



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño de infraestructura con sistema a vacío para un
vehículo hyperloop

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

AUTOR/A: Jarabo Ruiz, José Ángel

Tutor/a: Dolz Ruiz, Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

A mi madre, padre y a mi hermano por toda vuestra ayuda a lo largo de todos estos años, no habría podido llegar aquí sin vosotros.

A mis abuelos por haberme apoyado y guiado.

A mis primos y tios por el apoyo incondicional recibido.

Y a ti Maria por haberme descubierto Hyperloop UPV.

Resumen

Hyperloop es un nuevo medio de transporte que hace uso de dos tecnologías punteras principalmente: levitación magnética y entorno de baja presión. Se trata de cápsulas que viajan levitando por un tubo al vacío, reduciendo así la fricción aerodinámica y eliminando cualquier tipo de fricción mecánica. Esta apuesta por la eficiencia hace de hyperloop una manera de moverse alternativa, veloz y ecológica.

Así pues, se evitan las dos principales fuerzas de resistencia al avance por medio de una infraestructura que ha de estar preparada para soportar entornos de bajas presiones además de los requerimientos estructurales y de seguridad propios de incorporar un transporte de alta velocidad.

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo diseñar, fabricar y validar la infraestructura y sistema de vacío de un vehículo hyperloop. Esta infraestructura será la utilizada por Hyperloop UPV para asistir a la competición anual de desarrollo de tecnología hyperloop a nivel internacional.

En la primera parte se detallarán los requerimientos de diseño y marco teórico necesarios para cumplir con los objetivos que se han considerado desde el punto de vista mecánico.

El siguiente apartado se centrará en el diseño propiamente dicho de la infraestructura, mediante el uso de programas CAD y de simulación de elementos finitos con el objetivo de asegurar un buen comportamiento estructural.

Finalmente, se explicará la fabricación, montaje y validación de la infraestructura y del sistema de vacío. Para ello, se realizarán diferentes pruebas de vacío y ensayos que permitirán concluir que se ha cumplido con los objetivos.

El mismo concluye con todos los planos de las piezas diseñadas, así como el pliego de condiciones y presupuesto correspondiente.

Palabras clave: Sistema de vacío; infraestructura; hyperloop; Hyperloop UPV; vehículo; bajas presiones.

Abstract

Hyperloop is a new means of transport that makes use of two main leading technologies: magnetic levitation and low-pressure environment. It consists of capsules that travel by levitating in a vacuum tube, thus reducing aerodynamic friction and eliminating any type of mechanical friction. This focus on efficiency makes hyperloop an alternative, fast and environmentally friendly way of getting around.

Thus, the two main forces of resistance to advance are avoided by means of an infrastructure that needs to be prepared to withstand low-pressure environments, in addition to the structural and safety requirements of incorporating high-speed transport.

The aim of this Final Degree Project is to design, manufacture and validate the infrastructure and vacuum system of a hyperloop vehicle. This infrastructure will be used by Hyperloop UPV to attend the annual international hyperloop technology development competition.

The first part will detail the design requirements and theoretical framework necessary to fulfil the objectives that have been considered from the mechanical point of view.

The next section will focus on the actual design of the infrastructure, using CAD and finite element simulation software to ensure good structural performance.

Finally, the manufacturing, assembly and validation of the infrastructure and the vacuum system will be explained. To this end, different vacuum tests and trials will be carried out to conclude that the objectives have been achieved.

It concludes with all the drawings of the designed parts, as well as the corresponding specifications and budget.

Key words: Vacuum system; infrastructure; hyperloop; Hyperloop UPV; vehicle; low pressures.

Resum

Hyperloop és un nou mitjà de transport que fa ús de dues tecnologies capdavanteres principalment: levitació magnètica i entorn de baixa pressió. Es tracta de càpsules que viatgen levitant per un tub al buit, reduint així la fricció aerodinàmica i eliminant qualsevol tipus de fricció mecànica. Aquesta aposta per l'eficiència fa de hyperloop una manera de moure's alternativa, veloç i ecològica.

Així doncs, s'eviten les dues principals forces de resistència a l'avanç per mitjà d'una infraestructura que ha d'estar preparada per a suportar entorns de baixes pressions a més dels requeriments estructurals i de seguretat propis d'incorporar un transport d'alta velocitat.

El present Treball de Fi de Grau té com a objectiu dissenyar, fabricar i validar la infraestructura i sistema de buit d'un vehicle hyperloop. Aquesta infraestructura serà la utilitzada per Hyperloop UPV per a assistir a la competició anual de desenvolupament de tecnologia hyperloop a nivell internacional.

En la primera part es detallaran els requeriments de disseny i marc teòric necessaris per a complir amb els objectius que s'han considerat des del punt de vista mecànic.

El següent apartat se centrarà en el disseny pròpiament dit de la infraestructura, mitjançant l'ús de programes CAD i de simulació d'elements finits amb l'objectiu d'assegurar un bon comportament estructural.

Finalment, s'explicarà la fabricació, muntatge i validació de la infraestructura i del sistema de buit. Per a això, es realitzaran diferents proves de buit i assajos que permetran concloure que s'ha complit amb els objectius.

El mateix conclou amb tots els plans de les peces dissenyades, així com el plec de condicions i pressupost corresponent.

Paraules clau: Sistema de buit; infraestructura; hyperloop; Hyperloop UPV; vehicle; baixes pressions.

Índice general

Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	11
I Memoria Descriptiva	12
1. Introducción	13
1. Contexto	13
1.1. Origen de hyperloop	13
1.2. Hyperloop UPV	15
1.3. European Hyperloop Week	16
1.4. Antecedentes	16
1.5. Proyecto Kénos	17
2. Objetivo	20
2. Marco Teórico	21
1. Infraestructura: Principales retos	21
2. Interior tubular	21
3. Unidades de levitación y guiado	22
4. Tecnología de vacío	23
4.1. Normativas	23
4.2. Bombas de vacío	23
4.2.1. Principales características	24
4.2.2. Tipos	24
3. Requerimientos de diseño	26
1. Requerimientos electromagnéticos	26
2. Requerimientos mecánicos	26
3. Otros requerimientos	27
4. Diseño	28
1. Metodología	28
2. Diseño de detalle	30
2.1. Resumen del sistema	30
3. Vacío	32
3.1. Elección de la bomba	32
3.2. Tiempos de vacío	34
3.3. Sensorización del sistema	35
3.4. Conexiones con el interior	35
3.5. Sellado de la cámara	36
3.6. Fugas	37
4. Bridas	39
4.1. Diseño de la ranura rectangular	39

4.2.	Estudio económico en el proceso de fabricación	42
4.3.	Elección de la junta tórica	44
5.	Puerta	45
5.1.	Tapa de metacrilato	46
5.2.	Asa	46
5.3.	Sistema de conexión ISO-KF y comunicación	47
6.	Bisagra	48
7.	Diseño del interior	49
7.1.	Sistema de anclaje lateral	49
7.2.	Sistema de anclaje del raíl	51
7.3.	Expansión térmica	52
8.	Soportes	53
8.1.	Cálculo de vuelco	55
8.2.	Toma a tierra	57
9.	Simulaciones por el método de los elementos finitos	58
9.1.	Puerta	59
9.1.1.	Geometría	59
9.1.2.	Mallado	60
9.1.3.	Contactos	60
9.1.4.	Condiciones de contorno	60
9.1.5.	Resultados	61
9.2.	Bisagra	62
9.2.1.	Geometría	62
9.2.2.	Mallado	63
9.2.3.	Contactos	63
9.2.4.	Condiciones de contorno	63
9.2.5.	Resultados	64
9.3.	Sistema de regulación lateral	66
9.3.1.	Geometría	66
9.3.2.	Mallado	66
9.3.3.	Contactos	66
9.3.4.	Condiciones de contorno	67
9.3.5.	Resultados	68
9.4.	Sistema de regulación inferior	71
9.4.1.	Geometría	71
9.4.2.	Mallado	71
9.4.3.	Contactos	71
9.4.4.	Condiciones de contorno	72
9.4.5.	Resultados	72
9.5.	Soportes	73
9.5.1.	Geometría	73
9.5.2.	Mallado	73
9.5.3.	Contactos	73
9.5.4.	Condiciones de contorno	74
9.5.5.	Resultados	74
5.	Fabricación y montaje	76
1.	Fabricación	76
1.1.	Materiales	77
1.2.	Proceso de manufactura	77
2.	Montaje	79
6.	Ensayos y validación	86
1.	Ensayo general	86
2.	Resultados y conclusiones	88

7. Conclusiones	90
8. Trabajos futuros	92
II Planos	95
1. Plano Conjunto Brida y tubo	96
2. Plano Brida con cajera	97
3. Plano Brida plana	98
4. Dibujo conjunto puerta	99
5. Puerta	100
6. Ventana metacrilato	101
7. Dibujo conjunto asa	102
8. Asa	103
9. Dibujo conjunto bisagra	104
10. Pieza fija	105
11. Pieza móvil	106
12. Rigidizador	107
13. Pasador	108
14. Dibujo conjunto sistema lateral	109
15. Placa reguladora	110
16. Perfil L	111
17. Perfil cuadrado central	112
18. Perfil cuadrado extremos	113
19. Pletinas laterales	114
20. Dibujo conjunto sistema inferior	115
21. Rail	116
22. Plancha reguladora	117
23. Perfil cuadrado	118
24. Pletinas inferiores	119
25. Dibujo conjunto soportes	120
26. Tapa trasera	121
27. Tapa inferior	122
28. Tapa lateral	123
29. Base regulación	124
30. Patas	125
31. Base suelo	126
III Pliego de condiciones	127
1. Pliego de condiciones generales	128
1.1. Documentación del proyecto	128
2. Pliego de condiciones técnicas	129
2.1. Documentación	129
2.2. Disposiciones legales	129
3. Pliego de condiciones facultativas	130
3.1. Promotor	130
3.2. Contratista	130
3.3. Proyectista	130
3.4. Plazos y entrega	130
3.5. Garantía	130
IV Presupuestos	131
1. Introducción	132
2. Cuadro de precios Básicos	132

3.	Cuadro de precios unitarios	132
3.1.	Cuadro de precios descompuestos	135
4.	Cuadro de Mediciones	140
5.	Presupuesto	140

V	Anexos	141
1.	Propiedades junta tórica	142
2.	Bomba vacío	143
3.	Anejo D CTE vuelco	148

Índice de figuras

1.1. Primer concepto de hyperloop en Hyperloop Alpha. Fuente: [3]	14
1.2. Concepto de hyperloop de Zeleros. Fuente: [4]	14
1.3. Integrantes de Hyperloop UPV de la octava generación	15
1.4. Línea temporal de los prototipos de Hyperloop UPV	15
1.5. Infraestructura de la séptima generación de Hyperloop UPV	16
1.6. Vista explosionado de "Kenos"	17
1.7. Vista explosionado de los sistema electromagnéticos de "Kenos"	17
1.8. Vista LIM	18
1.9. Vista isométrica de los componentes mecánicos de Kénos	18
1.10. Vista del proyecto "Kenos"	19
2.1. Configuración boggie y capsula	22
2.1. Diseño de la unidad de levitación HEMS	22
2.2. Diseño de la unidad de guiado EMS	23
2.1. Vista sección de una bomba de paletas rotativas. Fuente: [7]	25
2.2. Tipos de bombas según el nivel de vacío. Fuente: [7]	25
4.1. Diagrama de flujo iterativo	28
4.1. Vista isométrica de la infraestructura al completo	30
4.2. Vista del interior de la Infraestructura	30
4.3. División de las partes de la Infraestructura	31
4.1. Bomba SOGEVAC SV 300B de Leybold®. Fuente: [10]	33
4.2. Curva presión vs velocidad de bombeo bomba "SOGEVAC SV 300B". Fuente: [10]	33
4.3. Sensor de presión "PIEZOVAC PV 101 de Leybold®". Fuente: [9]	35
4.4. Conexiones del sistema de bridas ISO KF. Fuente: [11]	36
4.5. Deformación axial y radial de la sección. Fuente: [12]	36
4.6. Vista sección de la junta tórica con deformación axial. Fuente: [12]	37
4.7. Vista sección geometría con cajera rectangular. Fuente: [12]	37
4.1. Representación de los diámetros de la junta tórica comercial. Fuente: [12]	39
4.2. Medidas norma DIN 377 para cajera rectangular. Fuente: [12]	40
4.3. Diseño brida con cajera rectangular	41
4.4. Diseño del sistema de bridas	41
4.5. División de la brida en 2 partes en una plancha de acero	42
4.6. División de la brida en 3 partes en una plancha de acero	43
4.1. Diseño de la puerta	45
4.2. Vista de sección de la tapa de metacrilato	46
4.3. Diseño del asa de la puerta	47
4.1. Diseño de la bisagra	48
4.1. Vista frontal del Sistema de anclaje lateral	49
4.2. Vista del sistema de anclaje del perfil lateral	50
4.3. Vista de las pletinas del sistema de anclaje del perfil lateral	50
4.4. Vista del sistema de anclaje del raíl	51
4.5. Vista del sistema de regulación	51
4.6. Vista de las pletinas de ajuste del sistema de regulación del raíl	52

4.1. Vista individual de una sección con soportes	53
4.2. Vista del soporte	53
4.3. Vista del sistema de regulación tuerca-contratuerca	54
4.4. Diagrama de fuerzas del cálculo de vuelco	55
4.5. Sección de la conexión de toma a tierra	57
4.6. Representación del sistema de toma a tierra	57
4.1. Simplificación del conjunto tornillo-tuerca	60
4.2. Condiciones de contorno de la puerta	61
4.3. Deformación total de la puerta	61
4.4. Factor de seguridad de la puerta	62
4.5. Geometría del pasador simplificado	62
4.6. Condiciones de contorno de la bisagra	64
4.7. Deformación total de la bisagra	64
4.8. Factor de seguridad de la bisagra	65
4.9. Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso I	67
4.10. Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso II	68
4.11. Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso III	68
4.12. Deformación total del sistema de regulación lateral para el Caso I	69
4.13. Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso I	69
4.14. Deformación total del sistema de regulación lateral para el Caso II	70
4.15. Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso II	70
4.16. Deformación del sistema de regulación lateral para el Caso III	71
4.17. Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso III	71
4.18. Condiciones de contorno del rail	72
4.19. Deformación total del rail	72
4.20. Factor de seguridad del rail	73
4.21. Condiciones de contorno soportes	74
4.22. Factor de seguridad soportes	74
4.23. Deformación total soportes	75
5.1. Tubería cilíndrica	77
5.2. Placas y planchas de ajuste	78
5.3. Perfiles cuadrados del sistema de regulación	78
5.4. Perfiles angulares en L	78
5.5. Bisagra	79
5.1. Útil soldadura interior	81
5.2. Soldadura interior tubería	82
5.3. Brida punteada en el tubo	82
5.4. Puerta con accesorios	83
5.5. Distancia entre patas del soporte	84
5.6. Virador móvil	84
6.1. Circuito eléctrico de la conexión de la bomba	87
6.1. Primer ensayo prueba de vacío	88
6.2. Sensor de presión a 100 mbar	89

Índice de tablas

1.4.1.Propiedades del Aluminio 6061-T6	58
1.4.2.Propiedades del acero S355	59
1.4.3.Propiedades del acero inoxidable	59
1.4.4.Parámetros de mallado puerta	60
1.4.5.Parámetros de mallado bisagra	63
1.4.6.Parámetros de mallado sistema de regulación lateral	66
1.4.7.Parámetros de mallado soportes	73
1.5.1.Componentes comerciales	80
1.5.2.Componentes vacío	81

Parte I

Memoria Descriptiva

Capítulo 1

Introducción

1. Contexto

1.1. Origen de hyperloop

Hoy en día, la tecnología supone un reto en el día a día de las personas, tanto es así que influye significativamente en ámbitos como el transporte, la medicina o la comunicación.

En el ámbito del transporte, la aparición de nuevos medios han revolucionado la forma desplazarse llegando a conectar ciudades en tiempos que nunca se habían llegado a imaginar.

Un eje central en esta revolución del transporte es hyperloop, un tren que funciona dentro de un tubo al vacío moviendo personas u objetos a unas velocidades elevadas similares a las velocidades de aerolínea y energéticamente eficientes comparándolas con los sistemas ferroviarios de alta velocidad .

Su funcionamiento viene arraigado al concepto de vactrain que elimina teóricamente estos obstáculos al utilizar trenes que levitan magnéticamente en tubos evacuados, es decir, sin aire, o parcialmente evacuados [1].

Los tubos de baja presión, hacen que la resistencia aerodinámica sea muy baja, lo que permite que las cápsulas se desplacen por los tubos de una forma eficiente. Dichas cápsulas pueden diseñarse para transportar pasajeros o carga y la velocidad que pueden llegar a alcanzar hasta 1200 kilómetros por hora. Además, cabe destacar, el bajo consumo energético y la utilización de las energías renovables convirtiéndose en un medio de transporte de cero emisiones.

La historia de hyperloop aunque puede sonar futurista, se remonta a 1870 con Alfred Ely Beach, predecesor de uno de los impulsores de hyperloop en la actualidad [2], Elon Musk , fundador de Tesla y Space X, en el año 2013 se refirió a esta nueva tecnología como “el quinto medio de transporte”, desde entonces en este proyecto intervienen equipos multidisciplinares con diferentes propuestas y diseños.

El desarrollo de hyperloop es un proyecto de hardware abierto en el cual cualquier compañía puede acceder a los diseños que otras empresas realizan y trabajar en ellos para mejorarlos. Con todo esto, se desarrollaron los primeros conceptos de hyperloop tal y como se aprecia en la Figura 1.1.

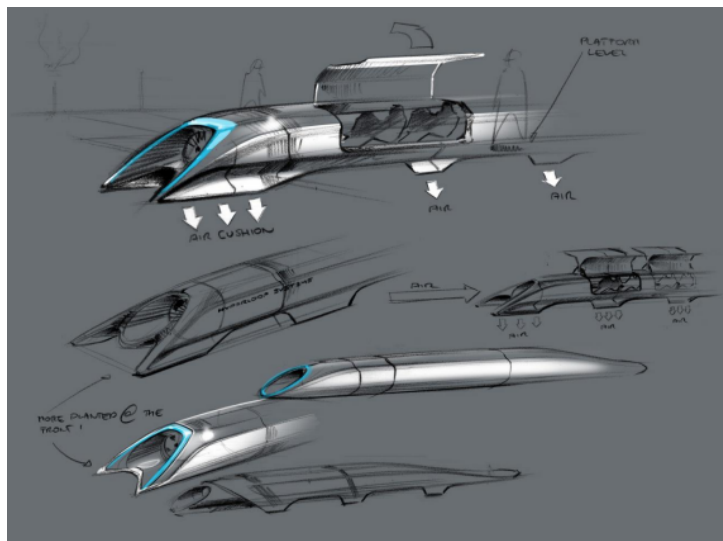


Figura 1.1: Primer concepto de hyperloop en Hyperloop Alpha. Fuente: [3]

En la actualidad son ya diversas las compañías que han apostado por esta tecnología. Un ejemplo de ello es la empresa valenciana Zeleros que lidera este sector con la implementación de sus primeras pruebas en el puerto de Sagunto. En la Figura 1.2 se puede observar su idea de prototipo.



Figura 1.2: Concepto de hyperloop de Zeleros. Fuente: [4]

Otro ejemplo de ello es Eurotube, empresa puntera en lo que se refiere a infraestructura donde se ha comenzado ya con el plan de obra de la primera pista de prueba de hyperloop de acceso público ('AlphaTube') [5].

1.2. Hyperloop UPV

Hyperloop UPV es un equipo multidisciplinar de la Universidad Politécnica de Valencia está formado por estudiantes universitarios de diferentes titulaciones. En la Figura 1.3 se pueden observar los integrantes de la octava generación.



Figura 1.3: Integrantes de Hyperloop UPV de la octava generación

El equipo universitario, nace en el año 2015, cuando se presentan a la primera edición de la Hyperloop Pod Competition que se celebró en Texas (EEUU) en la que se ganaron los premios de mejor sistema de propulsión y premio a mejor diseño de concepto.

Es entonces cuando se decide crear el primer diseño físico denominado "*AtlanticII*" junto con la Universidad de Purdue (EEUU) y posteriormente Valencia en solitario.

En el año 2019 será "*Turian*", un prototipo capaz de alcanzar 400 km/hora y que fue galardonado por el premio a la Innovación por parte de Space X.

Posteriormente, con "*Ignis*" se presenta el primer prototipo que es capaz de propulsarse con un motor de inducción lineal. Por último, en el año 2022 se apuesta por el primer prototipo de la historia que consigue levitar consiguiendo así ser el equipo más premiado de la EHW, llevándose a la Universitat Politècnica de València cuatro premios: "Thermal Management", "Genuity", "Most Scalable", y "Guiding subsystem".

En la Figura 1.4 se detalla una línea temporal con los prototipos del equipo universitario Hyperloop UPV.

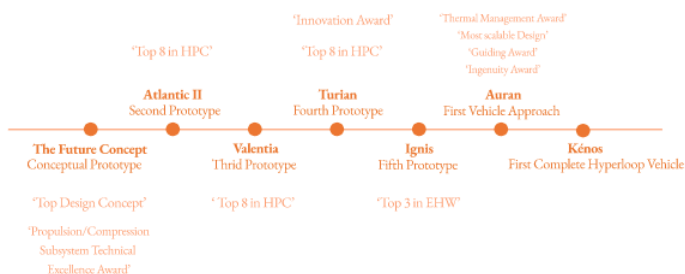


Figura 1.4: Línea temporal de los prototipos de Hyperloop UPV

1.3. European Hyperloop Week

La European Hyperloop Week (EHW) es la fusión de empresas y equipos universitarios creando un ecosistema de sinergias en el desarrollo de la tecnología hyperloop.

Fue creada por cuatro equipos universitarios Swissloop (Escuela Politécnica Federal Zurich, Suiza), Delft Hyperloop (Universidad Técnica de Delft, Países Bajos) Hyped (Edimburgo, Escocia) y Hyperloop UPV (Valencia, España).

La primera edición tuvo lugar en Valencia, en el año 2021 participa en la primera edición del a European Hyperloop Week con el prototipo "Ignis" propulsado por un motor lineal de inducción consiguiendo un tercer puesto en la competición.

La segunda edición tuvo en Delft, Países Bajos, donde Hyperloop UPV, con su prototipo "Auran", el primer prototipo de la historia capaz de levitar en vacío, consiguió ser el equipo más premiado de la competición.

1.4. Antecedentes

La séptima generación de Hyperloop UPV fue la primera en plantear la construcción de una infraestructura tubular hecha a medida para el prototipo de ese año, "Auran". Se trataba de un tubo de 864mm de diámetro exterior de acero estructural acondicionado su interior a la tecnología de Auran.

En la Figura 1.5 se puede observar que la parte interior tiene 3 elementos principales. En primer lugar dos planchas laterales que permitían gracias a la tecnología electromagnética de "Auran" centrar el prototipo dentro del tubo. En segundo lugar, la plancha superior que era sobre la que la tecnología de levitación actuaba para conseguir la elevación de la cápsula y por último un raíl en forma de T invertida por donde se propulsaba el motor.



Figura 1.5: Infraestructura de la séptima generación de Hyperloop UPV

Cabe destacar que el tubo estaba formado por secciones de 2 metros y con una longitud total de 20 metros, sin posibilidad de realizar vacío.

1.5. Proyecto Kénos

"Kénos", el sexto vehículo de Hyperloop UPV. Se centra en el desarrollo de 3 aspectos fundamentales en un concepto completo y real de un vehículo hyperloop. La incorporación de un sistema de tracción y levitación sin fricción, la implementación de un diseño de interior a escala y la sólida y robusta plataforma de pruebas de control constituyen las principales características de "Kénos" que se pueden observar en la Figura 1.6.

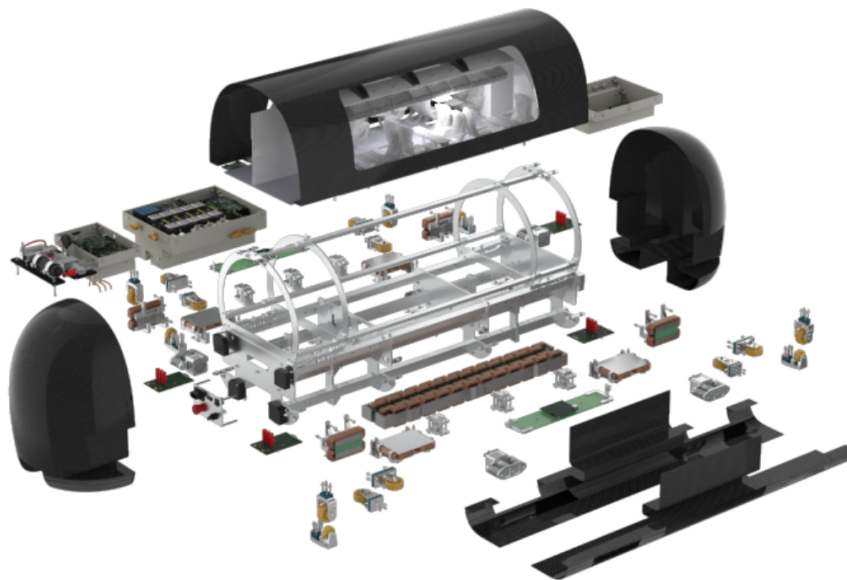


Figura 1.6: Vista explosionado de "Kénos"

Los principales sistemas activos del vehículo son el sistema de levitación y guiado y el sistema de Tracción. El resto de los sistemas y sus respectivos requisitos se establecen a partir de los dos primeros.

La levitación consta de cuatro unidades híbridas de suspensión electromagnética vertical -HEMS, Hybrid electromagnetic suspension- y cuatro unidades de suspensión electromagnética -EMS, electromagnetic suspension-. El objetivo de las primeras es permitir la levitación vertical mientras se mantiene el consumo eléctrico al mínimo, mientras que las segundas tienen como objetivo controlar la guía lateral. En la Figura 1.7 se puede apreciar esto último.

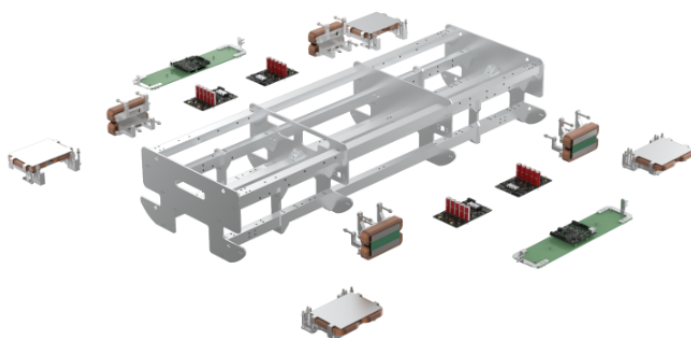


Figura 1.7: Vista explosionado de los sistema electromagnéticos de "Kénos"

El Sistema de Tracción consta de dos motores de inducción lineal trifásicos con un bobinado distribuido mostrado en la Figura 1.8, que permiten tal propulsión del vehículo en los dos sentidos, acelerando e invirtiendo el sentido de la fuerza. Las placas de potencia están diseñadas para alimentar los sistemas, mientras que las placas de control controlan las señales que entran y salen de las placas de potencia.

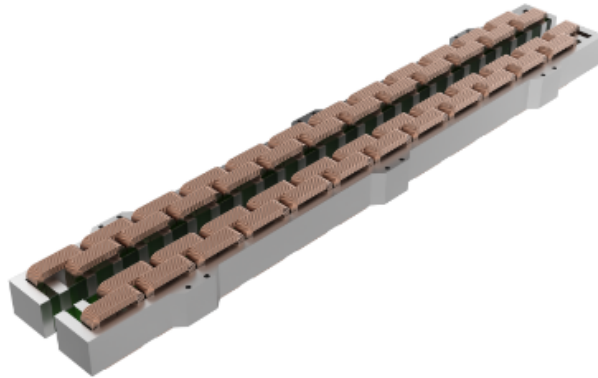


Figura 1.8: Vista LIM

A continuación, se van a detallar los sistemas mecánicos que componen el vehículo mostrados en la Figura 1.9

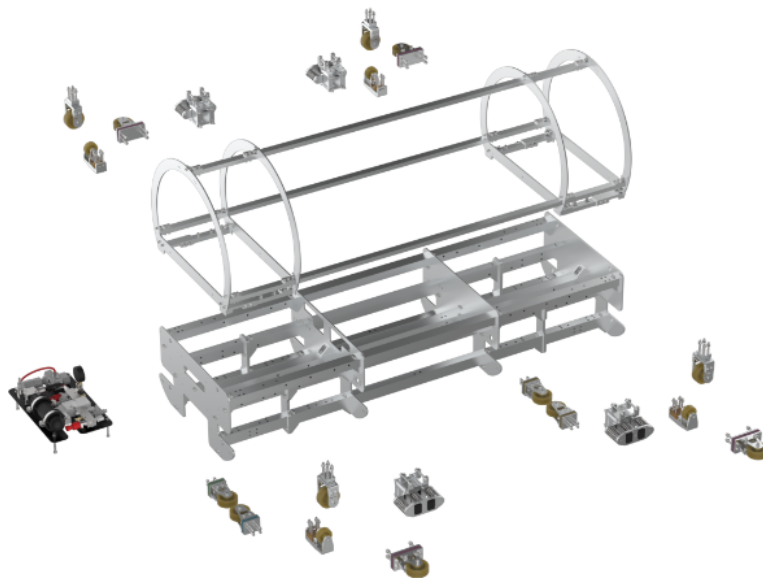


Figura 1.9: Vista isométrica de los componentes mecánicos de Kénos

El principal elemento que constituye la estructura del vehículo es el chasis. Está dividido en dos partes separadas, el bogie y la cápsula. Por un lado, el bogie es la estructura encargada de alojar los sistemas mecánicos y electromagnéticos. Está compuesto por cuatro costillas de aluminio y siete perfiles comerciales rectangulares de aluminio, lo que da como resultado una estructura ligera capaz de soportar las fuerzas electromagnéticas generadas tanto por el sistema de Tracción como por el sistema de levitación y guiado.

Por otro lado, la cápsula se encuentra en la parte superior del bogie y está diseñada para albergar cabinas intercambiables tanto para carga como para pasajeros. Está compuesta por cuatro costillas de aluminio y tres perfiles comerciales de aluminio que atraviesan su estructura.

Un aspecto fundamental en cuanto a la seguridad es asegurar la integridad estructural del vehículo en caso de fallo de los sistemas electromagnéticos. Se han desarrollado dos tipos de sistemas mecánicos con este propósito.

Para ello, se consta de un sistema de frenado de emergencia compuesto por cuatro actuadores neumáticos y por dos sistemas de guiado verticales diferentes para proteger el vehículo en caso de desviaciones importantes.

La implementación de todos estos sistemas mecánicos cobran sentido en un entorno de baja presión junto con la levitación y tracción que hacen posible integrar una propuesta completa de hyperloop, incorporando a Atlas como una infraestructura en forma de tubo adaptada a "Kenos".

Así pues, con todo esto comentado, el aspecto final del proyecto "Kenos" queda tal y como se detalla en la Figura 1.10.

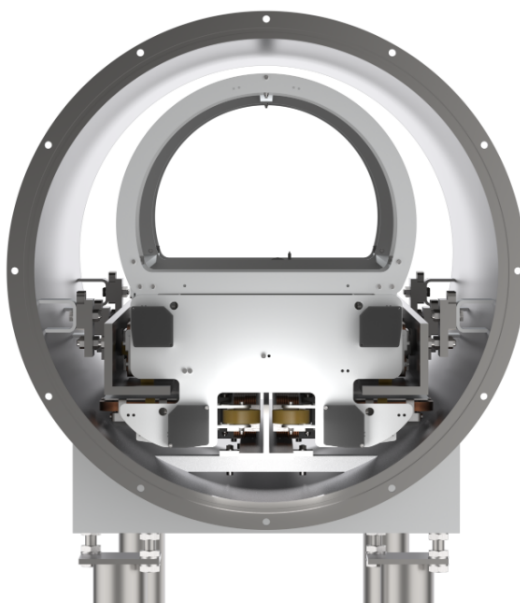


Figura 1.10: Vista del proyecto "Kenos"

2. Objetivo

El objetivo de este proyecto es diseñar y fabricar una infraestructura escalable y estandarizada adaptada a un sistema a vacío del sexto prototipo de Hyperloop UPV.

En el presente trabajo de fin de grado se entiende como escalable a aquella infraestructura con una inversión económica comparable a medios ferroviarios actuales, con un impacto al medio ambiente lo más reducido posible y asumible por la mayoría de países europeos, tomados como referencia en este caso. Además se considerara estandarizada en cuanto a que tenga unas características claras, comunes e implementables en cualquiera de los lugares donde se construya, para no tener problemas de compatibilidad.

Otro objetivo es la reutilización de la infraestructura que permita realizar pruebas de vacío y funcionales en la tecnología hyperloop durante las próximas generaciones.

Se han tomado como punto de partida estos tres aspectos:

- **Distribución del interior:** En próximos apartados se explicará cómo se propulsa el prototipo de esta edición así como la tecnología de levitación aplicada, afectando de manera crítica en la distribución de los elementos del interior hacia una infraestructura mucho más orientada a la que en el futuro utilizarán las cápsulas hyperloop.
- **Acondicionamiento a vacío:** Más allá de una distribución de interior adaptada al prototipo de este año y sistemas que permitan un alineamiento mucho más preciso, permitir que la infraestructura aguante condiciones de vacío es una mejora significativa en el desarrollo de la tecnología hyperloop.
- **Sistemas de regulación:** La infraestructura con un sistema de regulación que facilitara su alineamiento a la hora del montaje.

Capítulo 2

Marco Teórico

1. Infraestructura: Principales retos

La infraestructura es el nexo que permitirá a los países estar conectados, es decir, el medio por el que las cápsulas de hyperloop conectarán los distintos lugares del mundo. Es por eso que actualmente el foco principal a nivel empresarial está en definir unos parámetros comunes a nivel de infraestructura que hagan posible hablar de un único concepto de hyperloop.

Las principales características de esta infraestructura son tres, en primer lugar la incorporación de la tecnología de levitación magnética y vacío. En segundo lugar, que tenga unos costes lo más económicos posibles y en tercer lugar que cuente con sistemas de monitorización del estado de la misma y posicionamiento del vehículo para cualquier imprevisto o reparación que fuera necesario.

Así pues, para hacer realidad el conocido como el quinto medio de transporte es necesaria la implementación de una infraestructura escalable y estandarizada.

En este capítulo se explicarán las principales características por lo que respecta a interior, vacío y estandarización para así entender posteriormente las decisiones tomadas en su diseño.

2. Interior tubular

Un aspecto fundamental en el funcionamiento de hyperloop es la necesidad de enmarcar toda esta tecnología en un medio que permita la escalabilidad y estandarización del mismo. Asimismo, no se han de perder de vista las principales retos a afrontar como el sellado de la cámara para garantizar un entorno de baja presión o el bajo coste del mismo.

Por tanto, la forma que mejor se adapta a estas necesidades es la utilización de una tubería comercial con un diámetro exterior y espesor estandarizados.

Por lo que respecta a su interior, la decisión ha estado marcada principalmente con el objetivo de optimizar al máximo el espacio en un diseño circular como es la tubería. El diseño de Kénos consta de una estructura modular que se basa en un boggie, donde se alojan todos los sistemas mecánicos y electromagnéticos del vehículo y por otro lado la cápsula que es la que introduce el diseño interior tal y como se puede observar en la Figura 2.1.

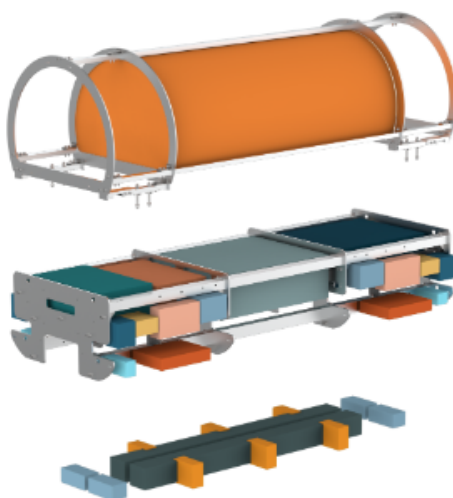


Figura 2.1: Configuración bogie y capsula

3. Unidades de levitación y guiado

Así pues, una vez entendida la estructura del vehículo se puede entender el funcionamiento de "Kenos" y por tanto las necesidades a nivel interno de la infraestructura.

Como ya se ha comentado en el Capítulo 1, el principal objetivo de Kénos es la levitación. Para ello, son necesarios por un lado unidades de levitación y por otro lado una superficie de acero a la que poder atraerse.

De este modo, al establecer el circuito electromagnético la superficie de acero funciona como una reluctancia para el circuito, esto es una resistencia al paso de flujo magnético. Así, si se aumenta la sección de la superficie disminuye la reluctancia magnética aumentando así el flujo magnético y por tanto, la fuerza de atracción necesaria.

Como consecuencia, se consigue un campo magnético variable y en función de la corriente del mismo podrá incrementar o disminuir el flujo total.

Cabe destacar que se pueden diferenciar dos tipos de unidades. Por un lado, el HEMS que se puede apreciar en la Figura 2.1 está formado por un electroimán con una bobina enrollada en un núcleo de acero laminado y por un imán permanente. Los cuatro imanes permanentes son los encargados de vencer el peso del prototipo.

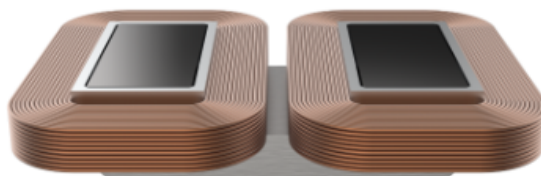


Figura 2.1: Diseño de la unidad de levitación HEMS

Por otro lado, también es necesaria la implementación de un sistema de guiado electromagnético basada en este caso en un electroimán y un núcleo de acero laminado a través del cual circula el flujo magnético. De nuevo, cuatro electroimanes como los de la Figura 2.2 se encargan de conseguir el guiado horizontal del vehículo.

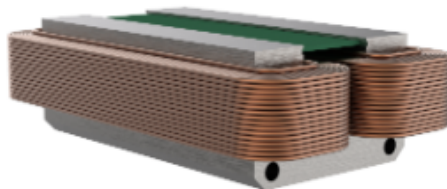


Figura 2.2: Diseño de la unidad de guiado EMS

4. Tecnología de vacío

La tecnología de vacío es un campo con numerosas aplicaciones en la actualidad. Por ejemplo, es utilizada en algunos laboratorios con fines medioambientales. También es utilizada en el ámbito de la industria de composites para facilitar el curado de las resinas.

Por lo que respecta al transporte, ya se cuentan con vehículos que viajan en ambientes de bajas presiones y hyperloop es uno de ellos. En Hyperloop UPV se ha apostado por esta tecnología, una apuesta escalable que junto con la levitación, permite integrar un vehículo hyperloop al completo.

En esta sección, se van a explicar las diferentes normativas así como el tipo de tecnología empleada para llevar a cabo una infraestructura en un ambiente de vacío.

4.1. Normativas

Existen diversas normativas que se aplican en múltiples ámbitos como el diseño, fabricación y mantenimiento, en relación con la tecnología de vacío. A continuación, se van a detallar las principales normas que rigen esta tecnología actualmente [6].

Norma ISO 21360. Tecnología de vacío. Métodos estándar para medir el rendimiento de la bomba de vacío. Parte 1: Descripción general.

Norma ISO 2861. Tecnología de vacío: dimensiones de los acoplamientos rápidos de sujeción.

A lo largo del presente proyecto se han utilizado estas dos normativas como principales aspectos a tener en cuenta tanto para la elección de la bomba de vacío como para la conexión de la misma.

4.2. Bombas de vacío

El principio de funcionamiento de las bombas de vacío, está basado en compresores, toman el gas de un recipiente que está a una presión inferior a la atmosférica, lo comprimen y lo descargan a presión atmosférica. A medida que se reduce la presión en la cámara, la eliminación de moléculas es cada vez más difícil. Por este motivo, existen bombas que trabajan incluso simultáneamente o en varias etapas.

4.2.1. Principales características

De esta manera, pueden usarse sistemas giratorios de paletas, de pistón o de tornillo entre otros. Estos trabajan con diferentes rangos de presión que serán explicados a continuación. El funcionamiento de cada uno se define por la velocidad en el bombeo y la cantidad de gas bombeado por unidad de tiempo. Su tamaño dependerá de la presión a la que trabajen, ya que el gas a bajas presiones presenta un gran volumen, y esto requiere de una bomba más grande.

En general, una bomba de vacío suele estar compuesta por un estátor, unas paletas, o bien rotativas o bien de otro tipo, una puerta de descarga, una puerta al vacío, una válvula de descarga, lubricación, ya sea aceite o cualquier otro fluido lubricante y por último del rotor [7].

En la actualidad, se encuentran disponibles una amplia gama de dispositivos de vacío que emplean diversos métodos de funcionamiento. Dependiendo de las condiciones ambientales y las aplicaciones específicas, podemos destacar los siguientes tipos de equipos:

- Vacío bajo: entre 10^3 mbar y 1 mbar.
- Vacío medio: entre 1 mbar y 10^{-3} mbar.
- Vacío alto: entre 10^{-3} mbar y 10^{-7} mbar.
- Vacío ultra-alto: entre 10^{-7} mbar y 10^{-12} mbar.
- Vacío extremadamente alto: menos de 10^{-12} mbar.

La diferencia entre ellos radica en la cantidad de moléculas obtenidas, que se determina mediante la medición de la presión de los gases residuales. Cuanto menor sea la presión, habrá menos moléculas por centímetro cúbico, lo que implica una mejor calidad de vacío [8].

Dependiendo del tipo de vacío requerido, se utilizan diferentes tipos de bombas. Las bombas de vacío previo se emplean para rangos de vacío medio y bajo, y tienen la capacidad de expulsar los gases hacia la atmósfera, pudiendo funcionar de manera independiente. Por otro lado, las bombas de alto y ultra-alto vacío, dependen de las bombas primarias para mantener su funcionamiento de manera continua, ya que no pueden extraer directamente la atmósfera y requieren un escape a baja presión, también conocido como "reserva". A continuación, se proporciona una breve explicación y las principales ventajas de cada una de estas bombas.

Asímismo, las bombas de vacío pueden ser lubricadas o de funcionamiento en seco. Al permitir la lubricación, se logra un mejor sellado, menor desgaste de los componentes internos de la bomba, menor temperatura de funcionamiento y mayor vida útil. Sin embargo, las bombas de paletas en seco también presentan ventajas, como un menor mantenimiento y un menor riesgo de contaminación por aceite o agua [7].

4.2.2. Tipos

Algunos ejemplos de bombas de vacío previo son las bombas de paletas rotativas, bombas de membrana, y bombas de tornillo. Por los que respecta a bombas de vacío alto destacan las turbobombas o bombas moleculares.

Las bombas de paletas rotativas se emplean en situaciones donde se busca lograr un rendimiento elevado a bajo costo. Su diseño consiste en un rotor montado dentro de una carcasa cilíndrica o estátor, acompañado de paletas que están ubicadas dentro del rotor y se desplazan hacia adentro y hacia afuera debido a la fuerza centrífuga generada por la superficie interna de la carcasa.

En la Figura 2.1, se puede apreciar que el rotor se encuentra desplazado, lo que ocasiona variaciones en los tamaños entre el rotor y la carcasa.

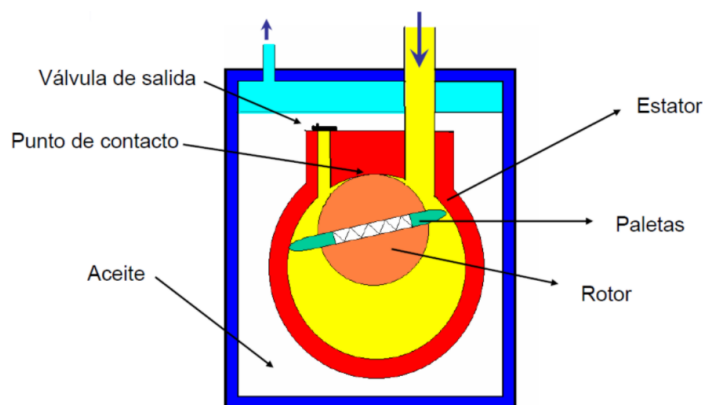


Figura 2.1: Vista sección de una bomba de paletas rotativas. Fuente: [7]

A medida que el rotor gira, la fuerza centrífuga hace que las palas giren contra la pared cilíndrica mientras, creando una cámara entre el rotor y el cilindro. Esta cámara experimenta cambios de volumen, siendo más grande en el puerto de entrada, lo que genera un vacío, y más pequeña en el puerto de salida, lo que produce una presión .

Por su parte, las bombas de membrana ofrecen otra ventaja significativa y es que son bombas de funcionamiento en seco. Como resultado, no requieren lubricación con aceite, lo que conlleva costos de mantenimiento considerablemente más bajos en comparación con las bombas de paletas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el coste de estas bombas suele ser más elevado [8].

Un punto a considerar es que el nivel de vacío que se puede alcanzar con las bombas de membrana es inferior al de las bombas rotativas. Por lo tanto, no son adecuadas para aplicaciones que requieren un alto nivel de vacío.

Por otro lado, las bombas de vacío de tornillo emplean una tecnología basada en el uso de dos rotores de tornillo que giran en direcciones opuestas. Estos rotores atrapan un volumen de gas entre ellos y la carcasa, comprimiéndolo y descargándolo en el extremo opuesto. Esta tecnología ofrece diversas ventajas, como la reducción de la carga de calor, un funcionamiento más suave, mayor eficiencia y capacidad de reducción.

A modo de resumen, en función de la aplicación, se utilizará un tipo de bomba tal y como se puede observar en la Figura 2.2.

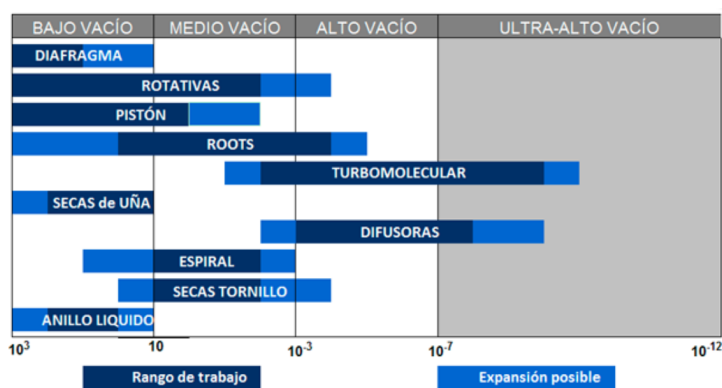


Figura 2.2: Tipos de bombas según el nivel de vacío. Fuente: [7]

Capítulo 3

Requerimientos de diseño

Cada edición de Hyperloop UPV se orienta en base a unos objetivos, esta octava generación se planteó el reto más ambicioso hasta la fecha, desarrollar un vehículo hyperloop a escala que funcionara en entorno de vacío. Es decir, por primera vez eliminar no solo el rozamiento con el medio mediante la levitación, si no también con el aire, mediante el vacío.

Con estos dos ideas principales, la infraestructura adquiere un papel protagonista en la labor de permitir un entorno donde realizar la levitación y la propulsión, eliminando cualquier tipo de rozamiento. En la siguiente sección se explicarán qué requerimientos fueron establecidos a nivel electromagnético y mecánico para hacer esto posible.

1. Requerimientos electromagnéticos

Los requerimientos por lo que respecta a la levitación y guiado son:

- En el interior son necesarias dos superficies, una horizontal a la que se atraerá el HEMS -Hybrid electromagnetic suspension- y otra vertical a la que se atraerá el EMS -electromagnético suspension-. Con el objetivo de aprovechar lo mas eficientemente el espacio, se ha empleado un perfil comercial estandarizado de acero con la longitud del alma y ala adecuadas. Las medidas del alma y espesor del perfil se han elegido de teniendo en cuenta.
- Se han de poder regular las distancias de las unidades a la superficie de acero mediante un sistema de regulación lateral y longitudinal.
- En el escenario más desfavorable, el sistema implementado deberá de soportar estructuralmente los esfuerzos generados a causa de las fuerzas electromagnéticas.

2. Requerimientos mecánicos

Por su parte, los requerimientos mecánicos engloban:

- Una propuesta fiable, estandarizada y escalable, con un montaje rápido, sencillo y estanco a partir de elementos comerciales para una mayor rapidez de fabricación.
- Posibilidad de mantener la comunicación con el vehículo en todo momento, mediante un sistema de apertura y cierre que permita la interacción con el vehículo.
- Un sistema con las medidas y protocolos necesarios para garantizar la seguridad de las personas y componentes partícipes.
- Disposición de los componentes electrónicos necesarios para controlar y monitorizar presiones y temperaturas en el interior de la misma.

- El factor de seguridad de todos los elementos diseñados ha de ser superior a 2, esto es, se ha de poder soportar al menos dos veces la fuerza ejercida.
- Las deformaciones no deben de ser superiores de 1.5 mm. Excepto en algunos componentes donde se justificará la razón de su deformación.
- Debe de ser estructuralmente estable, evitando en la medida de lo posible el vuelco de la estructura bajo ciertas condiciones adversas.
- Se ha de diseñar teniendo en cuenta el montaje de la infraestructura en secciones de 2 metros de longitud.

3. Otros requerimientos

- Garantizar una presión objetivo de 100 mbar en el interior.
- Tiempos de vacío y venteo adecuados para realizar el máximo número de ensayos en el menor tiempo posible.
- Un desglose del presupuesto invertido en el diseño, fabricación y ensamblaje de la infraestructura. Todo ello, limitado a los componentes necesarios para el estudio del problema.

Capítulo 4

Diseño

En este capítulo se va a describir todo el proceso de diseño que se ha llevado a cabo para la implementación de la infraestructura. Para ello, se detallarán todos los aspectos que se han tenido en cuenta así como las diferentes simulaciones con elementos finitos con el fin de optimizar al máximo este diseño.

1. Metodología

En la Figura 4.1 se puede observar el diagrama de flujo iterativo que se ha seguido a lo largo de toda la fase de diseño.

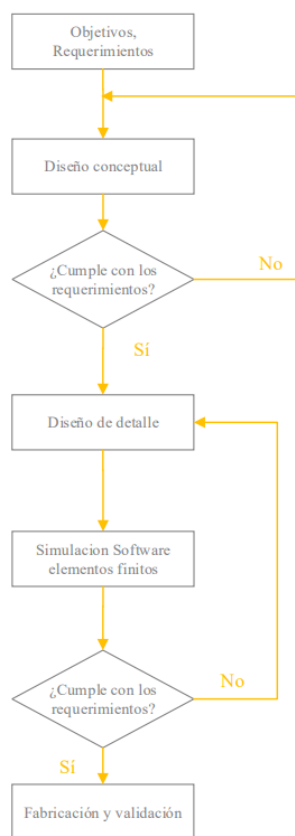


Figura 4.1: Diagrama de flujo iterativo

Tal y como se ha comentado en el Capítulo 3, el primer paso consiste en plantear las necesidades, objetivos y requerimientos del problema planteado. Esto implica identificar las necesidades y objetivos del equipo, y cumplir con las restricciones técnicas planteadas por la competición, "*laEuropeanHyperloopWeek*".

A continuación, una vez definidos dichos requerimientos se aborda un primer diseño conceptual. Este primer diseño ha de plantearse en un modelo 3D para poder comprobar y verificar correctamente que no se ha pasado por alto ninguna de las necesidades establecidas al inicio.

Partiendo de este modelo ya es posible realizar simulaciones en un software de elementos finitos en el que se comprobarán si los diseños cumplen con las condiciones de contorno establecidas. De este modo, se consigue optimizar la geometría y seleccionar los materiales adecuados.

Así pues, mediante diferentes procesos de refinamiento e iteración de las zonas más críticas se consigue llegar al diseño final. En todas las simulaciones, se han de cumplir con los requerimientos de un factor de seguridad de al menos 2 y una deformación por debajo de 1.5 mm.

Finalmente, con todo esto se obtiene un diseño final al que se le han de realizar planos y posteriormente ensamblar para poder validarlo. Con todo ello, se realizan las últimas comprobaciones y se comprueba que se satisfagan con éxito las necesidades planteadas.

2. Diseño de detalle

Una vez fijados todos los requerimientos, en esta sección se van a explicar detalladamente la elección y la función de todos los elementos diseñados para la implementación de la infraestructura. Para ello, se realizará en primer lugar, una resumen del sistema con todos los elementos de los que se dispone. Posteriormente, se irán explicando uno a uno todas las características de estos diseños.

2.1. Resumen del sistema

La infraestructura se basa en un tubo de acero con un diámetro exterior de 864 mm y una longitud total de 30 m dividida en 15 secciones de 2 metros cada una. La estructura completa se puede ver en la Figura 4.1.

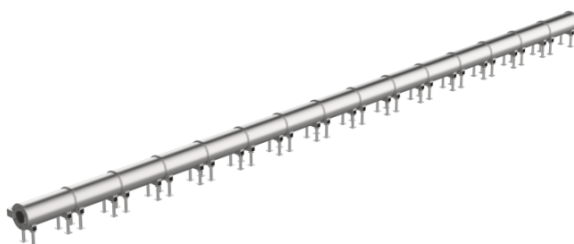


Figura 4.1: Vista isométrica de la infraestructura al completo

Generando vacío en el interior, se consigue un entorno de baja presión. Específicamente, se ha establecido una presión objetivo de 100 mbar. Para lograr condiciones de vacío, se requieren de algunos elementos como una bomba, que es la responsable de extraer el aire del interior hasta alcanzar la presión objetivo. En segundo lugar, las juntas entre las secciones y las puertas deben estar adecuadamente selladas para evitar posibles fugas de aire.

En cuanto a la parte interna del tubo, se utilizarán dos perfiles de acero en forma de L. Esta forma permite que la parte horizontal del perfil se utilice para las unidades de levitación y la parte vertical para el guiado horizontal del vehículo. Además, el ala vertical de este perfil también sirve como superficie de frenado de emergencia. Se puede ver una descripción general en la Figura 4.2.

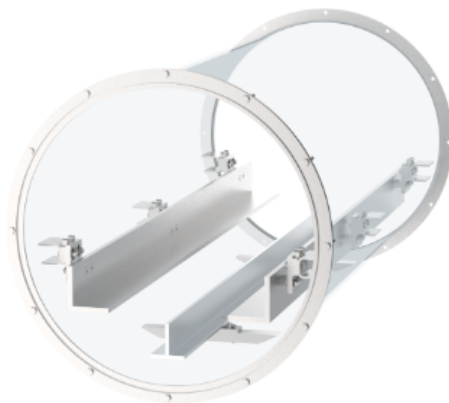


Figura 4.2: Vista del interior de la Infraestructura

En el interior también se utiliza un raíl de aluminio en forma de T para el sistema de tracción. Ambos sistemas de perfiles, los perfiles laterales en forma de L y el raíl inferior en forma de T, incluyen un sistema de regulación funcional y accesible para garantizar la alineación correcta de la infraestructura.

Las secciones del tubo apoyan sobre los soportes, que se encargan de dar continuidad a la infraestructura y transmitir todas las cargas existentes al suelo. Además, mediante un sistema de regulación de altura se permite el nivelado de todo el conjunto.

Finalmente, ambos extremos del tubo están sellados con dos puertas que también están preparadas para condiciones de vacío. Estas cubiertas están diseñadas de manera que todas las conexiones con el interior del tubo se realicen a través de ellas. Además, hay una ventana de metacrilato en el centro de la puerta para poder ver el interior del tubo desde el exterior.

Finalmente, la división del tubo se ha realizado en tres secciones, dos de ellas dedicadas completamente al frenado de emergencia y una colocada entre ellas para acelerar y frenar con el motor. Los frenos neumáticos necesitan 6 m para detener de manera segura el vehículo, por esta razón, el área rentable para acelerar y frenar se establece en 12 m entre dos secciones de 6 m cada una al comienzo y al final del tubo, llamadas secciones de seguridad. La división del tubo se puede ver en la Figura 4.3.

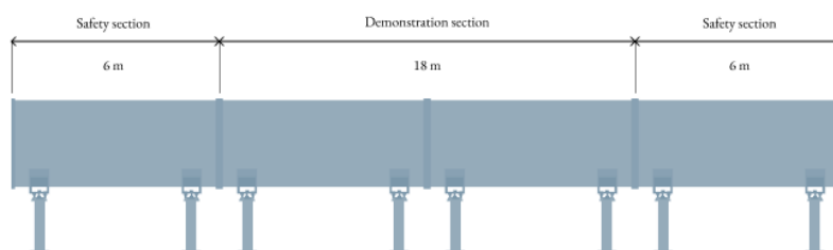


Figura 4.3: División de las partes de la Infraestructura

3. Vacío

3.1. Elección de la bomba

En este apartado, se procede a calcular una estimación de la velocidad de bombeo necesaria para realizar el proceso de vacío de la infraestructura.

La elección de la bomba adecuada para generar un vacío eficiente requiere comprender cómo las bombas afectan a los procesos. Los requisitos de nivel de vacío, el coste y el mantenimiento, entre otros factores, afectan a la elección de la bomba. Se discutirán los aspectos más relevantes que afectan a la bomba de vacío y a los tiempos de vaciado y llenado de la cámara.

Uno de los principales requisitos es minimizar los tiempos de venteo y de vacío para poder llevar a cabo el máximo número de demostraciones en el menor período de tiempo posible. Con este fin, el tiempo de vacío se calcula de acuerdo con las especificaciones técnicas del proveedor de la bomba. Para ello, se va a considerar que un tiempo adecuado para un volumen de estas características ronda los 20 minutos. Dado que este es el tiempo teórico e ideal, el tiempo final también tendrá en cuenta imperfecciones en el sellado.

El primer parámetro para hallar el tiempo de vacío es calcular el volumen de la infraestructura. Su volumen se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = l \cdot \pi \cdot r^2 = 30 \cdot \pi \cdot 0,42^2 = 16,78m^3 \quad (4.1)$$

En la tecnología de vacío, el flujo de gas que debe mantenerse durante un proceso de vacío determina el tamaño o la velocidad de bombeo nominal de las bombas [8]. El término flujo de gas (Q) se puede determinar en cualquier lugar de un sistema de vacío a partir de los valores de velocidad de bombeo (S) y la presión (p), mediante la siguiente expresión:

$$Q = S \cdot p \quad (4.2)$$

De este modo, para una presión objetivo determinada, existe una relación directa entre la velocidad de bombeo proporcionada por la bomba y el caudal de gas bombeado.

La velocidad de bombeo de las bombas de vacío suele ser constante sólo en un determinado rango de presiones y disminuye hacia las presiones bajas ya sea de manera exponencial o lineal en función del modelo de la bomba. Por lo tanto, la velocidad de bombeo realmente disponible depende de la presión de entrada de la bomba. Así pues, para poder mantener la presión objetivo, la bomba de vacío seleccionada debe proporcionar una velocidad de bombeo que se corresponda con esta presión y este flujo.

Así pues, es necesario diferenciar los siguientes conceptos, por una parte, el concepto de rendimiento de la bomba que indica la potencia útil respecto de la potencia total absorbida y no debe confundirse con el término de velocidad de bombeo. Por otro lado, el caudal de la bomba es la cantidad de aire por unidad de tiempo, expresada en $mbar \cdot L/s$. Por último, la velocidad de bombeo es la capacidad de transporte de aire por unidad de tiempo, medida en m^3/h o L/s .

Asimismo, en una primera estimación para determinar la velocidad de bombeo necesaria de la bomba (S), se procede de la siguiente forma. Por un lado, se conoce la presión objetivo que en este caso es de 100 mbar (p), ahora solo queda hallar el caudal de gas bombeado (Q), de este modo:

$$Q = \frac{p \cdot V}{t} = \frac{1010 \cdot 16780}{20 \cdot 60} = 14123,16mbar \cdot l/s \quad (4.3)$$

De este modo, y despejando de la expresión 4.2

$$S = \frac{Q}{p} = \frac{14123,16}{100} = 141,23l/s = 508,434m^3/h \quad (4.4)$$

Donde p es la presión en el lado de admisión de la bomba (presión atmosférica), V es el volumen que ocupan 30 m de tubo de diámetro interior 844 mm y t es el tiempo en segundos que se precisa para bombear la cantidad de aire.

De esta forma, ya se tienen unos datos aproximados para la elección de una bomba que se ajusta a las necesidades planteadas. Con todo esto se elige finalmente un modelo que se adapta a dicho objetivos.

Así pues, según lo estudiado previamente, no es necesario la utilización de una bomba secundaria; por lo tanto, la bomba de paletas rotativas es la más adecuada. Siguiendo las recomendaciones del fabricante y a partir de los valores aproximados obtenidos, se ha escogido el modelo "SOGEVAC SV 300B de Leybold®", que se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.1: Bomba SOGEVAC SV 300B de Leybold®. Fuente: [10]

Con el volumen obtenido y a partir de la curva de caudal y presión de la bomba, se puede estimar un tiempo aproximado de vacío. Como se puede ver en la Figura 4.2, el caudal máximo de la bomba es de $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Además, la velocidad de bombeo aumenta con la presión hasta alcanzar un máximo. Una vez alcanzado dicho máximo, la presión continúa disminuyendo más lentamente.

Esto se debe a que al inicio, tal y como se puede observar en la gráfica, la velocidad de bombeo de este tipo de bombas es muy elevada, consiguiendo así trasegar mucho aire en muy poco tiempo. En cambio, conforme la presión de la cámara comienza a disminuir la bomba tiene menos capacidad de trasegar y por lo tanto, la velocidad de bombeo es menor [10].

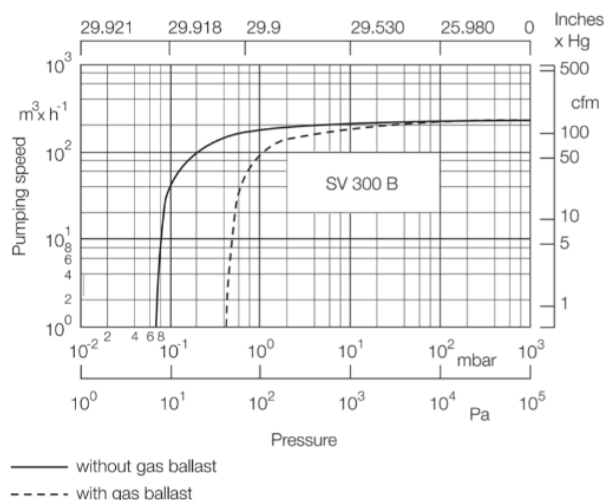


Figura 4.2: Curva presión vs velocidad de bombeo bomba "SOGEVAC SV 300B". Fuente: [10]

3.2. Tiempos de vacío

A continuación, se van a detallar los cálculos teóricos realizados para hallar el tiempo que tarda la bomba en alcanzar la presión objetivo de 100 mbar.

En primer lugar, se calcula el régimen en el que se está trabajando, para este caso debido a la velocidad de bombeo y al diámetro característico se concluye que se está trabajando en un régimen claramente laminar con un $Re < 2000$.

A continuación, se calcula la conductancia de la tubería. La conductancia se define como una constante de proporcionalidad para calcular el caudal que pasa por cualquier conducto, y depende de la geometría de la sección, tal y como se puede apreciar en la siguiente expresión.

$$C = 12,1 \cdot \frac{d^4}{L} = 12,1 \cdot \frac{0,84^4}{30} = 207,32 \text{m}^3/\text{s} = 746,355,6 \text{m}^3/\text{h} \quad (4.5)$$

Donde d se corresponde con el diámetro de la tubería y L la longitud total de la misma.

Seguidamente, se pasa a calcular la velocidad efectiva a partir de su valor nominal obteniendo:

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S_{nom}} + \frac{1}{C} = 0,0033 \text{m}^3/\text{h} \quad (4.6)$$

Siendo S_{nom} la velocidad de bombeo nominal de la bomba "SOGEVAC SV 300B", esto es, $300 \text{m}^3/\text{h}$

Finalmente, una vez calculados estos parámetros se procede a la obtención del tiempo de bombeo a partir del volumen de la cámara V y p la presión objetivo.

$$t = \frac{V}{S_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{1013}{p}\right) = 7,77 \text{min} \quad (4.7)$$

Con todo esto, se obtiene un valor de ideal de lo que se tardaría en alcanzar la presión objetivo. Si bien es cierto, toda cámara de vacío no es ideal y perfectamente estanca, por lo que existen un cierto porcentaje de fugas, que es difícil de estimar. Ya que estas fugas dependen del proceso de ensamblaje y fabricación, por lo tanto, se añade un porcentaje extra a tener en cuenta.

Suponiendo ahora un 20 % de pérdidas por fugas, se puede estimar un tiempo final de 9.33 minutos, por lo que se puede concluir que es un tiempo más que razonable de acuerdo con los objetivos planteados.

3.3. Sensorización del sistema

Uno de los factores más importantes a la hora de realizar el vacío es instalar una buena medición del mismo. Para ello existen diferentes instrumentos de medida.

En primer lugar se han de diferenciar los vacuómetros de los manómetros. Ambos son instrumentos de medición de presión, la principal diferencia radica en que el manómetro mide presiones por encima de la atmosférica y el vacuómetro presiones por debajo de esta. Sin embargo existe un instrumento de medida que es el manovacúmetro el cual podrá medir tanto de la presión relativa como la presión de vacío. Así pues, resulta conveniente el uso de vacuómetros para la medición del interior de la infraestructura.

Con el fin de obtener una medición lo más precisa posible es necesario diseñar un sistema de medidores de presión a lo largo de la infraestructura. Este sistema consiste en la colocación de 2 sensores de presión, uno al inicio y otro al final, con el objetivo de tener una medición exacta a lo largo de esta.

Se trata del modelo "PIEZOVAC PV 101 de Leybold®", un sensor de silicio piezorresistivo interno capaz de medir de 1200 a 0,1 mbar. Bajo la influencia de la presión, se dobla un diafragma delgado y en él se aplica un puente de resistencia obteniendo el valor de la presión. En la Figura 4.3 se puede apreciar el sensor empleado [9].



Figura 4.3: Sensor de presión "PIEZOVAC PV 101 de Leybold®". Fuente: [9]

3.4. Conexiones con el interior

Una vez determinados los sensores de presión y bombas de vacío, hay que determinar las conexiones con el interior para poder llevar a cabo el proceso de vaciado y posteriormente la despresurización de la infraestructura.

Para ello, se propone un sistema de bridas estándar que son intercambiables y sencillos de usar que se conoce como "JF/QF"[11]. Esto permite la conexión con el interior de manera que se asegura la estanqueidad en todo momento ya que está compuesto por una junta tórica y abrazadera que soldado a la puerta del tubo se permite acceder a su interior tal y como se puede observar en la Figura 4.4.

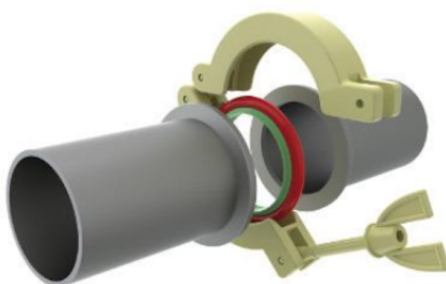


Figura 4.4: Conexiones del sistema de bridas ISO KF. Fuente: [11]

La principal ventaja que ofrece este tipo de sistema es que se trata de un tipo de brida que es estándar y muy comercial, por lo que se ajusta a la perfección a las necesidades planteadas. Además, existen diferentes normas y estándares en función del diámetro que se quiera emplear.

Así pues, se puede concluir que un sistema de bridas de liberación rápida "Quick Flange"(QF) es el mejor para poder acceder al interior del tubo y proceder así a su vaciado sin ningún inconveniente.

3.5. Sellado de la cámara

La estanqueidad es un aspecto fundamental que se ha de tener en cuenta en el diseño de una infraestructura para poder garantizar el nivel de vacío objetivo. Para ello, se ha empleado un sistema de junta teórica como se detalla a continuación.

Este sistema consiste en la instalación de una junta tórica en la ranura que presentan las bridas. Las bridas permiten la unión entre las diferentes secciones. De este modo, la sección donde se instala la junta tórica se ha de deformar o bien radialmente o bien axialmente para conseguir el efecto hermetizante de la junta [12]. Realizando el diseño adecuado con el espacio de montaje se produce la fuerza de reacción que proporciona la presión necesaria para la estanqueización del sistema tal y como se detalla en la Figura 4.5.



Figura 4.5: Deformación axial y radial de la sección. Fuente: [12]

Un factor a tener en cuenta en este tipo de aplicaciones es el sentido en el que se aplica la presión, ya que va a determinar las dimensiones de la junta y el espacio de montaje. Para el caso en el que se trabaja con presiones inferiores a la atmosférica, como es este caso, la presión es ejercida desde el exterior y conviene que el diámetro interior de la junta sea igual o algo más reducido que el diámetro interior de la ranura. Así se evita que, en el caso de producirse presión oscilante, el movimiento de la junta en la ranura del alojamiento produzca el desgaste de la misma [12].

Para este caso, puesto que se trata de una aplicación de brida más tapa, la sección de la junta tórica, queda deformada en sentido axial. Este tipo de deformaciones presenta un mecanizado más sencillo y abarata el coste de fabricación.

La ranura en la que se introduce la junta tórica no debe tener una geometría cuadrada sino que su anchura debe ser siempre mayor que su altura, tal y como se muestra en la Figura 4.6

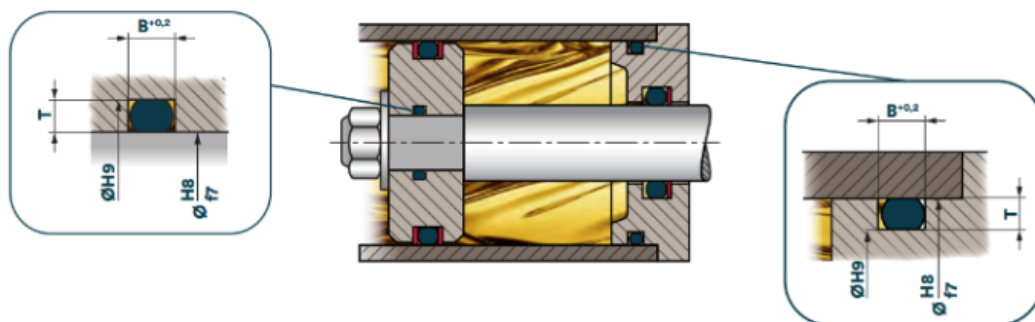


Figura 4.6: Vista sección de la junta tórica con deformación axial. Fuente: [12]

Otra opción interesante a comentar es el uso de ranuras trapezoidales, las cuales confinan firmemente la junta tórica en su ranura de montaje. A diferencia de las anteriores, este tipo no presenta ninguna norma de diseño para cajas trapezoidales salvo valores experimentales. Este diseño encarece el coste de fabricación ya que requieren de fresas cónicas en lugar de rectangulares, tal y como se puede apreciar en la Figura 4.7

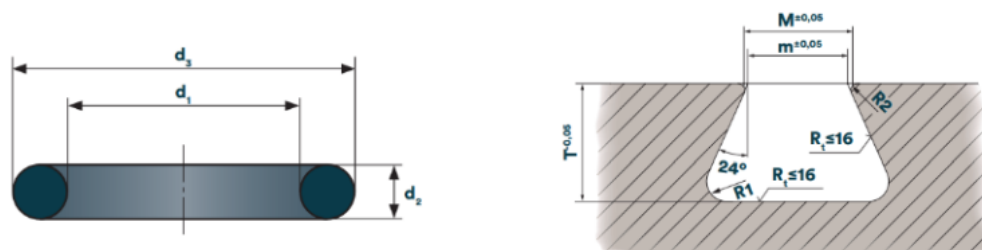


Figura 4.7: Vista sección geometría con caja rectangular. Fuente: [12]

Con todo esto, se ha descrito el sistema empleado para garantizar el sellado de la cámara. Para la implementación de este sistema se han diseñado dos tipos de bridas. En primer lugar, una brida a la que se le ha realizado el ranurado comentado anteriormente para permitir el alojamiento de la junta OR. Y en segundo lugar, una brida con una tolerancia de planitud con respecto a la anterior a la que no se le ha realizado ningún ranurado para conseguir así un funcionamiento como se muestra en la Figura 4.6.

3.6. Fugas

Las fugas son un problema significativo que puede provocar pérdidas de presión. Por lo tanto, es crucial desarrollar un plan sobre cómo manejarlas para restaurar los niveles de vacío lo más rápido posible.

Las fugas se producen principalmente debido a pequeños agujeros que pueden aparecer en partes del sistema que permiten que el aire se escape. Pueden variar dependiendo del tamaño del agujero, la temperatura, el tipo de gas que se bombea y el gradiente de presión [13].

Por esa razón, es necesario establecer un procedimiento para prevenirlas. En primer lugar, se detallará el procedimiento empleado para detectarlas:

- Dado que se tienen 2 sensores piezorresistivos en el extremo de la infraestructura, es posible monitorear la presión en el interior en todo momento. Las caídas inesperadas de presión pueden indicar fugas.
- Por otro lado, las fugas también se caracterizan por su sonido silbante, lo que permite detectar su origen.

- La aplicación de alcohol isopropílico pulverizado ayuda a detectar el origen de un posible punto de fuga. Este líquido reacciona cuando entra en contacto con el aire o el gas que entra en el sistema. Esto da lugar a la formación de burbujas, lo que ayuda a identificar la ubicación exacta de la misma.

Una vez que se descubre la fuga, se establece un procedimiento para repararla. Las reparaciones no pueden crear un sistema hermético, pero pueden restaurar el rendimiento del vacío al nivel requerido.

Por lo tanto, una vez detectadas se ha de actuar de la siguiente forma:

- Verificar la ubicación de la fuga.
- Si la fuga está en el área entre la brida y el tubo, se debe verificar y reparar toda la soldadura.
- En caso de que la junta tórica no selle correctamente la unión de la brida, debe reemplazarse de inmediato, ya que esto puede deberse a un defecto en la junta tórica.
- En caso de cualquier otro tipo de fuga debido a daños en las bridas, el tubo o cualquiera de los elementos de conexión, se utilizará una resina especial, "Nural Pattex 61", para este tipo de aplicación.

4. Bridas

Un aspecto fundamental a la hora de poder garantizar el vacío es el uso de un sistema de bridas que se adapte correctamente a la infraestructura de la que se dispone.

A lo largo de este documento se muestra el estudio realizado para el diseño y fabricación de las mismas. Las bridas tienen como principal objetivo permitir la unión entre las diferentes secciones, asegurando además la estanqueidad a lo largo de toda la infraestructura.

4.1. Diseño de la ranura rectangular

En primer lugar, puesto que el principal objetivo es la implementación de un sistema que sea escalable y estandarizado se ha decidido adaptar todo el diseño de la ranura trapezoidal a una diámetro de junta tórica comercial.

De este modo, lo primero que hay que determinar es el diámetro del toro, es decir, el diámetro de la junta tórica. Una vez determinado este diámetro ya se pasan a calcular todas las dimensiones de la operación de ranurado, ya que estas juntas cumplen con la norma DIN 377, y se tienen tabuladas todas las dimensiones de la ranura en función del diámetro de la junta tórica [12].

De este modo, mediante la siguiente Figura 4.1 se pasan a comprender los subíndices con los que se van a indicar los diámetros necesarios.

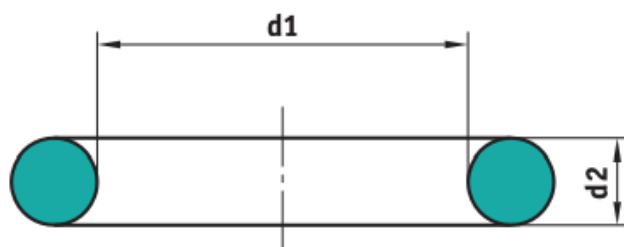


Figura 4.1: Representación de los diámetros de la junta tórica comercial. Fuente: [12]

El primer paso consiste en determinar el diámetro del toro (d_2). A la hora de calcularlo, se ha decidido emplear un diámetro de junta con el que ya se disponía de experiencia en el equipo en este tipo de pruebas y con el que se obtuvo un buen resultado de estanqueidad, por ello se ha decidido emplear un diámetro de 8 mm.

Para el cálculo de d_1 , en primer lugar, hay que tener en cuenta el sentido en el que se está ejerciendo la presión, ya que no es lo mismo estar ejerciendo una presión desde el interior al exterior, que si por el contrario, la presión se está ejerciendo del exterior hacia el interior, como es el caso del vacío, donde d_1 se recomienda que sea igual o algo más reducido que el diámetro interior de la ranura.

Asimismo, un factor a tener en cuenta para mejorar la sujeción de una junta tórica en su alojamiento es emplear un criterio de diseño adicional como es la dilatación. Este consiste en estirar o dilatar la junta tórica en el momento de instalarse en su alojamiento. Para ello al escoger la junta, se deberá de considerar un diámetro interior (d_1) hasta un 6 % más pequeño que el diámetro interior del alojamiento para poder estirar adecuadamente en fase de montaje. Al dilatar la junta disminuye la sección del toro, pero no se debe reducir en exceso, ya que sino su comportamiento empeorará a compresión.

Un aumento de d_1 entre un 6 % y un 3 % representan los valores ideales para una correcta instalación de la junta.

Antes de proceder a su montaje es muy importante que quede limpio el área de trabajo, eliminando las partículas de suciedad y residuos del mecanizado. Si resultase muy complicada la instalación de la junta se puede aumentar la flexibilidad dilatando al polímero. Para ello se puede calentar o sumergir en agua caliente durante 5 minutos. De este modo, la junta quedaría bien fijada en la ranura correspondiente [12].

Por lo tanto, para un alojamiento de diámetro interior 865.98 mm y aplicando una dilatación del 3 %, el diámetro interior de la junta debe ser 840 mm.

Una vez obtenidas estas dimensiones se lleva a cabo el dimensionamiento de la ranura. En este caso, se van a seguir las normas de la ranura rectangular.

Cabe destacar que por recomendación del fabricante y como objetivo inicial, se iba a realizar una ranura trapezoidal, como las explicadas anteriormente, con uno de los lados con un ángulo recto, lo que se conoce como media cola de milano. Sin embargo, puesto que un aspecto clave en el diseño de las bridas es la escalabilidad, esto pasa por realizar un diseño lo más económico posible, es por ello que este tipo de ranuras se han descartado ya que para su mecanizado son necesarias unas fresas especiales y varios procesos de mecanizado que incrementan considerablemente el coste de las mismas.

Así pues, siguiendo la norma DIN 377 para cajas rectangulares se puede observar en la Figura 4.2 con las medidas que se han de emplear.

d_2	T	B+ 0,2
7,00	5,81 ± 0,05	8,98
7,50	6,23 ± 0,10	9,63
8,00	6,64 ± 0,10	10,27
8,40	6,97 ± 0,10	10,78
8,50	7,06 ± 0,10	10,91
9,00	7,47 ± 0,10	11,55
9,50	7,89 ± 0,10	12,13
10,00	8,30 ± 0,10	12,75
10,50	8,72 ± 0,10	13,48
11,00	9,13 ± 0,10	14,08
11,50	9,55 ± 0,10	14,69
12,00	9,96 ± 0,10	15,31
12,50	10,38 ± 0,10	15,92
13,00	10,79 ± 0,10	16,54
13,50	11,21 ± 0,10	17,15
14,00	11,62 ± 0,10	17,77
14,50	12,04 ± 0,10	8,38
15,00	12,45 ± 0,10	19,00

Figura 4.2: Medidas norma DIN 377 para caja rectangular. Fuente: [12]

Finalmente las medidas del diseño de la brida con caja rectangular queda como se puede observar en la Figura 4.3

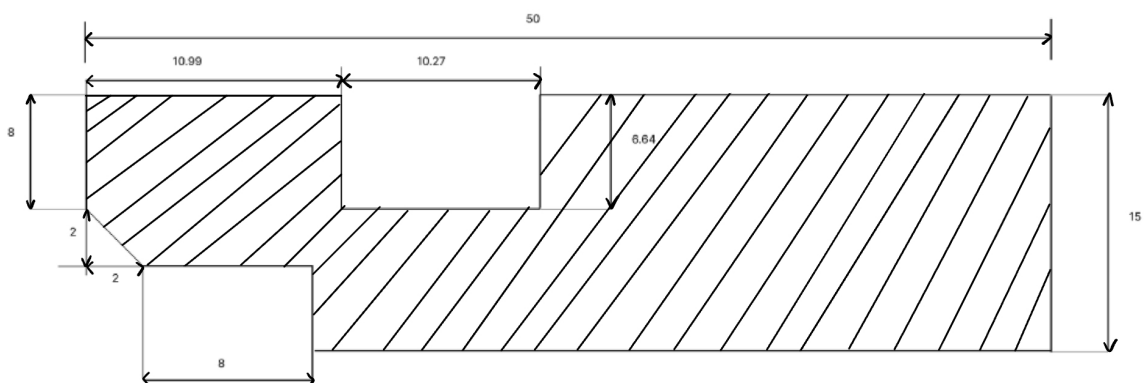


Figura 4.3: Diseño brida con caja rectangular

Con todo esto, se pasa a definir el número de bridas necesarias y la disposición de las mismas a lo largo de la infraestructura.

La infraestructura, como ya se ha comentado anteriormente se divide en 15 secciones de 2 metros de largo, por lo que para garantizar un sistema estanco es necesario utilizar un sistema de bridas como el explicado. Por una parte una brida plana, esto es, sin caja, y por otra parte la brida con caja rectangular.

El sistema mostrado en la Figura 4.4 consiste en la unión de los dos tipos de bridas. Así, en una de las bridas con cajeadado se introduce la junta tórica y a continuación se realiza la unión con la brida plana, que no presenta ningún ranurado, de este modo, se produce el efecto hermetizante de la junta que se basa en una deformación axial. La fuerza de reacción así producida, proporciona la presión de apriete necesaria para la estanqueización [12].

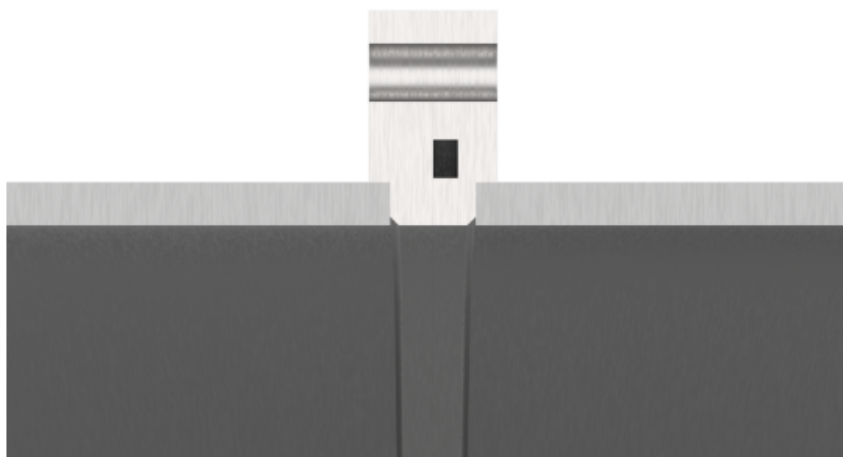


Figura 4.4: Diseño del sistema de bridas

Por tanto, son necesarias dos bridas con cajeadado y otras dos planas por sección. Excepto en en las secciones del inicio y final donde se situa una brida con cajeadado y la propia puerta, que se explicará en la siguiente sección, actúa como brida plana.

En definitiva, se requieren 14 bridas planas y 16 bridas con ranurado para garantizar la estanqueización de la infraestructura.

4.2. Estudio económico en el proceso de fabricación

El primer paso para la fabricación de las bridas consiste en determinar cuál va a ser el tipo de corte que se va a llevar a cabo en las planchas de acero. Cada corte es diferente y se emplea en función de si se trabaja con placas de mayor o menor espesor, procesos rápidos o lentos, de bajo o alto coste, y la precisión deseada.

De todos los posibles tipos de corte se ha decidido emplear el corte por láser, debido a las ventajas que presenta en cuanto a precisión y calidad de superficie de corte.

Una vez detallado el tipo de corte a realizar, se procede a detallar como se va a realizar la división de la brida en la plancha de acero. Este paso es fundamental a la hora de obtener el presupuesto final de cada una de las bridas ya que es aquí donde se puede prescindir de algún proceso de fabricación. Existen diferentes alternativas que se van a presentar a continuación con su correspondiente estudio económico.

- La primera de las opciones consiste en hacer la brida sobre la propia plancha de acero, sin dividirla en partes, de esta forma se reduce el coste en el proceso de soldadura aunque se desaprovecha gran parte de la plancha de acero. Esta opción resulta muy interesante ya que además de prescindir del proceso de soldadura, además se evitan posibles fugas y problemas con los cordones de soldadura, como la aparición diversos poros a los que posteriormente se les debería de aplicar un gel comercial universal de juntas.
- La segunda opción consiste en dividir las bridas diseñadas en dos partes de manera que se aprovecha mucho mejor la plancha, ahora bien hay que soldar las distintas partes lo que puede conllevar a posibles fugas en un futuro.
- La tercera de las opciones divide las bridas en 3 partes aprovechando aún más la plancha de acero, lo que por una parte abarata el coste ya que se requiere menos material pero por otro lado, requiere mayor soldadura, que podría suponer mayores problemas en cuanto a vacío se refiere.

A continuación, se va a realizar un cálculo aproximado para los 3 métodos en los que se supondrán 30 m de infraestructura, divididas en 15 secciones, lo que supondrá un total de 30 bridas ya que se disponen de 2 por sección.

Si se decide no dividir la brida en partes, se obtiene que son necesarias un total de 40 planchas de acero. Suponiendo que las planchas tienen unas dimensiones de 1000x1000x15 mm, y teniendo en cuenta el precio actual del acero en España, 2.50 €/kg. La plancha correspondiente tiene un peso de 117.75 kg, por lo tanto en acero el precio es de 294.37 €/plancha. Para las 30 planchas se tiene un precio total de 8831.1€.

Dividiendo la bridas en dos partes, serían necesarias 15 planchas, tal y como se puede observar en la Figura 4.5. De esta forma, el precio en planchas es de 4415.55 €. Añadiendo el precio de soldadura, con un precio medio de 11€/h en España y suponiendo un total de 10 h, el precio final es de 4525.55 € [14].

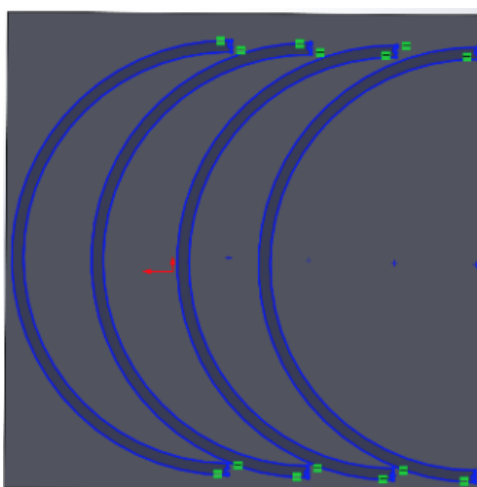


Figura 4.5: División de la brida en 2 partes en una plancha de acero

Dividiendo las bridas en 3 partes, como en la Figura 4.6, las planchas de acero se verían reducidas en 1/3 ya que se podrían incluir hasta 9 divisiones de brida por plancha, por lo que serían necesarias un total de 10 planchas lo que suponen 2937 € a lo que habría que añadir nuevamente el trabajo de soldadura, es decir, para unas 12 horas ya que hay más divisiones asciende a un total de 3069 €.

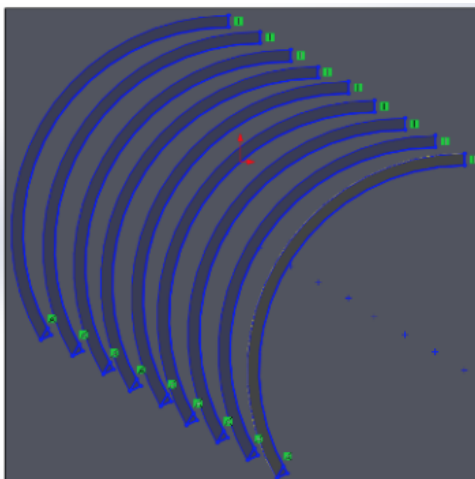


Figura 4.6: División de la brida en 3 partes en una plancha de acero

Así pues, se puede concluir que es necesario alcanzar un compromiso entre el número de planchas y el número de divisiones con el fin de realizar el menor número de soldaduras posibles para evitar mayores puntos de fugas.

Por tanto, se ha decidido dividir la brida en 3 partes simétricas para reducir al máximo los costes de fabricación de la misma.

Una vez realizado el corte y soldadura de la brida, la siguiente operación de mecanizado es el ranurado. De este modo, con la brida ya fabricada queda realizar la ranura para introducir la junta tórica que garantice la estanqueidad. El proceso de ranurado es el proceso de mecanizado más importante, ya que es el encargado de producir el sellado de la cámara, es por ello que es fundamental que se cumplan con las tolerancias marcadas en la medida de lo posible.

Asimismo, después de realizar el proceso de ranurado, con el objetivo de evitar dañar la junta tórica, se ha decidido emplear una tolerancia de rugosidad a dicha superficie, de $3.2 \mu\text{m}$ en dicha cara.

Finalmente, la última operación a realizar es el refrentado, esta operación es fundamental para poder sellar las caras de dos bridas de una plancha de acero. Consiste en mecanizar la parte frontal de las piezas para poder acoplar las dos caras de una brida ya que al estar realizadas en una plancha de acero, esta presenta determinadas irregularidades en su superficie. Por lo tanto, se trata de un proceso indispensable en la fabricación de las bridas de la infraestructura y se indica mediante una tolerancia de planitud en las caras que son coincidentes.

4.3. Elección de la junta tórica

Para la elección del diámetro de la junta tórica se ha estudiado cuál es la que proporciona más ventajas con el fin de garantizar al máximo la estanqueidad. Las juntas tóricas fabricadas por moldeo cumplen con la norma DIN 377. Con dicha norma, la junta tórica se identifica por su diámetro interior y por su sección. Así pues, se ha optado por un modelo comercial que como ya se ha comentado en esta sección, se optado por el modelo con un grosor de 8 mm.

Los principales materiales que se adaptan a vacío son, el caucho de fluoruro de carbono, un elastómero con una muy buena resistencia a hidrocarburos y resistencia al envejecimiento. Además, destaca por su alta resistencia a las temperaturas y fuerte estabilidad química. Su permeabilidad a los gases es baja y en aplicaciones de alto vacío los elastómeros FPM sufren pérdidas de peso mínimas. La elevada densidad de las mismas ayuda a mantener estanco el sistema [15].

Otro elastómero a destacar es Copolímero de acrilonitrilo / butadieno (NBR), que es un caucho sintético con muy buenas características elásticas y resistencia química. Estos presentan una densidad algo menor que el caucho FPM pero se adaptan del mismo modo a condiciones de vacío perfectamente.

Así pues, debido al stock del fabricante, se ha decidido emplear juntas tóricas de caucho de butadieno (NBR) para la ranura de las bridas con ranurado rectangular.

5. Puerta

Un aspecto a destacar en la implementación de un sistema de vacío es la utilización de una puerta y un sistema de apertura y cierre. Con el objetivo de facilitar el proceso de carga y descarga del vehículo en el interior de la infraestructura se ha diseñado la misma con dos aperturas, una en cada extremo. A lo largo de esta sección se comenta el diseño implementado.

El principal objetivo es que sea capaz de aguantar la diferencia de presión entre el exterior y el interior. Para ello, se han de analizar parámetros clave como su forma, el material empleado y el espesor de la pieza.

- La forma de esta compuerta puede ser plana o convexa. El diseño de una cubierta convexa distribuye mejor el esfuerzo generado por la diferencia de presiones entre el interior y el exterior, sin embargo esta mejora no supone una gran ventaja debido a la diferencia de presiones planteada como objetivo, 100 mbar. Además, esto aumenta la complejidad y fabricación de la pieza, por lo que se ha descartado un diseño de este tipo y se ha optado por tanto de un diseño de puerta plana.
- El material empleado. Se ha escogido el acero ya que presenta una buena resistencia, además de facilitar la soldadura de diferentes elementos.
- El espesor de la pieza. Mediante simulaciones en FEM se ha determinado el espesor más adecuado.

Por otro lado, la unión entre la puerta y la primera y la última sección se ha realizado mediante el contacto de la puerta con una brida con ranura rectangular, del mismo modo que el explicado en la sección 4.1.

Otro aspecto a tener en cuenta es si ambos extremos van a poder abrirse y cerrarse, o si en cambio, uno de los dos se va a mantener fijo. Puesto que se ha apostado por un diseño lo más escalable posible no tendría sentido mantener un extremo fijo ya que el vehículo siempre entraría y saldría por la misma sección, es por ello que se han diseñado dos puertas que permiten una apertura y cierre con el mínimo esfuerzo posible.

Para permitir una apertura y cierre sencillos se ha diseñado un asa que se suelda a uno de los extremos de la compuerta permitiendo un agarre cómodo en todo momento.

El diseño de la compuerta consiste en una tapa de 20 mm de espesor de acero a la que se le han realizado diferentes mecanizados para adaptarla a las necesidades requeridas tal y como se muestra en la siguiente Figura 4.1.



Figura 4.1: Diseño de la puerta

En primer lugar, cabe destacar que la puerta se ha escogido de acero ya que es capaz de soportar la diferencia de presiones entre exterior e interior y su fabricación es relativamente sencilla.

Por otro lado, para poder permitir la visualización del vehículo dentro de la infraestructura, se le ha realizado un vaciado en la parte central de la puerta donde se puede ver una ventana que consiste en una tapa de 30 mm de espesor de metacrilato que es explicada más en detalle en la siguiente subsección.

Por último, la puerta dispone de 6 agujeros para permitir las conexiones con el interior. En la subsección 3.4 se explica en detalle el sistema de conexiones empleado. Estos agujeros que se le han realizado a la puerta son de 42 mm de diámetro que permite realizar conexiones con elementos comerciales ISO-KF 40. Este tamaño tiene la ventaja de presentar una gran variedad de componentes con dichas medidas para posibles conexiones futuras.

5.1. Tapa de metacrilato

El diseño de esta tapa se ha realizado siguiendo el mismo criterio que el detallado en la sección 4 para una ranura rectangular. Para este caso, debido a las dimensiones del diámetro interior se ha seleccionado un diámetro del toro de 4 mm de FPM debido a su alta densidad y resistencia a elevadas temperaturas, quedando la forma de la Figura 4.2

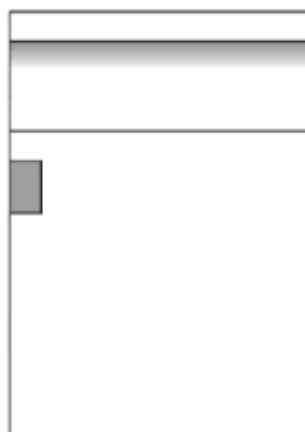


Figura 4.2: Vista de sección de la tapa de metacrilato

Cabe destacar que la tapa sobresale 15 mm por fuera ya que se ha diseñado para evitar grandes deformaciones por la diferencia de presiones entre el exterior y el interior.

5.2. Asa

Para el diseño de este elemento, el único objetivo que se ha planteado es que la apertura se realice de manera sencilla. Consiste en 2 piezas que van soldadas entre sí. Un pasador de diámetro 30 mm de acero que se suelda a las otras 2 piezas. Todo este conjunto irá también soldado a la puerta tal y como se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4.3: Diseño del asa de la puerta

5.3. Sistema de conexión ISO-KF y comunicación

Una vez explicados todos los componentes de forma individual, se definen los principales características que cumplen las conexiones ISO-KF:

- Se dispone de una conexión de la bomba de vacío con la infraestructura.
- Se dispone de un sistema que sea capaz de permitir el venteo, es decir, una vez realizado el vacío el proceso de volver a la presión atmosférica.
- Se han determinado las conexiones necesarias para comunicarse con el vehículo y con la infraestructura desde fuera.
- Facilidad y sencillez en su montaje.
- Asegura la estanqueidad en todo momento.

El primer paso consiste en describir el sistema de bridas DIN ISO-KF. Se trata de unas bridas de acero que se sueldan en los agujeros de la puerta. De nuevo, es necesario la utilización de un sistema de o-ring o arandela de centrado más abrazadera para sellar la cámara de vacío. Entre la abrazadera y la arandela de centrado se sitúa la brida ciega que termina de sellar el sistema.

De este modo, se asegura la estanqueidad y la rapidez de montaje. Asimismo, con este sistema es posible ventear la cámara de vacío en un tiempo razonable cuando se retiren las bridas ciegas debido al diámetro de las bridas.

Por otro lado, la conexión de la bomba de vacío a la puerta de la infraestructura se realiza mediante un tubo de PVC del diámetro de la salida de la bomba.

Por último, se pasan a comentar los aspectos relacionados con la comunicación del vehículo desde el exterior. Para ello, se emplearán unos componentes llamados pasamuros de corriente que permiten pasar un número de cables a través de una brida ciega. Para garantizar el sellado de este sistema se sellarán dichos agujeros de la brida ciega con un epoxi de uso especial para este tipo de aplicaciones. La selección del pasamuros pasa a depender por tanto, del número de cables necesarios para la conexión con el vehículo.

Por lo que respecta a la comunicación con la infraestructura desde el exterior se dispone de una placa llamada TCU (Tube Control Units), que controla el encendido y pagado de la bomba de vacío así como el sistema de iluminación.

Con todo esto, de las 6 posibles conexiones de las disponibles, se han dividido de manera que: en el momento en el que la bomba esté operativa, ésta ocupada un brida, de las 5 restantes, dos irán destinadas a las conexiones con el vehículo en el interior y las 3 que quedan se sellaran adecuadamente con el sistema de brida ciega.

Finalmente, cuando se han terminado las demostraciones y se desea retirar el vehículo del interior, se retira el sistema de bridas de una en una hasta alcanzar la presión atmosférica. Una vez alcanzada dicha presión se procede a abrir la compuerta de la cámara de vacío.

6. Bisagra

Con el fin de diseñar un sistema que permita facilitar la apertura y cierre de la misma se han planteado dos soluciones comunes en este tipo de aplicaciones. El primero consiste en un sistema de bisagra convencional, que permite la rotación de la puerta mediante el deslizamiento de dos de sus piezas. La otra posible solución es la implementación de un sistema de bisagra como el comentado anteriormente, al que se le añadiría una rueda de apoyo para transmitir así gran parte de la carga al suelo

Puesto que el peso de la tapa es de 80 kg se ha decidido que no es necesario la implementación de un sistema de rueda más bisagra, además de que habría que tener una extensión de la pata muy larga y eso puede generar problemas de comodidad para las personas.

El sistema de bisagra consiste en el deslizamiento producido entre dos piezas mediante el uso de cojinetes lubricados espaciales para estos sistemas.

Se trata de la unión de tres piezas. La primera de ellas, la pieza fija, es la observada en la Figura 4.1, situada a la derecha. Esta se suelda en la parte lateral de la infraestructura, fijando así su posición. La segunda pieza, la pieza móvil, es la de la izquierda y esta se suelda a la puerta. La unión entre ambas piezas se realiza mediante un cilindro pasador de acero de 30 mm de diámetro, que se ha escogido atendiendo al peso que ejerce la puerta sobre dicho mecanismo. Para evitar el rozamiento entre las piezas se han utilizado cojinetes de valona lubricados que permiten el deslizamiento entre las piezas mencionadas.

Además, este pasador cilíndrico de acero se ha roscado en sus extremos para permitir la fijación de las dos piezas mediante el uso de dos tuercas. Por último, destaca la adición de un rigidizador en forma de X para evitar deformaciones en las piezas del mecanismo.

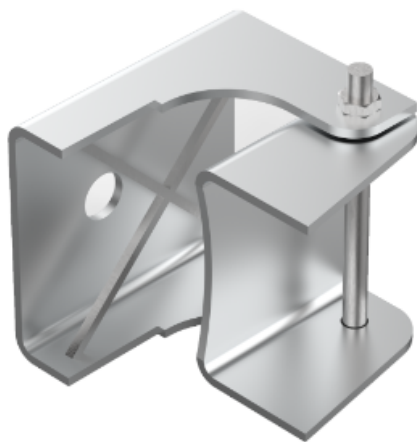


Figura 4.1: Diseño de la bisagra

7. Diseño del interior

En este apartado se describirán los sistemas de anclaje tanto lateral como del raíl. El objetivo principal es facilitar el ensamblaje de los perfiles en L y raíl, de forma que no se produzcan desalineaciones que puedan dificultar la levitación del vehículo y se garantice la alineación entre tramos.

7.1. Sistema de anclaje lateral

El perfil en L utilizado consiste en un perfil comercial de acero estructural de 120x130x15 mm. Se ha optado por esta forma debido principalmente a un mejor aprovechamiento del espacio dentro de la infraestructura y a la facilidad de fabricación de este elemento comercial. Además, como ya se comentó en el Capítulo 2, al aumentar la sección, esto es, el espesor en 15 mm disminuye la reluctancia y por tanto, aumenta el flujo magnético del electroimán.

Esta sección permite agrupar diferentes sistemas en un único perfil, lo que disminuye la complejidad global de la infraestructura a la vez que reduce el coste de fabricación. El perfil tiene dos superficies de trabajo, la horizontal y la vertical. La parte horizontal inferior actúa como superficie de atracción para la unidad HEMS y superficie de contacto para el guiado inferior, mientras que la parte horizontal superior funciona como superficie de referencia para el guiado superior.

La parte interior de la superficie vertical también es utilizada por un sistema electromagnético, en este caso como superficie de atracción para la unidad EMS. también actúa como superficie de contacto para la actitud horizontal superior y por último, es la superficie de frenado para los actuadores neumáticos. La parte exterior de la cara vertical se utiliza para anclar el sistema de regulación, que se explicará en detalle durante esta sección.

Este sistema de regulación permite anclar el perfil en forma de L en tres puntos diferentes a través del eje longitudinal. Se incluyen tres puntos de anclaje en lugar de dos porque las simulaciones por elementos finitos realizadas durante la fase de diseño mostraron una deformación importante en la parte central del perfil. Además, se puede apreciar cómo el perfil en L se ancla a diferentes alturas debido a que la carga se distribuye de mejor manera con esta configuración.

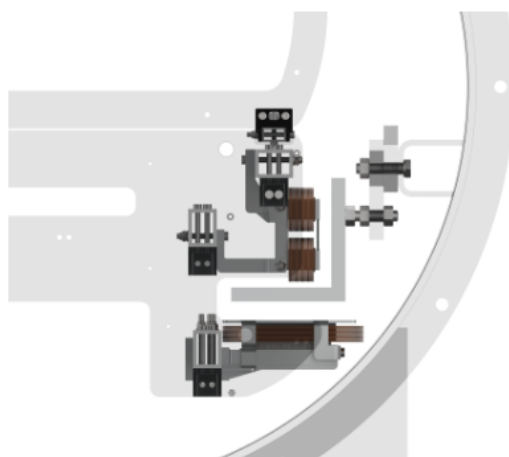


Figura 4.1: Vista frontal del Sistema de anclaje lateral

El objetivo principal de este sistema, que puede verse en la Figura 4.2, es permitir un ajuste fácil y accesible del perfil en todas las direcciones. Dos de estos movimientos se controlan mediante la placa de acero incluida entre el perfil y el la tubería. Esta placa dispone de cuatro ranuras, dos para los ajustes longitudinales y otras dos para los verticales. La distancia entre ambos perfiles se regula añadiendo unas pletinas de diferente espesor diseñadas a medida entre la placa de acero y el perfil. Se han empleado diferentes espesores para facilitar el ajuste.

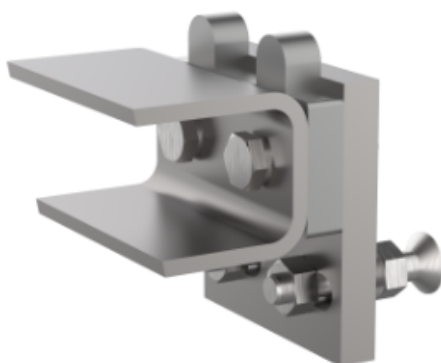


Figura 4.2: Vista del sistema de anclaje del perfil lateral

Describiendo más a fondo el sistema de ajuste, el perfil en forma de L necesita un soporte para anclarse al tubo. Para ello, se suelda a la cara interior del tubo un perfil rectangular comercial, como se muestra en la Figura 4.2, que cortado a medida para adaptar su forma a la curvatura del tubo.

El segundo elemento es una chapa de acero de 15 mm de espesor con cuatro ranuras cortadas en ella. Estas ranuras se realizan en las direcciones longitudinal y vertical del tubo para permitir el movimiento. Así, los dos desplazamientos están desacoplados, de modo que cuando la placa se mueve en una dirección, la otra permanece en su sitio. Dos ranuras se atornillan directamente al perfil cuadrado soldado al tubo, mientras que las otras dos se unen al perfil en forma de L. La longitud de la placa es tal que no obstruye el chasis.

Por último, el movimiento restante -la distancia entre los perfiles en forma de L- se regula con las pletinas de la Figura 4.3. La geometría es tal que son accesibles en cualquier momento en caso de que sea necesario sustituirlas para reajustarlas. Además, cada cala tiene dos ranuras, por lo que los dos pernos que anclan el perfil en forma de L pueden ajustarse al mismo tiempo. Asimismo, se han seleccionado diferentes espesores, en concreto 1, 2 y 5 mm para conseguir una alineación más precisa.



Figura 4.3: Vista de las pletinas del sistema de anclaje del perfil lateral

7.2. Sistema de anclaje del raíl

El sistema completo de regulación del raíl puede verse en la Figura 4.4. Para anclar el perfil al tubo se utilizan dos sistemas de regulación, situados bajo el perfil del raíl y separados entre sí 1200 mm. Esta configuración se seleccionó, entre otras cosas, gracias a las simulaciones por elementos finitos que se explican más adelante .



Figura 4.4: Vista del sistema de anclaje del raíl

El objetivo principal del sistema es permitir el ajuste del perfil del raíl en las tres direcciones de forma fácil y accesible. Para ello, se ha implementado un sistema sencillo para ajustar completamente su posición, que puede verse en la Figura 4.5.

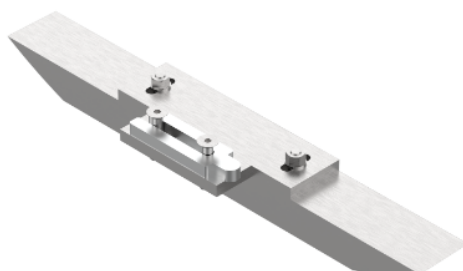


Figura 4.5: Vista del sistema de regulación

El sistema de regulación se compone principalmente de dos elementos. En primer lugar, se necesita un soporte para anclar todo el sistema de regulación, por lo que se corta un perfil cuadrado de acero y se suelda a la parte inferior interna del tubo, de forma similar al sistema de regulación lateral. Dos de estas ranuras permiten el movimiento horizontal del raíl y están atornilladas al perfil cuadrado, mientras que las otras dos están directamente atornilladas al raíl y permiten el movimiento longitudinal. Con las ranuras, ambos movimientos quedan desacoplados.

Finalmente, la última dirección que debe ajustarse es la altura del raíl, para lo cual se incluyen pletinas diseñadas a medida entre el raíl y la placa de acero. Estas pletinas están diseñadas para que sean accesibles en cualquier momento, lo que permite un fácil intercambio. Se han seleccionado diferentes espesores para conseguir una alineación precisa. En la Figura 4.6 se muestra uno de los modelos, concretamente el de 5 mm de espesor.



Figura 4.6: Vista de las pletinas de ajuste del sistema de regulación del raíl

7.3. Expansión térmica

Por último, se ha realizado un cálculo de dilatación térmica para garantizar un montaje correcto. Si el raíl o el sistema lateral fueran más largos de lo previsto debido al aumento de temperatura, aparecerían problemas de estanqueidad y alineación. Para obtener los valores de longitud, se utiliza la ecuación 4.8:

$$L = L_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (4.8)$$

Donde:

- L: Deformación total debida a los efectos térmicos.
- L_0 : Longitud inicial del objeto.
- α : Coeficiente de dilatación lineal del material. En acero, $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ y en aluminio $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ [16].
- $\delta\Delta T$: Incremento de temperatura -suponiendo una temperatura mínima de 0°C y máxima de 50°C . La diferencia de temperatura es la establecida en la normativa ".^{EH}W". Para los perfiles en L, el resultado obtenido es de 1,16 mm. Redondeando al alza, se considera una dilatación térmica máxima de 2 mm, también para facilitar los procesos de fabricación. Para el carril, el resultado es de 2,32 mm. Redondeando al alza, el valor tomado para la dilatación térmica máxima es de 3 mm. En cuanto a los huecos creados entre perfiles, no representan un problema para los sistemas de levitación y guiado. Además, el caucho celular puede utilizarse para rellenar cualquier hueco, mejorando así las lecturas de los huecos y proporcionando continuidad entre los perfiles.

8. Soportes

En esta sección, se van a describir los aspectos más relevantes que afectan a los soportes. La función principal de estos elementos es anclar las secciones al suelo. Además, incluyen un sistema de regulación de altura que permite un ajuste sencillo y accesible.

Debajo de cada sección se colocan dos soportes idénticos con un sistema de regulación de altura. No sólo deben cumplirse los requisitos anteriores, sino que también hay que tener en cuenta aspectos como la optimización del volumen y la masa, ya que los soportes se montarán en distintos momentos durante el periodo de pruebas y la semana de la competición. En la Figura 4.1 se muestra una sección de tubo con ambos soportes.



Figura 4.1: Vista individual de una sección con soportes

Como se ha comentado anteriormente, cada sección está anclada por dos soportes, por tanto, el total de la infraestructura está compuesta por 40 soportes cuyo diseño se puede apreciar en la Figura 4.2.



Figura 4.2: Vista del soporte

El soporte está dividido en dos partes principales: por un lado, la parte superior, que está en contacto con el tubo, y por otro lado la parte inferior, que descansa sobre el suelo.

La parte superior del soporte está formada por dos placas de acero en forma de U -con el mismo radio que el radio exterior del tubo- que se asientan en una placa de acero rectangular. La parte inferior del soporte es una pata formada principalmente por dos placas de acero rectangulares y un cilindro de acero.

La pata se apoya en amplias placas de base rectangulares que proporcionan estabilidad; los cálculos de estabilización se incluyen más adelante en esta sección. El cilindro de acero posiciona la infraestructura a una altura adecuada y transmite la carga de la infraestructura al suelo.

Estos cilindros están soldados a la placa base en la parte inferior y a la placa de acero de regulación en la parte superior. Esta última conecta la parte inferior con la superior mediante el sistema de regulación.

El sistema de regulación consta de cuatro varillas roscadas -dos por placa en configuración antisimétrica- que atraviesan la parte superior y la placa de regulación. Cada varilla consta de cuatro tuercas que permiten un ajuste preciso en un rango de 90 mm. El sistema puede verse en la Figura 4.3.

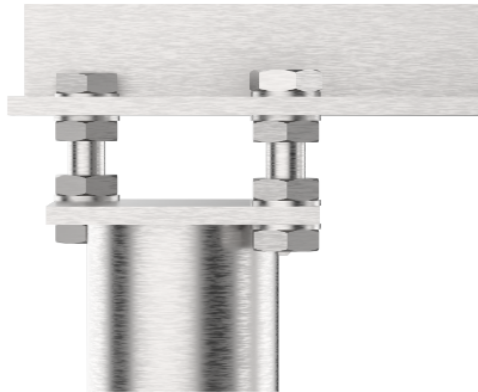


Figura 4.3: Vista del sistema de regulación tuerca-contratuerca

8.1. Cálculo de vuelco

En el siguiente apartado se detalla el cálculo del vuelco tanto de un tramo individual como de toda la infraestructura. Para ello, se ha estudiado el valor de la fuerza que genera el momento de vuelco. En primer lugar, se debe realizar un equilibrio de fuerzas en reposo, en el que se debe obtener la fuerza necesaria para producir el vuelco. Para el caso de una única sección se obtiene el diagrama de fuerzas de la Figura 4.4

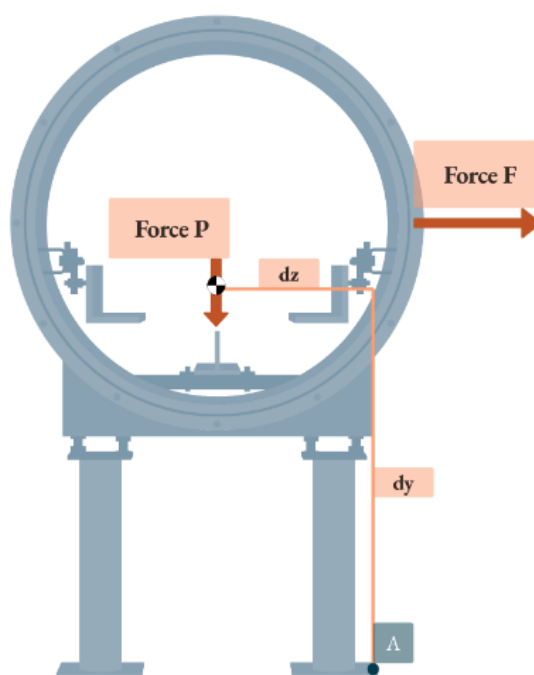


Figura 4.4: Diagrama de fuerzas del cálculo de vuelco

A partir de las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F = 0 \rightarrow F = F_r; N = m \cdot g \quad \sum M = 0 \rightarrow F \cdot dy - P \cdot dz = 0 \rightarrow F = \frac{m \cdot g \cdot dz}{dy} = 2543,43N \quad (4.9)$$

Donde:

- Fr: Fuerza de rozamiento.
- m: Valor del peso de una sección entera es de 683.47 kg.
- dx, dy: Distancias horizontales y verticales respectivamente desde el punto A, donde las fuerzas están aplicadas, creando así el momento.

Es decir, es necesario aplicar una fuerza distribuida a lo largo del área de contacto del tubo superior a 2.544 N para que una sección vuelque. Esta fuerza puede ser generada por diversos factores, siendo el más común el viento.

Por este motivo, el valor de la fuerza que puede ejercer el viento se calcula tanto en Valencia, donde se realizará el montaje, como en Edimburgo, donde tendrá lugar la competición:

$$\sum F = 0 \rightarrow F = F_r; N = m \cdot g F = A \cdot p \cdot Cd \quad (4.10)$$

Siendo:

- A: Área proyectada donde la fuerza del viento está aplicada.
- p: Presión dinámica.
- Cd: Coeficiente de rozamiento de la tubería.

El área proyectada puede obtenerse:

$$\sum F = 0 \rightarrow F = F_r; N = m \cdot g \cdot A = \frac{5,4286}{2} = 2,7143m^2 \quad (4.11)$$

La presión se modela de acuerdo con la normativa española CTE SE-C, incluida en el Anexo, que define la presión dinámica como :

$$\sum F = 0 \rightarrow F = F_r; N = m \cdot g \cdot qb = 0,5 \cdot \rho \cdot v_w^2 \quad (4.12)$$

Donde ρ representa el valor de la densidad en las condiciones ambientales de la ciudad estudiada y v_b el valor máximo de la velocidad del viento.

Por tanto, para el caso de Valencia, la presión media durante los meses de montaje tiene un valor medio de 420 Pa. Dada la zona geográfica en la que se encuentra Valencia, la velocidad del viento es de 25 m/s, según el anexo D de la norma CTE SE-C.

Por último, en cuanto al coeficiente de arrastre, se emplea un valor de 1,5 para tuberías de este diámetro [18]. La fuerza resultante es de 1.710 N, menor que en el caso anterior.

Por tanto, se puede concluir que para el caso de una sola sección en Valencia, la estructura no vuelca.

Siguiendo el mismo procedimiento para el caso de Edimburgo, sólo es necesario recalcular los valores de la velocidad máxima del viento en julio, que es de 22,2 m/s, y la densidad, que es de 1,15 kg/m³. A partir de ahí, se obtiene un nuevo valor de presión dinámica de 0,28 kN/m².

Recalculando el valor de la fuerza, se obtiene un valor de 1.153,78 N, lo que demuestra de nuevo que en este caso tampoco se produce vuelco.

Ahora se ha realizado un estudio completo de la infraestructura. Se emplea ahora el valor del peso total de la infraestructura, que es de 10252 kg. El equilibrio de momentos es:

$$\sum M' = 0 \rightarrow F' \cdot dy - P \cdot dz = 0 \rightarrow F' = \frac{m \cdot g \cdot dz}{dy} = 38151,427N \quad (4.13)$$

Finalmente, se necesitaría una fuerza de 38151 N para que la estructura produjese su vuelco, y dado que las fuerzas del viento en Valencia y Edimburgo fueron de 1710 N y 1754 N respectivamente, se puede concluir que para los 30 m de infraestructura la fuerza del viento no es suficiente para producir el vuelco.

8.2. Toma a tierra

La puesta a tierra se establece principalmente para limitar la tensión que la infraestructura puede presentar en un momento dado respecto al suelo, debido a que se trata de una gran masa metálica. Finalmente, para garantizar el aislamiento eléctrico y cumplir con el Real decreto del Reglamento español ITC-BT-18: Instalaciones de puesta a tierra, se han implantado dos medidas preventivas.

La primera consiste en la conexión del cable de tierra al conector correspondiente de la instalación local de la Universidad de Edimburgo. Como medida de seguridad adicional, se ha implantado también una toma de tierra convencional. Esto es, una varilla de cobre de puesta a tierra con una sección de cableado de $1,5\text{mm}^2$, que se enterrará a una profundidad mínima de 0,5 m y se unirá al tubo mediante una soldadura aluminotérmica, situándose en los apoyos iniciales, tal y como se puede observar en la Figura 4.5 y Figura 4.6. Además, los cables estarán debidamente marcados y cubiertos con material aislante para evitar el contacto directo con las personas [19].

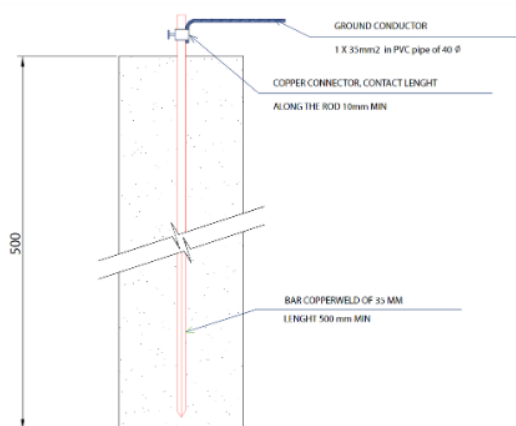


Figura 4.5: Sección de la conexión de toma a tierra

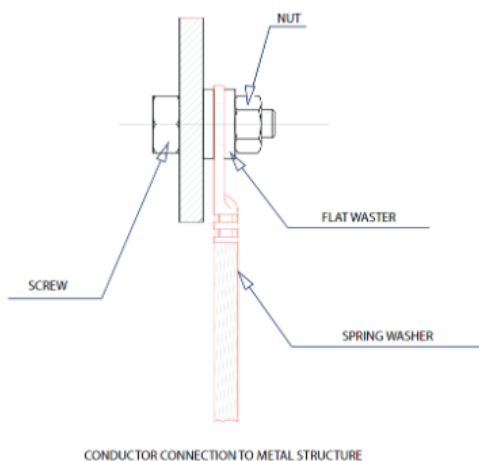


Figura 4.6: Representación del sistema de toma a tierra

9. Simulaciones por el método de los elementos finitos

En este apartado se van a explicar las simulaciones realizadas en los componentes más críticos de la infraestructura. A pesar de los diferentes cálculos iterativos llevados a cabo, solo se van a presentar las simulaciones de los elementos definitivos.

Los principales requerimientos en este apartado son por un lado, que todos los componentes del sistema presenten un factor de seguridad superior a 2. El factor de seguridad hace referencia al cociente entre el límite elástico del material y la tensión máxima de Von-Mises en esa zona de acuerdo con la expresión 4.14

$$SF = \frac{L.E}{\sigma_{Von-Mises}} \quad (4.14)$$

Por otro lado, otro requerimiento es que las deformaciones máximas obtenidas no sean superiores a 0.5 mm.

Este estudio, se llevará a cabo mediante un software de elementos finitos, concretamente, el programa empleado es ANSYS Workbench 19.2.

A continuación, se van a detallar las simulaciones que se han llevado a cabo para la puerta, bisagra, sistema de regulación lateral e inferior y para los soportes. La estructura seguida en cada caso será idéntica. En primer lugar, se explicará la geometría analizada, posteriormente, se comentarán los materiales utilizados así como la técnica de mallado empleada y los contactos establecidos. Finalmente, se detallarán las condiciones de contorno y los resultados obtenidos.

Todo ello, con el módulo "Static Structural" del programa Ansys Workbench. Como se verá, en muchos casos con el objetivo de reducir el coste computacional no se ha simulado la estructura al completo sino con diferentes condiciones de contorno que se han detallado.

A continuación se muestran las propiedades mecánicas más relevantes de los materiales utilizados para estas simulaciones.

En aquellas simulaciones en las que se ha utilizado aluminio, el material aplicado es *Aluminium alloy* de la biblioteca general Granta, que equivale al aluminio 6061-T6, y sus propiedades se pueden ver en la Tabla 1.4.1.

Aluminium alloy	
Densidad [kg/m3]	2,680
Modulo de Young [Pa]	7.3E+10
Coefficiente de Poisson	0.33
Límite elástico [Pa]	2.05E+08
Límite de rotura [Pa]	2.54E+08

Tabla 1.4.1: Propiedades del Aluminio 6061-T6

Para aquellos casos en los que se ha utilizado acero estructural, el material aplicado es *Structural Steel* de la librería Granta Ansys, en concreto, equivale al acero S355 y sus propiedades se pueden ver en la Tabla 1.4.2.

Structural Steel	
Densidad [kg/m ³]	7,850
Módulo de Young [Pa]	2E+11
Coefficiente de Poisson	0.3
Límite elástico [Pa]	2.5E+08
Límite de rotura [Pa]	4.6E+08

Tabla 1.4.2: Propiedades del acero S355

Y cuando se utiliza acero inoxidable, el material empleado es *Stainless Steel* de la librería "Granta Ansys", cuyas propiedades se pueden ver en la Tabla 1.4.3.

Acero inoxidable	
Densidad [kg/m ³]	7,900
Módulo de Young [Pa]	1.98E+11
Coefficiente de Poisson	0.27
Límite elástico [Pa]	4.43E+08
Límite de rotura [Pa]	5.46E+08

Tabla 1.4.3: Propiedades del acero inoxidable

9.1. Puerta

9.1.1. Geometría

En esa simulación, se va a estudiar la situación más crítica para la compuerta es cuando se produce el vacío y la diferencia de presión es máxima. También se han simulado los tornillos, ya que están sometidos a gradientes de presión.

Estos tornillos se han simulado de manera que se ha prescindido de todas las aristas y caras que no aportan ninguna información adicional y solo suponen más elementos en la simulación. Esta simplificación consiste en redondear como un cilindro tanto la cabeza de la misma como la tuerca que le seguiría tal y como se observa en la Figura 4.1.

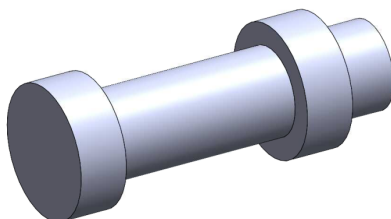


Figura 4.1: Simplificación del conjunto tornillo-tuerca

9.1.2. Mallado

Por lo que respecta a la compuerta, se ha realizado un estudio paramétrico con diferentes espesores para garantizar su correcto funcionamiento con el mínimo espesor.

El método de malla utilizado es *Hex Dominant*. Los tamaños de malla empleados son los siguientes: 8 mm para la tapa de acero, 4 mm para la tapa de metacrilato y 2 mm para los tornillos. Estos parámetros se pueden ver en la Tabla 1.4.4.

Componente	Material	Método	Tamaño elemento [mm]
Tapa de acero	Structural Steel	Hex Dominant	8
Tapa de metacrilato	Metacrilato	Hex Dominant	4
Tornillos	Structural Steel	Hex Dominant	2

Tabla 1.4.4: Parámetros de mallado puerta

9.1.3. Contactos

Como es de esperar, un contacto se da cuando 2 superficies separadas entran en contacto hasta encontrarse una tangente a la otra [20]. Existen diferentes tipos de contactos en Ansys Workbench, a continuación se van a detallar la función de los utilizados en estas simulaciones :

- Bonded: No permite que las caras y aristas seleccionadas se separen ni se deslicen entre sí. El contacto es lineal, y podríamos decir que es lo equivalente a “pegar” ambas piezas.
- Frictionless: Contacto “sin fricción”. Se permite que las superficies y aristas de contacto se separen y deslicen libremente. el coeficiente de fricción es 0.
- Frictional: El usuario introduce el coeficiente de fricción al elemento (ha de vencer la fuerza de corte que se genera con ese coeficiente para poder empezar a deslizar)

En este caso, el único contacto que existe es el que hay entre los tornillos y el agujero pasante de la puerta. Para este caso, se ha empleado un frictionless entre las superficies en contacto.

9.1.4. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno utilizadas se pueden observar en la Figura 4.2:

- *Bolt Pretension* en los orificios de los tornillos, par aplicarles el pretensado al que están sometidos en el momento en el que se genera vacío.

- El desplazamiento en el eje Z está restringido debido al contacto entre la compuerta y la brida.
- La presión se ejerce sobre la superficie interior de la compuerta, y es igual a la diferencia de presión entre el interior y el exterior $-0,09$ MPa- lo que equivale a una presión interior de 100 mbar.

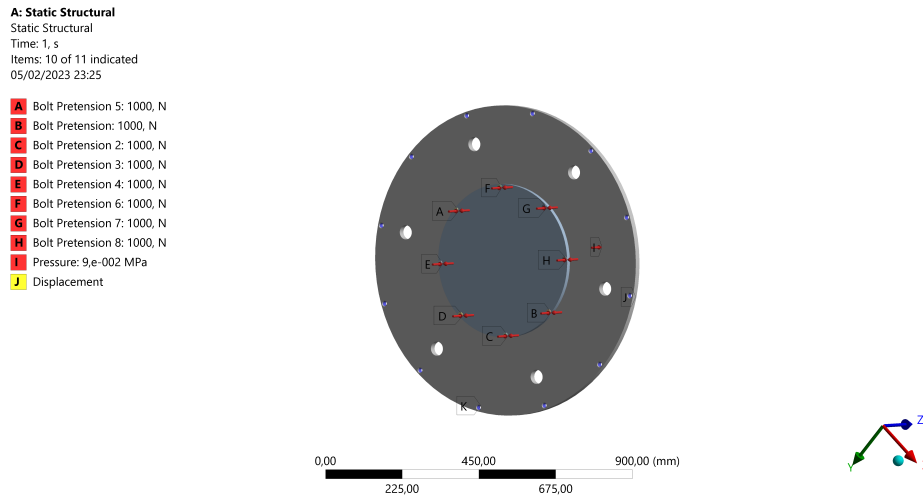


Figura 4.2: Condiciones de contorno de la puerta

9.1.5. Resultados

Los resultados de deformación, como era de esperar, son del orden de 1 mm. El valor de deformación más alto es de 0,95 mm, como se observa en la Figura 4.3. Se trata de valores razonables para un gradiente de presión de 0,09 MPa.

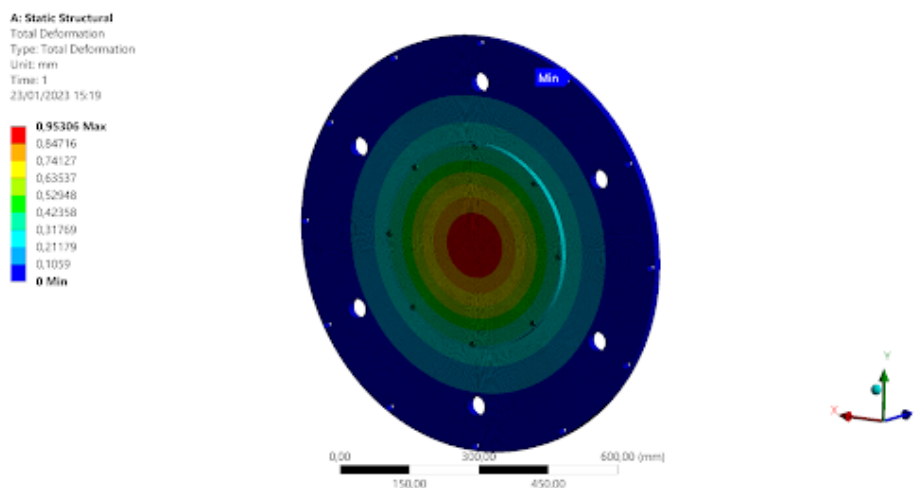


Figura 4.3: Deformación total de la puerta

En cuanto al factor de seguridad, se ha obtenido un valor superior a dos -concretamente 2,26- como se observa en la Figura 4.4. El factor de seguridad cumple los requisitos y la deformación es notablemente pequeña, lo que basta para garantizar que no aparecerá ninguna interferencia para un espesor de 20 mm de acero para la compuerta y de 30 mm para la cubierta de metacrilato.

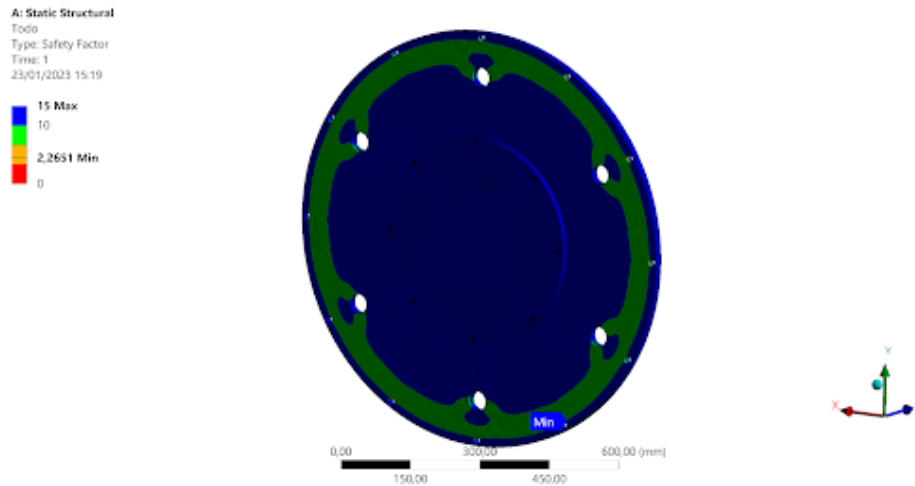


Figura 4.4: Factor de seguridad de la puerta

9.2. Bisagra

9.2.1. Geometría

El principal factor a tener en cuenta en esta simulación es que resista el peso de la puerta, que se aplica desde su centro de gravedad.

La principal simplificación realizada en esta simulación ha sido el pasador. Este presenta una parte roscada en sus extremos que se ha obviado y supuesto como si fuese lisa como se puede ver en la Figura 4.5



Figura 4.5: Geometría del pasador simplificado

9.2.2. Mallado

La situación más crítica para la bisagra se produce cuando la puerta está totalmente abierta y por tanto, el momento al que se somete la misma es el máximo ya que la distancia desde donde se aplica el peso de la puerta es el mayor.

El tipo de malla utilizado es *Hex Dominant*. Los tamaños de malla son: 4 mm tanto para las piezas fijas como para las móviles, 2 mm para el cilindro pasador y el rigidizador en forma de X, y 0,5 mm para los cojinetes de la brida lubricada. Estos parámetros pueden verse en la Tabla 1.4.5.

Componente	Material	Método	Tamaño [mm]
Pieza fija	Structural Steel	Hex Dominant	4
Pieza móvil	Structural Steel	Hex Dominant	4
Pasador	Structural Steel	Hex Dominant	2
Rigidizador	Structural Steel	Hex Dominant	2
Cojinetes	Cobre	Hex Dominant	0.5

Tabla 1.4.5: Parámetros de mallado bisagra

9.2.3. Contactos

Los contactos empleados en la simulación de la bisagra afectan principalmente a la unión entre los cojinetes y las 2 piezas centrales.

- Se ha empleado *Frictionless*, para los contactos entre el pasador y los cojinetes, ya que durante el funcionamiento del mecanismo de la bisagra estos deslizan con respecto al pasador. La unión de los cojinetes entre sí también se ha simulado de esta forma.
- Para simplificar la simulación, se ha empleado *Bonded* para el contacto entre las piezas centrales con los cojinetes de valona.

9.2.4. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno aplicadas son las descritas en la Figura 4.6:

- *Fixed Support*, para indicar que en el momento de la simulación las caras están fijas. En este caso, las caras de las piezas centrales están soldadas a la puerta y a la tubería respectivamente.
- El desplazamiento en el eje Y se ha restringido debido al contacto entre la puerta y la bisagra.
- La carga es una fuerza remota aplicada desde el centro de gravedad de la compuerta.

A: Static Structural

Static Structural
Time: 1, s
05/02/2023 23:29

- Fixed Support
- Remote Force: 800, N
- Displacement

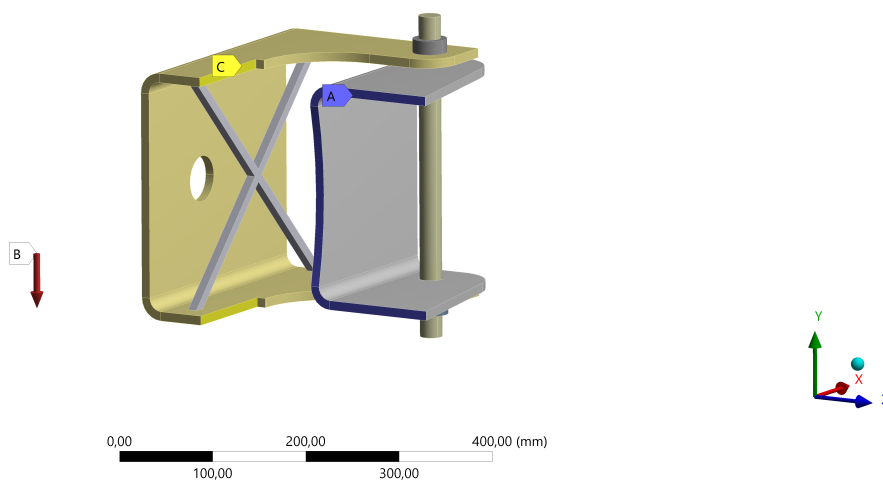


Figura 4.6: Condiciones de contorno de la bisagra

9.2.5. Resultados

La deformación máxima esperada es del orden de 1 mm como puede verse en la Figura 4.7, por lo que se puede concluir que el rigidizador evita la deformación de la pieza móvil, que es la zona donde se produce la máxima deformación.

A: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
23/01/2023 15:44

15 Max
10
3,5573 Min
0



Figura 4.7: Deformación total de la bisagra

Una vez realizada la simulación, que se puede ver en la Figura 4.8, el factor de seguridad más bajo se encuentra en la zona de desplazamiento entre la puerta y la bisagra, ya que son los componentes encargados de soportar prácticamente la totalidad de la fuerza. El mencionado valor más bajo del factor de seguridad está por encima del mínimo exigido de 2.

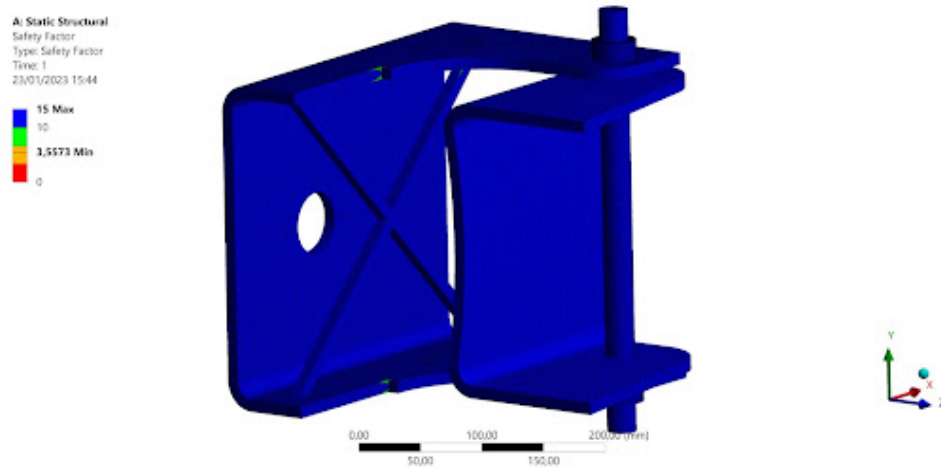


Figura 4.8: Factor de seguridad de la bisagra

Por tanto, se puede determinar que un espesor de 10 mm resiste el peso de la compuerta. La adición del rigidizador en forma de X en la pieza izquierda y el cilindro pasador con los cojinetes de valona lubricados han contribuido a lograr mejores resultados de deformación y tensión.

9.3. Sistema de regulación lateral

9.3.1. Geometría

Para esta simulación se ha analizado uno de los dos sistemas de regulación lateral de los que se dispone .

Las fuerzas consideradas para la simulación en el sistema de regulación son el peso del vehículo, las fuerzas de atracción máximas de las unidades EMS y HEMS y la fuerza del sistema de frenado. Es importante conocer la deformación máxima de cada pieza y de toda la estructura, ya que ha de mantener el sistema en condiciones de seguridad y no perturbe el vehículo en una demostración. El criterio límite de deformación se ha establecido en 0,2 mm, ya que se trata de una zona crítica para la levitación, y el factor de seguridad debe ser superior a 2.

Se han realizado tres simulaciones diferentes para garantizar el funcionamiento seguro del sistema lateral, ya que todas las fuerzas enumeradas anteriormente no pueden aparecer al mismo tiempo y con sus valores máximos. Los distintos escenarios posibles se describen detalladamente a continuación en esta sección.

9.3.2. Mallado

La misma malla se comparte entre las tres simulaciones, donde el método de mallado aplicado es *Hex Dominant*. Los tamaños de malla empleados son los siguientes: 6 mm para los perfiles en L, 4 mm para las pletinas y 2 mm para los perfiles cuadrados, placas de acero y tornillos. Estos parámetros pueden verse en la Tabla 1.4.6.

Componente	Material	Método	Tamaño [mm]
Perfiles en L	Structural Steel	Hex Dominant	6
Tornillos	Structural Steel	Hex Dominant	2
Pletinas	Aluminium Alloy	Hex Dominant	4
Placas de acero	Structural Steel	Hex Dominant	2
Perfiles cuadrados	Structural Steel	Hex Dominant	2
Tube anchorings bolts	Structural Steel	Hex Dominant	2

Tabla 1.4.6: Parámetros de mallado sistema de regulación lateral

9.3.3. Contactos

Los contactos empleados en esta simulación se detallan a continuación:

- *Bonded* para los contactos entre la cabeza de los tornillos avellanados y el perfil en L. También se ha simulado mediante este contacto las superficies de las tuercas con las placas y los perfiles en L.
- *Frictionless* se ha empleado para los contactos entre el vástago de todos los tornillos y las ranuras correspondientes de cada plancha. También se ha empleado para el contacto entre las caras de los perfiles cuadrados y las placas de acero.

9.3.4. Condiciones de contorno

- En primer lugar, es necesario asegurarse de que este sistema es capaz de soportar el peso del vehículo cuando el sistema de levitación y guiado no funcionan. Por lo tanto, se realiza una simulación de este escenario. Este escenario lo denominaremos como Caso I.

Las condiciones de contorno utilizadas son las siguientes

- Se ha simulado la mitad del sistema para reducir el coste computacional.
- Se ha aplicado una fuerza de 1000 N, correspondiente a la mitad del peso del vehículo. Se ha aplicado sobre dos elipses que simulan el contacto de las ruedas sobre el perfil en forma de L.
- Por último, se han aplicado *Fixed Support* en aquellas partes del perfil cuadrado que están soldadas al tubo.

Las condiciones de contorno mencionadas pueden verse en la Figura 4.9.

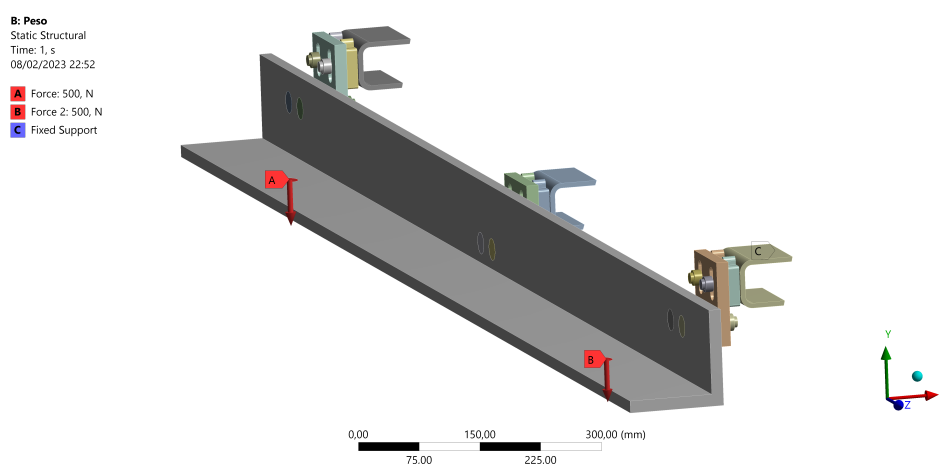


Figura 4.9: Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso I

- A continuación, se realiza una simulación para comprobar las fuerzas laterales del HEMS y el EMS. Este caso se va a denotar mediante el subíndice Caso II.

Las fuerzas utilizadas representan los valores máximos de ambos sistemas y se suponen como el peor escenario posible, sin la presencia de guiados, y como suma de fuerzas en caso de descontrol de los sistemas electromagnéticos. La configuración de la simulación puede verse en la Figura 4.10.

La dirección de la fuerza se debe al principio de acción-reacción. Para el HEMS, al estar situado en la zona inferior del perfil, la fuerza se aplica hacia abajo ya que intenta empujar la parte horizontal hacia abajo al levitar. Y para el EMS la dirección de la fuerza es ahora horizontal mirando hacia el vehículo ya que es atraído por el EMS. Los valores considerados para las fuerzas son los siguientes:

- 400 N para el EMS.
- 1.000 N para el HEMS.

Las condiciones de contorno aplicadas para la simulación son las mismas que las utilizadas en la simulación anterior, cambiando únicamente las superficies donde actúan las fuerzas y su valor. Las condiciones de contorno se pueden ver en la Figura 4.10.

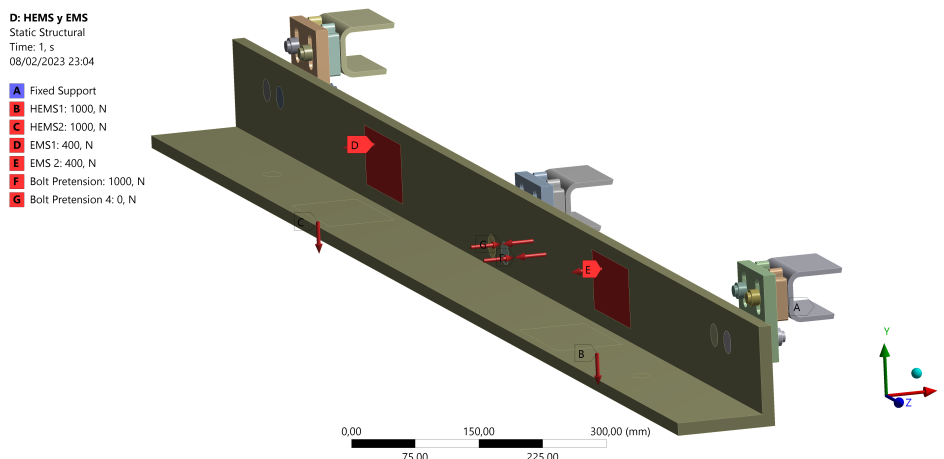


Figura 4.10: Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso II

- Por último, se ha realizado el Caso III que se trata de una simulación considerando únicamente la fuerza de frenado de los actuadores neumáticos, ya que en caso de frenada de emergencia el vehículo se apaga por lo que ni el HEMS ni el EMS están en funcionamiento. En este caso, los actuadores se han modelado como rectángulos con el tamaño y la anchura de las placas de frenado. La fuerza realizada por estos actuadores se ha separado en dos componentes debido a la fuerza de frenado:

- Un componente en el eje X, referido a la fuerza normal a la pastilla de frenado con un valor de 1150 N.
- Una componente en el eje Z, debida a la fuerza de rozamiento con una magnitud de 402 N.

Las condiciones de contorno utilizadas para este caso han sido las mismas que las utilizadas en las dos simulaciones anteriores, se pueden ver en la Figura 4.10.

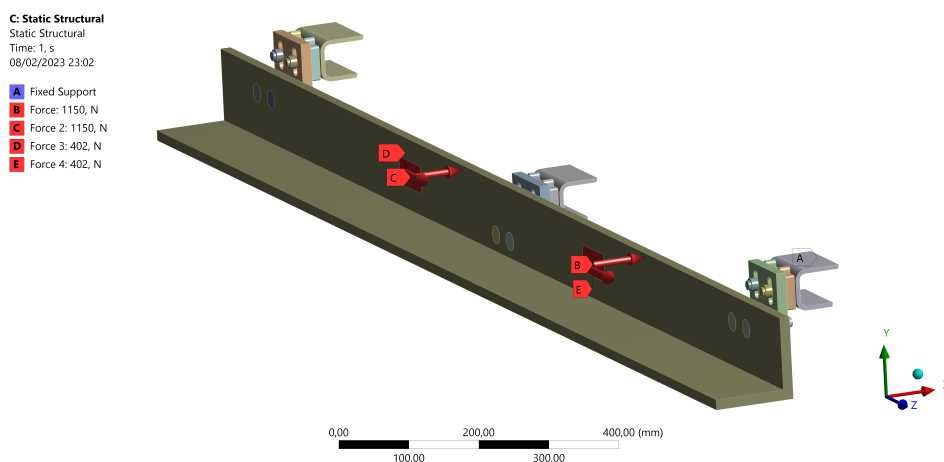


Figura 4.11: Condiciones de contorno del sistema de regulación lateral para el Caso III

9.3.5. Resultados

- **Caso I:** Una vez finalizada la simulación, como puede observarse en la Figura 4.12, la mayor deformación -0,18 mm- se encuentra en los extremos del perfil en forma de L, ya que la fuerza se distribuye por esta parte. El factor de seguridad más bajo muestra un valor de 3,16, y se localiza en la ranura del sistema de regulación medio que, por su altura, soporta la mayor parte del peso.

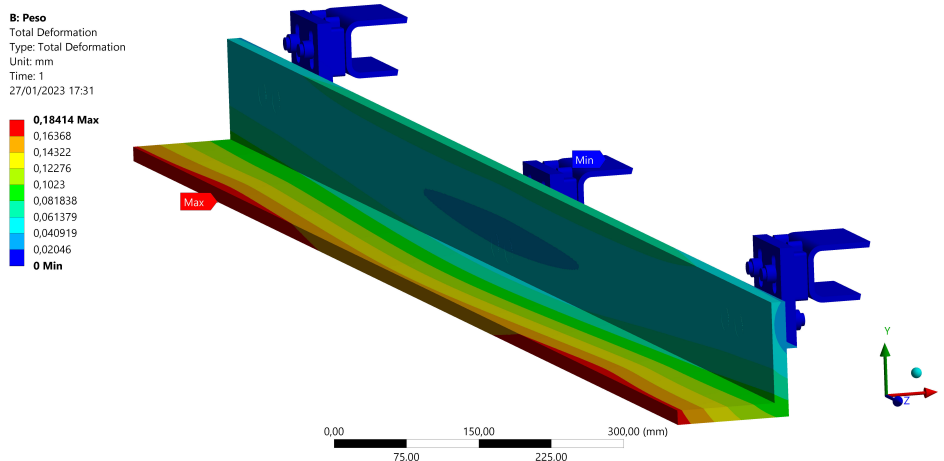


Figura 4.12: Deformación total del sistema de regulación lateral para el Caso I

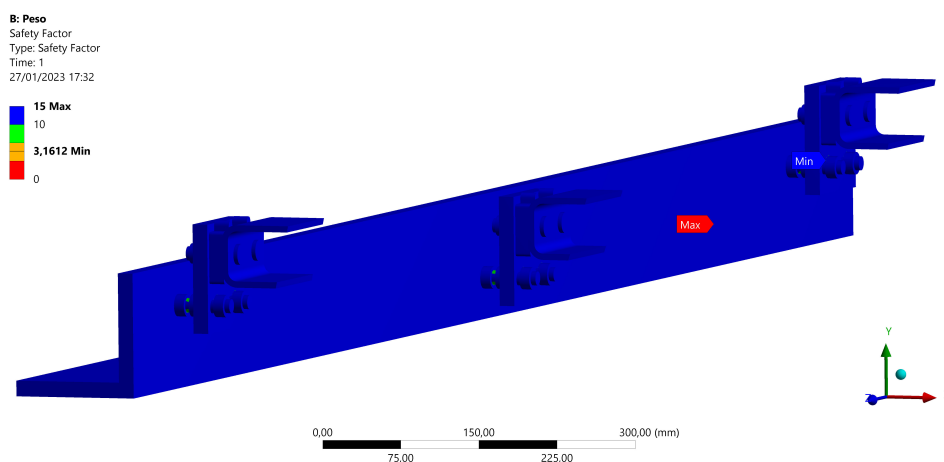


Figura 4.13: Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso I

- **Caso II:** La deformación máxima obtenida es de 1,53 mm, que se encuentra en el extremo del perfil en forma de L, a 12,5 mm de distancia del HEMS. Esta distancia es tal que la deformación no presenta ningún problema, como puede verse en la figura 4.14. Además, debe garantizarse que el factor de seguridad más bajo sea superior a dos. Esto se ha conseguido, con un valor de 5,19, como puede verse en la Figura 4.15.

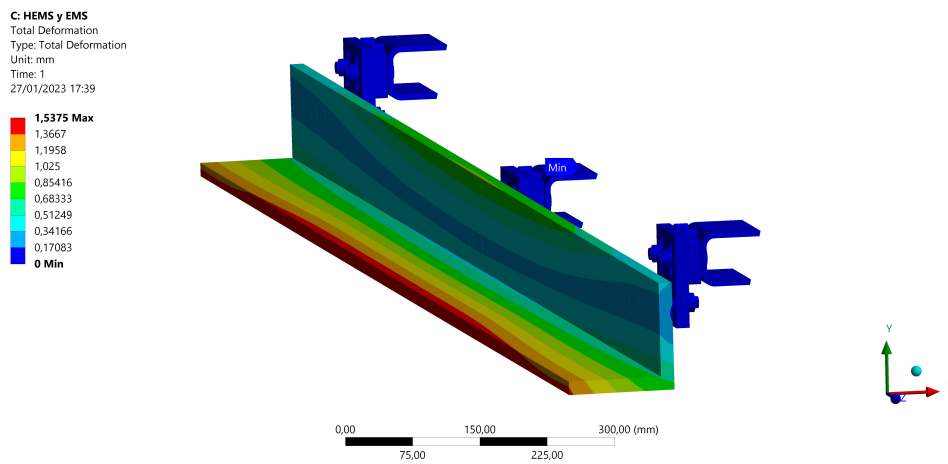


Figura 4.14: Deformación total del sistema de regulación lateral para el Caso II

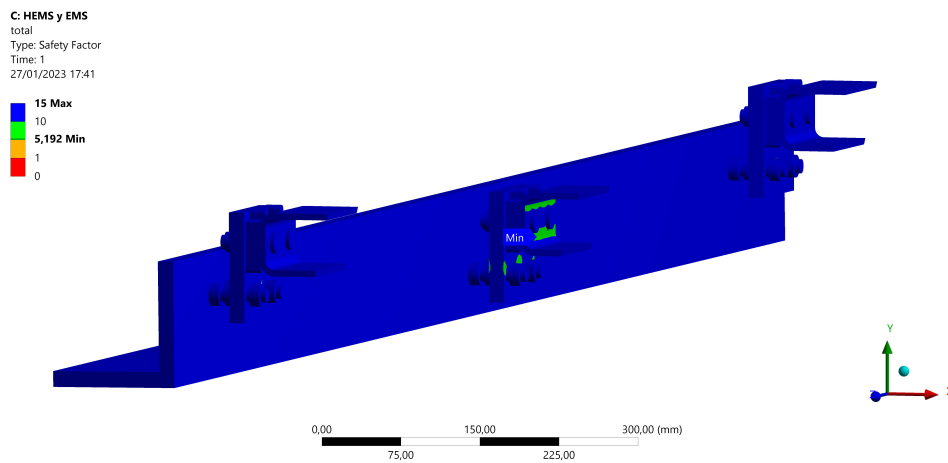


Figura 4.15: Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso II

- **Caso III:** Por lo tanto, como puede observarse en la figura 4.17, el factor de seguridad con un valor de 9,27, y la deformación máxima, es notablemente pequeña, 0,33 mm, lo que es suficiente para garantizar que no aparecerán interferencias.

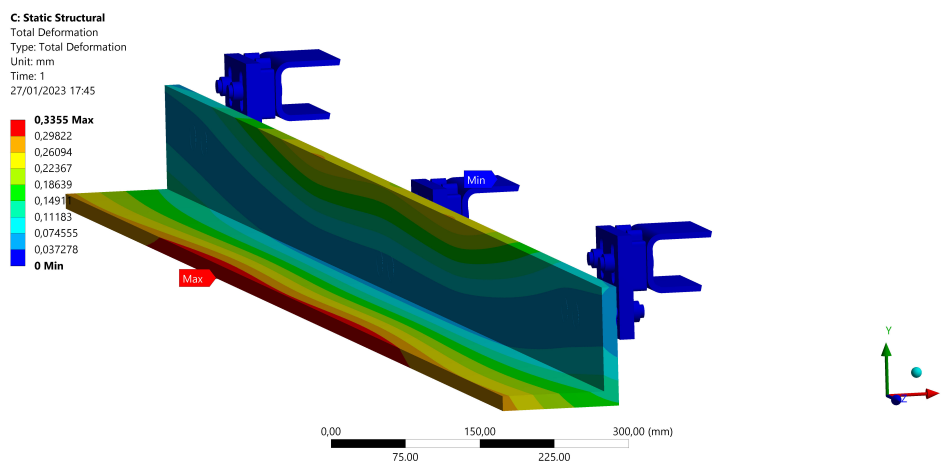


Figura 4.16: Deformación del sistema de regulación lateral para el Caso III

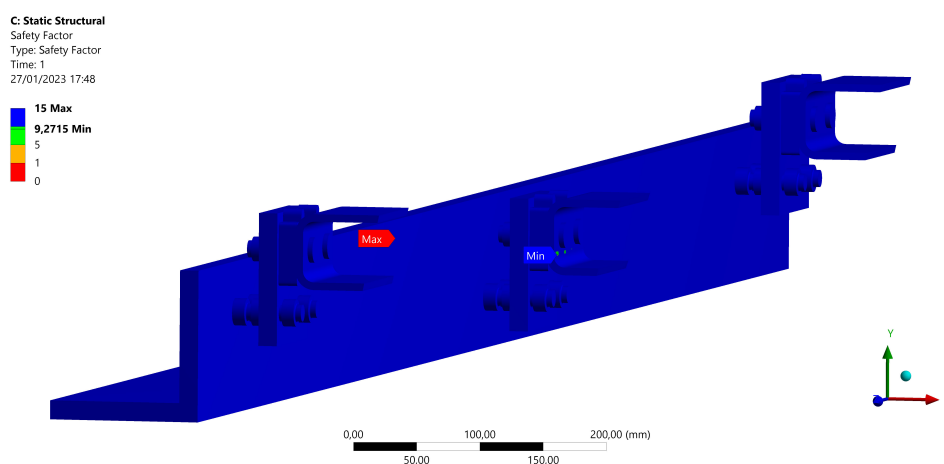


Figura 4.17: Factor de seguridad del sistema de regulación lateral para el Caso III

9.4. Sistema de regulación inferior

9.4.1. Geometría

En esta simulación se ha analizado únicamente el raíl ya que dicho mecanismo está expuesto simplemente a la fuerza máxima que generaría el motor en caso de impacto con el raíl, por lo que este es el único factor a tener en cuenta. Así pues, no se han añadido ni los perfiles cuadrados ni las placas correspondientes.

Nuevamente, el criterio límite de deformación se ha establecido en 0,2 mm, ya que se trata de una zona crítica para la tracción, y el factor de seguridad debe ser superior a 2.

9.4.2. Mallado

Para los parámetros de mallado, se ha aplicado el método *Hex Dominant* de 5 mm a todo el carril, y un refinamiento de malla de 2,5 mm a la zona de contacto. El material utilizado es *Aluminum Alloy*.

9.4.3. Contactos

Para esta simulación, dado que únicamente se analiza la influencia del raíl, no hay elementos en contacto. Por tanto, se puede prescindir de cualquier tipo de contacto.

9.4.4. Condiciones de contorno

Dado que el rail no soportará ninguna fuerza vertical aparte de su propio peso, la única simulación que hay que realizar es la que considera la fuerza horizontal generada por el DLIM. Esta fuerza es transmitida al carril por el sistema de guiado horizontal inferior en caso de que el vehículo colisione lateralmente.

Para recrear el peor escenario posible, se ha simulado la fuerza máxima generada por el motor con el contacto de las ruedas con el carril. Para ello, se ha aplicado un *Fixed support* a los taladros del carril y una fuerza de 1300 N aplicada horizontalmente a las elipses que representan la zona de contacto de las ruedas. Las condiciones de contorno se pueden ver en la Figura 4.18.

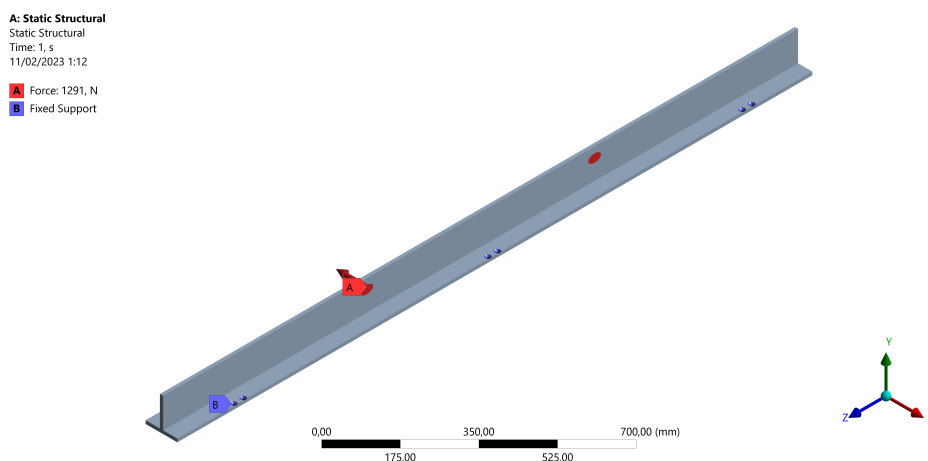


Figura 4.18: Condiciones de contorno del rail

9.4.5. Resultados

Los resultados cumplen los requisitos y pueden verse en la Figura 4.19 y en la figura 4.20.

Las simulaciones muestran resultados positivos ya que por un lado, el factor de seguridad es muy superior a 2, y por otro lado, la deformación máxima no supera los 0,5 mm y no se generan fuertes concentradores de tensiones. Así pues, se puede concluir que la fuerza generada por el DLIM no supone desviaciones excesivas en la deformación del rail y por tanto, el sistema de regulación inferior no sufrirá ningún esfuerzo que dañe la integridad de la propulsión del vehículo.

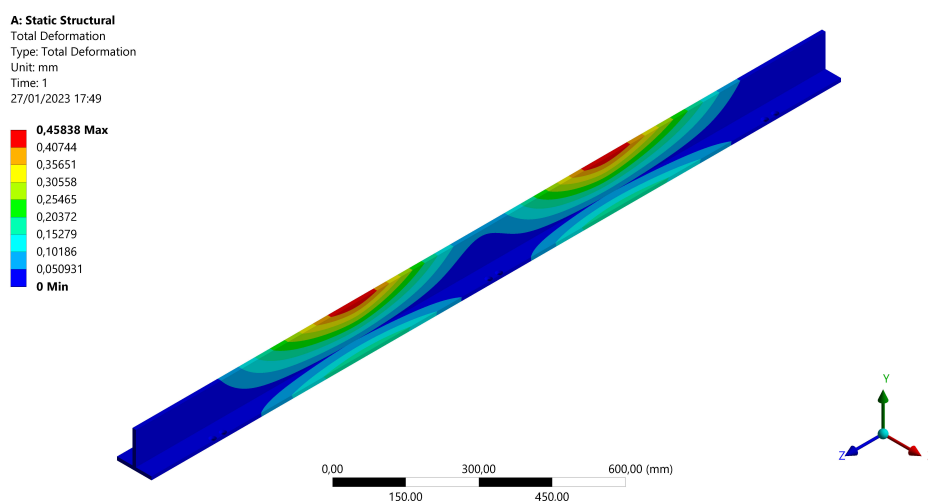


Figura 4.19: Deformación total del rail

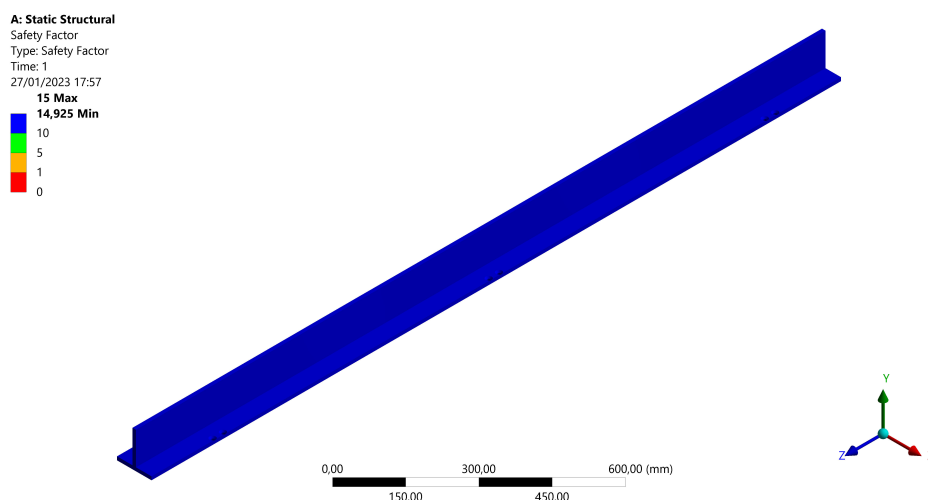


Figura 4.20: Factor de seguridad del rail

9.5. Soportes

9.5.1. Geometría

Los soportes son los encargados de soportar el peso de cada sección, de este modo, se van a simular las 2 patas de los soportes junto con las placas de acero en forma de U. Además, la plancha de la zona de abajo simula el contacto de las patas con el suelo, donde se va a suponer el coeficiente de fricción correspondiente entre los mismos.

9.5.2. Mallado

En cuanto a los parámetros de mallado, estos se enumeran en la siguiente Tabla:

Componente	Material	Método	Tamaño [mm]
Suelo	Structural Steel	Hex Dominant	20
Planchas rectangulares	Structural Steel	Hex Dominant	10
Placas en forma de U	Structural Steel	Hex Dominant	5
Barillas	Structural Steel	Hex Dominant	5
Tornillos	Structural Steel	Hex Dominant	2

Tabla 1.4.7: Parámetros de mallado soportes

9.5.3. Contactos

Los contactos empleados en esta simulación han sido:

- *Frictional* para imitar el contacto de los apoyos con el pavimento. En este caso puesto que se trata de un acero en contacto con otro material como asfalto, en este caso se ha supuesto 0.5.
- *Frictionless* en los contactos de las barillas con los agujeros de las placas de acero en forma de U.

- *Bonded* para el contacto de las tuercas con la plancha de las patas y la superficie de contacto de la plancha en forma de U.

9.5.4. Condiciones de contorno

Para simplificar las simulaciones, sólo se considera un conjunto de soportes con la mitad del peso de una sección -incluidos el interior y las bridas-. La fuerza se aplica directamente a la parte superior, y la estructura se simula con un suelo ficticio para imitar el contacto de los apoyos con el suelo. Las condiciones de contorno pueden verse en la figura 4.21.

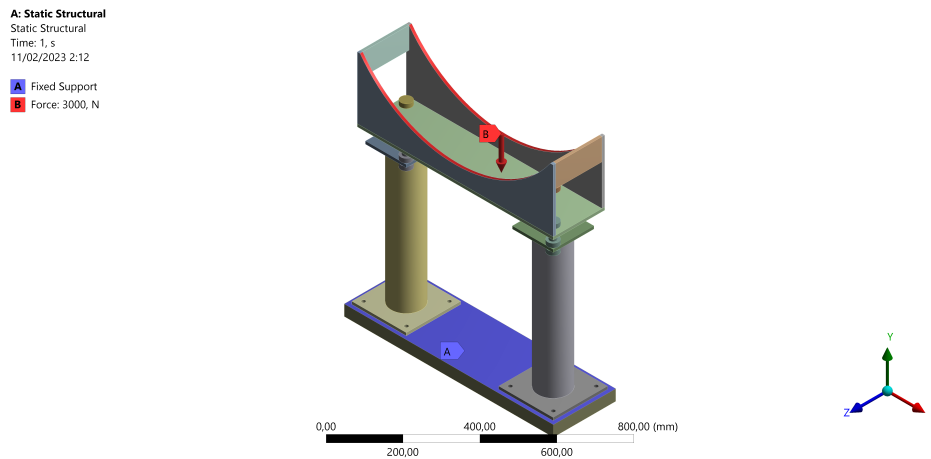


Figura 4.21: Condiciones de contorno soportes

9.5.5. Resultados

Las simulaciones muestran resultados con un factor de seguridad muy superior a 2, y con una deformación máxima despreciable y sin concentradores de esfuerzos significativos como se puede observar en la Figura 4.22 y Figura 4.23 respectivamente.

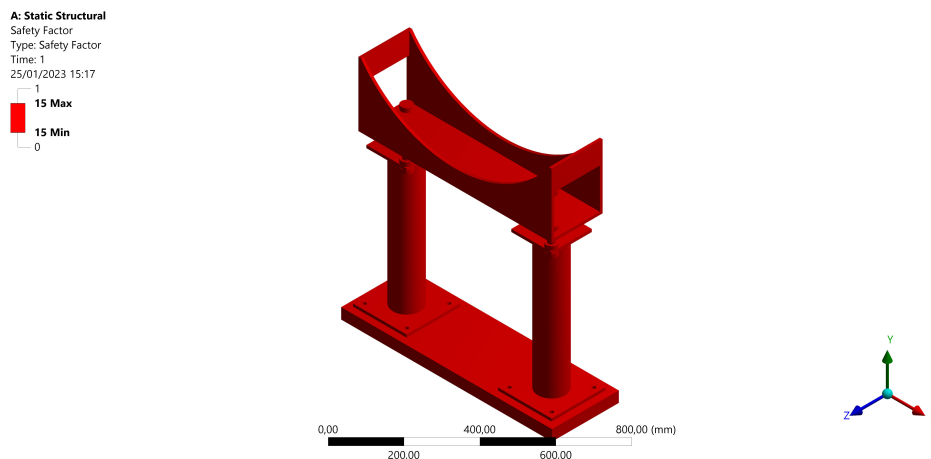


Figura 4.22: Factor de seguridad soportes

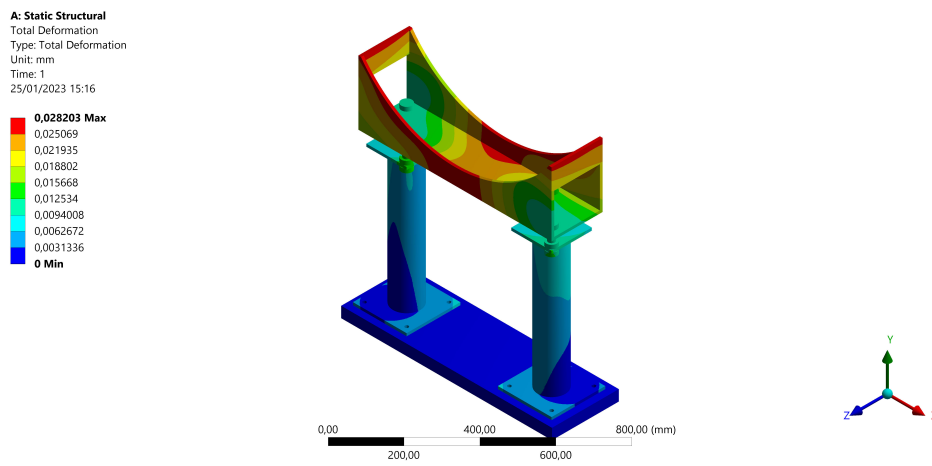


Figura 4.23: Deformación total soportes

Capítulo 5

Fabricación y montaje

En este capítulo se va a describir el procedimiento utilizado para la fabricación y montaje de la infraestructura.

1. Fabricación

Respecto a la fabricación de la infraestructura son diversas las empresas que han querido ayudar a su implementación. Debido al presupuesto del equipo, la mayoría de los mecanizado descritos se han realizado por medio de patrocinios de diferentes empresas que deciden ayudar al progreso del equipo.

De este modo, son diversas las empresas que han intervenido en este proceso. A continuación, se van a listar las piezas utilizadas y las empresas correspondientes.

Primeramente, los 30 metros de tubo consisten en 15 planchas de 2 metros de acero inoxidable que se han de violar en una calderería para darle la forma correspondiente tubular. Así, la empresa encargada de proporcionar el material de planchas de acero inoxidable ha sido Acerinox, mientras que la empresa encargada de violar las correspondientes planchas ha sido Talleres Villalón.

Seguidamente, todas las bridas y puertas numeradas y sus correspondientes corte láser y mecanizado han sido manufacturadas por la empresa Tecinsa.

- IN-A001-A002-A002-BridaMecanizadoPlanacajera-rectangular
- IN-A001-A002-A002-BridaMecanizadocajera-rectangular
- GA-A001-P01-M-Puerta InfraestructuraVentana
- GA-A001-P02-M-VentanaMetracilato

Por su parte, la bisagra ha sido realizada por otra empresa de mecanizado y corte láser, en este caso DeMetal. Se ha encargado de realizar estas piezas.

- HI-A001-P03-C-Pieza1Bisagra
- HI-A001-P04-C-Pieza2Bisagra
- HI-A001-P01-M-CilindroPasador
- HI-A001-P09-M- NervioX
- HI-A001-P10-M-AsaPuerta

Por otro lado, las piezas de corte láser por aluminio han sido manufacturadas por la empresa LaserBoost.

- PS-A001-P14-M-Pletinas Regulacion- ShimsConjunto5mm
- IN-A001-A001-P07-M-PletinasRegulacion5mm- Shims

El raíl, se trata de una extrusión de aluminio que se ha llevado a cabo por la empresa Hydro. Y la perfilera en L, manufacturada por Initube.

- IN-A001-A001-P01-M-T Rail
- PR-A001-P03-M- Perfil L - L Profile

Los perfiles cuadrados y planchas reguladoras utilizadas para la sujeción de los sistemas de regulación laterales e inferiores han sido mecanizados y proporcionados por la empresa Gómez Madrid.

- IN-A001-A001-P03-M-Perfil cuadrado
- PS-A001-P05-M-PerfilCuadrado- SquareProfile
- IN-A001-A001-P02-M-Plancha
- PL-A001-P02- M-Placa

Finalmente, los soportes de la infraestructura han sido cortados y soldados por la empresa SergiMetall.

- IN-A010-A001-P01-M-Tapa-trasera
- IN-A010-A001-P02-M-Tapa-inferior
- IN-A010-A001-P03-M-Tapa-lateral
- IN-A010-A002-P01-M-Base-reguladora-inferior
- IN-A010-A002-P02-M-Tubo-largo
- IN-A010-A002-P03-M-Base-suelo

1.1. Materiales

Los materiales empleados han sido principalmente acero y aluminio. Las aleaciones y propiedades mecánicas de los mismos ya han sido explicadas y detalladas en la Sección 9.

1.2. Proceso de manufactura

El proceso de manufactura de todas las piezas se ha realizado en primer lugar, por medio de una máquina de corte láser. A continuación, en función del componente, se ha empleado un tipo maquinaria.

Para todas las operaciones de mecanizado se ha empleado una maquina CNC de 3 o 5 ejes que permiten mecanizar hasta piezas de 1200x1040x650 mm. Como por ejemplo el ranurado realizado a las bridas con ranura rectangular.

El resultado final de algunas piezas por separado se observan desde la Figura 5.1 y Figura 5.5.



Figura 5.1: Tubería cilíndrica



Figura 5.2: Placas y planchas de ajuste



Figura 5.3: Perfiles cuadrados del sistema de regulación

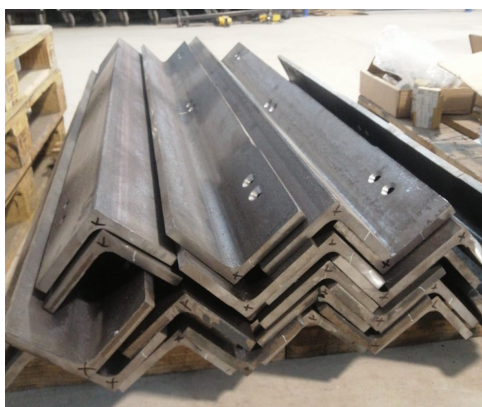


Figura 5.4: Perfiles angulares en L



Figura 5.5: Bisagra

2. Montaje

A lo largo de esta sección y del documento en general se han descrito todas las piezas empleadas, a falta de los componentes comerciales utilizados. Así pues, en la siguiente Tabla se van a detallar :

Nombre	Descripción	Unidades
DIN 934	Tuerca M22	644
DIN 125	Arandela M22	644
DIN 912	Perno cabeza Allen M8	80
DIN 7991	Perno de cabeza avellanada M8	80
DIN 934	Tuerca M8	176
DIN 125	Arandela M8	160
DIN 933	Perno de cabeza hexagonal M12	496
DIN 7991	Perno de cabeza avellanada M12	240
DIN 933	Perno de cabeza hexagonal M12	192
DIN 934	Tuerca M12	1216
DIN 125	Arandela M12	960
DIN 975	Varilla roscada 240 mm	160
Cojinete de Valona	Cojinete de fricción para bisagra	8
O-Ring FPM	Junta tórica $\Phi 40mm$	2
O-Ring NBR	Junta tórica $\Phi 840mm$	25
Grasa para vacío	Grasa para juntas	2
Sellador de juntas	Sellador de juntas vacío	1

Tabla 1.5.1: Componentes comerciales

Por lo que respecta a los componentes comerciales que garantizan la estanqueidad de la infraestructura quedan detallados en la siguiente Tabla:

Nombre	Descripción	Unidades
KF Bridas con tubuladura	DN 40 ISO-KF	16
Arandela de sujeción ISO-KF	DN 40 ISO-KF	16
Arandela de sujeción ISO-KF	DN 16 ISO-KF	2
Arandela de centrado ISO-KF	DN 40 ISO-KF	16
Arandela de centrado ISO-KF	DN 16 ISO-KF	2
Bridas ciegas ISO-KF	DN 40 ISO-KF	16
Bridas ciegas ISO-KF	DN 16 ISO-KF	2
Reductor ISO-KF	DN 16/40 ISO-KF	2
Digital PIEZOVAC Sensor PV 101	Sensor presión	2

Tabla 1.5.2: Componentes vacío

Una vez explicados los procesos de manufactura de todas las piezas, se va a detallar el proceso de montaje del interior, bridas, bisagra y puerta. Cabe destacar que la soldadura de todos estos elementos los ha realizado Uniweld, una empresa especialista en soldadura.

La soldadura empleada es soldadura MIG -Metal Inert Gas-. Este método de soldadura consiste en la creación de un arco eléctrico fundiendo el hilo de metal que une las dos piezas deseadas. A pesar de no ser la soldadura más indicada para una aplicación de vacío donde se evitan las porosidades, se ha decidido emplear esta debido a su rapidez y acabado.

Para ello, el primer paso consiste en la soldadura de la parte interior. Esta soldadura se ha realizado mediante el diseño de un útil como se muestra en la Figura 5.1

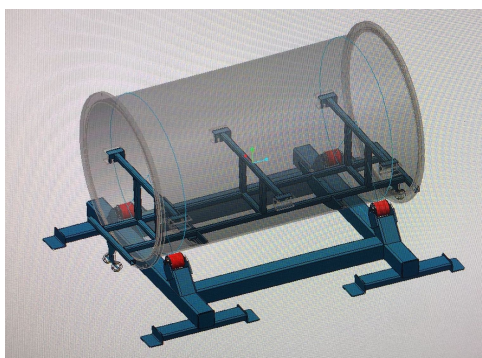


Figura 5.1: Útil soldadura interior

Con este útil se consiguen fijar las posiciones de los perfiles cuadrados de manera que variando su posición en el eje longitudinal se consigue la distancia establecida.

Una vez fijados los útiles, el siguiente paso consiste en la soldadura de estos perfiles a las paredes internas de la tubería quedando como resultado la siguiente Figura:



Figura 5.2: Soldadura interior tubería

El segundo paso consiste en la soldadura de las bridas a la tubería. Para ello, tal y como se puede ver en la Figura 4.4 en el propio diseño de la brida se ha establecido un bisel por el que poder tirar el cordón de soldadura. De este modo, tal y como se suele trabajar en instalaciones de vacío el cordón de soldadura se encuentra por dentro de la instalación.

Una vez se tiene todo el interior ya soldado y montado se puede puntear todas las bridas para fijar así su posición. Una vez punteadas en su posición final, ya se puede tirar el cordón correspondiente como se ve en la Figura 5.3.



Figura 5.3: Brida punteada en el tubo

La puerta consiste en una tapa de acero de 20 mm de espesor que permite el sellado de la infraestructura. Para ello, se ha soldado a ella en primer lugar la parte móvil de la bisagra y en segundo lugar, las bridas

ISO KF con tubuladura. En último lugar, el asa de la puerta y una pieza que permite la sujeción de la misma mediante una grúa plegable como se observa en la Figura 5.4.



Figura 5.4: Puerta con accesorios

Con todo esto se puede montar la bisagra que permitirá la apertura y cierre de la infraestructura. En primer lugar, se soldará la pieza fija a la parte exterior del tubo. Con esta pieza ya soldada, se puede soldar la pieza móvil a la puerta, asegurando la concentricidad de los dos agujeros mediante la introducción del pasador entre ellas.

Por último, solo queda detallar el procedimiento seguido para el montaje de las diferentes secciones de la infraestructura. Para ello, se han tenido en cuenta los siguientes problemas:

- Alineamiento de las secciones
- Estanquidad de la infraestructura
- Tiempo de montaje limitado (1 semana en Edimburgo)
- Elementos delicados/ que incomodan (juntas tóricas)
- Dimensiones de los soportes

Las secciones se comienzan a montar con el interior ya preparado, quedando pendiente solo el alineamiento. Los tubos se transportarán colocados longitudinalmente sobre europalets pero se manipularán con el palet puesto transversalmente. Cuando se transporte el tubo irá cinchado y tanto para transporte como para manipulación irá falcado con cuñas.

Previo al montaje de las secciones (y paralelamente), habrá que montar la mitad los soportes en su disposición nominal -14 mm entre tuercas-. Esto se hace para evitar el montaje del sistema de regulación cada vez.

Por último, es recomendable trazar una línea recta que nos sirva de guía a lo largo de todo el tubo. Esta se realiza utilizando un cordel trazador, marcando por ejemplo la línea formada por las bases de los soportes, cuya distancia se puede ver en la Figura 5.5.

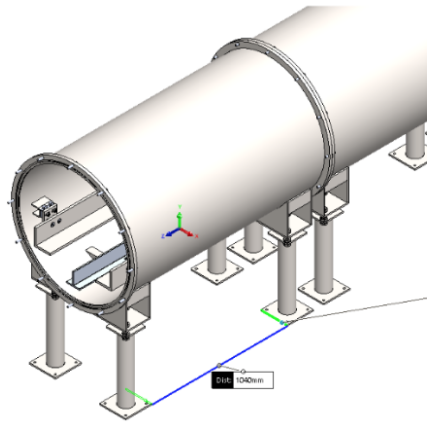


Figura 5.5: Distancia entre patas del soporte

Para evitar posibles rotaciones de las secciones que puedan dificultar el montaje, se ha diseñado un virador móvil. Mediante el mismo es posible producir la rotación del tubo alrededor de su eje de simetría. Además, mediante la adición de unas ruedas se puede desplazar el mismo hasta la posición que se desee. En la Figura 5.6 se puede observar su diseño:



Figura 5.6: Virador móvil

Para la primera sección se deben de seguir los siguientes pasos:

- Colocar los dos soportes alineados y separados por la distancia correspondiente (1040 mm entre bases).
- Levantar con el apilador la sección y colocarla en el virador móvil.
- Retirar el pallet.
- Rotar con ayuda de las ruedas del virador móvil la sección hasta dejarla alineada.
- Volver a poner el pallet.
- Levantar con apilador y colocar la sección sobre los soportes

- Retirar el pallet.

Para el resto de secciones el procedimiento es idéntico al que sigue a continuación:

- Colocar el soporte exterior (el más alejado de la sección anterior) a la distancia correspondiente(1320 mm entre bases de soportes).
- Poner el virador móvil entre el soporte y la sección anterior.
- Poner el tubo sobre el virador móvil
- Rotar el tubo.
- Poner la sección anterior a la altura de la sección en el virador móvil (si todo va bien, estando en posición nominal ya deberían coincidir).
- Colocar la junta tórica.
- Juntar las secciones (en el eje z) y colocar tornillos entre las bridas.
- Levantar el soporte hasta que haga contacto firme con el tubo.
- Bajar los brazos del virador móvil(si es necesario, levantar ligeramente con apilador o grúa).
- Retirar el virador móvil.
- Poner a la distancia correspondiente el soporte interior(a 1040 mm del otro soporte).

Capítulo 6

Ensayos y validación

En este capítulo se van a detallar los ensayos realizados en la infraestructura junto con los resultados obtenidos en dichos ensayos. El objetivo es validar que el diseño cumple con los objetivos establecidos y los resultados son coherentes.

En el primer test se van a detallar los pasos que se han de seguir para cualquier ensayo que se realice en la infraestructura. Puesto que la presión se disminuye hasta alcanzar los 100 mbar numerosos tests se van a realizar siguiendo este procedimiento para poder validar el correcto funcionamiento del vehículo y de todos sus componentes. A partir del mismo, se incluirán algunos test ejemplo para comprobar el funcionamiento de elementos fundamentales como los actuadores neumáticos o cámara y sistemas de comunicación con el vehículo.

1. Ensayo general

Este test consiste en garantizar la estanqueidad de los 30 metros de la infraestructura. La junta tórica se alojará en la junta y se cerrará la compuerta. A continuación, se pondrá en marcha la bomba de vacío y se bajará la presión hasta alcanzar los 100 mbar.

La prueba se realizará varias veces, a medida que se monten las secciones, se repetirá la prueba. De este modo, las fugas son más fáciles de detectar que cuando se monta en su totalidad.

En este ensayo, la presión se medirá mediante dos sensores piezorresistivos situados en el extremo de la infraestructura. Una vez conectada la bomba de vacío, se alcanzarán los 100 mbar en aproximadamente 15 minutos.

Como ya se ha dicho, las fugas pueden provocar caídas de presión. Por este motivo, se han tenido en cuenta varias medidas que ya se han detallado en la Sección 3.6.

Una vez alcanzada la presión objetivo, se desconectará la bomba de vacío y se retirará el sistema de bridas ISO-KF de la compuerta para que se restablezca la presión atmosférica.

Para la conexión de la bomba se ha utilizado el siguiente esquema. Por un lado hay un contactor para conectar y desconectar la conexión y, por otro, el dispositivo de protección del motor que protege la bomba en caso de picos de tensión que se puede ver en la imagen 6.1.

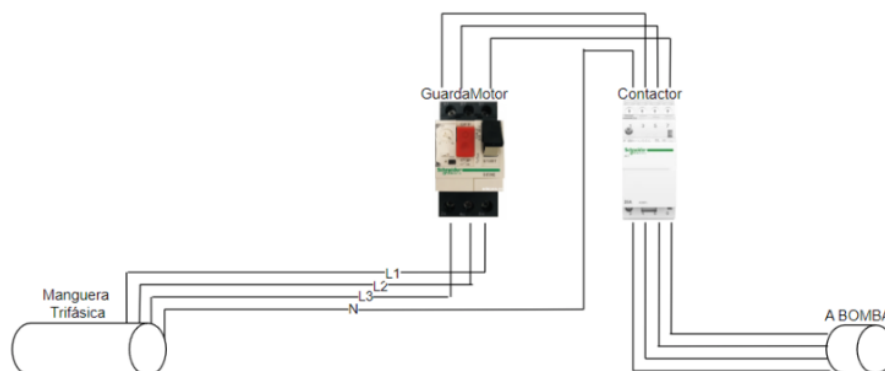


Figura 6.1: Circuito eléctrico de la conexión de la bomba

El material empleado durante este test ha sido:

- Bomba SOGEVAC SV 300B
- EPIs
- Sensores de presión piezoresistivos
- Protecciones eléctricas
- Alcohol isopropílico pulverizado
- Sellador de juntas universal "Nural 61 Pattex"
- Grasa para juntas
- Guantes de seguridad
- Gafas de protección

Los EPIs utilizados para esta prueba han sido las descritas anteriormente: guantes de trabajo, gafas de protección y mangas largas.

También es importante que sólo las personas responsables puedan acercarse al banco de pruebas y es necesario dejar un perímetro de seguridad de 2 m si es posible.

Los pasos seguidos para llevar a cabo el procedimiento se pasan a describir a continuación:

- Comprobación de las conexiones. Montaje del equipo de ensayo. Debe comprobarse una a una la corrección de todas las conexiones de vacío. Para ello se conectará el sistema de bridas ISO-KF. La conexión consiste en una junta tórica a la brida soldada de la compuerta, sellando así el sistema de bridas mediante una abrazadera.
- Comprobación del equipo de seguridad. El personal encargado debe llevar guantes y gafas de seguridad durante la prueba.
- Cierre de la compuerta de la infraestructura. En primer lugar, se coloca la junta tórica y su grasa en la brida para garantizar un mejor sellado. A continuación, se cierra la compuerta y se introducen los tornillos que producen el cierre definitivo de la cámara.
- Activación de la protección 1. Conectar el contactor.
- Activación de la protección 2. Conectar el guardamotor.
- Despresurización. La bomba de vacío se enciende y la cámara reduce su presión a 100 mbar.

- Desactivación de la protección 2. Desconectar el contactor de la bomba.
- Desactivación de la protección 1. Desconectar la protección del motor.
- Control de fugas. Se comprueba que la despresurización de la cámara se ha realizado sin ningún tipo de fuga. Para ello se comprueban los sensores de presión y el silbido producido por las juntas en las zonas de unión de las tuberías.
- Purgado. Venteo de la cámara de vacío mediante la apertura de las bridas ISO KF.
- Apertura de la puerta.

2. Resultados y conclusiones

En esta sección se van a detallar los resultados y conclusiones obtenidos de la primera prueba de vacío realizada en la infraestructura. Cabe destacar que durante el ensayo realizado, no se detectaron puntos de fuga considerables.

El primer test se llevo a cabo con 3 secciones para testear poco a poco la estanqueidad del sistema y poder detectar posibles puntos de fuga de una manera mucho más rápida y sencilla.

Este test se realizó sin ningún tipo de comunicación con el vehículo, esto es, únicamente se utilizaron las bridas ciegas y no los pasamuros. Un ejemplo de ello se puede observar en la Figura 6.1.



Figura 6.1: Primer ensayo prueba de vacío

Como era de esperar, puesto que el volumen con 3 secciones supone un 15 % del volumen total, el tiempo para alcanzar los 100 mbar se alcanzó en 2 minutos y 30 segundos. Un tiempo bastante inferior al que se obtendría con el volumen que suponen las 15 secciones.

Como ya se ha comentado en la Sección 4, conforme cae la presión, a la bomba le cuesta bombear cada vez más caudal por lo que no se sigue una tendencia lineal, sino más bien exponencial. De este modo, al comenzar con el ensayo de vacío la presión va disminuyendo muy rápidamente y seguidamente le va costando cada vez más. Con todo esto se alcanza la presión objetivo como se puede observar en la Figura 6.2.



Figura 6.2: Sensor de presión a 100 mbar

Una vez alcanzada la presión objetivo, se desconecta la bomba y el sistema se mantiene perfectamente estanco con unas pérdidas máximas de $0,02\text{mbar}/\text{s}$.

Capítulo 7

Conclusiones

A lo largo del presente Trabajo Fin de Grado se ha estudiado el diseño de una infraestructura con sistema a vacío para un vehículo hyperloop, en concreto para el vehículo diseñado en la octava generación de Hyperloop UPV.

Así, mediante su diseño y fabricación se han obtenido unos resultados que satisfacen con las necesidades planteadas.

En primer lugar, cabe destacar que durante el proyecto se han cumplido con los objetivos y requerimientos establecidos durante la fase de diseño:

- Se ha diseñado una infraestructura escalable y estandarizada como se ha expuesto a lo largo de todo el documento. Escalable ya que la modularidad de las secciones permitiría una implementación a gran escala. Y estandarizada debido al coste y elección del diseño de las piezas y elementos comerciales.
- El diseño de las bridas permite la unión entre las diferentes secciones de manera que se asegura la estanqueidad de la infraestructura.
- Se han seleccionado correctamente todos los dispositivos encargados de realizar las mediciones en su interior.
- Se ha obtenido la presión planteada como objetivo de 100 mbar en el tiempo calculado y fijado como óptimo para permitir el máximo número de ensayos.

Por lo que respecta a su fabricación y montaje las conclusiones obtenidas han sido:

- La elección de la bomba permite llevar a cabo procesos de llenado y de vaciado planteados.
- Se ha diseñado una infraestructura con un sistema de regulación mecánica que permite la correcta alineación con una buena precisión en su interior.
- Su diseño ha permitido una rápida fabricación mediante operaciones de mecanizado básicas.
- La puerta permite por un lado mantener la comunicación con el vehículo, además de asegurar la estanqueidad del sistema. Por otro lado asimismo, se permite la visualización del interior a través de la ventana de metacrilato.
- El mecanismo de la bisagra permite la apertura y cierre de la puerta correctamente. La elección de los cojinetes y las dimensiones de las piezas cumplen con su objetivo.
- Los soportes garantizan la estabilidad de la infraestructura y permiten la regulación de la misma mediante su mecanismo de tuerca y contra tuerca.
- La implementación del virador móvil permite el montaje de secciones en un breve periodo de tiempo.

La oportunidad de haber podido diseñar, simular y posteriormente fabricar y ensamblar la infraestructura a escala real ha supuesto una gran diferencia para el presente trabajo. Apostar por tecnología implementable, económica y sostenible han sido los pilares para la infraestructura expuesta.

Hyperloop UPV con su logo “Shaping the Future” busca reivindicar esa movilidad sostenible y eficiente con la que la sociedad se moverá en el futuro. De la misma manera, el presente trabajo de fin de grado permite estar un paso más cerca de la forma definitiva que tendrá la futura infraestructura hyperloop.

Capítulo 8

Trabajos futuros

El presente trabajo ha tratado de realizar un acercamiento a lo que será en el futuro la infraestructura de un hyperloop a gran escala, incorporando el elemento principal de este medio de transporte: el entorno de vacío.

En este capítulo se van a describir aquellos aspectos que pueden servir para mejorar el diseño planteado de la infraestructura.

El primer aspecto a mejorar sería la instalación de una ranura trapezoidal en el diseño de las bridas, ya que durante su instalación puede resultar dificultoso el introducir y retirar la junta tórica de la ranura de la brida, de modo que con una ranura trapezoidal se puede encapsular la junta tórica y esta permanece en su lugar todo el tiempo.

Otro aspecto a mejorar es la longitud de las varillas del sistema de regulación de los soportes, ya que en caso de un posible desnivel o pendiente en el suelo, la longitud de la que se dispone no es muy elevada y se habrían de disponer de elementos extras.

Asimismo, por falta de recursos y de presupuesto, se podría utilizar un armario para guardar correctamente la bomba y no apoyarla en el suelo. Existen diversos modelos comerciales con medidas adecuadas para evitar el calentamiento de la bomba.

Resumiendo, todos estos aspectos suponen además un aumento en el presupuesto del equipo Hyperloop UPV que han de tenerse en cuenta ya que su implementación facilitan únicamente su montaje y fabricación.

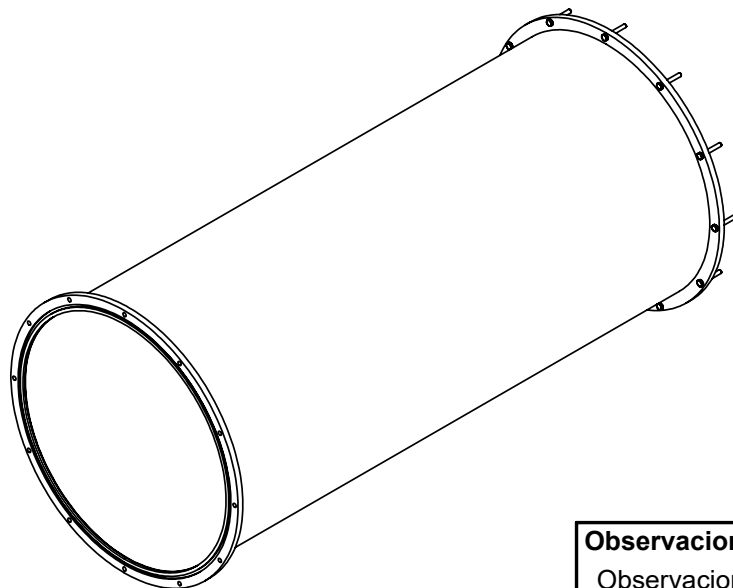
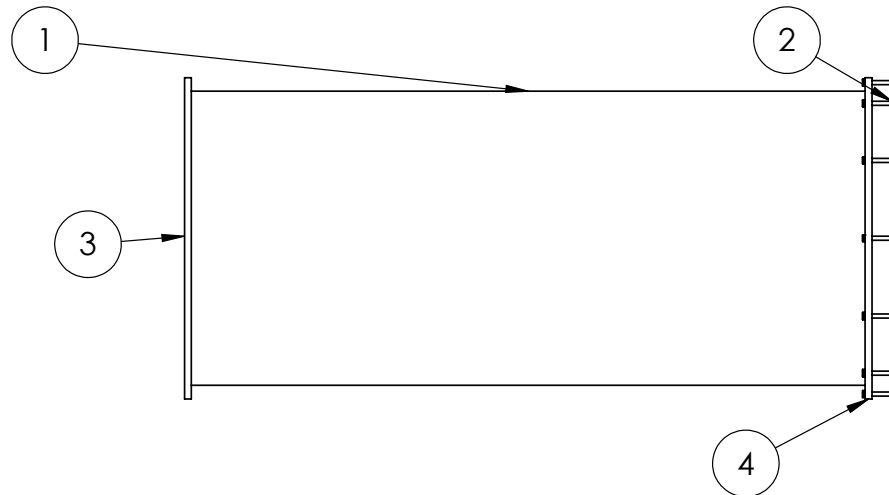
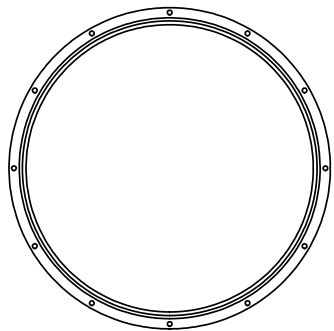
Bibliografía

- [1] Ferrovial. *Hyperloop*.
<https://www.ferrovial.com/es-es/innovacion/tecnologias/hyperloop/>. 2022.
- [2] Hipertextual. *Idea original del Hyperloop es en realidad de 1870*.
<https://hipertextual.com/2013/08/original-idea-hyperloop-1870>. 2022.
- [3] Tesla. *Hyperloop Alpha*.
https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf. 2012.
- [4] Zeleros. *POD*.
<https://zeleros.com/pod/>. 2022.
- [5] Eurotube. *Projects*.
<https://eurotube.org/>. 2023.
- [6] ISO. *Norma ISO*.
<https://www.iso.org/standard/8911.html>. 2019.
- [7] Marpavacuum. *Tipos de bombas de vacío: cuáles son y qué tener en cuenta para elegir uno*.
<https://marpavacuum.com/tipos-bombas-vacio/>. 2022.
- [8] Leybold. *¿Cómo funciona una bomba de paletas rotativas?*.
<https://www.leybold.com/es-es/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-does-an-oil-sealed-rotary-displacement-pump-work>. 2022.
- [9] Leybold. *Fundamentals of Vacuum Technology*.
https://www.leyboldproducts.com/media/pdf/87/a8/be/FVT_Fundamentals_of_Vacuum_Technology_EN58774555441f3.pdf. 2022.
- [10] Leybold. *SOGEVAC SV 300 B*.
<https://www.leyboldproducts.es/productos/bombas-de-vacio-selladas-con-a-ceite/sogevac/sogevac-b/bombas/583/sogevac-sv-300-b>. 2022.
- [11] IKS. *Especificaciones y la diferencia de brida vacío común tres (CF, KF, ISO)*.
<https://www.ikstechnology.com/info/specifications-and-difference-of-three-common-26588014.html>. 2022.
- [12] Epidor. *Estanqueidad*.
<https://epidor.com/productos/estanqueidad/>. 2022.
- [13] Leybold. *¿Qué hacer con una fuga de vacío?*.
<https://blog.leybold.com/es-es/que-hacer-con-una-fuga-de-vacio>. 2019.
- [14] Talent. *Salario medio para Soldador Mig en España*.
<https://es.talent.com/salary?job=soldador+mig>. 2023.
- [15] Manufactures Cusell. *Juntas tóricas de goma y caucho EPDM*.
<https://arandelasyjuntas.com/prod/juntas-toricas/>. 2023.

- [16] Illbruck. *Dilatación térmica de los materiales y rango de movimiento de la junta*.
https://www.illbruck.com/es_ES/servicio/blog/dilatacion-termica-materiales/. 2022.
- [17] SkyCiv. *Cómo calcular el momento de vuelco*.
<https://skyciv.com/es/docs/skyciv-retaining-wall/articles/how-to-calculate-overturning-moment/>. 2023.
- [18] Calculatoratoz. *Calculadora Coeficiente de arrastre de tubería*.
<https://www.calculatoratoz.com/es/drag-coefficient-of-pipe-calculator/Calc-24312>. 2022.
- [19] Ministerio de industria, turismo y comercio. *Instalaciones de puesta toma a tierra*.
http://www.f2i2.net/documentos/lSiF2I2/rbt/guias/guia_bt_18_oct05R1.pdf. 2019.
- [20] Asdrubal Ayestarán. *Tipos de condiciones de contacto y como identificarlos en tu modelo*.
<https://aayestaran.com/tipos-de-contactos/>. 2019.
- [21] O'Hanlon and John F. *A user's guide to vacuum technology*. Wiley. 9780471467168. 2007
- [22] Universitat Politècnica de València. *NORMATIVA MARCO DE TRABAJOS FIN DE GRADO Y FIN DE MÁSTER UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*. 2013.

Parte II

Planos

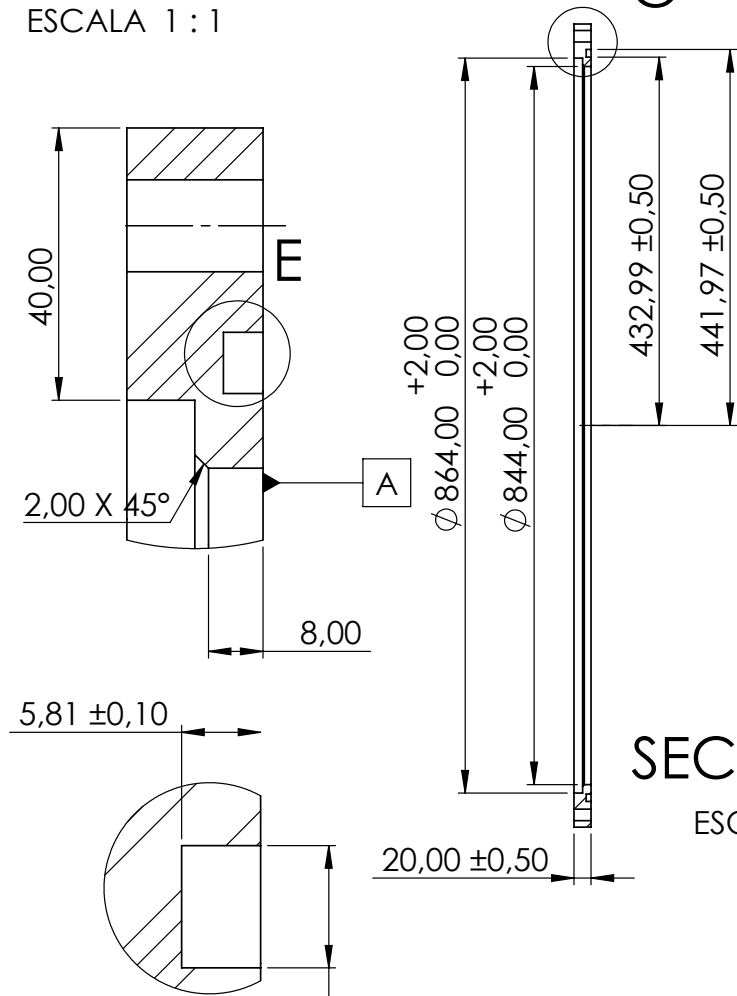


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	IS-A001-P04- M- Seccion Infraestructura 2m	Acero	1
2	STANDARD- DIN 912 - M12x80 - Tornillo Cabeza hexagonal	Acero	12
3	IN-A001-A002-A002- Brida_Mecanizado_ cajera-rectangular	Acero	1
4	IN-A001-A002-A002- Brida_Mecanizado_ Plana_cajera- rectangular	Acero	1

Observaciones: Observaciones		Título: IN-A001-A001-A001-Brida+Tubo		Plano nº: 1
				Cantidad: 15
Escala: 1:1	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz		Fecha: 04/01/2023
		Revisado por: Ricardo, González-barranca		Material: Acero

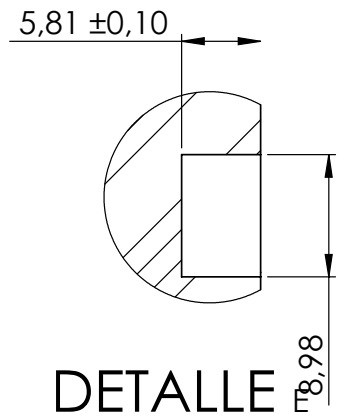
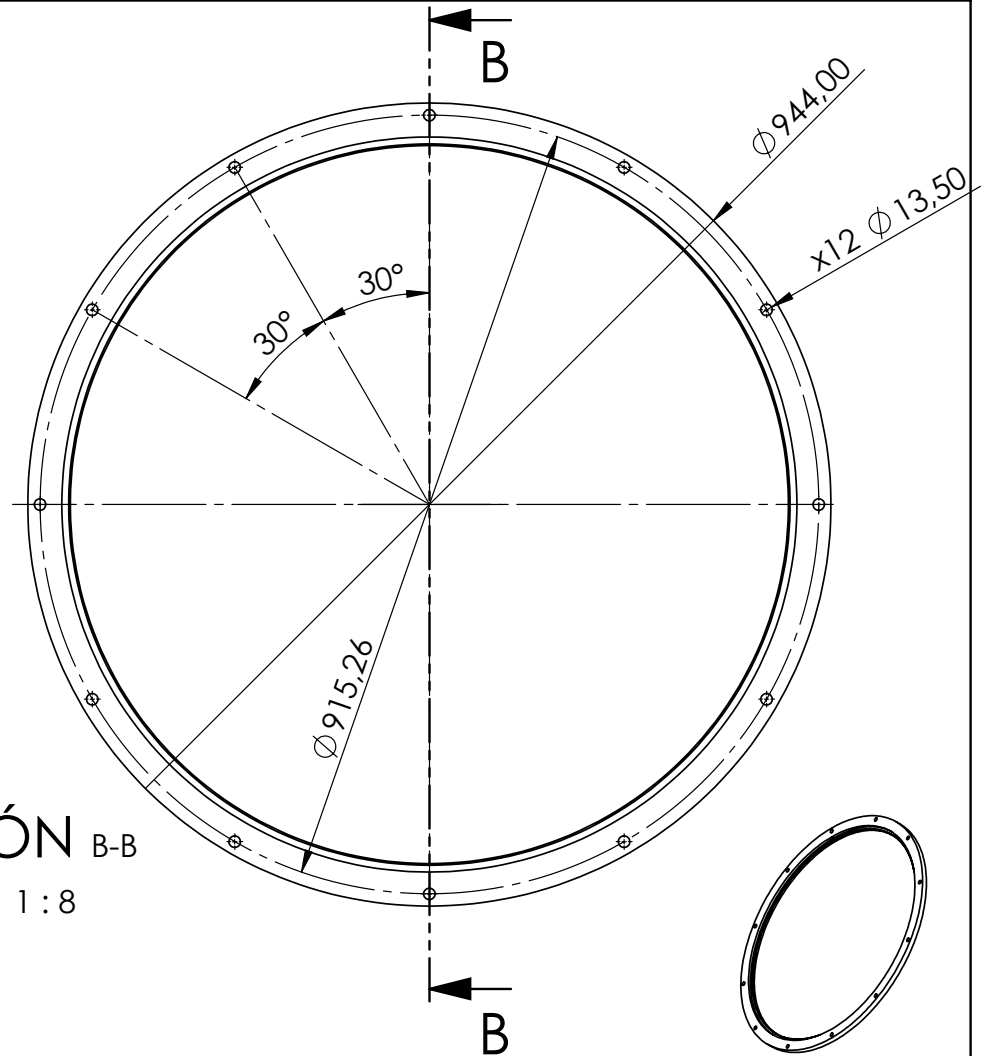
DETALLE C

ESCALA 1 : 1



SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 8



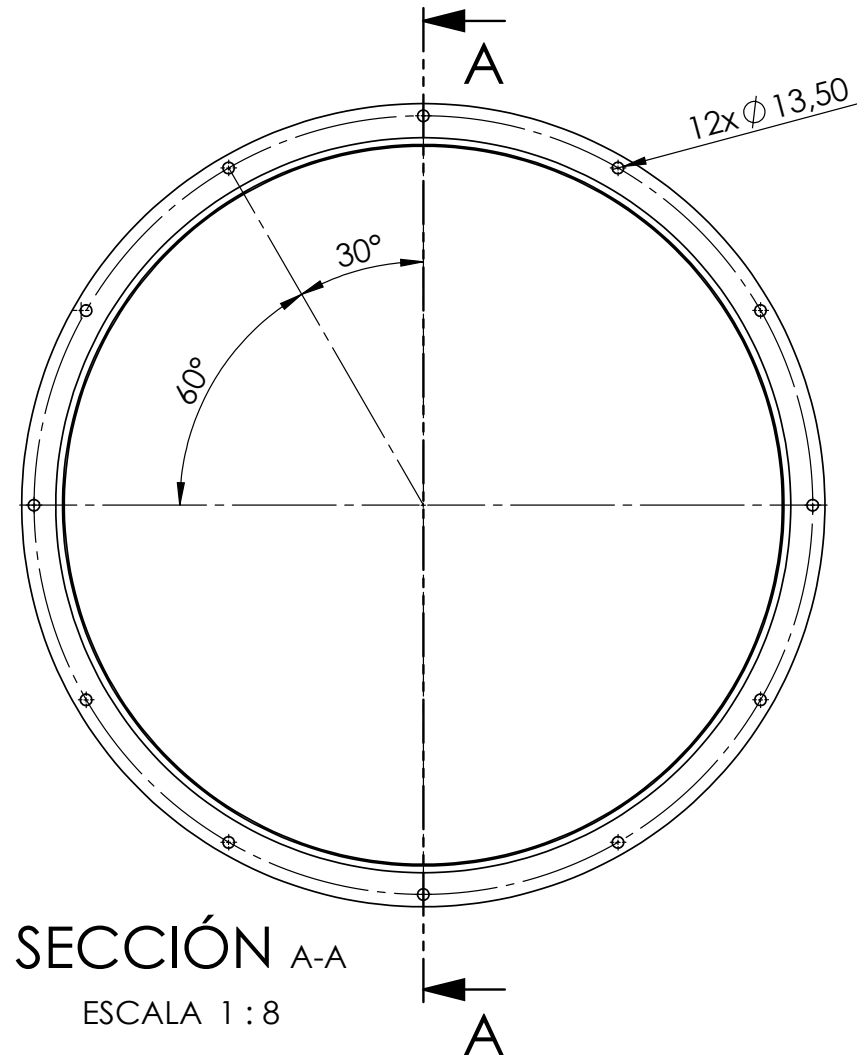
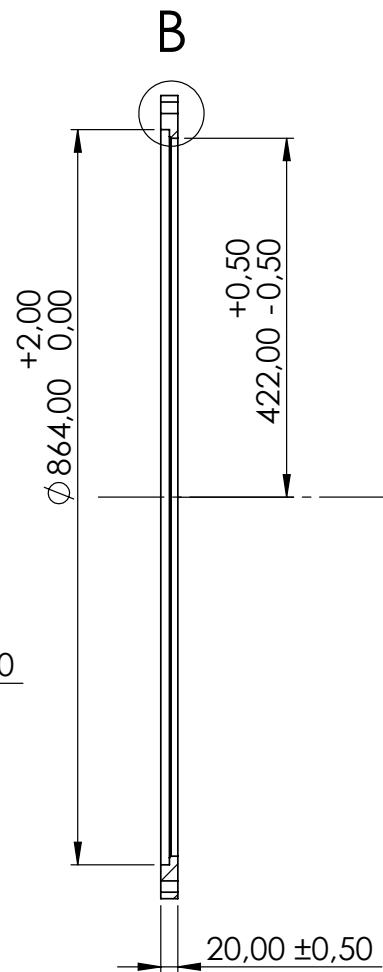
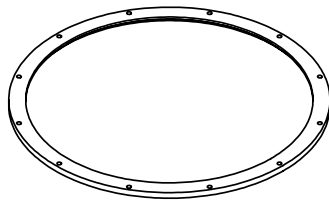
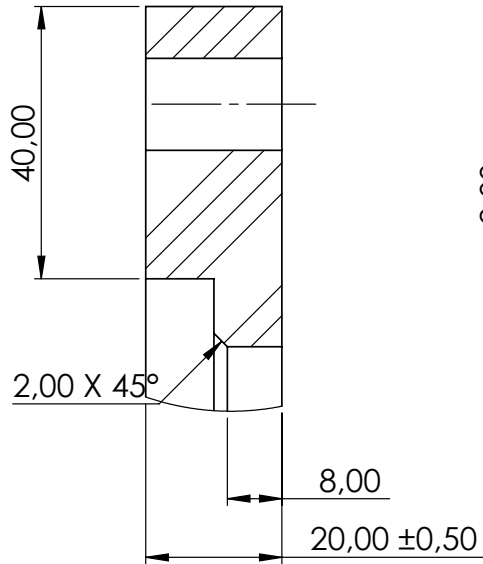
DETALLE

ESCALA 2 : 1

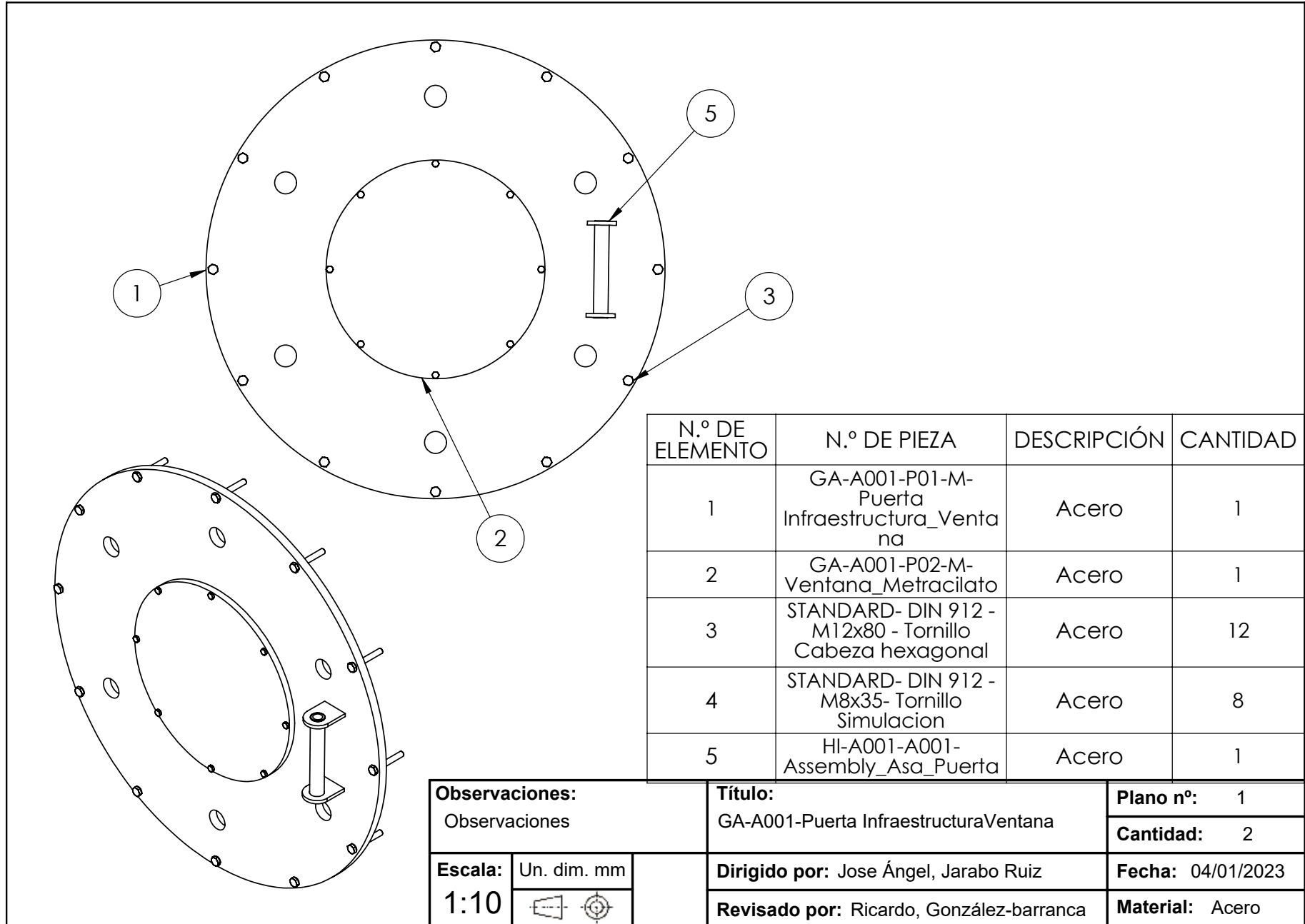
Observaciones:		Título: IN-A001-A002-A002- Brida_Mecanizado_cajera-rectangular	Plano nº: 1
NOTA			Cantidad: 21
Escala:	Un. dim. mm	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 12/01/2023
1:8			Revisado por: Ricardo, González-barranca

DETALLE B

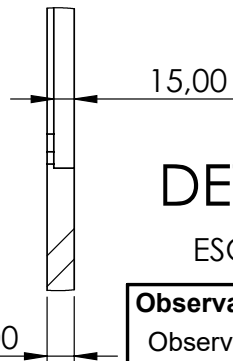
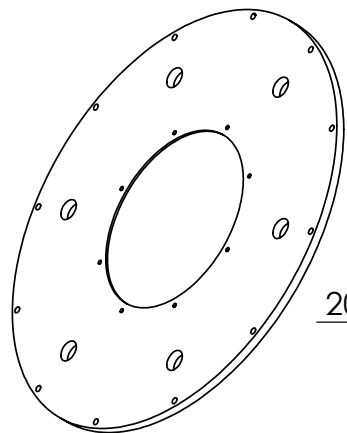
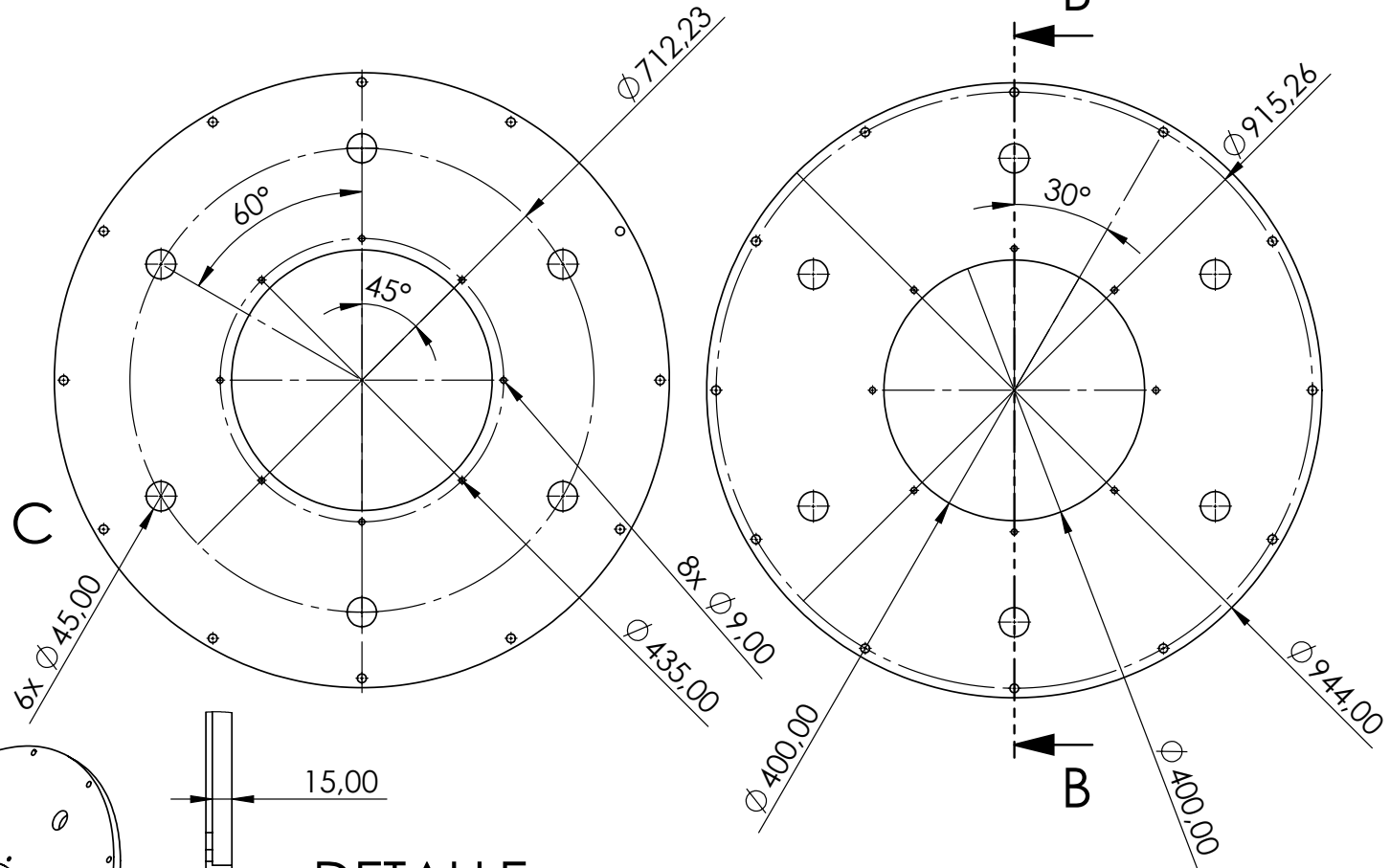
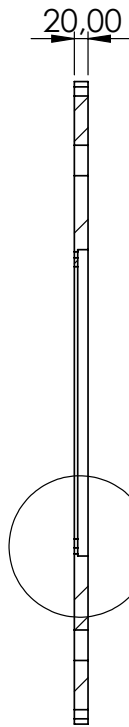
ESCALA 1 : 1



Observaciones:		Título: IN-A001-A002-A002- Brida_Mecanizado_Plana__cajera-rectangular	Plano nº: 1
Nota			Cantidad: 19
Escala:	Un. dim. mm	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 12/01/2023
1:8			Revisado por: Ricardo, González-barranca



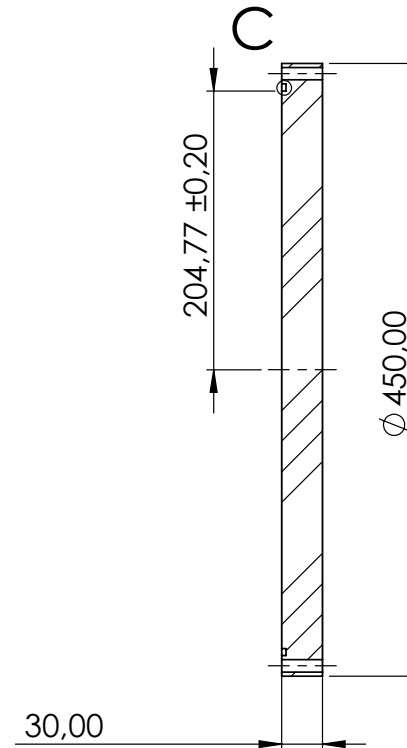
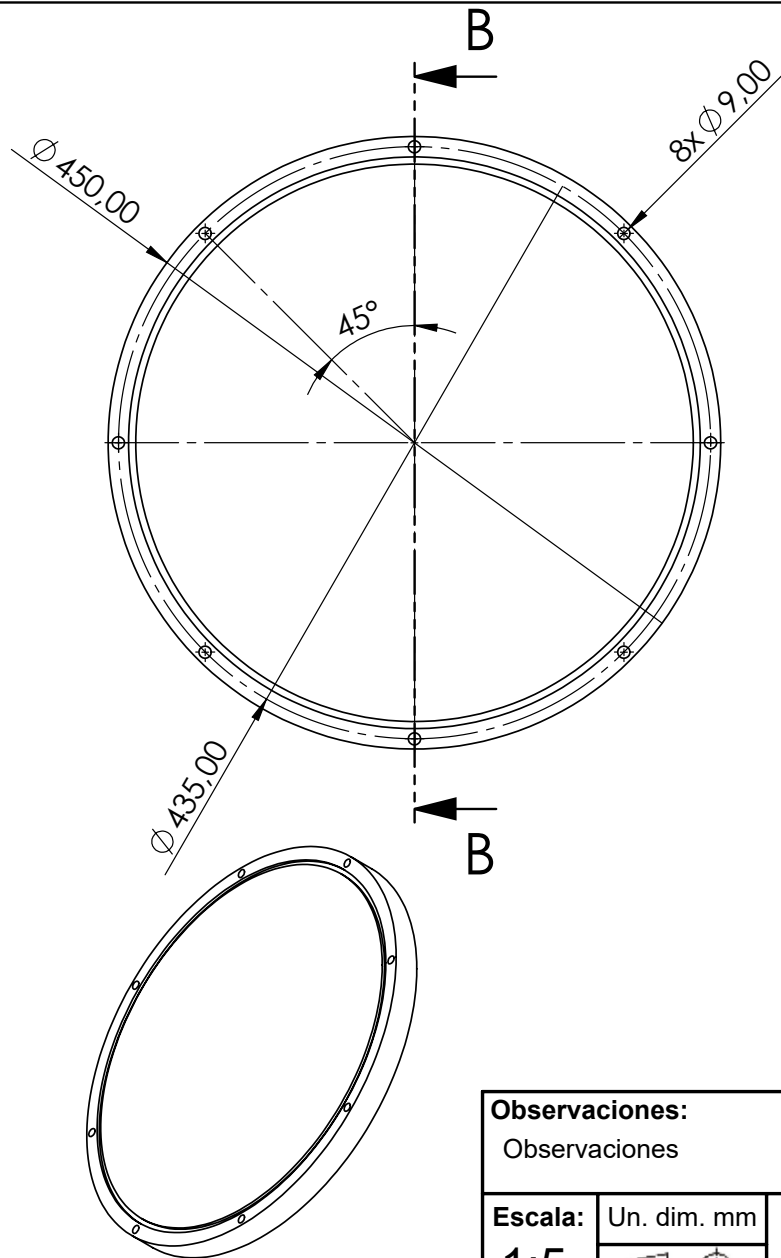
SECCIÓN B-B



DETALLE C

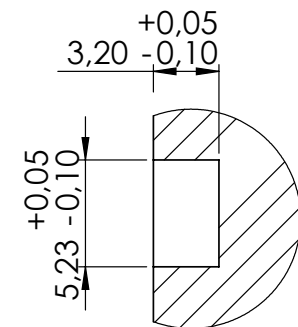
ESCALA 1 : 5

Observaciones: Observaciones		Título: GA-A001-P01-M-Puerta Infraestructura_Ventana	Plano nº: 1
			Cantidad: 2
Escala: 1:10	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Angel, Jarabo Ruiz	Fecha: 05/12/2022
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero

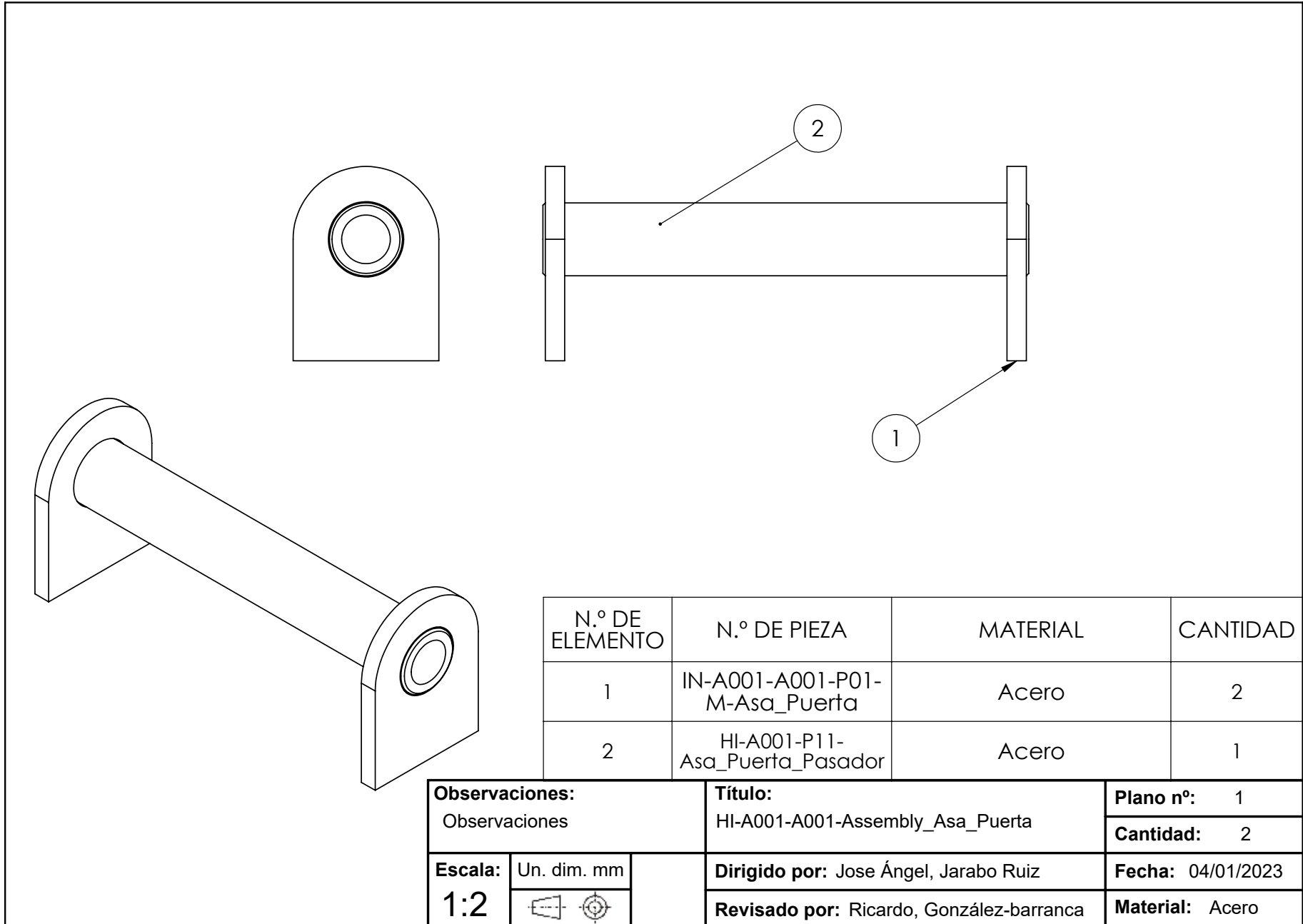


SECCIÓN B-B

DETALLE C
ESCALA 3 : 1

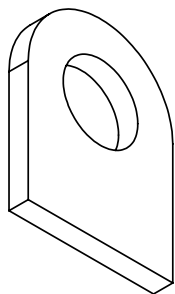


Observaciones: Observaciones		Título: GA-A001-P02-M-Ventana_Metracilato		Plano nº: 1
				Cantidad: 2
Escala: 1:5	Un. dim. mm 		Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 20/12/2022
			Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Metacrilato

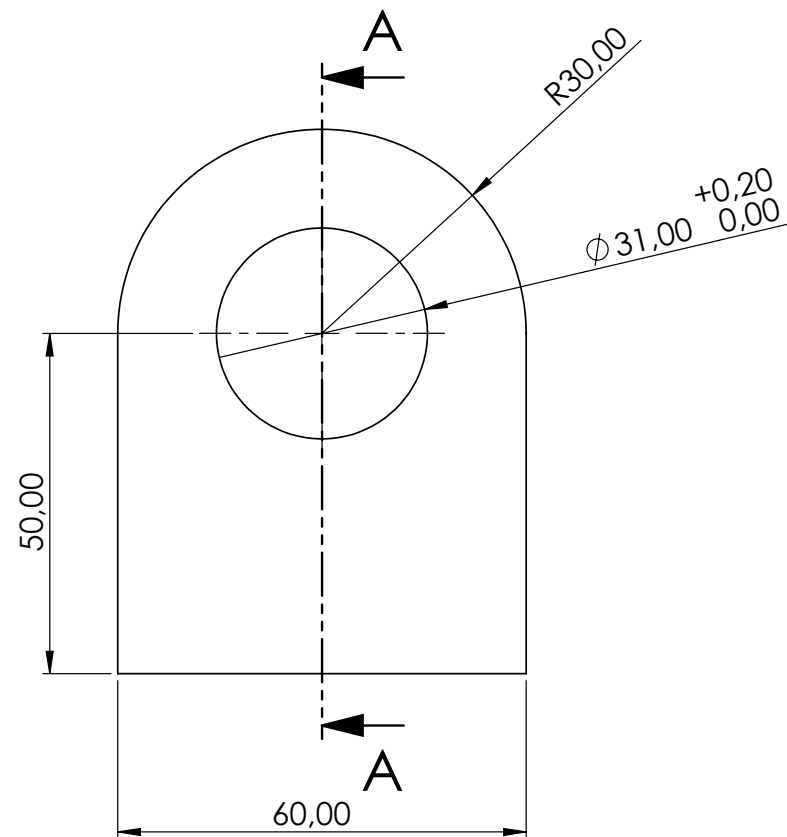
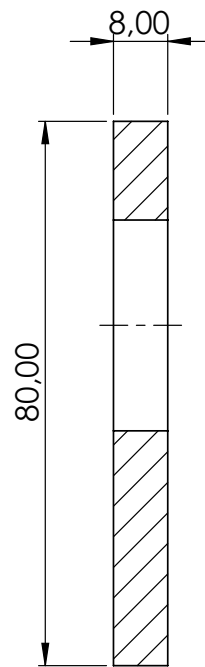


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	IN-A001-A001-P01-M-Asa_Puerta	Acero	2
2	HI-A001-P11-Asa_Puerta_Pasador	Acero	1

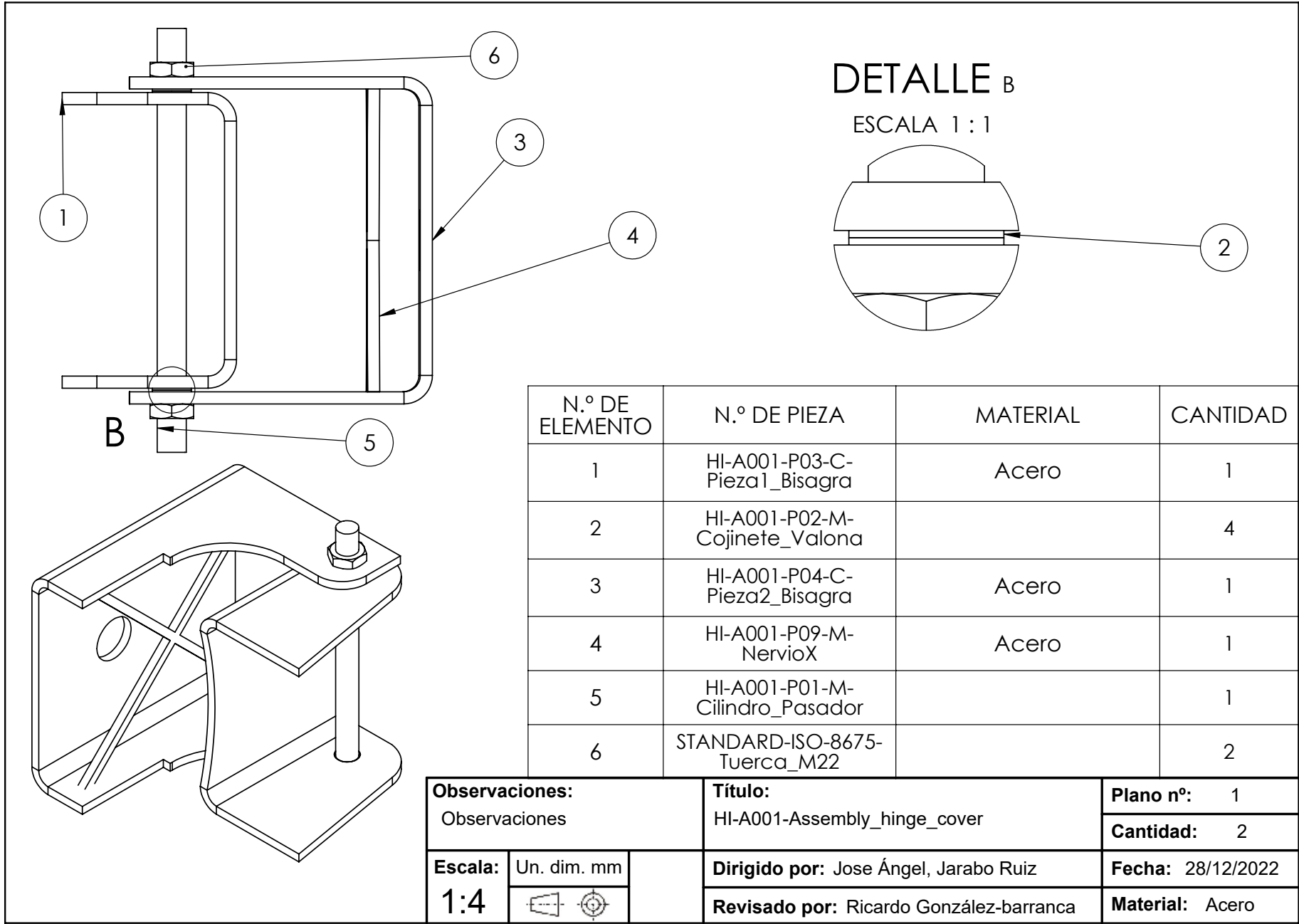
Observaciones: Observaciones		Título: HI-A001-A001-Assembly_Asa_Puerta	Plano nº: 1
			Cantidad: 2
Escala: 1:2	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 04/01/2023
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero



SECCIÓN A-A

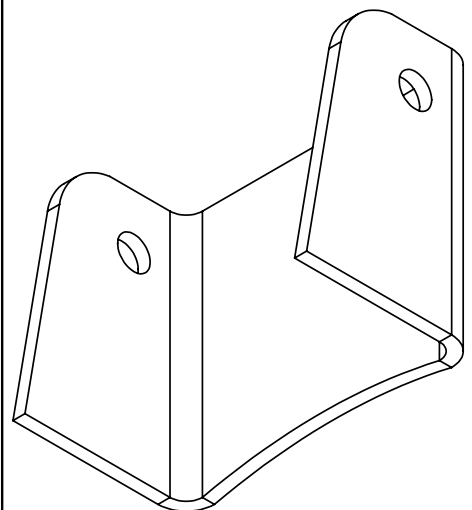
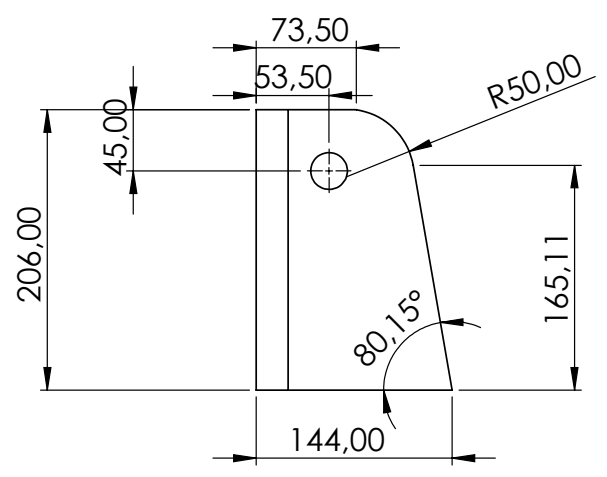
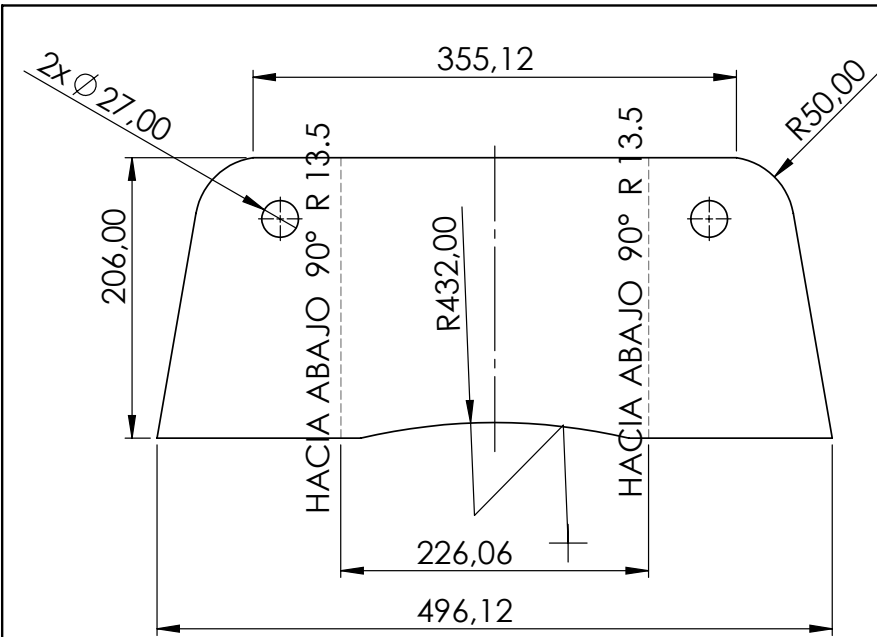


Observaciones: Observaciones		Título: IN-A001-A001-P01-M-Asa_Puerta	Plano nº: 1
			Cantidad: 4
Escala: 1:1	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Angel, Jarabo Ruiz	Fecha: 26/12/2022
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero

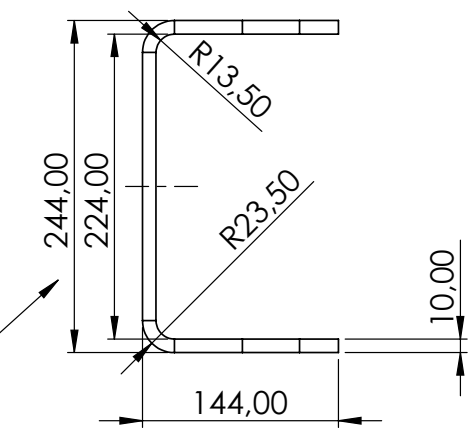


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	HI-A001-P03-C-Pieza1_Bisagra	Acero	1
2	HI-A001-P02-M-Cojinete_Valona		4
3	HI-A001-P04-C-Pieza2_Bisagra	Acero	1
4	HI-A001-P09-M-NervioX	Acero	1
5	HI-A001-P01-M-Cilindro_Pasador		1
6	STANDARD-ISO-8675-Tuerca_M22		2

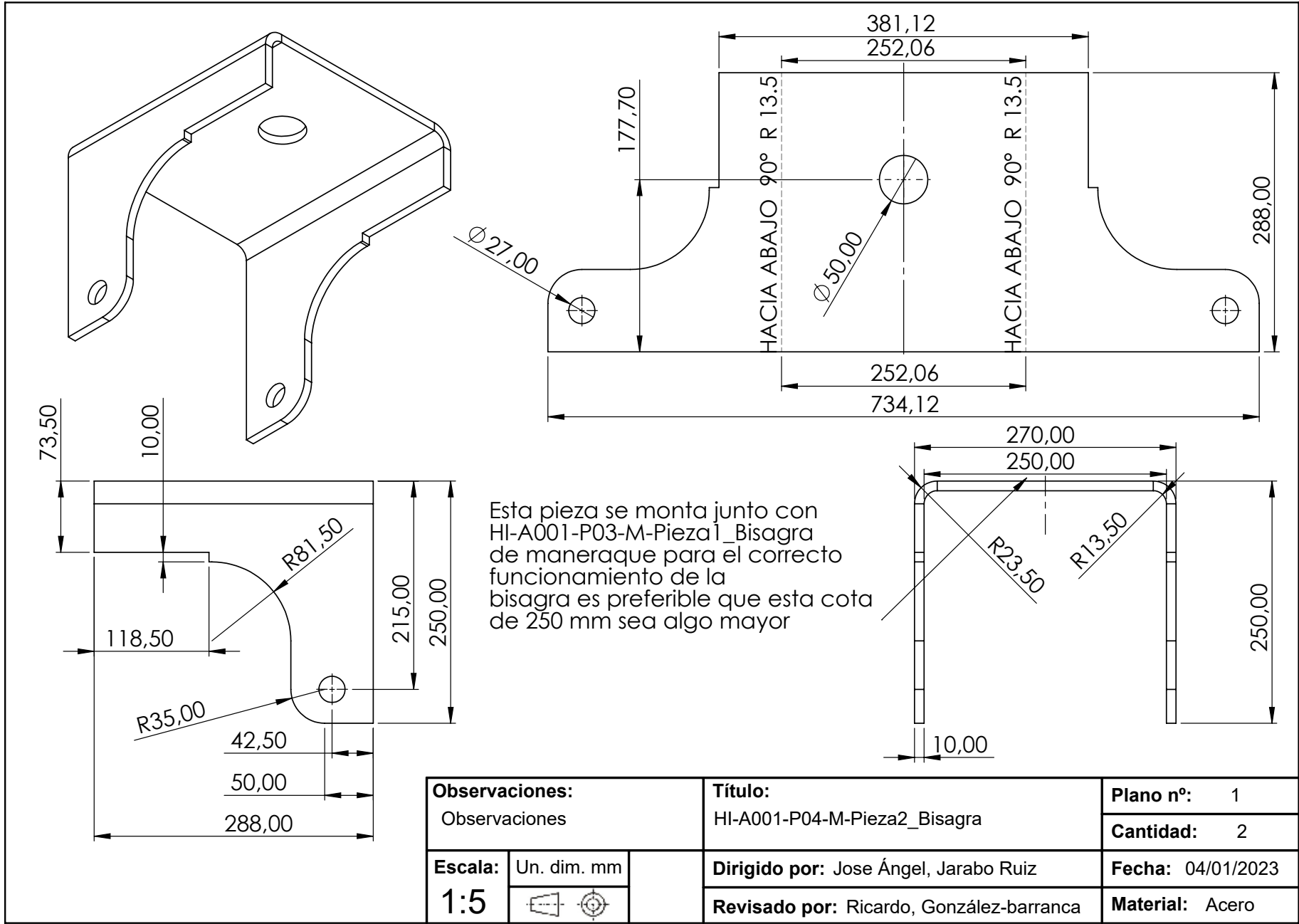
Observaciones: Observaciones		Título: HI-A001-Assembly_hinge_cover		Plano nº: 1
				Cantidad: 2
Escala: 1:4	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz		Fecha: 28/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca		Material: Acero

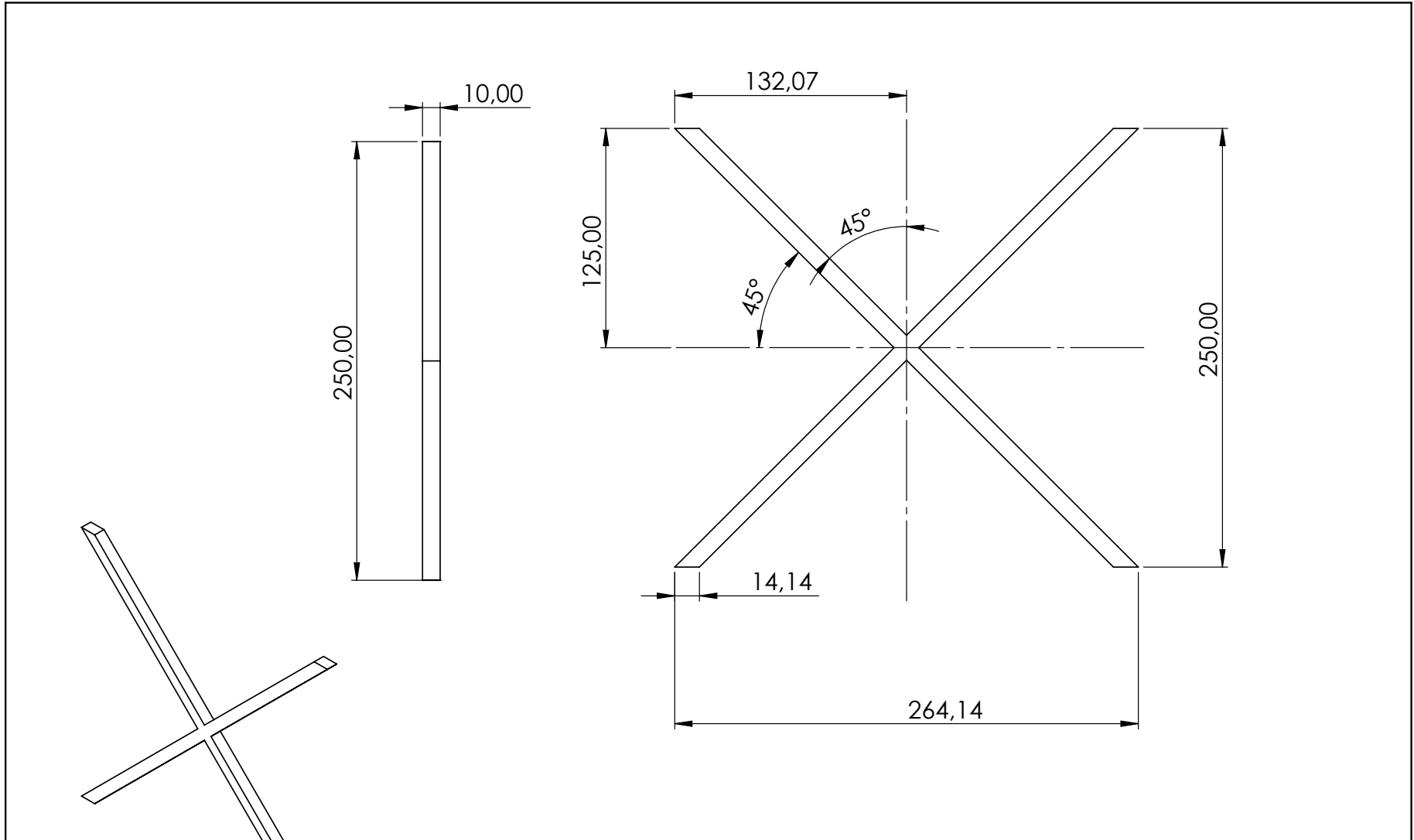


Esta pieza se monta junto con HI-A001-P04-M-Pieza2_Bisagra de manera que es preferible que esta cota sea algo menor para el correcto funcionamiento de la bisagra

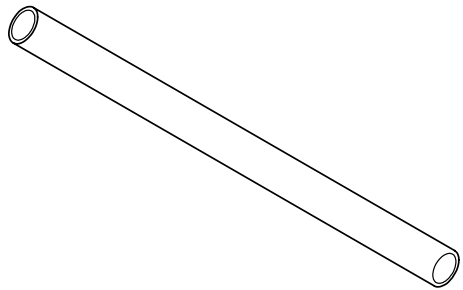
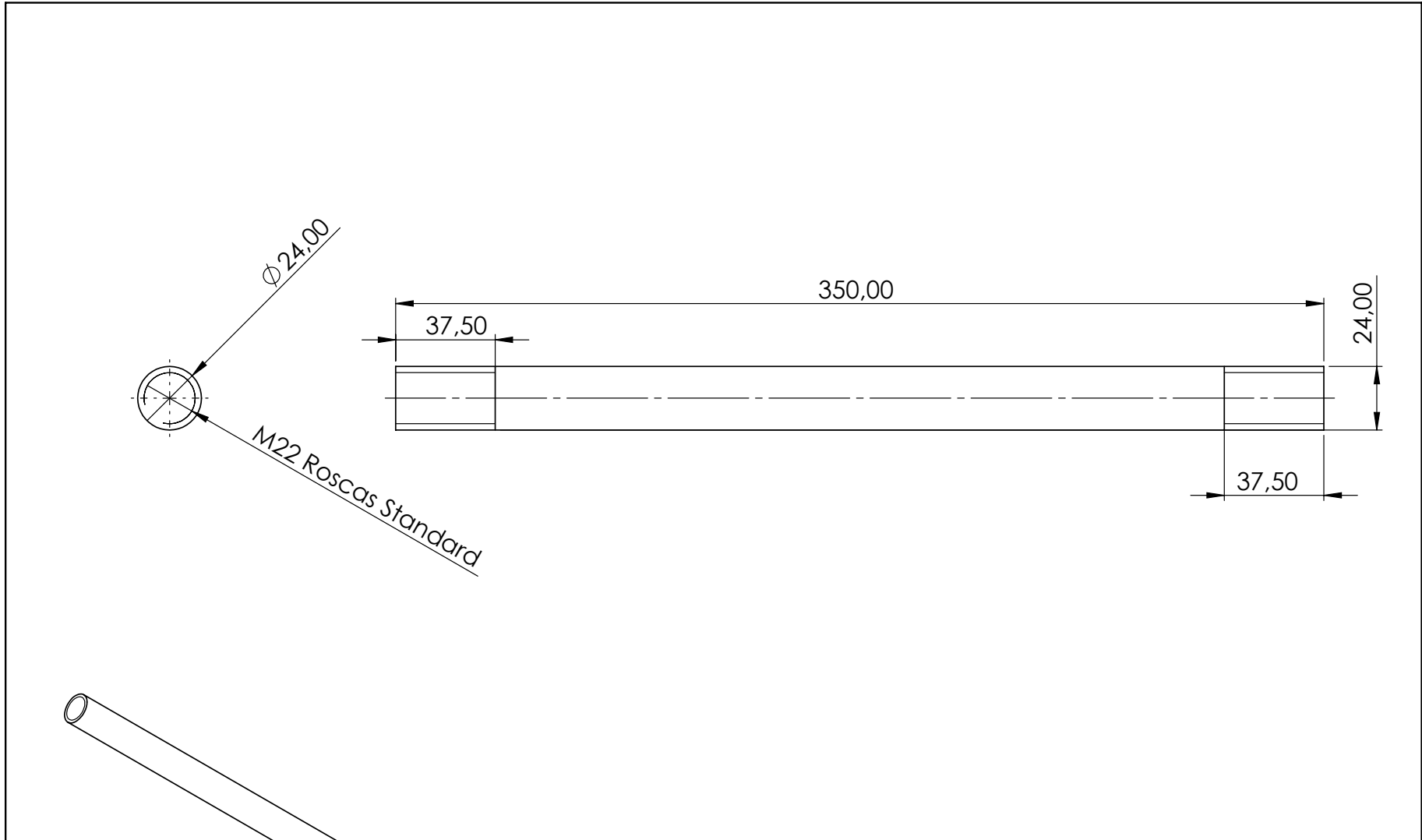


Observaciones: Observaciones		Título: HI-A001-P03-M-Pieza1_Bisagra	Plano nº: 1
			Cantidad: 2
Escala: 1:5	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 04/01/2023
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero

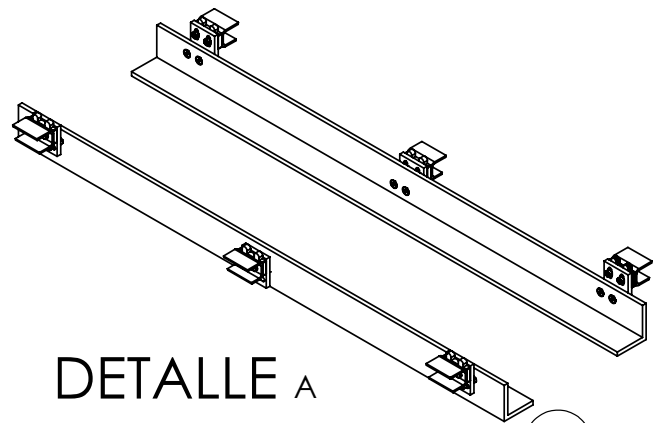




Observaciones: Observaciones		Título: HI-A001-P09-M- NervioX	Plano nº: 1
			Cantidad: 2
Escala: 1:3	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 04/01/2023
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero

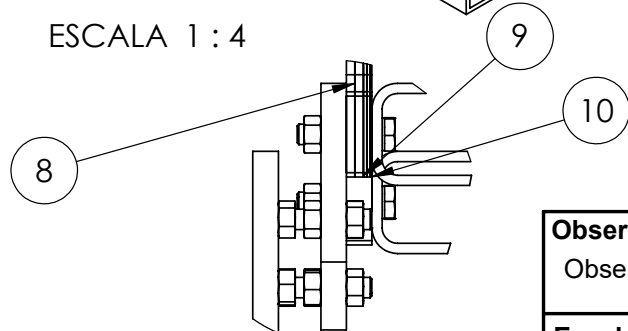


Observaciones: Observaciones		Título: HI-A001-P01-M-Cilindro_Pasador	Plano nº: 1
			Cantidad: 2
Escala: 1:2	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Angel, Jarabo Ruiz	Fecha: 27/12/2022
		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Material: Acero



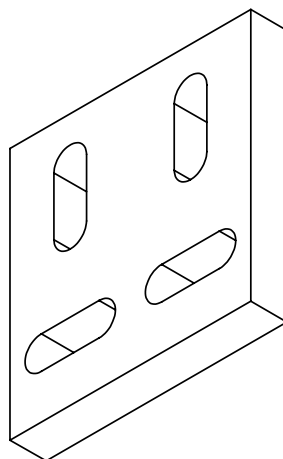
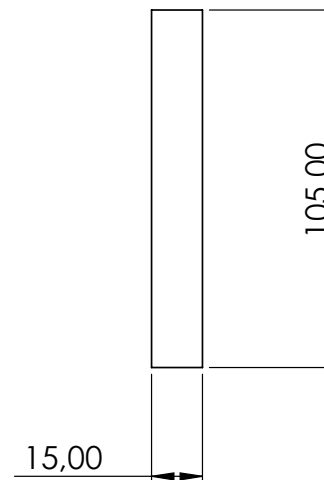
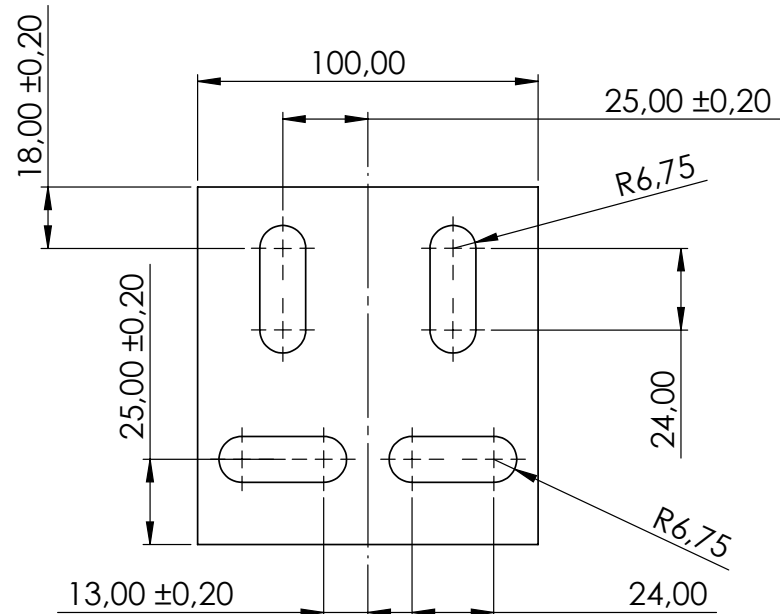
DETALLE A

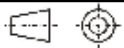
ESCALA 1 : 4

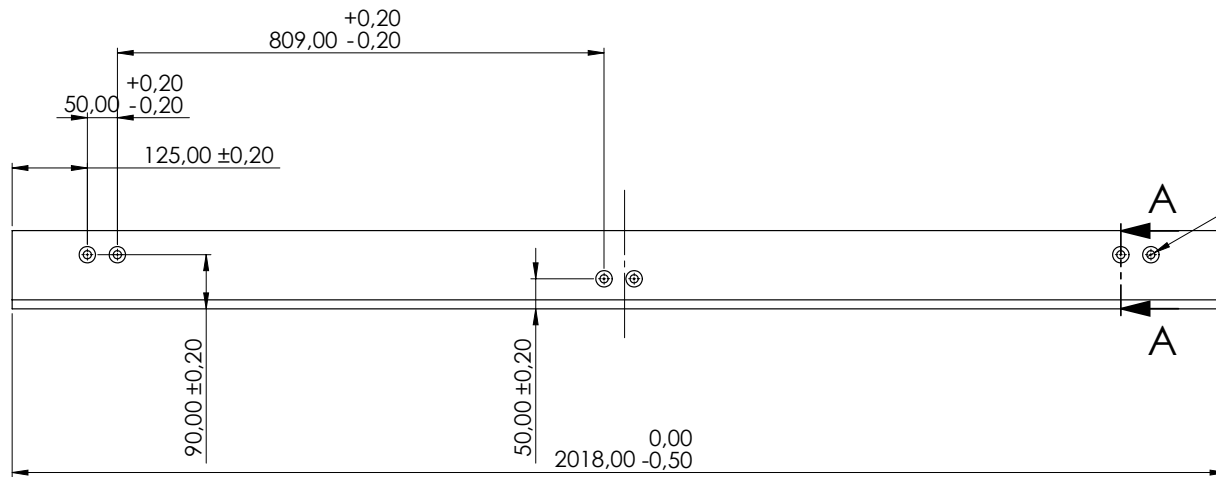


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIALES	CANTIDAD
1	PR-A001-P03-M- Perfil L - L Profile	Acero	1
2	PS-A001-P05-M-Perfil_Cuadrado-Square_Profile_	Acero	2
3	PL-A001-P02- M-Placa	Acero	3
4	PS-A001-P09-M-Perfil_Cuadrado-Square_Profile_Ariba	Acero	1
5	STANDARD- DIN 912 - M12x50 - Tornillo Cabeza hexagonal	Acero	6
6	STANDARD- DIN 912 - M12x50 - Tornillo Cabeza avellanada	Acero	6
7	STANDARD-DIN 985-M12 - Tuerca	Acero	24
8	PS-A001-P14-M-Pletinas Regulacion-Shims_Conjunto_5mm	Aluminio	2
9	PS-A001-P13-M-Pletinas Regulacion-Shims_Conjunto_2mm	Aluminio	2
10	PS-A001-P12-M-Pletinas Regulacion-Shims_Conjunto_1mm	Aluminio	1

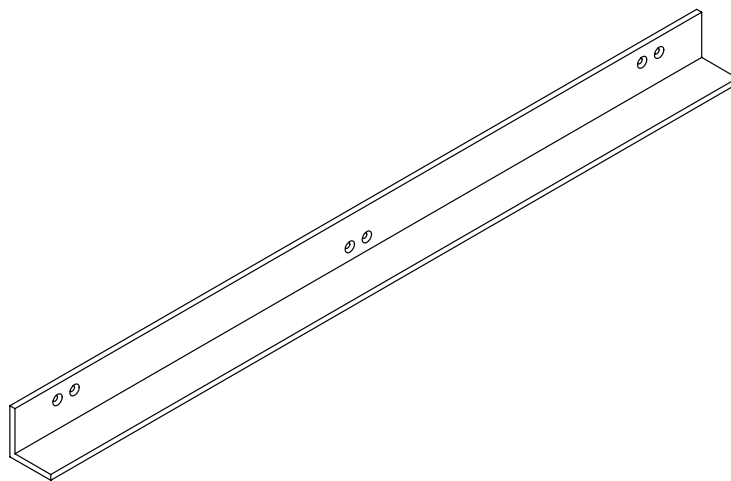
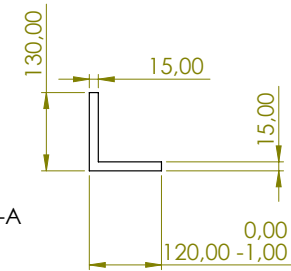
Observaciones: Observaciones		Título: II-A001-Assembly Interior Infraestructura- Alineamiento Laterales		Plano n°: 1
Escala: 1:10		Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz		Cantidad: 34
Un. dim. mm		Revisado por: Ricardo, González-barranca		Fecha: 03/01/2023
				Material: Acero



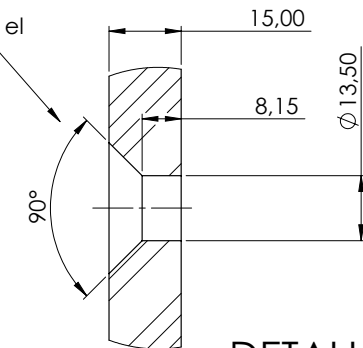
Observaciones: Observaciones		Título: PL-A001-P02- M-Placa	Plano nº: 1
			Cantidad: 90
Escala: 1:2	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz	Fecha: 20/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero



X6 ϕ 13,50

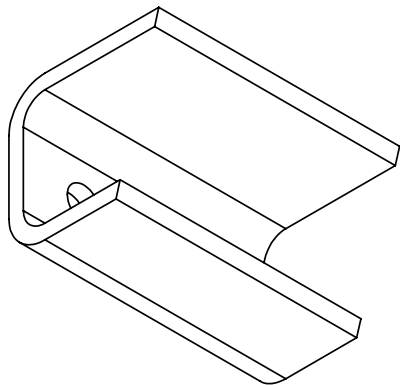
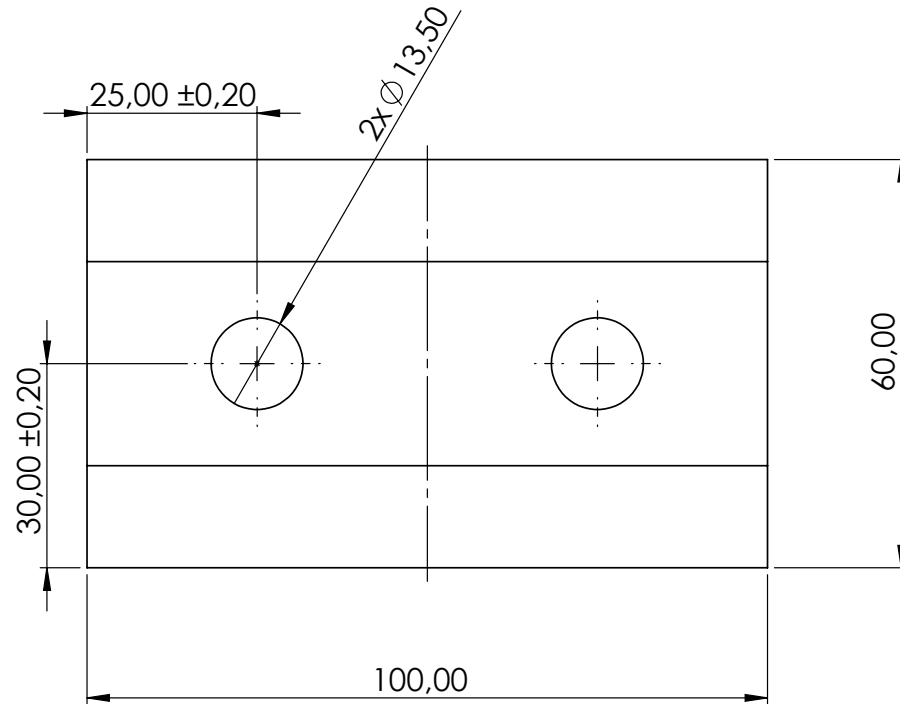
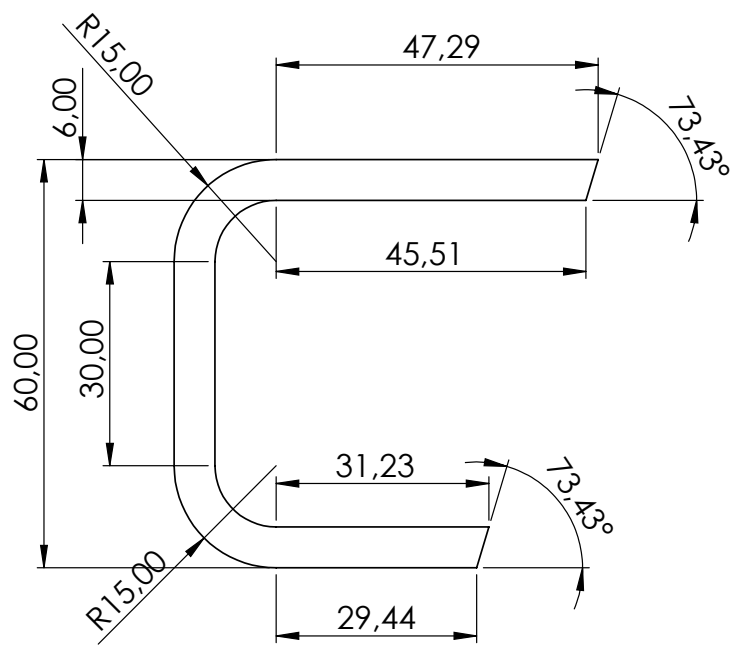


Los 6 taladros tiene el mismo avellanado



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

Observaciones: Observaciones		Título: PR-A001-P03-M-Perfil L - L Profile	Plano nº: 1
Escala 1:8		Dirigido por: Jose Ángel Jarabo	Cantidad: 2
Un. dim. mm		Revisado por: Ricardo González-barranca	Fecha: 12/12/2022
			MATERIAL: Acero S275



Observaciones:

El perfil comercial utilizado se corresponde con las medidas 120x60x6

Título:

PS-A001-P05-M-Perfil_Cuadrado-Square_Profile_

Plano nº: 1

Cantidad: 80

Escala:

Un. dim. mm

1:1

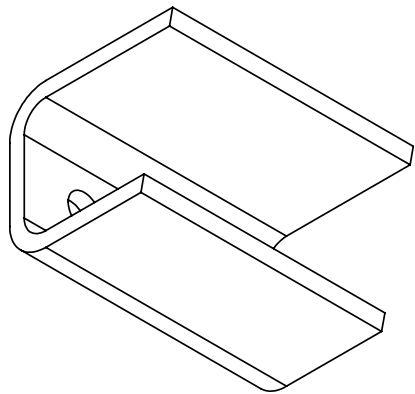
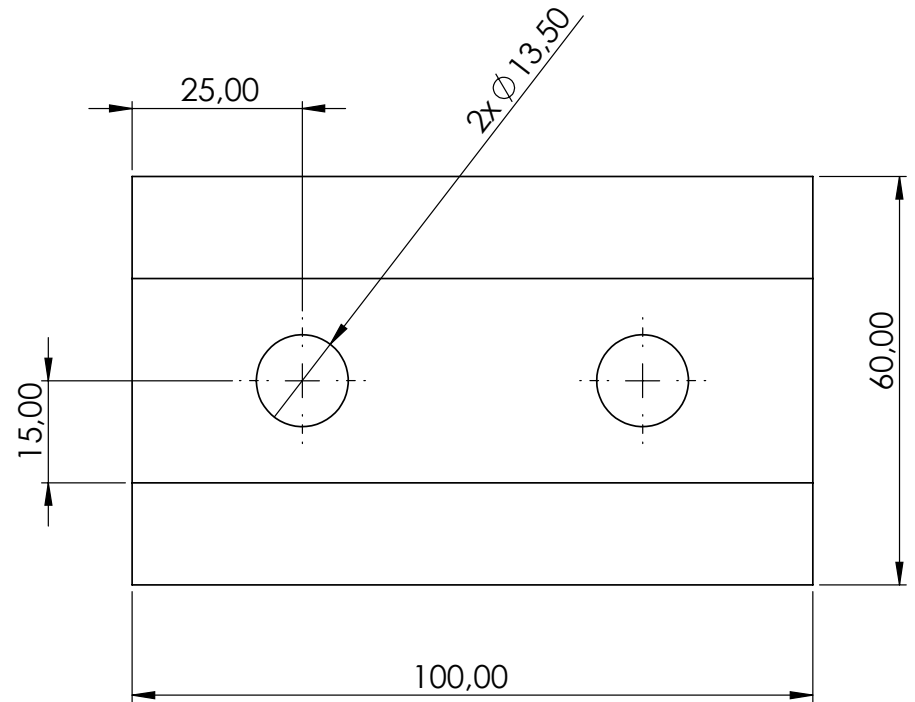
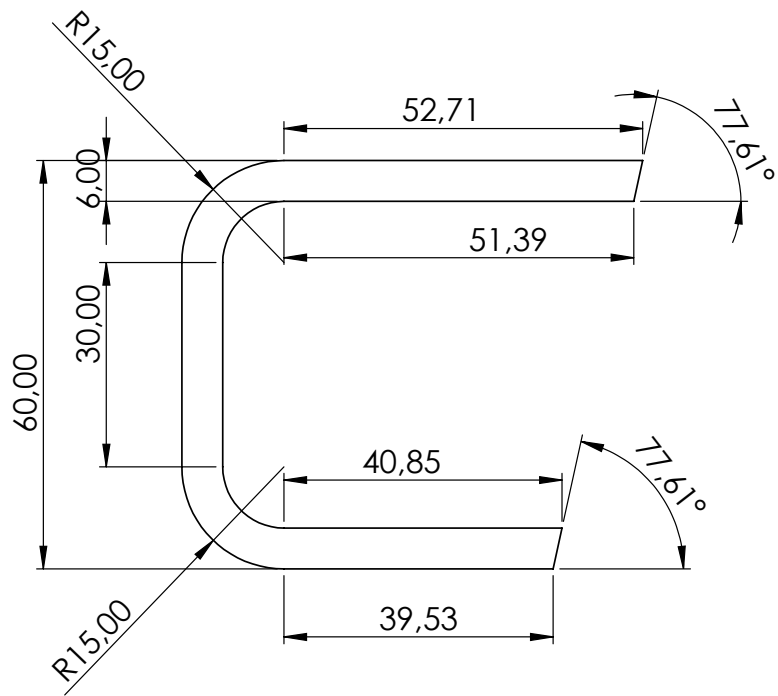


Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz

Revisado por: Ricardo, González-barranca

Fecha: 20/12/2022

Material: Acero



Observaciones:

El perfil comercial utilizado se corresponde con las medidas 120x60x6

Título:

PS-A001-P05-M-Perfil_Cuadrado-Square_Profile_Arriba

Plano nº: 1

Cantidad: 30

Escala:

Un. dim. mm

1:1

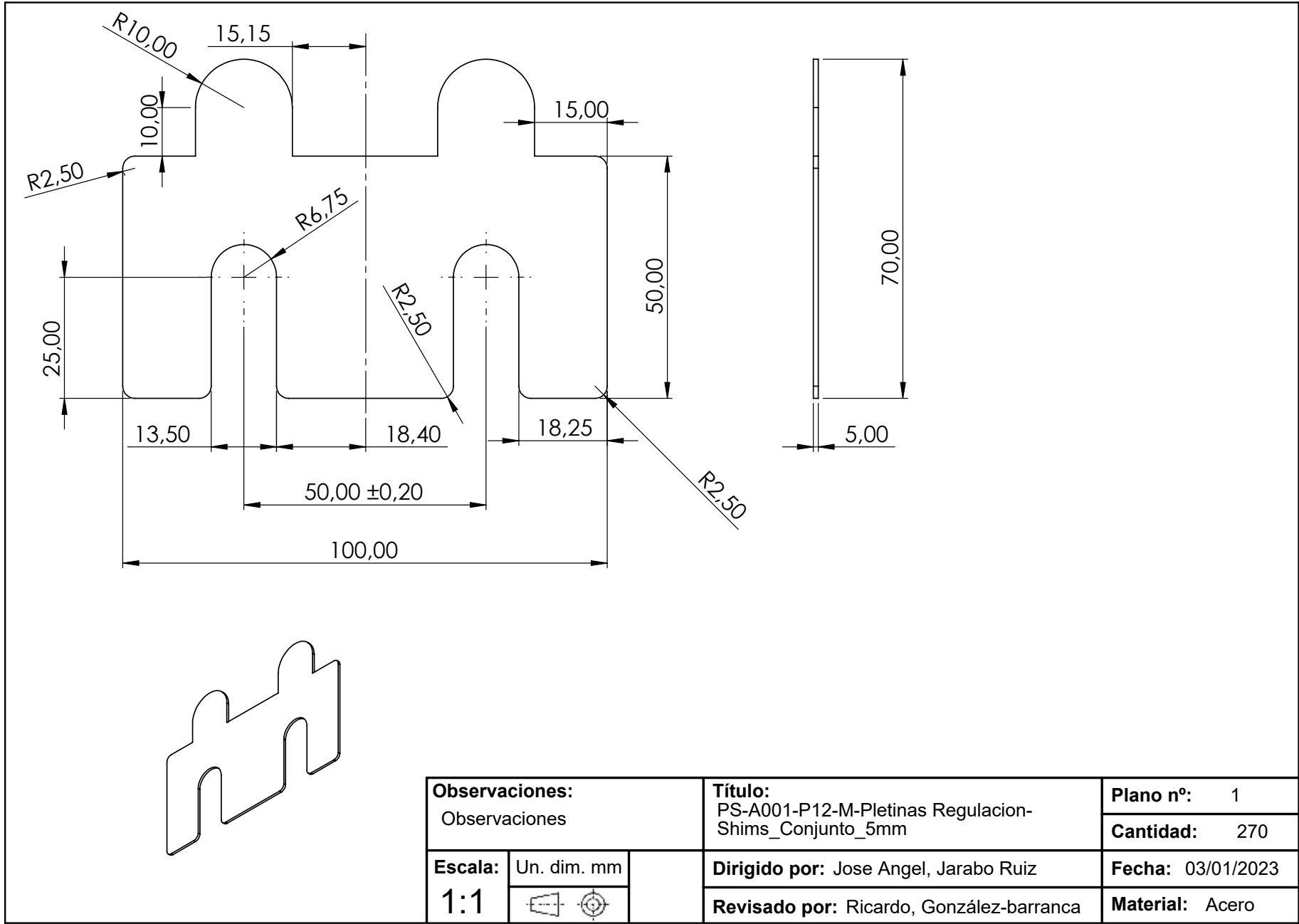


Dirigido por: Jose Ángel, Jarabo Ruiz

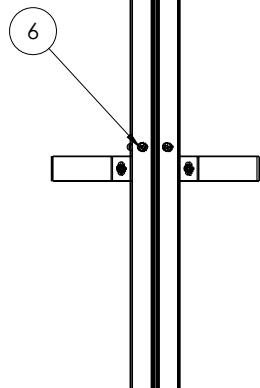
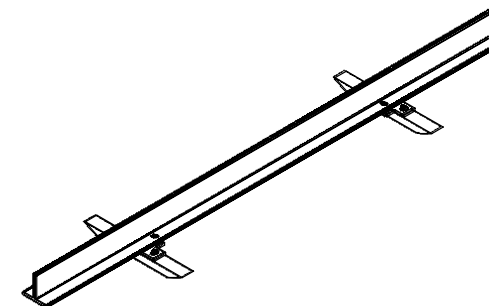
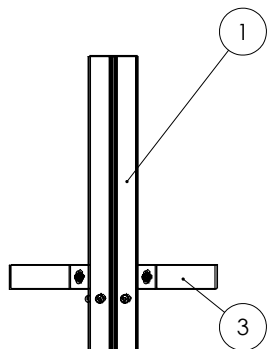
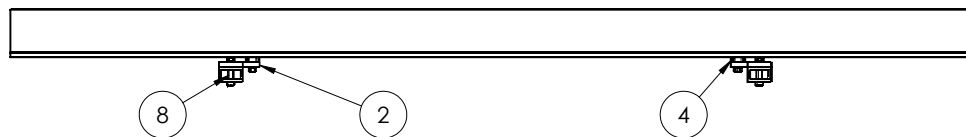
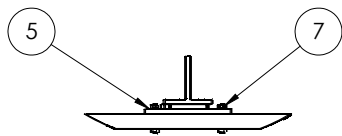
Revisado por: Ricardo, González-barranca

Fecha: 20/12/2022

Material: Acero

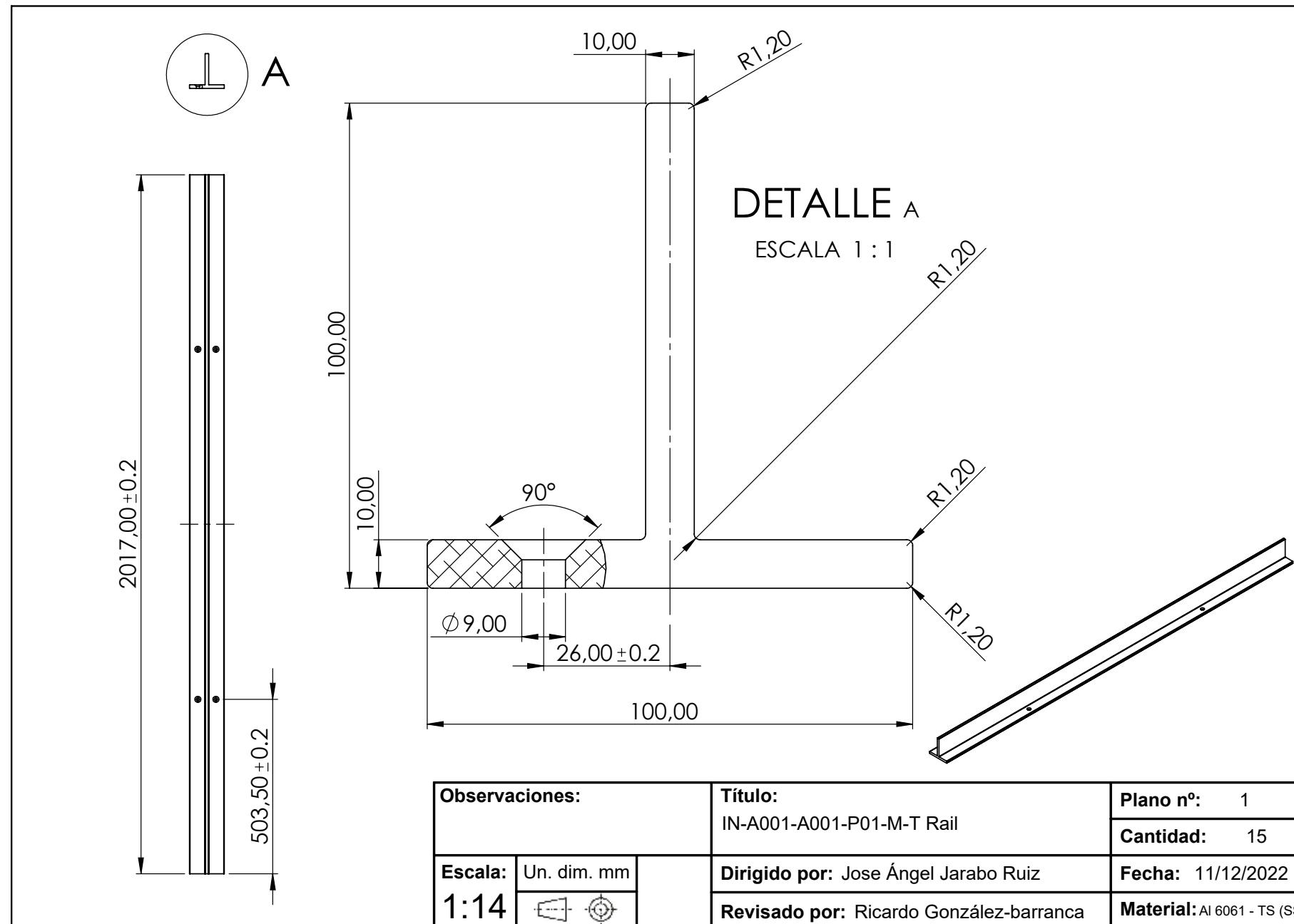


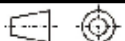
Observaciones: Observaciones		Título: PS-A001-P12-M-Pletinas Regulacion-Shims_Conjunto_5mm	Plano nº: 1
Escala: 1:1		Dirigido por: Jose Angel, Jarabo Ruiz	Cantidad: 270
Un. dim. mm 		Revisado por: Ricardo, González-barranca	Fecha: 03/01/2023
			Material: Acero

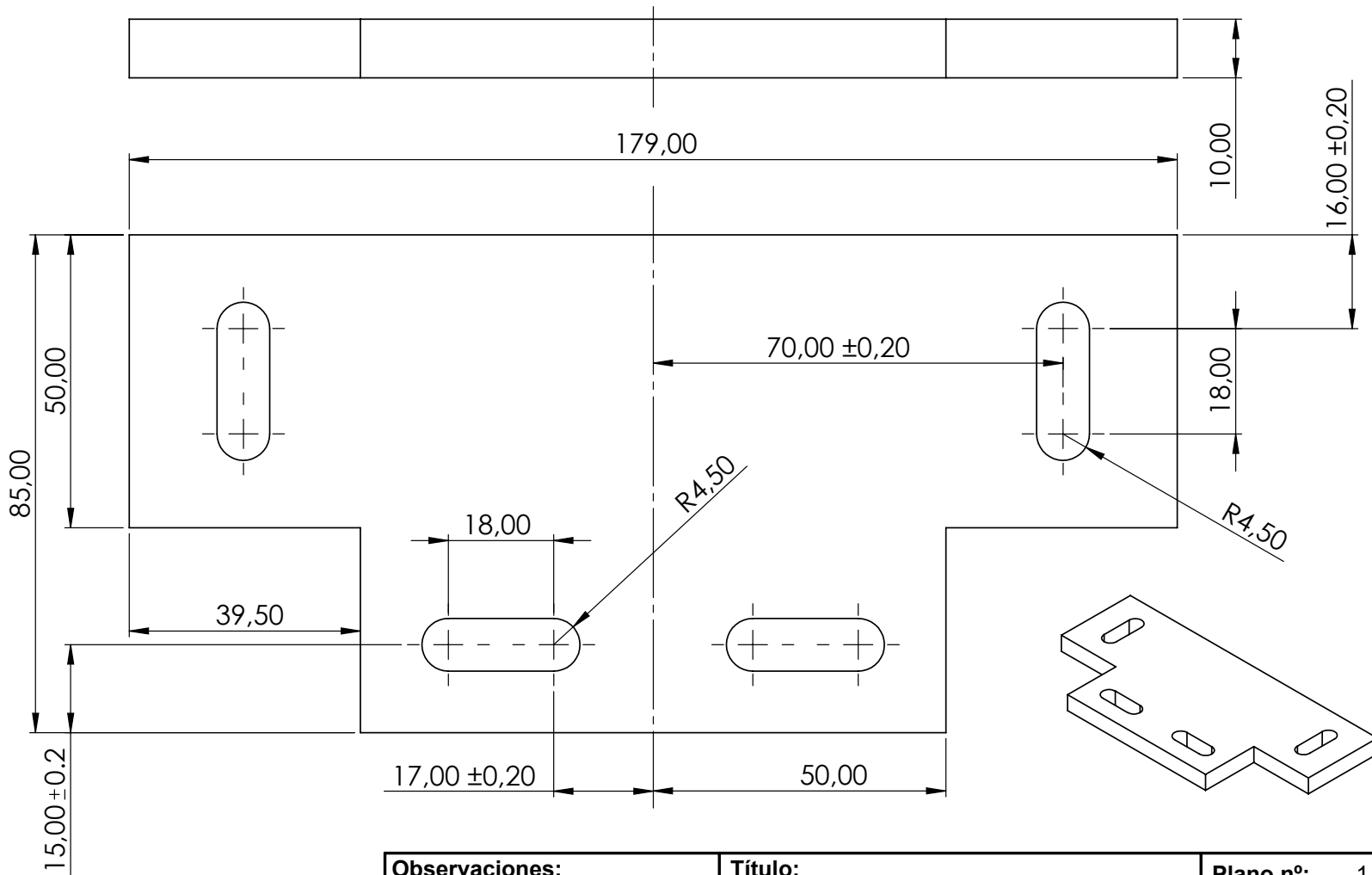


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	IN-A001-A001-P01-M-T Rail	Aluminio	1
2	IN-A001-A001-P02-M-Plancha	Acero	2
3	IN-A001-A001-P03-M-Perfil cuadrado	Acero	2
4	IN-A001-A001-P04-M-Pletinas_Regulacion_SIMPLIFICADAS- Shims_	Aluminio	2
5	STANDARD- DIN 125 - Arandela M8		8
6	STANDARD- DIN 7991 - M8x40 - Tornillo Avellanado		4
7	STANDARD- DIN 934 - Tuerca M8		8
8	STANDARD- DIN 7991 - M8x50 - Tornillo Allen		4

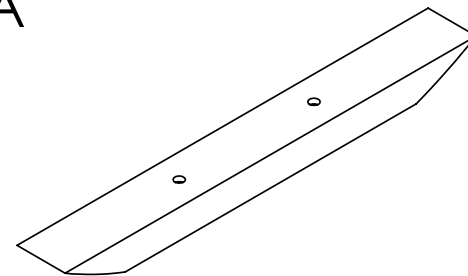
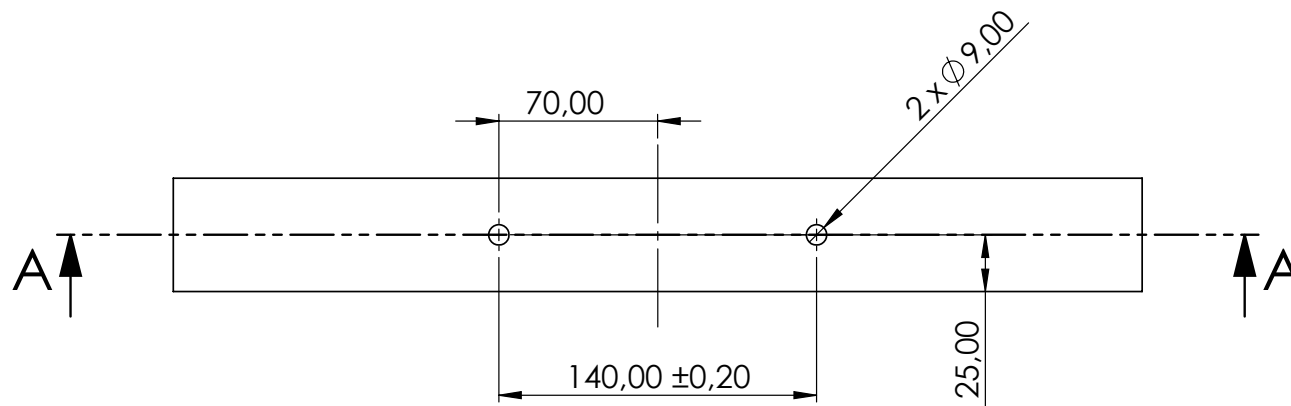
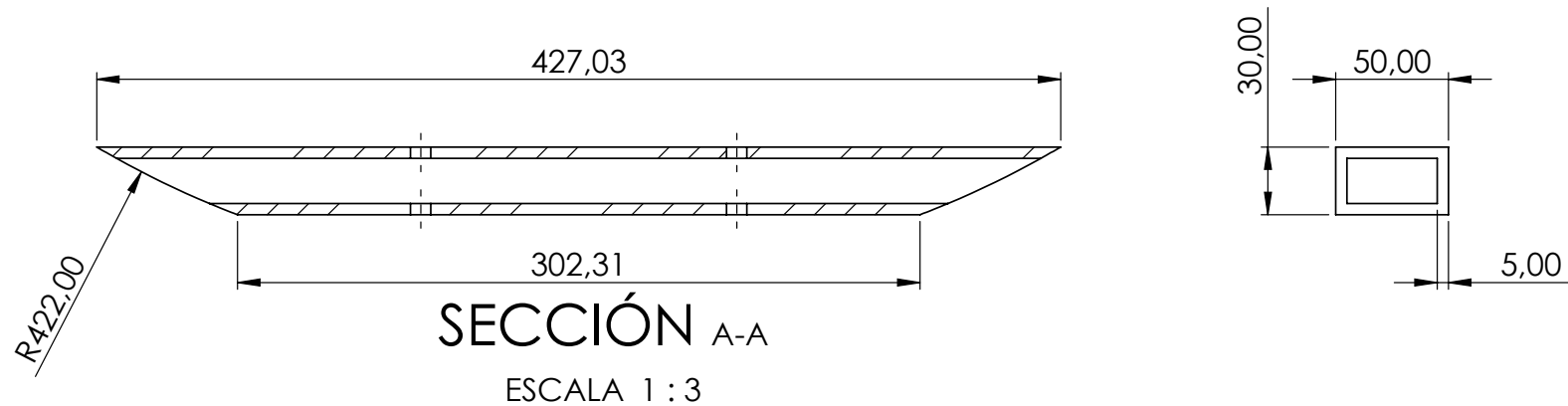
Observaciones:		Título: IN-A001-A001-Assembly Interior Infraestructura- Alineamiento Inferior	Plano n°: 1
Escala 1:10	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 03/01/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material:



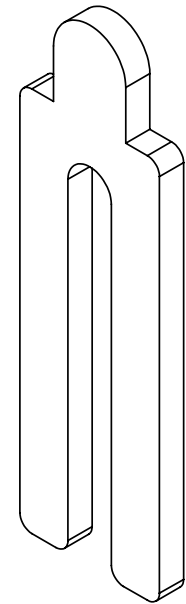
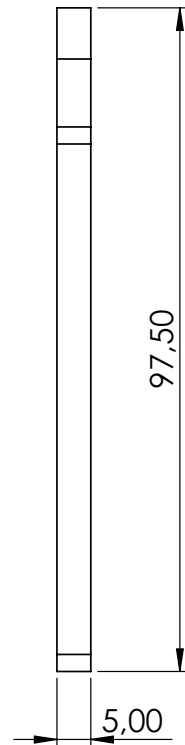
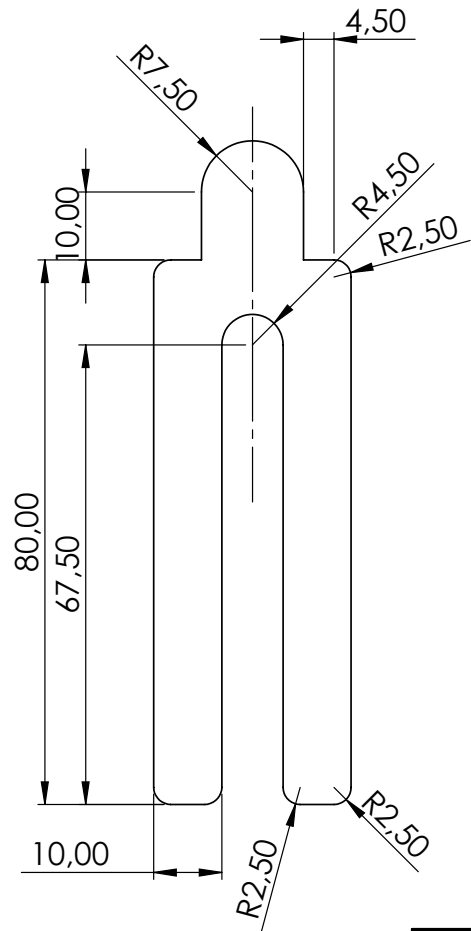
Observaciones:		Título: IN-A001-A001-P01-M-T Rail	Plano nº: 1
			Cantidad: 15
Escala: 1:14	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 11/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: AI 6061 - TS (SS)




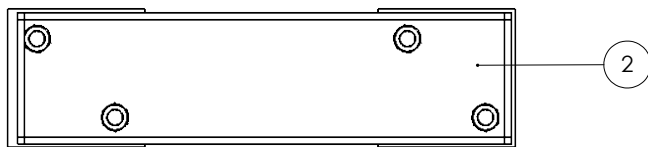
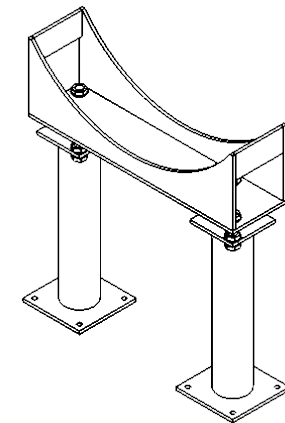
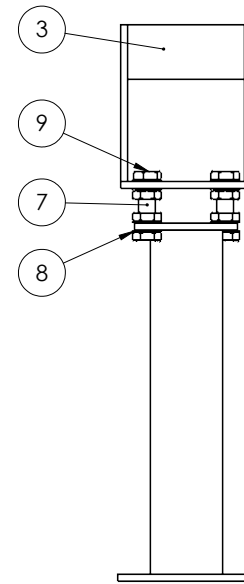
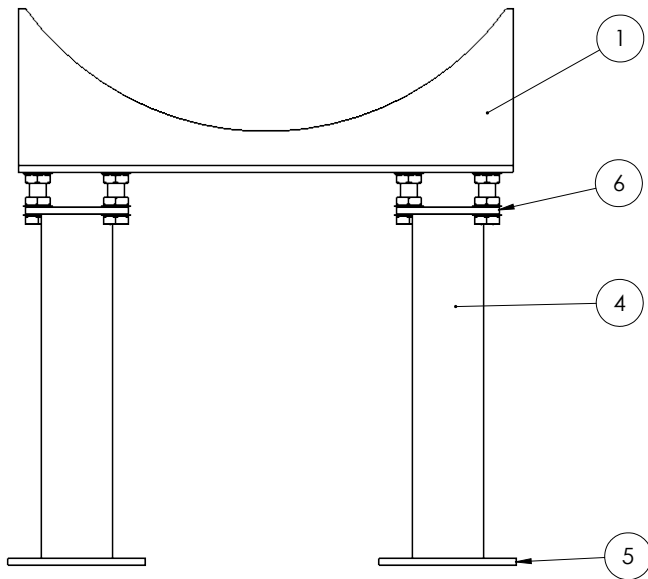
Observaciones:		Título: IN-A001-A001-P02-M-Plancha	Plano nº: 1
			Cantidad: 30
Escala: 1:1	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 03/01/2023
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235



Observaciones: Los dos taladros son pasantes		Título: IN-A001-A001-P03-M-Perfil cuadrado	Plano nº: 1
Escala: 1:3		Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Cantidad: 40
Un. dim. mm		Revisado por: Ricardo González-barranca	Fecha: 03/01/2023
			Material: Acero

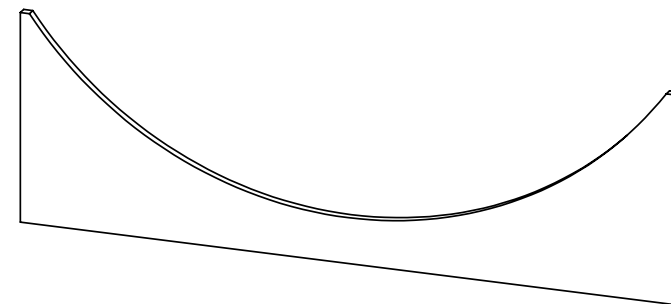
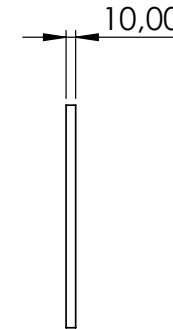
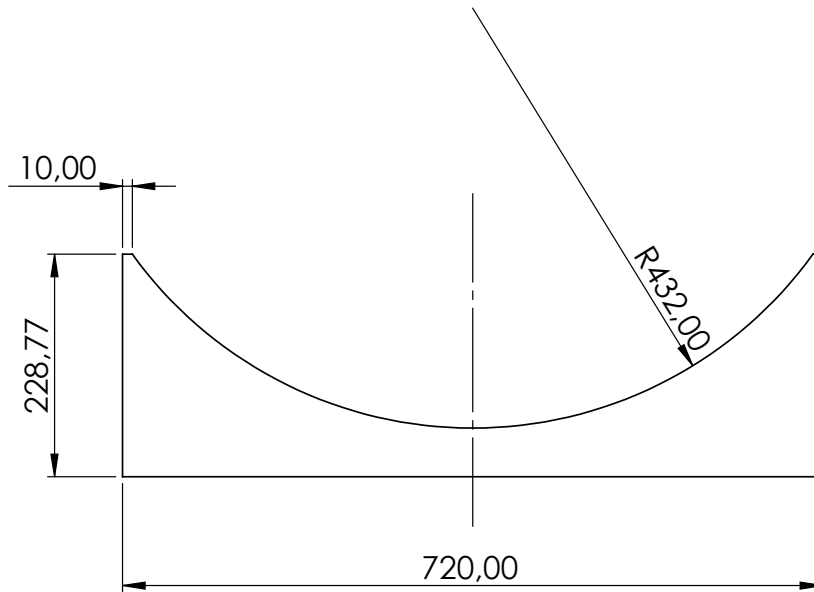


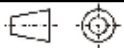
Observaciones:		Título: IN-A001-A001-P07-M-Pletinas_Regulacion_5mm	Plano nº: 1
			Cantidad: 45
Escala: 1:1	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 12/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Al 6061 TS

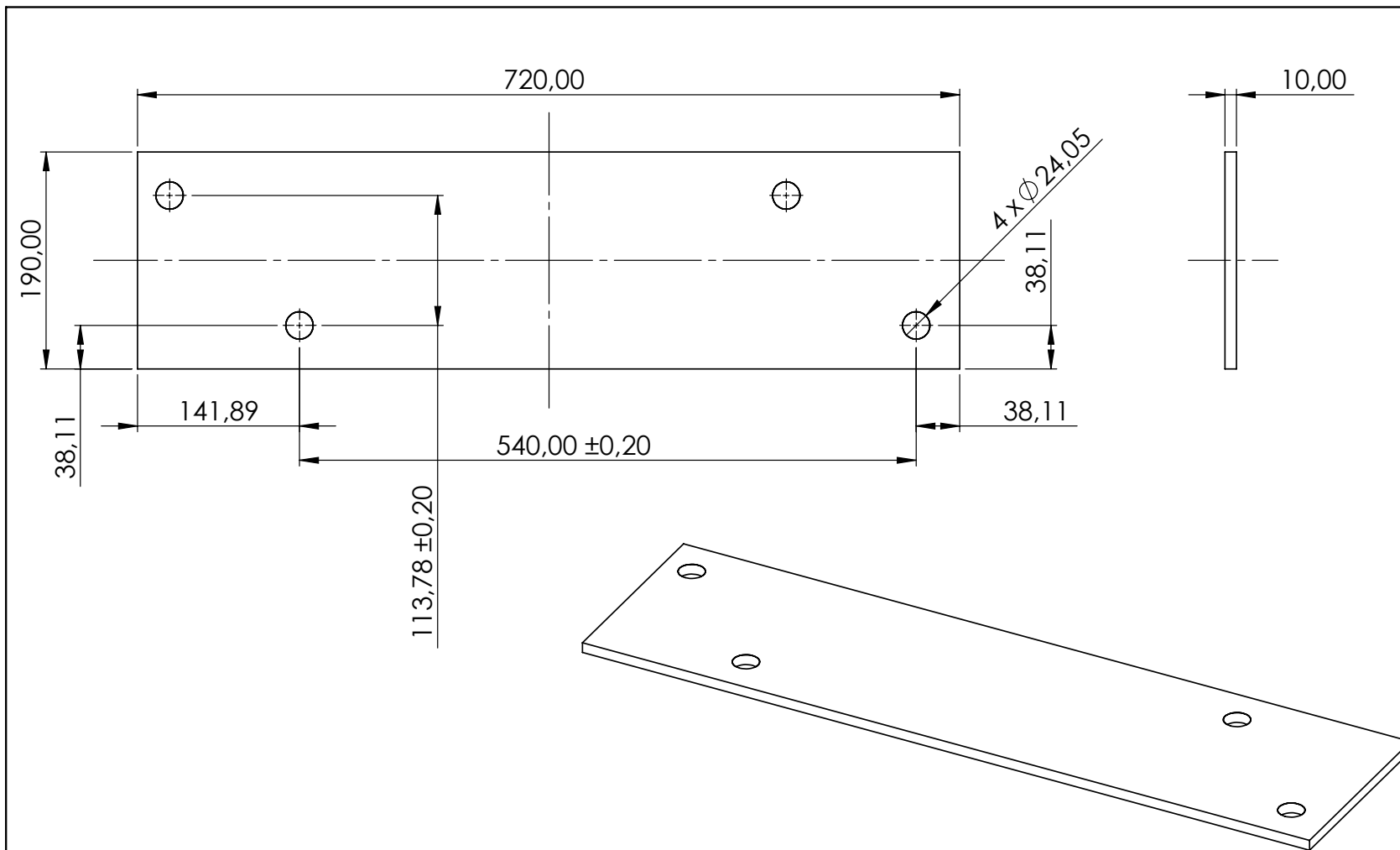



Nº	Name	Material	Qty
1	IN-A010-A001-P01-M-Tapa_trasera	Acero	2
2	IN-A010-A001-P02-M-Tapa_inferior	Acero	1
3	IN-A010-A001-P03-M-Tapa_lateral	Acero	2
4	IN-A010-A002-P02-M-Tubo_largo	Acero	2
5	IN-A010-A002-P03-M-Base_suelo	Acero	2
6	IN-A010-A002-P01-M-Base_reguladora_inferior	Acero	2
7	IN-A010-A002-P04-C-Varilla_roscada_M22	Acero	4
8	STANDARD-DIN-126-Arandela_M22x3	Acero	16
9	STANDARD-ISO-8675-Tuerca_M22	Acero	16

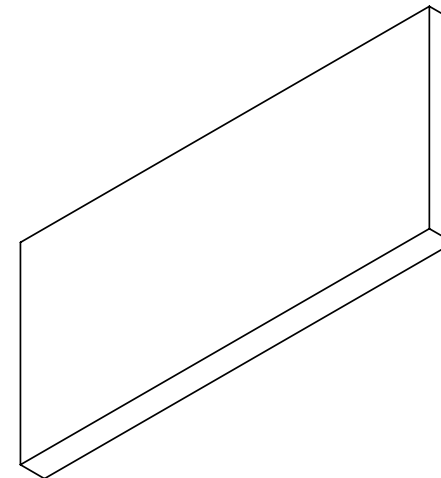
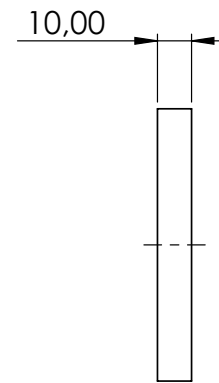
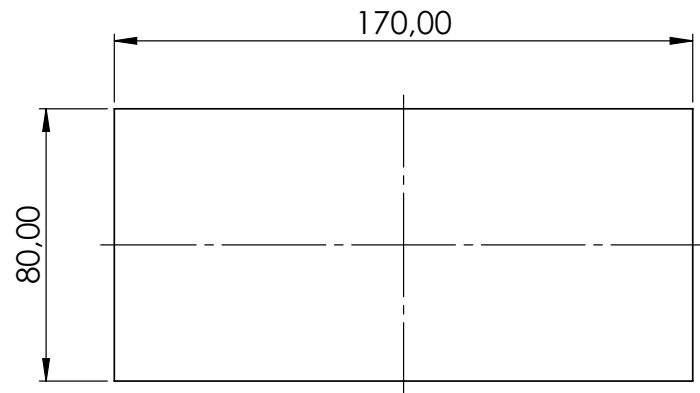
Observaciones:		Título: IN-A010-Soporte	Plano nº: 1
			Cantidad: 30
Escala 1:7	Un. dim. mm	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 14/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material:

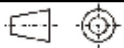


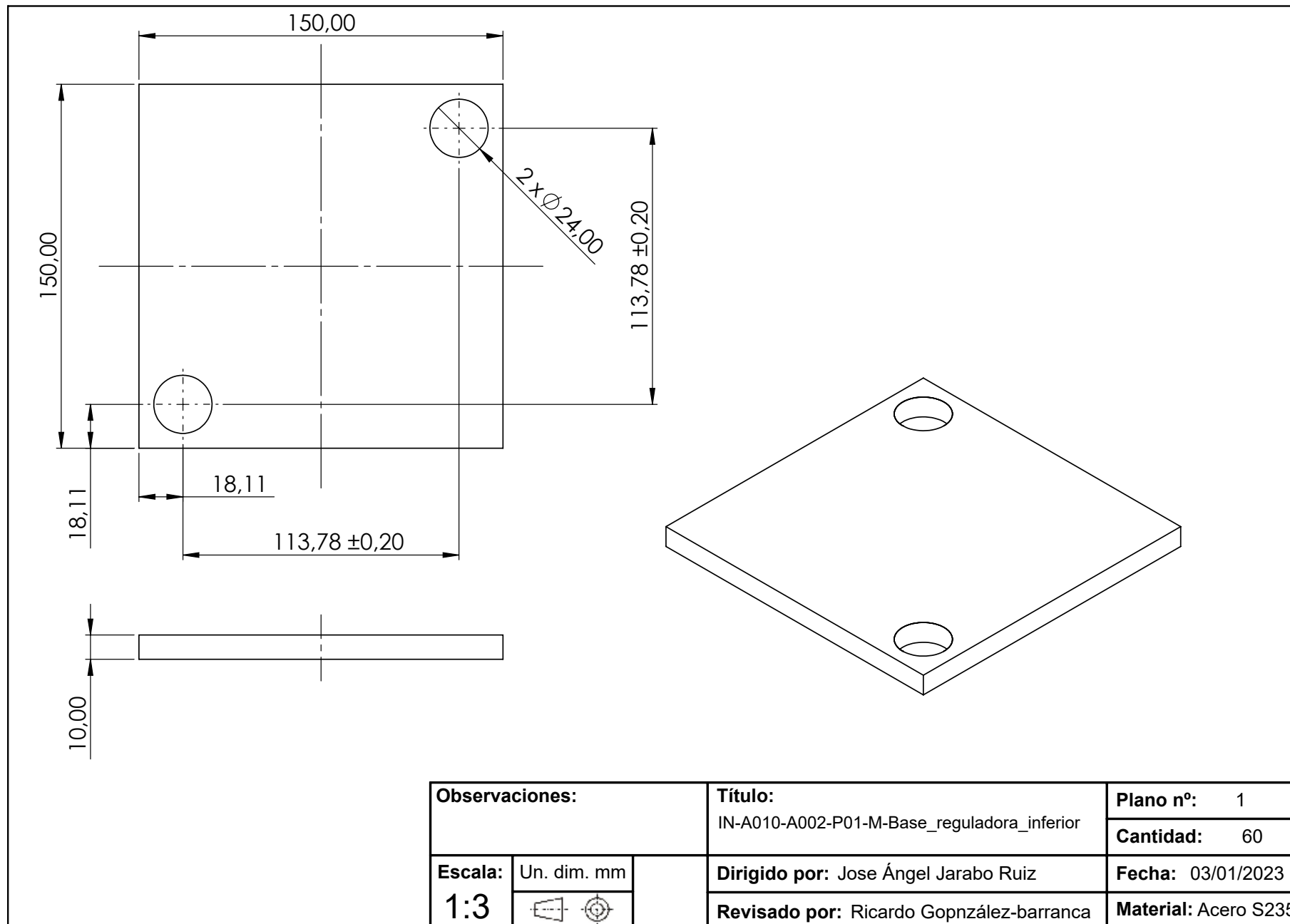
Observaciones:		Título: IN-A010-A001-P01-M-Tapa_trasera	Plano nº: 1
			Cantidad: 60
Escala: 1:7	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 09/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235

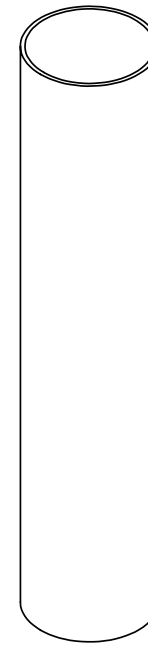
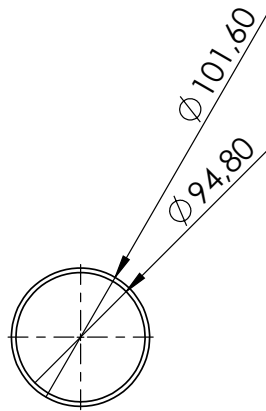
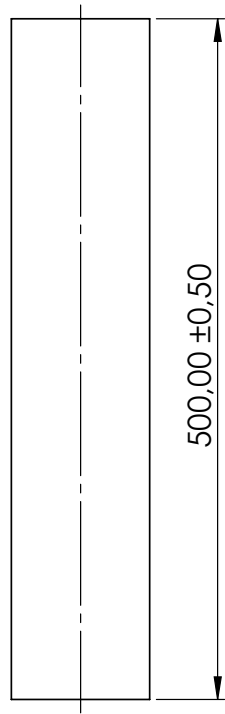


Observaciones:		Título: IN-A010-A001-P02-M-Tapa_inferior	Plano nº: 1
			Cantidad: 30
Escala: 1:5	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 03/01/2023
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235

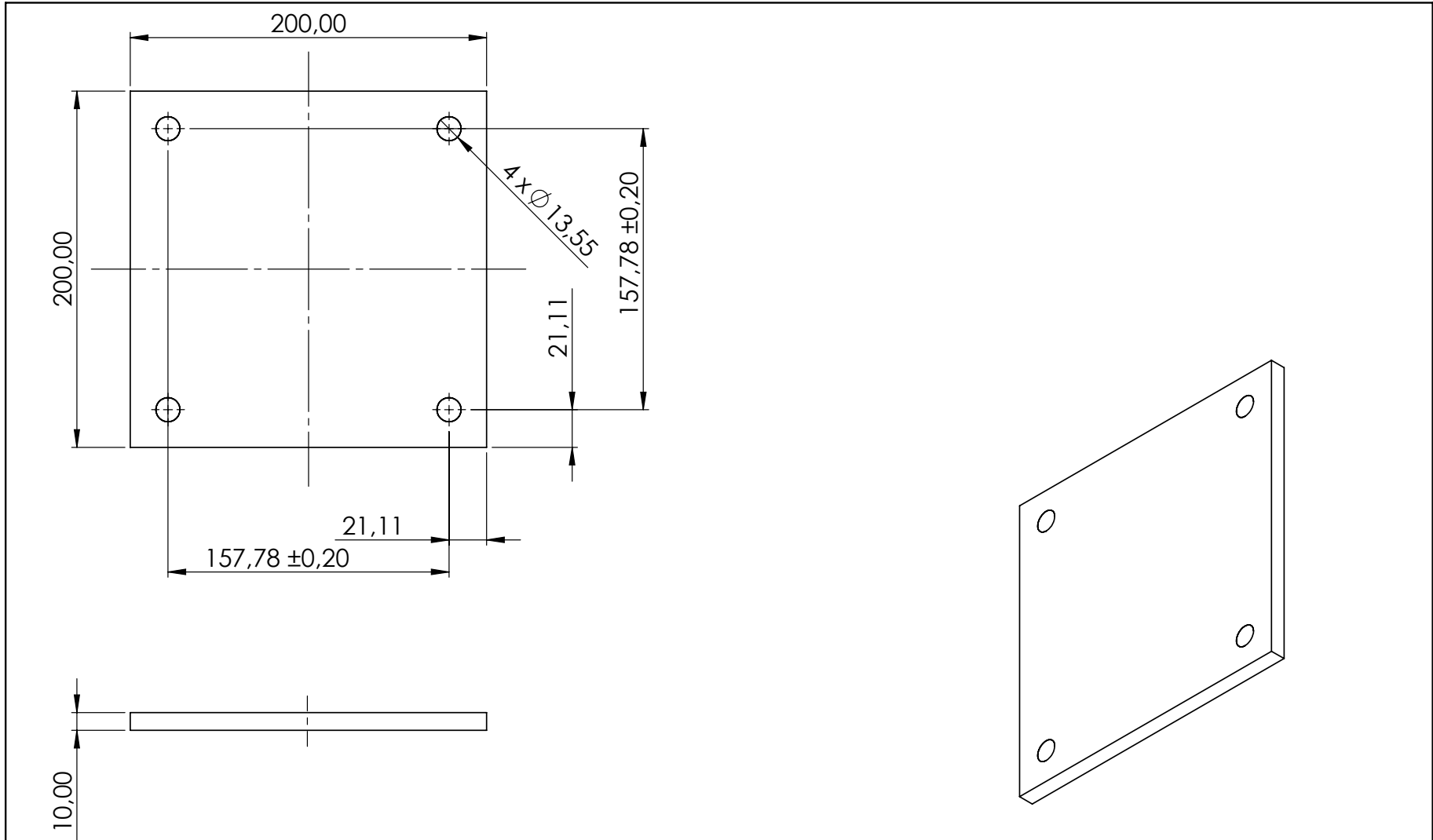


Observaciones:		Título: IN-A010-A001-P03-M-Tapa_lateral	Plano nº: 1
			Cantidad: 60
Escala: 1:2	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 09/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235





Observaciones:		Título: IN-A010-A002-P02-M-Tubo_largo	Plano nº: 1
			Cantidad: 60
Escala: 1:5	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 09/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235



Observaciones:		Título: IN-A010-A002-P03-M-Base_suelo	Plano nº: 1
			Cantidad: 60
Escala: 1:3	Un. dim. mm 	Dirigido por: Jose Ángel Jarabo Ruiz	Fecha: 09/12/2022
		Revisado por: Ricardo González-barranca	Material: Acero S235

Parte III

Pliego de condiciones

1. Pliego de condiciones generales

El siguiente pliego de condiciones establece los requisitos establecidos para el diseño de la infraestructura de un vehículo hyperloop.

En este documento se describirán de técnica y facultativamente las condiciones para la correcta ejecución del proyecto. Asimismo, se establecerán los responsables involucrados en las diferentes partes del proyecto [22].

Los principales participantes del proyecto son :

- Promotor, el equipo de Hyperloop UPV asume el papel de promotor.
- Proyectista, esto es, el responsable de llevar a cabo el proyecto establecido. En este caso, Jose Ángel Jarabo Ruiz.
- Contratista, el responsable de gestionar el presupuesto del equipo y de asegurar la compra de los elementos necesarios previamente explicados a lo largo de la memoria descriptiva y respaldado por los planos adjuntos.

1.1. Documentación del proyecto

El presente Trabajo de Fin de Grado está formado por los siguientes documentos:

- Documento 1. Memoria descriptiva
- Documento 2. Planos
- Documento 3. Pliego de condiciones
- Documento 4. Presupuesto
- Documento 5. Anexos

Los documentos contractuales están incluidos en el contrato y son de obligado cumplimiento. Esto incluye a los documentos :

- Documento 2. Planos
- Documento 3. Pliego de condiciones
- Documento 4. Presupuesto
- Documento 5. Anexos

2. Pliego de condiciones técnicas

En el desarrollo de este proyecto, tanto el promotor como el contratista colaborarán estrechamente con el proyectista. Estas especificaciones estarán directamente relacionadas con los requisitos del proyecto principal.

Además, el proyectista debe mantener al promotor informado sobre el estado del proyecto, proporcionando actualizaciones regulares. Al finalizar el proyecto, el proyectista deberá presentar un informe detallado que documente los pasos seguidos durante el proceso, así como los resultados finales obtenidos. Este informe servirá como registro exhaustivo de todas las etapas y contribuirá a la evaluación del proyecto.

2.1. Documentación

La documentación mínima que debe de adoptar cada documento se detalla a continuación:

- Documento 1. Memoria descriptiva. En él, se definen los objetivos, marco teórico así como los principales requerimientos del proyecto. Asimismo, el diseño implementado, las simulaciones, fabricación, montaje y validación de la infraestructura también se han incluido.
- Documento 2. Planos. Se incluyen los planos de todos los componentes de la infraestructura.
- Documento 3. Pliego de condiciones. El objetivo es definir el marco legal común y limitar los derechos y responsabilidades de los agentes implicados.
- Documento 4. Presupuesto. Se desglosan el coste económico total del proyecto.
- Documento 5. Anexos. Se incorporan todos los documentos mencionados y aludidos durante el proyecto.

2.2. Disposiciones legales

- Real Decreto 486/1997, del 14 de abril .Disposiciones mínimas de seguridad y salud en el ámbito de trabajo.
- Norma UNE 36010 y UNE-EN 10020:2001. Definición y clasificación de los tipos de aceros.
- Norma UNE 157001:2002, febrero: Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- Norma UNE-EN 20286:1996. Sistema ISO de tolerancias y ajustes
- Norma UNE 50-132-94. Documentación para numeración de las divisiones y subdivisiones en los documentos escritos.
- Norma UNE 82100, partes 01 a 13. Magnitudes y unidades.

3. Pliego de condiciones facultativas

El pliego de condiciones facultativas tiene como objetivo definir y establecer las responsabilidades y obligaciones de los diferentes agentes involucrados en el desarrollo del proyecto.

3.1. Promotor

El papel del promotor, en este caso, recae sobre el equipo directivo de Hyperloop UPV, quienes encargan el proyecto al contratista y, por ende, al proyectista. El promotor es responsable de definir correctamente las especificaciones a partir de las cuales debe diseñarse el sistema. En este sentido, el promotor asume la responsabilidad de cualquier fallo que produzca como consecuencia un aumento de presupuesto o un retraso en la fecha de finalización. El promotor tiene la facultad de solicitar al contratista y al proyectista cualquier información relacionada con el estado del proyecto y el cumplimiento de los plazos, independientemente del estado de ejecución del mismo.

3.2. Contratista

La responsabilidad del contratista recae en Ricardo González-barranca. Es responsabilidad del contratista garantizar que el mecanizado del sistema se realice de acuerdo con los documentos del proyecto desarrollados. Además, el contratista también tiene la capacidad de solicitar la información que desee en relación con el estado del proyecto, pudiendo detenerlo si las cláusulas especificadas más adelante lo permiten.

3.3. Proyectista

La figura del proyectista recae en Jose Ángel Jarabo Ruiz. Es responsabilidad del proyectista resolver cualquier incoherencia que pueda aparecer durante la ejecución del proyecto, ya sea en la fabricación o en la validación del mecanismo. El proyectista tiene el derecho de llevar a cabo el diseño, siguiendo las especificaciones técnicas, de acuerdo con su criterio como ingeniero profesional y sin verse influenciado por los intereses del contratista o el promotor.

3.4. Plazos y entrega

Los plazos de ejecución y la fecha de inicio del diseño están definidos en el contrato y deben ser cumplidos obligatoriamente por el proyectista:

- Fecha de inicio del proyecto: 01/09/2021
- Fecha de finalización del proyecto: 29/06/2022

El proyectista se reserva el derecho de solicitar una extensión de los plazos de entrega, siempre que esté debidamente justificado. Sin embargo, dicho retraso deberá ser aceptado por el contratista, quien asumirá la responsabilidad de los nuevos plazos y deberá justificarlos ante el promotor del proyecto.

3.5. Garantía

El diseño mecánico del sistema de anclaje y regulación dimensional contará con una garantía de un año a partir de la entrega del proyecto al cliente. Durante este período, es responsabilidad del proyectista llevar a cabo el rediseño de las partes que demuestren fallas. Sin embargo, bajo ninguna circunstancia el proyectista deberá asumir ningún gasto relacionado con el rediseño, fabricación o validación.

Parte IV

Presupuestos

1. Introducción

En este documento se presenta el presupuesto del proyecto que abarca el diseño, fabricación y montaje de la infraestructura. Sin embargo, es importante destacar que únicamente, se han incluido en el presupuesto aquellos elementos y componentes diseñados y detallados en el Capítulo 4.

Se diferencian 5 unidades de obra distintas. En ellas se alude al diseño y fabricación de la infraestructura, adquisición de los componentes comerciales, de las herramientas empleadas y su montaje final.

2. Cuadro de precios Básicos

Código	Ud	Descripción	Importe (€)
1		Mano de obra	
MO.001	h	Ingeniero Técnico Aeroespacial	20.000
MO.002	h	Ingeniero Técnico en fabricación	17.000
MO.003	h	Ayudante de Taller	12.000

3. Cuadro de precios unitarios

Código	Ud	Descripción	Importe (€)
2		Software	
SW.001	año	Ansys Workbench Premium License	41,710.000
SW.002	año	SOLIDWORKS Professional License	8,662.000
SW.003	año	Mantenimiento de la Licencia de SOLIDWORKS	1,700.000
SW.004	año	SOLIDWORKS PDM Professional Editor License	5,415.000
3		Componentes comerciales	
CC.001	ud	Perno cabeza Allen DIN 912 M8X50	0.240
CC.002	ud	Perno de cabeza avellanada DIN 7991 M8X40	0.720
CC.003	ud	Perno de cabeza hexagonal DIN 933 M12X50	0.340
CC.004	ud	Perno de cabeza avellanada DIN 7991 M12X80	0.820
CC.005	ud	Perno de cabeza hexagonal DIN 933 M12X80	0.540

CC.006	ud	Tuerca normal DIN 934 M8	0.330
CC.007	ud	Tuerca normal DIN 934 M12	0.730
CC.008	ud	Tuerca normal DIN 934 M22	0.900
CC.009	ud	Arandela normal DIN 125 M8	0.010
CC.010	ud	Arandela normal DIN 125 M12	0.180
CC.011	ud	Arandela normal DIN 125 M22	0.270
CC.012	ud	Varilla roscada DIN 975 M22	3.200
CC.013	ud	Cojinete de Valona	3.760
CC.014	ud	O-Ring FPM $\Phi 40mm$	20.190
CC.015	ud	O-Ring NBR $\Phi 840mm$	40.820
CC.016	ud	Grasa para vacío	10.790
CC.016	ud	Sellador de juntas universal	18.990
CC.017	ud	DN 40 ISO-KF Brida con tubuladura	2.400
CC.018	ud	DN 40 ISO-KF Arandela de sujeción	3.220
CC.019	ud	DN 16 ISO-KF Arandela de sujeción	1.050
CC.020	ud	DN 40 ISO-KF Arandela de centrado	1.250
CC.021	ud	DN 16 ISO-KF Arandela de centrado	0.750
CC.022	ud	DN 40 ISO-KF Brida ciega	2.500
CC.023	ud	DN 16 ISO-KF Brida ciega	1.990
CC.024	ud	DN 40/16 ISO-KF Reductor	1.480
CC.025	ud	Digital PIEZOVAC Sensor PV 101	899.000

Código	Ud	Descripción	Importe (€)
4		Fabricación de piezas	
FP.001	ud	Planchas acero inox. tubo	2,000.000
FP.002	ud	Virolado planchas de acero inox. tubo	300.000
FP.003	ud	Corte láser brida	50.000
FP.004	ud	Corte láser puerta	45.000
FP.005	ud	Corte láser y plegado pieza móvil bisagra	100.500
FP.006	ud	Corte láser y plegado pieza fija bisagra	78.000
FP.007	ud	Corte láser nervio bisagra	25.500
FP.008	ud	Corte láser asa puerta	10.000
FP.009	ud	Corte láser pletinas de regulación	2.230
FP.010	ud	Corte láser perfil cuadrado	12.450
FP.011	ud	Corte láser plancha reguladora inferior	8.990
FP.012	ud	Corte láser plancha reguladora lateral	10.000
FP.012	ud	Corte láser planchas soportes	22.050
FP.013	ud	Soldadura brida	50.000
FP.014	ud	Soldadura soportes	60.000
FP.015	ud	Mecanizado CNC brida	100.00
FP.016	ud	Ranurado CNC brida	50.000
FP.017	ud	Mecanizado CNC cilindro pasador	89.900
FP.018	ud	Roscado CNC cilindro pasador	80.050
FP.019	ud	Extrusión perfil en L	66.670
FP.020	ud	Extrusión perfil cuadrado	22.130
FP.021	ud	Extrusión raíl	73.330
5		Herramientas de montaje	
HM.001	ud	Juego de llaves Allen y Torx	15.380
HM.002	ud	Juego de llaves inglesas fijas	45.000

3.1. Cuadro de precios descompuestos

UO.001 [mes] Diseño de la infraestructura

La presente unidad de obra abarca la fase de diseño de la infraestructura. Este se ha realizado con el programa de modelado 3D SOLIDWORKS, donde se han guardado todos los archivos en el almacén proporcionado por el PDM de SOLIDWORKS. Para la simulaciones por elementos finitos se ha empleado el software ANSYS Workbench.

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
1.1					
Mano de obra					
MO.001	h	Ingeniero Técnico Aeroespacial	110.000	20.000	2,200.000
Subtotal mano de obra: 2,200.000					
1.2					
Software					
SW.001	año	Ansys Workbench Premium License	0.083	41,710.000	3,475.000
SW.002	año	Ansys Workbench Edupack	0.083	0.000	0.000
SW.003	año	SOLIDWORKS Professional License	0.083	12,200.000	1,100.000
SW.004	año	SOLIDWORKS Professional Editor License	0.083	1,700.000	141.667
Subtotal software: 5,027.083					
1.3					
Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2.000	7,368.750	143.375
Costes directos: 7,374.458					

UO.002 [unidad] Manufactura de la infraestructura

Mecanizado de todas las piezas que componen la infraestructura, esto implica cualquier fresado, torneado, corte láser, y plegado.

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
1.1					
Mano de obra					
MO.003	h	Ingeniero Técnico en Fabricación	30.000	17.000	510.000
MO.004	h	Ayudante de Taller	30.000	12.000	360.000
Subtotal mano de obra: 870.000					

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
2.2		Fabricación de las piezas de infraestructura			
FP.001	ud	Planchas acero inox. tubo	20	2500.000	50,000.000
FP.002	ud	Virolado planchas de acero inox. tubo	20	300.000	6,000.000
FP.003	ud	Corte láser brida	40	50.000	2,000.000
FP.004	ud	Corte láser puerta	2	45.000	90.000
FP.005	ud	Corte láser y plegado pieza móvil bisagra	2	100.500	201.000
FP.006	ud	Corte láser y plegado pieza fija bisagra	2	78.000	156.000
FP.007	ud	Corte láser nervio bisagra	2	25.500	51.000
FP.008	ud	Corte láser asa puerta	2	10.000	20.000
FP.009	ud	Corte láser pletinas de regulación	900	2.230	2,007.000
FP.010	ud	Corte láser perfil cuadrado	160	12.450	1992.000
FP.011	ud	Corte láser plancha reguladora inferior	40	8.990	359.600
FP.012	ud	Corte láser plancha reguladora latera	120	10.000	1,200.000
FP.013	ud	Corte láser planchas soportes	40	22.050	882.000
FP.014	ud	Soldadura brida	40	50.000	2,000.000
FP.015	ud	Soldadura soportes	40	60.000	2,400.000
FP.016	ud	Mecanizado CNC brida	40	100.000	4,000.000
FP.017	ud	Ranurado CNC brida	40	50.000	2,000.000
FP.018	ud	Mecanizado CNC cilindro pasador	2	89.900	179.800
FP.019	ud	Roscado CNC cilindro pasador	2	80.050	160.100
FP.020	ud	Extrusión perfil en L	20	66.670	133.400
FP.021	ud	Extrusión perfil cuadrado	160	22.130	3540.800
FP.022	ud	Extrusión raíl	20	73.300	1466.000
			Subtotal fabricación de las piezas: 8,0838.700		
1.3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	2.040.000	42.330
			Subtotal costes directos: 2,082.33		

UO.003 [Ud.] Adquisición de uniones y otro componentes comerciales

Se detalla la compra de todos los componentes comerciales que componen la infraestructura, esto es, pernos y tonillos, tuercas, arandelas, sensor de presión y todos los componentes comerciales y conexiones empelados para el vacío.

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
3.1		Pernos y tornillos de unión			
CC.001	ud	Perno cabeza Allen DIN 912 M8X50	80	0.240	19.200
CC.002	ud	Perno de cabeza avellanada DIN 7991 M8X40	80	0.720	57.600
CC.003	ud	Perno de cabeza hexagonal DIN 933 M12X50	496	0.340	168.640
CC.004	ud	Perno de cabeza avellanada DIN 7991 M12X80	240	0.820	196.800
CC.005	ud	Perno de cabeza hexagonal DIN 933 M12X80	192	0.540	103.680
CC.006	ud	Varilla roscada DIN 975 M22	160	3.200	512.000
Subtotal pernos y tornillos de unión: 1,057.920					
3.2		Tuercas y arandelas			
CC.007	ud	Tuerca normal DIN 934 M8	176	0.330	58.080
CC.008	ud	Tuerca normal DIN 934 M12	1216	0.730	887.680
CC.009	ud	Tuerca normal DIN 934 M22	644	0.900	579.600
CC.010	ud	Arandela normal DIN 125 M8	160	0.010	1.600
CC.011	ud	Arandela normal DIN 125 M12	960	0.180	172.800
CC.012	ud	Arandela normal DIN 125 M22	644	0.270	173.880
Subtotal tuercas y arandelas: 1,872.640					
3.2		Otros componenetes			
CC.013	ud	Cojinete de Valona	8	3.760	30.080
CC.014	ud	O-Ring NBR Φ 840mm	25	20.190	504.750
CC.015	ud	O-Ring FPM Φ 40mm	25	40.820	1020.500
CC.016	ud	Grasa para vacío	2	10.790	21.580
CC.017	ud	Sellador de juntas universal	1	18.990	18.990
Subtotal otros componentes: 1,595.900					

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
3.3		Componentes y accesorios de vacío			
CC.018	ud	DN 40 ISO-KF Brida con tubuladura	16	2.400	38.400
CC.019	ud	DN 40 ISO-KF Arandela de sujeción	16	3.220	51.520
CC.020	ud	DN 16 ISO-KF Arandela de sujeción	2	1.050	2.100
CC.021	ud	DN 40 ISO-KF Arandela de centrado	16	1.250	20.000
CC.022	ud	DN 16 ISO-KF Arandela de centrado	2	1.750	3.500
CC.023	ud	DN 40 ISO-KF Brida ciega	16	2.500	40.000
CC.024	ud	DN 16 ISO-KF Brida ciega	2	1.990	3.980
CC.025	ud	DN 40/16 ISO-KF Reductor	2	1.480	2.960
CC.026	ud	Digital PIEZOVAC Sensor PV 101	2	899.000	1798.000
Subtotal componentes y accesorios de vacío: 1,960.460					
3.4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	1,312.930	26.259
Subtotal costes directos: 6,513.179					

UO.004 [Ud.] Adquisición de las herramientas para el montaje de la infraestructura

Se detallan la adquisición de las herramientas necesarias para realizar el montaje de la infraestructura y sus elementos.

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
4.1		Herramientas para montaje			
HM.001	ud	Juego de llaves Allen y Torx	1	15.380	15.380
HM.002	ud	Juego de llaves inglesas fijas	1	45.000	45.000
Subtotal herramientas para montaje: 60.380					
4.2		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2	60.380	1.208
Subtotal costes directos: 61.588					

UO.005 [sistema] Montaje final de la infraestructura

Se detallan el ensamblaje junto con todos los elementos que componene la bancada.

Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
5.1		Montaje de las secciones			
M0.001	h	Ayudante de taller	30	12.000	360.000
Subtotal ensamblaje de las secciones: 360.000					
5.2		Montaje elementos internos			
M0.001	h	Ayudante de taller	10	12.000	120.000
Subtotal montaje elementos internos : 120.000					
	%	Costes directos complementarios	2	108.000	2.160
Subtotal costes directos: 482.160					

4. Cuadro de Mediciones

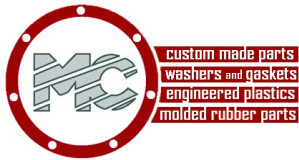
Código	Ud	Descripción	Rendim	Precio unitario	Importe
UO.001	mes	Diseño de la infraestructura	4	7,374.458	2,9497.832
UO.002	ud	Manufactura de la infraestructura	1	83,791.03	83,791.030
UO.003	ud	Adquisición de componentes comerciales	1	6,513.179	6,513.179
UO.004	ud	Adquisición de herramientas montaje	1	61.588	61.588
UO.005	ud	Montaje final de la infraestructura	1	482.160	482.160
		Costes Indirectos			
	%	Costes Indirectos	1	98,160.827	9,816,082
Presupuesto de ejecución Material (PEM): 107,976.909					
		Gastos Generales			
	%	Gastos Generales	13.000	107,976.909	14,036.998
		Beneficio Industrial			
	%	Beneficio industrial	6.000	107,976.909	6,478.614
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC): 128,492.521					
		Impuesto Valor Añadido (I.V.A)			
	%	Impuesto Valor Añadido (I.V.A)	21.000	128,492.521	26,983.429
PRESUPUESTO DE INVERSIÓN: 155,475.95					

5. Presupuesto

El presupuesto del proyecto asciende a un total de CIENTO CINCUENTA Y CINCO MIL CUATRO CIENTOS SETENTA Y CINCO euros con NOVENTA Y CINCO céntimos.

Parte V

Anexos



Update 26 March 2019

FKM 70 GREEN RAL 6021

General Application Temperature Range

From -20°C
To 220°C

General Environmental Application

Chemicals
Hydrocarbons
High Temperatures

Compliances

Composition – IMDS Data

CAS n°	Qty %
9011-17-0	55-65
100402-91-3	9-14
1309-48-4	2-5
7727-43-7	9-14
1308-38-9	2-5
n.a.	3-6

Note

...

Disclaimer

Temperatures, applications and indications here above are meant as basic suggestions and valid for static applications with no other specific media and or conditions.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Property	Test STD	Unit	Value
Density	ASTM D297	g/cm ³	2,13 ± 0,03
Hardness	ASTM D2240	ShA	70 ± 5
Tensile Strength	ASTM D412C	N/mm ²	12
Elongation	ASTM D412C	%	190
Tear resistance	ASTM D624B	N/mm	34
TR 10	ASTM D1329	°C	-17
Brittle Point		°C	
C. Set 24h @200°C	ASTM D395B	%	14
C. Set 70h @200°C		%	

AGEING PROPERTIES

Environment	Test STD	Unit	Value
Air 70h @200°C	<i>Hardness Change</i>	ShA	
	<i>Tensile Strength</i>	%	
	<i>Elongation</i>	%	
	<i>Volume</i>	%	
	<i>Weight</i>	%	
	Air 70h @250°C	ASTM D573	
<i>Hardness Change</i>		ShA	+3
<i>Tensile Strength</i>		%	+2
<i>Elongation</i>		%	-18
<i>Volume</i>		%	
<i>Weight</i>		%	
Oil ASTM 3 70h @150°C	<i>Hardness Change</i>	ShA	
	<i>Tensile Strength</i>	%	
	<i>Elongation</i>	%	
	<i>Volume</i>	%	
	<i>Weight</i>	%	
	Fuel ASTM C 70h @23°C	ASTM D471	
<i>Hardness Change</i>		ShA	-4
<i>Tensile Strength</i>		%	
<i>Elongation</i>		%	
<i>Volume</i>		%	+4,5
<i>Weight</i>		%	

SOGEVAC SV 300 B and 320 B



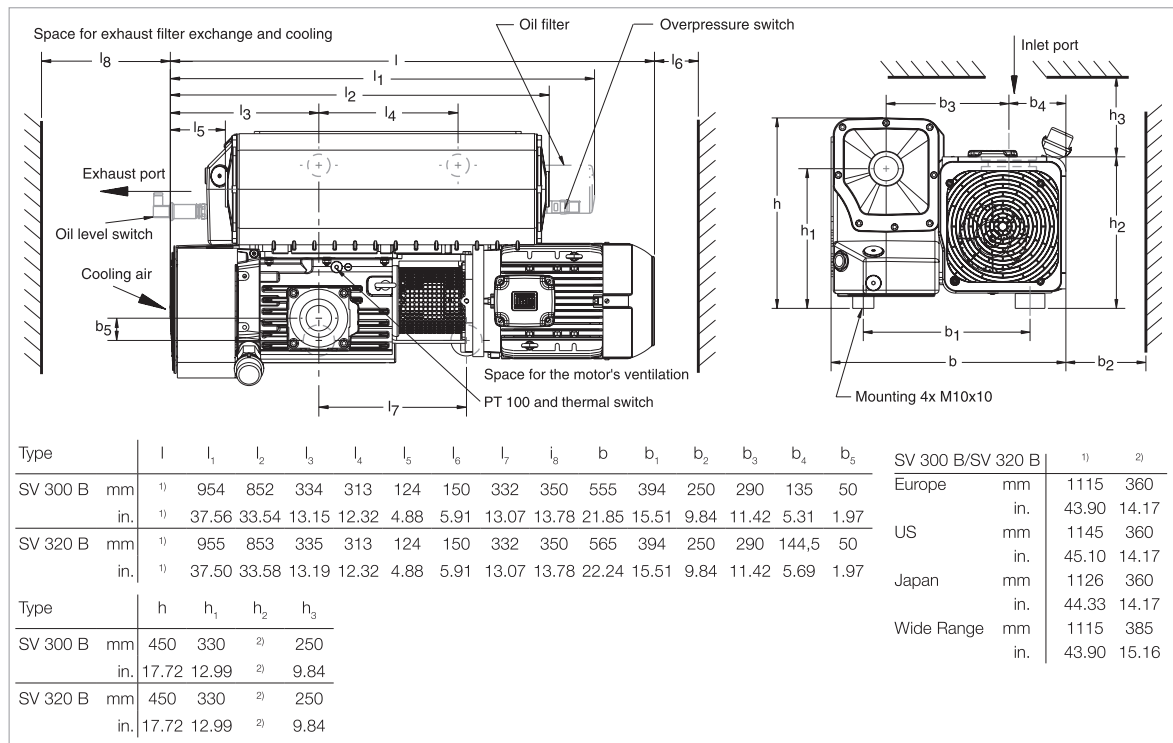
SOGEVAC SV 300 B / SV 320 B

Advantages to the User

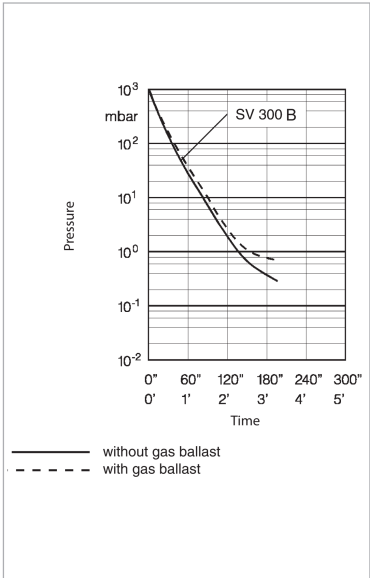
- SV 320 B provides highest pumping speed on the market
- Lowest pump temperature on the market: ideal for harsh applications. Optimal oil life time thus reached
- Integrated exhaust filters with low oil mist flow: long filter life time
- Optimized integrated lubrication without external pipes: yellow metal free as standard
- Integrated oil recovery system and anti-suckback valve
- Low noise level
- High reliability due to separate greased ball bearings (30.000 h life)
- Variant concept
- Best ultimate pressure
- Big oil volume for long oil life time

Typical Applications

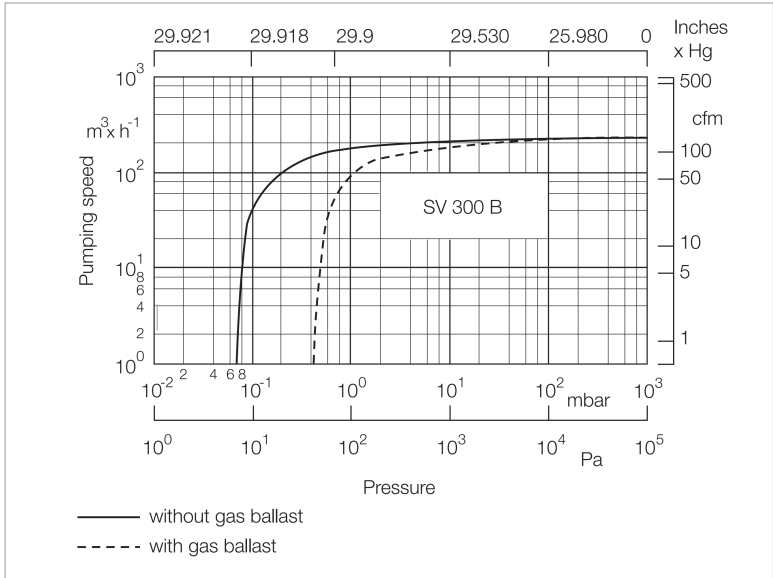
- Coating systems and load locks
- Oil purification
- Plastic & rubber injection presses
- Heat treatment / Metallurgy
- Lamination
- ATEX and O₂ applications
- and more ...



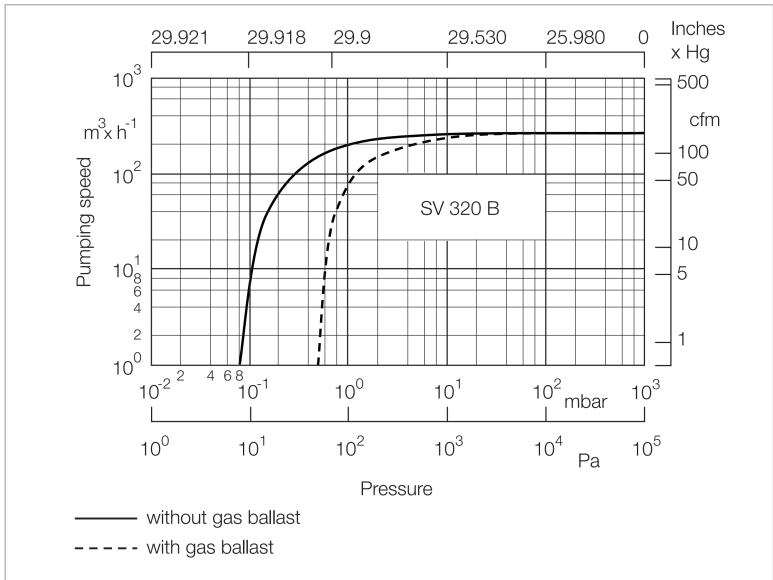
Dimensional drawing for the SOGEVAC SV 300 B/SV 320 B, European version



Pump-down characteristics of a 1000 l vessel at 50 Hz



Pumping speed characteristics of the SOGEVAC SV 300 B at 50 Hz (60 Hz curves at the end of the chapter)



Pumping speed characteristics of the SOGEVAC SV 320 B at 50 Hz (60 Hz curves at the end of the chapter)

Technical Data

SOGEVAC SV 300 B

		50 Hz	60 Hz
Nominal speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	280 (165)	340 (200)
Pumping speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	240 (141)	290 (171)
Ultimate total pressure without gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 0.08 (≤ 0.06)	
Ultimate total pressure with small gas ballast 4 Nm ³ /h ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 0.5 (≤ 0.4)	
Ultimate total pressure with standard gas ballast 7.5 Nm ³ /h also for electromagnetic gas ballast 10 Nm ³ /h ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 0.7 (≤ 0.5)	
Ultimate total pressure with big gas ballast 15 Nm ³ /h ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 2.0 (≤ 1.5)	
Ultimate total pressure with 2 big gas ballasts 28 Nm ³ /h ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 3.0 (≤ 2.3)	
Water vapor tolerance with small ballast 4 Nm ³ /h	mbar (Torr)	4 (3) with turbine 220 mm	5 (4) with turbine 220 mm
Water vapor capacity with small ballast 4 Nm ³ /h	kg/h (qt/hr)	0.4 (0.4) with turbine 220 mm	0.6 (0.6) with turbine 220 mm
Water vapor tolerance with standard gas ballast 7.5 Nm ³ /h also for electromagnetic gas ballast 10 Nm ³ /h ²⁾	mbar (Torr)	10.0 (7.5) with turbine 220 mm 40.0 (30.0) with turbine 150 mm ⁶⁾	12.0 (9.0) with turbine 220 mm 50.0 (37.5) with turbine 150 mm ⁶⁾
Water vapor capacity with standard gas ballast 7.5 Nm ³ /h also for electromagnetic gas ballast 10 Nm ³ /h	kg/h (qt/hr)	1.3 (1.4) with turbine 220 mm 6.0 (6.4) with turbine 150 mm ⁶⁾	1.8 (1.9) with turbine 220 mm 8.0 (8.5) with turbine 150 mm ⁶⁾
Water vapor tolerance with big gas ballast 15 Nm ³ /h ²⁾	mbar (Torr)	70.0 (52.5) with turbine 150 mm ⁶⁾	
Water vapor capacity with big gas ballast 15 Nm ³ /h ²⁾	kg/h (qt/hr)	11 (12) with turbine 150 mm ⁶⁾	14 (15) with turbine 150 mm ⁶⁾
Water vapor tolerance with 2 big gas ballasts 28 Nm ³ /h ²⁾	mbar (Torr)	95 (72) with turbine 150 mm ⁶⁾	
Water vapor capacity with 2 big gas ballasts 28 Nm ³ /h ²⁾	kg/h (qt/hr)	15 (16) with turbine 150 mm ⁶⁾	17 (18) with turbine 150 mm ⁶⁾
Noise level (according to DIN 466535) ³⁾	dB(A)	72	76
Admissible ambient temperature	°C (°F)	12 to 40 (54 to 104)	
Motor power ⁴⁾	kW (hp)	5.5 (7.5)	6.3 (8.6)
Mains voltage and frequency 3 ~ motor	V	see Ordering Information	
Nominal speed	min ⁻¹ (rpm)	1500 (1500)	1800 (1800)
Type of protection	IP	55	
Isolation class 3 ~ motor		F	
Leak rate	mbar x l/s	≤ 1 x 10 ⁻³	
Oil capacity, min. / max.	l (qt)	8.5 (9.0) / 11.5 (12.2)	
Weight (with oil filling)	kg (lbs)	223 (493)	225 (497)
Connections ⁵⁾			
Intake, Thread	G or NPT	2"	2"
Exhaust, Thread	G or NPT	2"	2"

¹⁾ To DIN 28 400 and following numbers

²⁾ Ordering Information see Chapter "Accessories"

³⁾ Operated at the ultimate pressure without gas ballast, free-field measurement at a distance of 1 m (3.5 ft)

⁴⁾ Versions with NEMA motor have 10 hp motors

⁵⁾ Pumps with European and Japanese motors have G, pumps with US (NEMA) motors have NPT

⁶⁾ Standard turbine 220 mm. Special turbine 150 mm can be retrofitted

Technical Data**SOGEVAC SV 320 B**

		50 Hz	60 Hz
Nominal speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	330 (194)	385 (227)
Pumping speed ¹⁾	m ³ /h (cfm)	284 (167)	330 (194)
Ultimate total pressure without gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 0.08 (≤ 0.06)	≤ 0.08 (≤ 0.06)
Ultimate total pressure with standard gas ballast ¹⁾	mbar (Torr)	≤ 0.7 (≤ 0.05)	≤ 0.7 (≤ 0.05)
Water vapor tolerance with standard gas ballast	mbar (Torr)	10 (7.5)	10 (7.5)
Water vapor capacity with standard gas ballast ¹⁾	kg/h (qt/hr)	1.3 (1.3)	1.8 (1.8)
Noise level (according to DIN 466535) ²⁾	dB(A)	70	73
Admissible ambient temperature	°C (°F)	+10 to +50 (+50 to +122)	+10 to +50 (+50 to +122)
Motor power	kW (hp)	6.0 (8.0)	7.5 (10.2)
Mains voltage and frequency 3 ~ motor	V	see Ordering Information	see Ordering Information
Weight (with oil filling)	kg (lbs)	211 (465.18)	211 (465.18)
Connections			
Intake, Thread	G	2"	2"
Exhaust, Thread	G	2"	2"

¹⁾ To DIN 28 400 and following numbers

²⁾ Operated at the ultimate pressure without gas ballast, free-field measurement at a distance of 1 m (3.5 ft)

Ordering Information

SOGEVAC SV 300 B

50 Hz

60 Hz

	Part No.
SOGEVAC SV 300 B ¹⁾ with oil filter with three-phase motor, without gas ballast, 230/400 V ±10%, 50 Hz and 460 V ±10%, 60 Hz (CEI) ²⁾	960 700
with small gas ballast, 230/400 V ±10%, 50 Hz and 460 V ±10%, 60 Hz (CEI) ²⁾	960 701
208 V ±10%, 230/460 V ±10%, 60 Hz and 400 V ±10%, 50 Hz (NEMA) ²⁾	960 706
200 V +10%/-15%, 50/60 Hz (JIS) ¹⁾	960 711 V
with standard gas ballast, 230/400 V ±10%, 50 Hz and 460 V ±10%, 60 Hz (CEI) ²⁾	960 702
208 V ±10%, 230/460 V ±10%, 60 Hz and 400 V ±10%, 50 Hz (NEMA) ²⁾	960 707
200 V +10%/-15%, 50/60 Hz (JIS) ¹⁾	960 712
with big gas ballast, 230/400 V ±10%, 50 Hz and 460 V ±10%, 60 Hz (CEI) ²⁾	960 703 ³⁾
208 V ±10%, 230/460 V ±10%, 60 Hz and 400 V ±10%, 50 Hz (NEMA) ²⁾	960 708 ³⁾
200 V +10%/-15%, 50/60 Hz (JIS) ¹⁾	960 713 V ³⁾
with Wide range motor, 200 V -15% bis 230 V +10% / 380 bis 400 V ±10%, 50 Hz, CTP; 5,5 kW & 200 V -15% bis 230 V +10% / 380 bis 400 V ±10% and 460 V ±10%, 60 Hz, CTP; 6,6 kW	
with standard gas ballast	960 717 ⁴⁾
with big gas ballast	960 718 ^{3, 4)}

¹⁾ Pumps with European and Japanese motors have G, pumps with US (NEMA) have NPT

²⁾ IEC motor (Europe) 50/60 Hz have IP 55, NEMA motor have TEFC without terminal board

³⁾ With small 150 mm turbine

⁴⁾ F and P inlet

Full option oil box with connections (bores and plugs) for

- G 3/8" for external oil filtration
- oil level sensor (vibration)
- thermostatic valve
- temperature sensor Pt100 and switch

Note: Further pump options upon request (for example, water cooled pumps)

Anejo D. Acción del viento

D.1 Presión dinámica

- 1 El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \quad (D.1)$$

siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

- 2 El valor básico de la velocidad del viento corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos, tomada en una zona plana y desprotegida frente al viento (grado de aspereza del entorno II según tabla D.2) a una altura de 10 m sobre el suelo. El valor característico de la velocidad del viento mencionada queda definido como aquel valor cuya probabilidad anual de ser sobrepasado es de 0,02 (período de retorno de 50 años).
- 3 La densidad del aire depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$. En emplazamientos muy cercanos al mar, en donde sea muy probable la acción de rocío, la densidad puede ser mayor.
- 4 El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de $0,42 \text{ kN/m}^2$, $0,45 \text{ kN/m}^2$ y $0,52 \text{ kN/m}^2$ para las zonas A, B y C de dicho mapa.



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

- 5 Para comprobaciones de estados límite de servicio, la velocidad básica indicada en párrafos anteriores puede modificarse con el coeficiente de la tabla D.1 según el período de retorno considerado, tomando para esa variable un tiempo igual al período de servicio con el que se proyecta el edificio.

