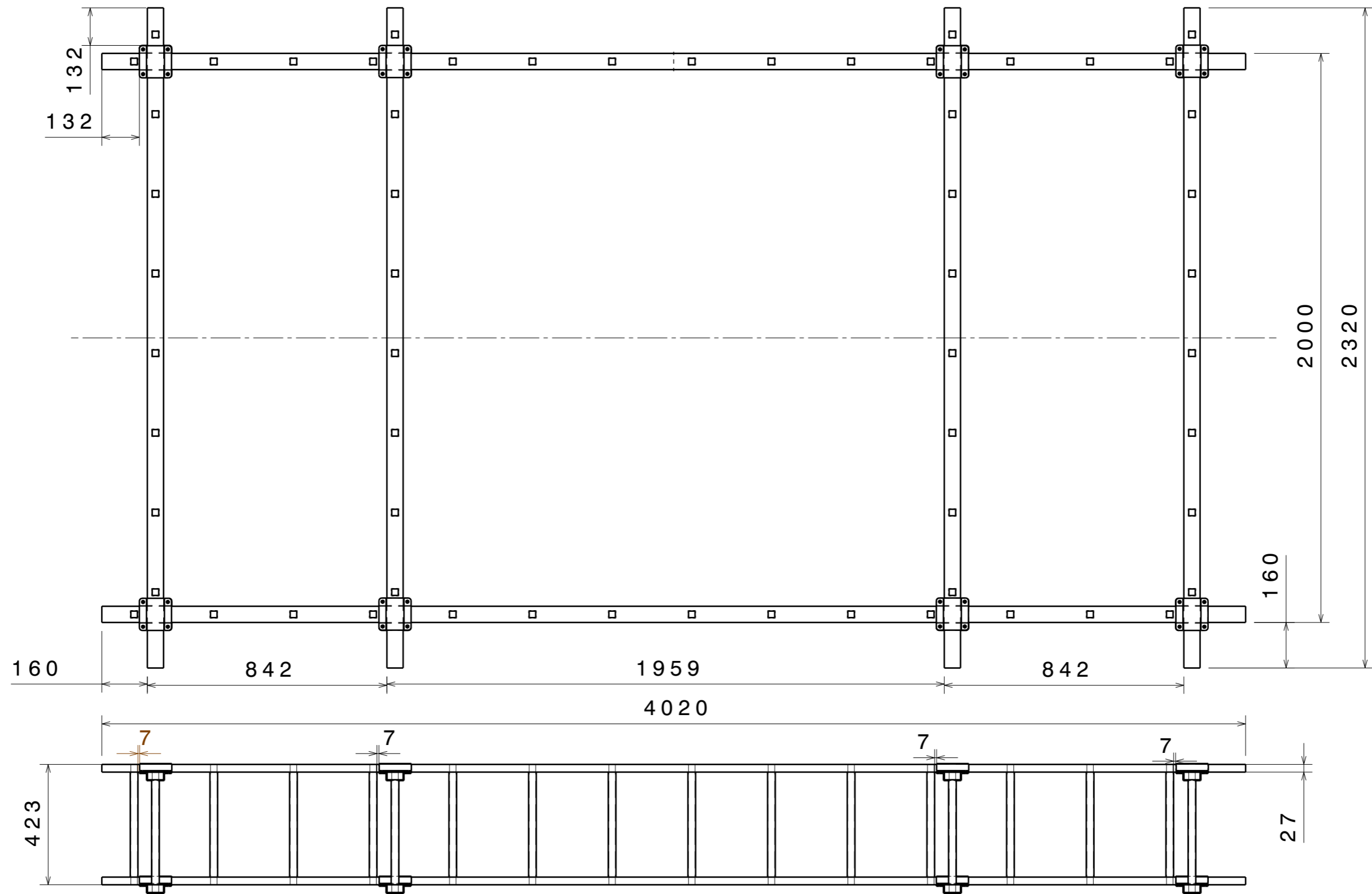


Dimensiones de la abrazadera	Anchura interna (A)	Altura interna (B)	Anchura de aletas (C)	Radio de acuerdo de la U (D)	Espesor (E)	Radio de acuerdo de esquinas aletas (F)	Diámetro de agujeros pasantes (G)	Longitud abrazadera (H) $H=2xC+2xE+A$	Distancia centro agujeros respecto esquinas aletas (I)
57x25 mm	57 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	113 mm	13 mm
67x25 mm	67 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	123 mm	13 mm
84x25 mm	84 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	140 mm	13 mm
60x118 mm	60 mm	118 mm	23,5 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	113 mm	13 mm
27x25 mm	27 mm	25 mm	25 mm	1 mm	3 mm	10 mm	10 mm	83 mm	13 mm

AUTOR: Marina Labrador Simón		DENOMINACIÓN		I	-
FECHA: 10/09/2024		ABRAZADERA PARAMÉTRICA		H	-
COMPROBADO POR: XXX				G	-
FECHA: XXX		Universidad de Valladolid		F	-
TAMANO: A3		Ingeniería en Tecnologías Industriales		E	-
ESCALA: 1:1				HOJA 3/4	
PESO (kg): XXX				C	-
TITULACIÓN				B	-
				A	-



Anexo 8: Plano bastidor con abrazaderas



AUTOR: Marina Labrador Simón		BASTIDOR DE ESCALERAS CON ABRAZADERAS		I	-
FECHA: 10/09/2024				H	-
COMPROBADO POR: XXX		Universidad de Valladolid		G	-
FECHA: XXX				F	-
TAMAÑO: A3		TITULACIÓN: Ingeniería en Tecnologías Industriales		E	-
ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm			D	-
		HOJA 4/4		C	-
				B	-
				A	-

H G B A

4

3

2

1

4

3

2

1