



Universidad Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería Mecánica

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

TRABAJO FIN DE GRADO

***Diseño de una locomotora eléctrica para
servicios de mercancías.***

Autor: Mario Mata García

Tutor: Dr. D. Efrén Díez Jiménez

Septiembre, 2014



Universidad
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería Mecánica

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UNA LOCOMOTORA ELÉCTRICA PARA
SERVICIOS DE MERCANCÍAS***

Autor: Mario Mata García

Tutor: Dr. D. Efrén Díez Jiménez

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor del Trabajo Fin de Grado, D. Efrén Díez Jiménez, junto con el vicepresidente de la Asociación Europea de Ferroviarios (AEC), D. Julio Álvarez Rodríguez, por haber confiado en mí, persona en la que creo que han reconocido a un amante del mundo del ferrocarril, no sólo del real sino también a nivel de modelismo. También les agradezco por haberme llevado a interesantes congresos y charlas de profesionales sobre el mundo del ferrocarril. Quiero tener también un saludo especial para Sandra Campo, gerente de la sección española de la AEC.

En segundo lugar, quiero recordar a todos mis amigos y compañeros de carrera, en cuya compañía se siente uno tan a gusto y entre los que experimentas siempre una sensación de gran afecto. No quiero por ello dejar de nombrar a ninguno de ellos, que cada vez que ven un tren o viajan en él, se acuerdan de ese compañero suyo que ahora redacta estas líneas. Así pues, gracias a María Rodríguez, María Segura, Elia Díaz, Nadia Ferreyra, Cynthia Tíscar, Javier Sacarrera, Javier Martínez, Alejandro Martín-Serrano, Adrián Serrano, Adrián Jurado, Carlos López, Fernando Costa, Alberto Cámara y en especial a Santiago Ruíz, por haberme echado una mano en algún momento de la realización de este trabajo.

Y por último obviamente, a mi familia, que ya conoce mi afición por los trenes desde bien corta edad y que siempre cumple mis caprichos para ir a visitar estaciones y ver pasar los trenes.

Mario Mata,
Septiembre de 2014

Resumen

¿Cuál es el estado a día de hoy del transporte de mercancías por ferrocarril en España? Éste puede ser un buen punto de partida para elaborar un trabajo que refleje la situación del sector mediante el análisis de los precedentes que han conducido a la situación actual y sobre todo, de los planes o actuaciones que se están llevando a cabo y de los que próximamente puedan dar resultados, esperemos, positivos. Dentro de las renovaciones que se están llevando a cabo, una parte esencial lo conforman esas grandes actuaciones que se acaban de citar, y que tienen como objetivo el resurgimiento de un sector que desde la revolución del transporte por carretera a mediados del siglo pasado ha ido perdiendo adeptos en favor de los miles de camiones que hoy circulan, no sólo por España, sino también por el resto del continente europeo. No obstante, otra parte importante son los propios medios que el ferrocarril tiene para llevar a término su tarea, y que en este trabajo se centrarán en el material rodante de mercancías y en su evolución, hasta llegar a los últimos diseños de locomotoras que circulan hoy por nuestras vías. Es precisamente uno de estos últimos modelos el que se procederá a analizar, la locomotora modelo *Traxx* de la empresa canadiense *Bombardier*, que es nombrada en nuestro país como serie 253 y que tiene una numerosa representación en el parque motor de *Renfe Operadora* y en la empresa de transporte de mercancías *Comsa Rail Transport*. Mediante un proceso de diseño 3D y obtención de planos y posterior simulación por medios informáticos, se tendrá una visión más detallada de la misma en el presente Trabajo Fin de Grado.

Abstract

Which is the actual state of the Spanish freight rail? This can be a good starting point for developing a work that reflects the state of the sector by analyzing the precedents that have led to the current situation and especially the plans or operations being carried out and that can yield results soon, hopefully, positive. Among the renovations being carried out, an essential part of what make these great performances that just cited, and whose aim is the revival of a sector that the road transport, from the revolution of middle of the last century has been won in favor of the thousands of trucks that circulate today, not only for Spain but also for the rest of Europe. However, another important question is the way that the railroad has to complete its tasks, and in this paper we focus on freight rolling stock and its evolution up to the latest designs of locomotives currently circulating on our railways. It's precisely one of the latest models which will now analyze, the last locomotive of the Canadian company *Bombardier*, named *Traxx*, which is known in our country as S-253 and has a large representation in the *Renfe Operadora* park and in the enterprise *Comsa Rail Transport*. Through a process of obtaining 3D design drawings and later by computer simulation, we may have a more detailed view of it in this Final Grado Work.

Índice de contenidos

Capítulo 1. Estructura del documento

1.1. Desarrollo del informe	2
-----------------------------------	---

Capítulo 2. Objetivos del trabajo

2.1. Lista de objetivos	4
-------------------------------	---

Capítulo 3. Conceptos utilizados

3.1. Lista de conceptos	6
-------------------------------	---

Estado del arte

Capítulo 4. Antecedentes del transporte de mercancías

4.1. Introducción	14
4.2. Los inicios del ferrocarril: la importancia de las mercancías.....	14
4.3. El primer intento del ferrocarril español	15
4.4. El Informe <i>Subercase</i>	16
4.5. Las concesiones y primeras empresas ferroviarias	17
4.5.1. <i>M.Z.A.</i>	18
4.5.2. <i>Norte</i>	18
4.5.3. <i>Andaluces</i>	19
4.5.4. <i>Oeste</i>	19
4.6. La caída de las grandes empresas ferroviarias	19
4.7. La creación de RENFE	20
4.8. La competencia de la carretera	21
4.9. El contenedor, nuevo concepto de transporte	24
4.10. La creación de centros logísticos intermodales y los <i>TECO</i>	26

Capítulo 5. Situación actual y soluciones

5.1. La liberalización del transporte de mercancías	30
5.2. Planes europeos para el ámbito ferroviario	31
5.3. Soluciones en España para el transporte de mercancías	34
5.4. Conclusiones	44

Capítulo 6. La locomotora S-253

6.1. Situación del material tractor antes de 2008	46
6.1.1. Locomotora <i>S-269</i>	46
6.1.2. Locomotora <i>S-289</i>	48
6.1.3. Locomotora <i>S-250</i>	49
6.1.4. Locomotora <i>S-251</i>	51
6.2. El nuevo material motor <i>S-253</i>	53
6.2.1. Tabla de características básicas	56
6.3. Diseño en <i>software</i> 3D	56
6.3.1. La caja	57
6.3.2. El bastidor del <i>bogie</i>	60
6.3.3. El eje	61
6.3.4. Las ruedas	63
6.3.5. La caja de grasa	64
6.3.6. La reductora y el motor	65

6.3.7. Montaje del <i>bogie</i>	68
6.3.8. El tope	71
6.3.9. El enganche de husillo	72
6.3.10. El pantógrafo	73
6.3.11. La cabina	75
6.3.12. Montaje final	76
6.4. Materiales utilizados en la construcción de la locomotora	83
Capítulo 7. Cálculos y resultados	
7.1. Cálculo de características de la S-253	86
7.1.1. Gráfica Esfuerzo Tractor - Velocidad	86
7.1.2. Velocidad de régimen	88
7.1.3. Carga remolcable máxima según rampa	91
7.1.4. Potencia de adherencia	91
7.1.5. Potencia en llanta	92
7.1.6. Potencia de resistencia	93
7.1.7. Potencia en el gancho	93
7.1.8. Esfuerzo de tracción neto, <i>ETN</i>	94
7.1.9. Capacidad de arrastre o de tracción	95
7.1.10. Distancia de parada	96
7.1.11. Aceleración residual	98
7.1.12. Masa máxima limitada por la fuerza de los enganches	98
7.1.13. Características de los frenos de disco	99
7.1.14. Fuerzas generadas en la reductora	103
7.1.15. Suspensiones primaria y secundaria	104
7.1.16. Estudio aerodinámico en 2D	105
7.1.17. Comprobación del gálibo ferroviario	108
Capítulo 8. Homologación	
8.1. Normativa vigente para homologación	112
8.2. Normas para verificar la homologación	114
8.3. Aplicación de las normas de homologación	114
8.3.1. UNE-EN 13104+A2	114
8.3.2. UNE-EN 12663-1	121
8.3.3. UNE-EN 13979-1: 2006+A2	126
8.3.3.1. Caso 1: vía recta	127
8.3.3.2. Caso 2: curva	128
8.3.3.3. Caso 3: paso por puntos y cruces	129
Capítulo 9. Trabajos futuros	
9.1. Introducción	132
9.2. A partir del desarrollo 3D propuesto	132
Capítulo 10. Conclusiones	
10.1. Conclusión final	135
Capítulo 11. Presupuesto	
11.1. Tiempos de trabajo	138
11.1.1. Documentación	138
11.1.2. Diseño 3D y obtención de planos	138

11.1.3. Cálculos y simulación	138
11.1.4. Redacción del informe	138
11.2. Precio de elaboración del proyecto	138
11.3. Precio tiempo tutorizado	139
11.4. <i>Software</i> utilizado	139
11.5. Precio total	139
Capítulo 12. Referencias	
12.1. Bibliografía	141
Capítulo 13. Anexos	
13.1. Mapa de las empresas ferroviarias antes de 1941	145
13.2. Mapa de las zonas de RENFE	146
13.3. Mapa de la red ferroviaria con rampas y pendientes máximas	147
13.4. Mapa de la red ferroviaria con longitudes máximas de trenes	148
13.5. Cuadro de evaluación de los vehículos ferroviarios completos	149
13.6. Planos de la locomotora S-253	155

Índice de figuras

4.1.	Litografía de la <i>Pen-y-darren</i>	14
4.2.	Imagen de la <i>Locomotion</i>	15
4.3.	Mapa de los puntos de carga, descarga y desinfección de ganado	23
4.4.	Operaciones de carga y descarga de ganado bovino, porcino y ovino, respectivamente	23
4.5.	Pivote asimétrico	25
4.6.	Alojamiento en el vértice del contenedor	25
4.7.	Vista de Madrid-Abroñigal	27
5.1.	Tráficos ferroviarios de mercancías de las nuevas empresas privadas	30
5.2.	Evolución por modos de transporte en la Unión Europea de las mercancías en billones t-km	32
5.3.	Vista de la terminal logística de Portbou	37
5.4.	Vista de la implantación del tercer raíl	38
5.5.	Plan de implantación del tercer raíl en toda la costa mediterránea	38
5.6.	Identidad visual de la empresa que gestiona el tráfico entre Barcelona y Lyon	39
5.7.	Servicio <i>Barcelyon Express</i> circulando en territorio español	40
5.8.	Momento de la carga de los semirremolques a través de las plataformas	41
5.9.	Estado del coche afectado por el impacto de la viga	41
5.10.	Muestra y comparativas de la serie de buques <i>Triple-E</i> de <i>Maersk</i>	42
5.11.	Maniobra de carga de un remolque en el vagón <i>Megaswing</i>	43
5.12.	Proceso de carga de los <i>Megaswing</i> paso a paso	43
5.13.	Transporte de camiones en territorio suizo	44
6.1.	Locomotora 269 a lo largo de su historia: con librea verde de origen y cristales no blindados, en colores <i>taxi</i> y en colores de <i>Renfe</i> <i>Operadora</i>	46
6.2.	Vista de la cabina de la 269 reformada	47
6.3.	Esquema de la locomotora 269 en estado de origen	47
6.4.	289-100 con la librea lucida hasta el momento y proceso de reforma desde una 289 original	48
6.5.	Esquemas de pintura lucidos por la 250 desde su origen hasta su retirada en 2010	49
6.6.	Cabina de la serie 250	50
6.7.	Diagrama de esfuerzo tractor de la 250	50
6.8.	Esquema de la locomotora 250	50
6.9.	Libreas de la locomotora 251 a lo largo de su vida activa	51
6.10.	Cabina reformada de una 251	52
6.11.	Diagrama de esfuerzo tractor de la 251	52
6.12.	Esquema de la locomotora 251.....	52
6.13.	Identidad visual del <i>software</i> comercial 3D desarrollado por <i>Siemens</i>	57
6.14.	Vista general de la caja	57
6.15.	Vista en perspectiva de la caja	58

6.16.	Tabique de la cabina	58
6.17.	Vista frontal	58
6.18.	Detalle de las vigas del bastidor	58
6.19.	Eje de unión bastidor-biela de arrastre	58
6.20.	Detalle de la escalerilla	58
6.21.	Detalle de las inscripciones en los laterales de la caja	59
6.22.	Frontal de la cabina	59
6.23.	Detalle de los limpiaparabrisas	59
6.24.	Techo lado cabina 1	59
6.25.	Techo lado cabina 2	59
6.26.	Parte central del techo de la locomotora	60
6.27.	Vista general del bastidor	60
6.28.	Detalle de los cilindros que aseguran el asiento de la suspensión secundaria	60
6.29.	Unión con la biela de arrastre	61
6.30.	Asiento de la suspensión primaria y anclajes del quitapiedras y del freno de disco	61
6.31.	Partes de un eje ferroviario	61
6.32.	Momentos dentro de la sección del eje	61
6.33.	Inspección por ultrasonidos de un eje	62
6.34.	Accidente en la localidad de <i>Viareggio</i> , Italia	63
6.35.	Vista general del eje	63
6.36.	Sección del eje	63
6.37.	Sección de la rueda	63
6.38.	Vista general de la rueda	64
6.39.	Vista del disco de freno	64
6.40.	Vista del cuerpo de la caja de grasa	64
6.41.	Resorte de la suspensión primaria, tapeta exterior e interior	64
6.42.	Tapa de la tapeta exterior	65
6.43.	Rodamiento	65
6.44.	Corona de la reductora	65
6.45.	Piñón de la reductora	65
6.46.	Vista del montaje de la reductora y detalle del punto de engrane	66
6.47.	Vista del motor eléctrico, del acoplamiento elástico y del eje motriz	67
6.48.	Detalle de un acoplamiento elástico seccionado	67
6.49.	Vista de la carcasa del eje	67
6.50.	Carcasa de la reductora	67
6.51.	Carcasa del motor	68
6.52.	Tapa de la carcasa del motor	68
6.53.	Conjunto de la carcasa montado	68
6.54.	Quitapiedras	69
6.55.	Amortiguador utilizado en el <i>bogie</i>	69
6.56.	Vista del sistema de frenos	69
6.57.	Resorte de la suspensión secundaria	69
6.58.	Vista en alzado del conjunto motor-eje montado	69
6.59.	Vista general del <i>bogie</i> montado	70
6.60.	Vistas por ambos lados del frontal del tope	71
6.61.	Base del tope	71
6.62.	Resorte helicoidal del tope	71
6.63.	Vista del conjunto del tope montado	71

6.64.	De izda. a dcha.: enganche de husillo, <i>Scharfenberg</i> y <i>Janney</i>	72
6.65.	Imagen del gancho	72
6.66.	Argolla del enganche	72
6.67.	Uno de los eslabones del enganche	72
6.68.	Tornillo para tensar	72
6.69.	Pernos para alojar el tornillo	73
6.70.	Horquilla	73
6.71.	Vista general del enganche recogido	73
6.72.	Pantógrafo trifásico, de rombo, monobrazo y de Alta Velocidad	73
6.73.	Brazo inferior del pantógrafo	74
6.74.	Brazo superior del pantógrafo	74
6.75.	Base del pantógrafo	74
6.76.	Cabezal de captación	74
6.77.	Imágenes de los tres tipos de tensores de los que se sirve el pantógrafo..	74
6.78.	Vista general del pantógrafo desplegado	75
6.79.	Vista general del pupitre de conducción	75
6.80.	Detalle de los distintos controles del pupitre	76
6.81.	Asientos regulables en altura para el maquinista y el ayudante	76
6.82.	Arenero y tapa del mismo	77
6.83.	Pala quitanieves	77
6.84.	Tubería de freno <i>TDP</i>	77
6.85.	Muestra de las dos configuraciones de la manguera de freno	78
6.86.	Escalerilla del testero	78
6.87.	Pasarelas del testero	78
6.88.	Placa porta-enganche	79
6.89.	Barra auxiliar bajo el tope	79
6.90.	Aparato de aire acondicionado	79
6.91.	Bocina	79
6.92.	Cable rígido de alta tensión del techo	79
6.93.	Puerta exterior de cabina	79
6.94.	Ventana lateral de la cabina	80
6.95.	Equipo eléctrico bajo el bastidor	80
6.96.	Armario bajo el bastidor	80
6.97.	Depósito de aire comprimido	80
6.98.	Elemento principal de los bajos	80
6.99.	Detalle de las válvulas de bola	80
6.100.	Vista del testero	81
6.101.	Vista en perspectiva	81
6.102.	Vista lateral de la locomotora	82
6.103.	Microestructura del acero AE1N	83
6.104.	Testero en construcción	83
7.1.	Imagen de un vagón tipo <i>Lgnss</i>	86
7.2.	Gráfica Esfuerzo Tractor-Velocidad y Resistencias	90
7.3.	Esquema de las pastillas de freno con sus dimensiones	100
7.4.	Parámetros de la pastilla de freno	101
7.5.	Esquemas de ambos resortes con longitud instalada	104
7.6.	Contorno utilizado en el análisis	105
7.7.	Malla utilizada	106
7.8.	Mapa de colores que indica las fluctuaciones de velocidad del aire	106

7.9.	Detalle ampliado del contorno de la locomotora	107
7.10.	Gálbo cinemático RENFE para vía de ancho nacional	109
7.11.	Dimensiones de las distintas anchuras vistas desde el testero	110
8.1.	Sistema de referencia para la norma UNE-EN 13104. El momento M_x corresponde al momento en tracción	115
8.2.	Esquema de las fuerzas aplicables al eje	115
8.3.	Esquema de momentos en el frenado	117
8.4.	Diagrama y ecuaciones para el cálculo del factor K	119
8.5.	Secciones de calado del eje	119
8.6.	Curva tensión-deformación y curva coeficiente de Poisson-deformación..	121
8.7.	Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza a 150 (mm) sobre el nivel del suelo, material acero	123
8.8.	Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza en el larguero, material acero	124
8.9.	Zonas del testero reemplazadas por <i>composite</i>	124
8.10.	Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza a 150 (mm) sobre el nivel del suelo, material <i>composite</i>	125
8.11.	Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza en el larguero, material <i>composite</i>	125
8.12.	Esquema de aplicación de las fuerzas en la rueda	126
8.13.	Punto de aplicación de la fuerza F_z	127
8.14.	Tensión principal máxima y mínima para el caso 1	128
8.16.	Puntos de aplicación de las fuerzas para el caso 2	128
8.17.	Tensión principal máxima y mínima para el caso 2	129
8.19.	Puntos de aplicación de las fuerzas para el caso 3	129
8.20.	Tensión principal máxima y mínima para el caso 3	130
9.1.	Líneas de campo generadas en un par de engranajes formado por imanes permanentes	133

Índice de tablas

4.1.	Serie de locomotoras de vapor de RENFE según su rodaje	21
4.2.	Alturas variables de los contenedores de 20 y 40 pies	25
4.3.	Tipos de contenedores	26
5.1.	Operadores ferroviarios de mercancías a partir de 2005	31
5.2.	Unidades utilizadas de la tabla 5.3. a la 5.8.	34
5.3.	Tráfico aeroportuario comercial. Movimiento de mercancías	35
5.4.	Toneladas kilómetro, según tipo de desplazamiento, sector privado por carretera	35
5.5.	Toneladas kilómetro, según tipo de desplazamiento, sector público por carretera	35
5.6.	Toneladas kilómetro, según clase de mercancía, por carretera	36
5.7.	Toneladas kilómetro transportadas por Renfe	36
5.8.	Mercancías transportadas a través de los puertos del Estado, según clase de mercancía	36
6.1.	Características de las locomotoras de la serie 269	48
6.2.	Características de las locomotoras de la serie 289-100	49
6.3.	Características de la locomotora de la serie 250	51
6.4.	Características de la locomotora de la serie 251	53
6.5.	Modelos desde 1997 a la actualidad de la familia <i>Traxx</i>	54
6.6.	Características técnicas de la S-253	56
6.7.	Parámetros del par de engranajes	66
7.1.	Estadística de observaciones	86
7.2.	Características técnicas de los vagones <i>Lgnss</i>	87
7.3.	Obtención de los valores para la representación gráfica Esfuerzo Tractor - Velocidad	88
7.4.	Valores clásicos de los coeficientes específicos de la ecuación de <i>Davis</i> ..	89
7.5.	Valores utilizados para calcular la resistencia en recta en función de la velocidad	89
7.6.	Resistencias en función de la velocidad	90
7.7.	Cargas máximas remolcables	91
7.8.	Resultados de la potencia de adherencia	92
7.9.	Resultados de la potencia en llanta	92
7.10.	Resultados de la potencia de resistencia	93
7.11.	Resultados de la potencia en el gancho	94
7.12.	Resultados del <i>ETN</i>	94
7.13.	Resultados de la capacidad de arrastre	95
7.14.	Distancia de parada de la locomotora aislada	96
7.15.	Distancia de parada de un tren con 23 vagones	97
7.16.	Valor de la aceleración residual según velocidad	98

7.17.	Carga máxima limitada por los enganches	99
7.18.	Fuerza de accionamiento del freno de disco	100
7.19.	Presión en la pastilla de freno	100
7.20.	Parámetros necesarios para el cálculo de esfuerzos en la reductora	103
7.21.	Esfuerzos en cada una de las dos ruedas dentadas	103
7.22.	Parámetros y magnitudes de los dos resortes	104
7.23.	Características y parámetros tenidos en cuenta en el análisis aerodinámico	105
7.24.	Comparativa entre el gálibo máximo y el diseñado	110
8.1.	Datos del BOE referente a homologación de locomotoras	113
8.2.	Componentes a ensayar y normativa necesaria	114
8.3.	Expresiones para determinar el valor de las fuerzas	115
8.4.	Valores geométricos y de las fuerzas de la tabla 8.3.	116
8.5.	Momentos de tracción según la sección del eje	116
8.6.	Valores de los momentos en tracción en el eje x	117
8.7.	Momentos en el frenado según el tipo de freno	117
8.8.	Valores de los momentos en frenado	118
8.9.	Valor del momento resultante dependiendo de la zona de aplicación en el eje	118
8.10.	Valor del coeficiente K para cada sección del eje	120
8.11.	Valores de tensión en cada sección del eje	120
8.12.	Valores máximos de tensión que especifica la norma	120
8.13.	Características del <i>composite</i>	121
8.14.	Valor de los términos de la ecuación [8.7]	122
8.15.	Fuerza aplicable al testero a 150 (mm) por encima del nivel del suelo	122
8.16.	Fuerza aplicable al testero a lo largo del larguero bajo las ventanas	122
8.17.	Expresiones de las fuerzas en la rueda dependiendo de la situación	126
8.18.	Valor de las fuerzas en la rueda para reproducir el ensayo	127

Capítulo 1.

Estructura del documento

1.1. Desarrollo del informe

El presente Trabajo Fin de Grado puede estructurarse en dos apartados diferentes, pero que mantienen una relación necesaria para el desarrollo del mismo:

El primero de ellos se corresponde con los antecedentes del transporte de mercancías por ferrocarril en España, para lo cual se realiza una breve retrospectiva de carácter general a la historia del ferrocarril, comenzando por Inglaterra, cuna del invento, para pasar a los hechos acontecidos en la historia ferroviaria española y que influyen en gran medida en la manera actual de operar la red. Sirva como ejemplo de esta influencia el distinto ancho de vía de nuestro país. Esta parte del documento hila con la situación actual de la liberalización del transporte de mercancías por tren, junto con las propuestas y proyectos que parten de las decisiones políticas a nivel europeo. Este marco de estudio permite reconocer el estado actual del transporte de mercancías por ferrocarril para, seguidamente en el otro gran bloque, pasar a analizar más detalladamente el campo de trabajo vertebrador de este Trabajo Fin de Grado, que no es otro que el del material rodante.

En este segundo apartado o bloque, se estudia la necesidad de la renovación del parque motor para el servicio de mercancías, a partir del análisis del material tractor anterior a la introducción de la locomotora S-253. Seguidamente, se procede a desarrollar el diseño en *software* 3D de la misma, a partir de información recopilada en fuentes especializadas de tren real y a escala. Con él, se adjuntan todos los planos procedentes de dicho diseño en un anexo. La aparición de características técnicas y cálculos referentes al diseño junto con la normativa vigente de homologación completan este apartado.

Por otra parte, se incluye un apartado de conclusiones y otro de trabajos futuros desarrollables a partir del presente, que cierran el campo de estudio.

Por último, un apartado de presupuesto indica las horas de trabajo, documentación y programas utilizados a lo largo del proyecto, junto con el necesario índice de referencias y bibliografía.

Capítulo 2.

Objetivos del trabajo

2.1. Lista de objetivos

Tal y como se ha descrito en el anterior apartado, este documento persigue, por un lado, realizar un análisis del transporte de mercancías por ferrocarril; y por otro, exponer el diseño de una locomotora para este ámbito junto con las normativas que deben tenerse en cuenta para su puesta en marcha. Es por ello que se pretende cumplir la siguiente serie de objetivos:

- Presentar de forma concisa las causas históricas que han llevado a la situación actual del sector de las mercancías por ferrocarril en España.
- Ser conocedor de las políticas que impulsa la Unión Europea y de las actuaciones llevadas a cabo en España en el ámbito del transporte de mercancías.
- Ser capaz de agrupar y analizar detalladamente la suficiente información gráfica y documentación como para diseñar un producto partiendo de cero.
- Ser capaz de diseñar un producto mediante una herramienta informática *CAD* para poder ser expuesto a un potencial cliente.
- Ser capaz de generar una serie de planos de las piezas y subconjuntos que definen el producto diseñado en tres dimensiones.
- Saber desarrollar una serie de cálculos específicos acerca de las características del producto diseñado.
- Tener un conocimiento de la normativa vigente para la homologación de material ferroviario.
- Saber realizar e interpretar un adecuado análisis de ciertas normas de homologación mediante cálculos y uso de *software* de Elementos Finitos.

Capítulo 3.

Conceptos utilizados

3.1. Lista de conceptos

A continuación se presentan a modo de glosario todos los conceptos y nomenclaturas ferroviarias que se usan en este documento, que resultarán de recordatorio para los lectores con conocimientos en el mundo del tren y que serán útiles para los que no manejen especialmente este campo.

- 1) **Aceleración residual:** es la aceleración restante una vez que el vehículo ferroviario ha alcanzado su máxima velocidad. Además, expresa la rampa máxima en la que el tren puede mantener su máxima velocidad.
- 2) **Aceleración sin compensar:** aceleración centrífuga que experimenta un vehículo al tomar una curva y que no ha podido ser compensada por el peralte del trazado.
- 3) **Adherencia:** medida de la resistencia que interponen dos superficies en contacto cuando una intenta desplazarse sobre la otra. En ferrocarriles, esa resistencia es la que hace que al mover una rueda por encima de un carril, la rueda gire al desplazarse en vez de patinar.
- 4) **Ángulo de ataque:** inclinación que se presenta entre la pestaña de la rueda de un tren y el raíl cuando comienza una inscripción en curva y que, de no ser cero, origina contacto entre ambos.
- 5) **ASFA:** este sistema, cuyo nombre procede del acrónimo de *Anuncio de Señales y Frenado Automático*, cuya última versión ya incorporan todos los trenes de Renfe (la versión digital), es un sistema que alerta al conductor del estado de la próxima señal luminosa o semáforo. Cuando se activa, se enciende una luz del color de la señal que se va a rebasar y se activa un aviso sonoro. El maquinista debe pulsar el botón que certifica su conformidad, excepto si se indica vía libre. Si la señal es de anuncio de parada o se encuentra en rojo, el conductor deberá ir disminuyendo la velocidad, ya que si no lo hiciese, el tren lo haría por él. Igualmente, si se excede la velocidad máxima para el tipo de tren que se conduce, también se frenará automáticamente. Es válido hasta los 200 (km/h).
- 6) **ATP (Auto Train Protection):** es un sistema de protección que monitoriza la velocidad del tren de forma continua e informa al maquinista. Uno de estos sistemas, desarrollado en Alemania, es el **LZB**:
 - **LZB (Linienzugbeeinflussung):** implantado en la línea Madrid-Sevilla y en la línea C-5 de Cercanías de Madrid, es un sistema de seguridad de control de tráfico en la que el Puesto de Control puede dar instrucciones al maquinista a partir de datos del estado de la línea y del propio convoy. Su instalación es un cable que se tiende normalmente en el centro de la vía, sobre las traviesas.
- 7) **Bicabina:** tipo de locomotora que posee una cabina de conducción en cada extremo.
- 8) **Biela de arrastre:** barra que conecta el *bogie* al bastidor del tren para la transmisión de esfuerzos y guiado en el giro del propio *bogie*. Su diseño debe ser tal que la prolongación del eje central de la biela coincida con el semi-empate del *bogie*.
- 9) **Bogie:** cada una de las estructuras tipo "carro" que soportan el conjunto de los ejes montados, las cajas de grasa, el sistema de frenos y eventualmente el motor.

- 10) Caja autoportante:** diseño prevaleciente de las cajas de los vehículos ferroviarios en la actualidad, consistente en que la propia caja, junto con el bastidor, realiza funciones resistentes.
- 11) Caja de grasa:** elemento insertado en las manguetas del eje sobre el que se asienta la masa del vehículo ferroviario y en cuyo interior se encuentran los rodamientos necesarios para el correcto giro del eje. Sobre ella se asienta, -para su unión con el bastidor del *bogie*- la suspensión primaria.
- 12) Cantonamiento:** proceso de creación de cantones o sectores en una línea ferroviaria protegidos mediante una señal luminosa que permite una circulación segura evitando que se produzcan alcances de trenes.
- 13) Capacidad de arrastre:** es la fuerza máxima que se necesita para arrastrar un tren (con el número máximo de vehículos) sin recalentar los motores de la locomotora.
- 14) Catenaria:** instalación formada por un conjunto de cables que, dispuestos sobre la vía, permiten el consumo de energía eléctrica por parte del tren, que logra captarla gracias al pantógrafo.
- 15) Chopper:** sistema de regulación de la corriente formado por un transformador de corriente continua a corriente continua. Éste actúa como un rápido interruptor que abre y cierra el circuito. La tensión media que llega a los motores es menor que la que alberga la catenaria. Durante el arranque del vehículo se va adecuando la tensión aplicada a los motores a su fuerza contra-electromotriz, de forma que la intensidad permanece constante. Elementos como condensadores y bobinas permiten que la tensión y corriente permanezcan constantes.
- 16) Conicidad:** geometría que poseen las ruedas de los vehículos ferroviarios que ayuda a que éstas tiendan a mantenerse encarriladas, pero que, para el caso de ejes montados, la variación del radio de rodadura genera el característico movimiento de lazo.
- 17) Depósito de locomotoras:** zona de estacionamiento de locomotoras que solía ubicarse en zonas próximas a estaciones término, principales o estaciones intermedias importantes. Solía estar constituido por un amplio edificio con forma de sector circular al que se accedía por medio de un puente o rotonda giratoria, útil para cambiar de sentido las locomotoras a vapor. Junto a la instalación del propio depósito, se situaba la carbonera, la zona de carga de fuel, la zona para limpiar escorias con foso, la vía para lavado de calderas, el taller de reparaciones, la báscula y las oficinas junto a los dormitorios del personal de conducción.
- 18) Descentramiento de la catenaria:** distancia horizontal medida a la altura del hilo de contacto y en el plano paralelo al de rodadura por el cual el cable de la catenaria forma un zig-zag que garantiza un desgaste homogéneo a lo largo de la pletina o frotador del pantógrafo.
- 19) Dispositivo de Vigilancia-Hombre Muerto:** es un sistema que permite al tren frenar automáticamente si éste detecta que no hay nadie a los mandos o que está desfallecido. Funciona principalmente mediante el pedal del hombre muerto, que es una plataforma sobre la que el maquinista apoya sus pies mientras conduce. Moviéndolos de vez en cuando, da señales al vehículo de normalidad. Si no lo hace, el tren avisa acústicamente acerca de la inminente frenada; si se sigue sin atender, se activa el freno de emergencia. El conductor también tiene a su

disposición unos botones sobre el pupitre que tienen el mismo cometido. Si el tren frena de emergencia, el tiempo de espera hasta que se vuelve a recuperar el sistema es bastante largo, ya que éste debe "rearmarse".

20) Efecto Souplesse: consiste en un aumento de la aceleración centrífuga percibida desde el interior del vehículo debido al movimiento transversal de la suspensión.

21) Eje montado: conjunto formado por el eje y las ruedas y eventualmente los discos de freno. También es conocido por *eje calado*. Antiguamente las ruedas eran insertadas en la sección de calaje mediante calentamiento previo y posterior ajuste al enfriarse, si bien en la actualidad se introducen a presión, inspeccionando más tarde la posible aparición de defectos o grietas en las secciones afectadas del eje y ruedas.

22) Empate del bogie: distancia entre ejes de una mismo *bogie*.

23) Empate: distancia entre pivotes de los *bogies* de una locomotora.

24) Enganche automático: tipo de acoplamiento utilizado en su mayor parte en unidades de trenes automotores que por la acción de un leve "impacto" logra enganchar mediante unas pestañas ambos convoyes, junto con el sistema de freno por aire comprimido. Su nombre técnico es *Enganche Scharfenberg*.

25) Enganche de husillo: tipo de acoplamiento entre vehículos que consiste en un gancho (de un primer vehículo) en el que se afianza una barra en forma de argolla (perteneciente a un segundo) y a la que se aplica tensión mediante un tornillo de forma manual.

26) ERTMS I y II (European Rail Traffic Management System): equivale al sistema ASFA (aunque mucho más avanzado) en las líneas de alta velocidad o altas prestaciones. Actualmente ya se cuenta con la segunda versión de este sistema y se está desarrollando una tercera para implantarla sobre 2020. La velocidad excesiva de los convoyes por estas líneas hace difícil la interpretación de las señales a los lados de las vías, por lo que en un monitor del tren aparece reflejada tal información. El sistema se compone a su vez de:

- **ETCS (European Traffic Control System):** sus funciones son similares (aunque más completas) a las del ASFA. Existen varios niveles según se transfiera la información de la vía al tren mediante balizas (de forma puntual, nivel 1) o a través de radio digital (de forma continua, nivel 2). Ambos niveles calculan las curvas de frenado y monitorizan la velocidad máxima.
- **GSM-R:** permite transmitir al CTC o Central de Tráfico Centralizado los datos que se recaban del tren así como un sistema de radiofonía.

27) Esfuerzo en régimen continuo: esfuerzo máximo que puede desarrollar de forma indefinida una locomotora sin dañar su propia constitución.

28) Esfuerzo máximo de arranque: esfuerzo en llanta máximo que puede proporcionar un vehículo motriz durante el arranque en un breve lapso temporal.

29) Esfuerzo tractor neto: diferencia entre el esfuerzo máximo de la locomotora y la resistencia en recta y horizontal que ofrece el tren completo.

30) Esfuerzo tractor: es la fuerza y el par que las ruedas motrices transmiten al raíl al estar apoyado sobre éste, y es una fuerza modulable por el agente de conducción, al igual que en el caso de vehículos automóviles.

31) ETH: acrónimo de *Especificaciones Técnicas de Homologación*, que es el nombre que reciben las normativas para homologar vehículos y material ferroviario.

32) ETI: acrónimo de *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad*, que es el nombre que reciben las normativas aplicables al sector ferroviario europeo.

- 33) Fórmula de Davis:** fórmula que determina la resistencia al avance de un tren en línea recta y horizontal sin tener en cuenta los efectos aerodinámicos.
- 34) Freno de emergencia:** sistema de frenado urgente que se activa de forma automática o de forma manual por el agente de conducción cuando sucede una circunstancia anómala de improviso y que emplea el máximo esfuerzo de frenado.
- 35) Freno dinámico:** modalidad de frenado en el que se utiliza el propio motor para generar el descenso de la velocidad requerido. No es válido a bajas velocidades. Se distinguen dos tipos:
- **Regenerativo:** la energía del frenado se devuelve a la catenaria o se acumula en baterías.
 - **Reostático:** la energía generada por la fuerza de frenado se disipa gracias al uso de resistencias.
- 36) Freno dual:** sistema de freno típico de las nuevas locomotoras de los años 60 y 70 que tenían que compatibilizar el freno de vacío de los antiguos coches y vagones con el nuevo sistema por aire comprimido.
- 37) Freno por aire comprimido:** tipo de freno que se sirve de la fuerza del aire comprimido a lo largo de la tubería de freno para accionar las zapatas.
- 38) Freno por vacío:** modo de freno consistente en hacer el vacío a lo largo de la tubería de freno, de tal modo que en el momento de reducir la velocidad, se rompe dicho vacío y las zapatas se adhieren a la llanta de las ruedas. Este freno era típico de la época del vapor, por lo que se abandonó en favor del freno por aire.
- 39) Gálibo ferroviario:** es la distancia mínima que debe permitir la infraestructura para asegurar el paso correcto de todo vehículo ferroviario. Es la sección transversal máxima que puede ocupar un vehículo para circular por un trazado.
- 40) Librea:** aunque en origen el término hace referencia a ropajes de la Edad Media, lo cierto es que este término en argot ferroviario hace referencia a la decoración externa del material rodante.
- 41) Límite de marcha forzada:** se produce durante la inscripción en curva del *bogie*, hasta que éste gira hasta la posición de la extrema simétrica.
- 42) Límite de marcha libre:** situación que se origina cuando el *bogie* de un vehículo ferroviario comienza su inscripción en curva. Entonces, se da el caso de que la rueda en contacto con el raíl exterior del eje delantero del *bogie* hace contacto con éste por medio de su pestaña.
- 43) Mando múltiple:** se denomina así al modo de tracción en el que una locomotora circula enganchada a otra y sólo un maquinista es capaz de operar ambas máquinas a la vez, mediante la conexión de sus sistemas de tracción a través de una manguera.
- 44) Mangueta:** zonas extremas del eje ferroviario que se insertan en la caja de grasa, y que verdaderamente soportan el peso del vehículo.
- 45) Movimiento de lazo:** movimiento oscilatorio paralelo al suelo que adquiere un vehículo ferroviario en línea recta debido a la forma cónica de sus ruedas.
- 46) Pantógrafo:** elemento articulado situado en el techo del vehículo ferroviario que permite la captación de corriente eléctrica de la catenaria. Existen diferentes

modelos según su diseño, básicamente con forma de rombo o los de brazo simple o compuesto, siendo estos últimos los más modernos y utilizados en la actualidad.

47) Perfil longitudinal: sistema de representación de una línea ferroviaria en el que quedan especificadas sus rampas y pendientes, así como las cotas de altitud por las que se desarrolla el trazado.

48) Perfil transversal: sistema de representación de una sección transversal de una línea ferroviaria en la que se indica el peralte (si se trata de una curva) así como todos los elementos referentes a la electrificación, drenaje de aguas, plataformas, o geometría de los terrenos adyacentes (trinchera, terraplén, etc.).

49) Peso por eje: manera de caracterizar la masa de un vehículo ferroviario teniendo en cuenta cuánto esfuerzo aguantan o pueden llegar a soportar los ejes. En España este peso no puede superar las 22,5 (t).

50) Potencia en el gancho: diferencia entre la potencia de la locomotora y la potencia de resistencia. Es, por tanto, la potencia efectiva que lleva a cabo la locomotora.

51) Potencia en llanta: es la potencia que puede medirse en la llanta y que es necesaria para realizar el trabajo que requiere el máximo esfuerzo de tracción, es decir, en el gancho.

52) Potencia unihoraria: es la potencia que el motor ofrece durante un pequeño lapso de tiempo, en contraposición de la potencia continua, que se ofrece indefinidamente.

53) RENFE y Renfe Operadora: a lo largo del documento se utilizarán estas dos denominaciones para hacer referencia a la empresa ferroviaria española. RENFE se utilizará para nombrar a dicha empresa desde la época de su creación en 1941 hasta 2005, época en la cual era el acrónimo de *Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles*. A partir de 2005 se denominará Renfe o Renfe Operadora, ya que en enero de ese año se produjo la separación de la operadora ferroviaria del gestor de la red, ahora nombrado *ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias)*. Por tanto, a pesar de conservar su nombre, Renfe deja de ser un acrónimo para convertirse en una marca comercial.

54) Rueda: aunque el concepto de rueda es claro, conviene recordar cada una de sus partes:

- **Cubo:** es la parte central de la rueda, donde tiene lugar el contacto con el eje.
- **Vela:** es la parte de la rueda que une el cubo con la banda de rodadura. Antiguamente no se solía hacer maciza, sino que estaba formada por radios.
- **Llanta:** se corresponde con la banda de rodadura, que entra en contacto con el carril.

55) Shuntado: forma de controlar de la velocidad de un motor de corriente continua mediante el uso de resistencias que consiste en la debilitación del campo inductor de los motores del material tractor.

56) Suspensión primaria: sistema de suspensión mediante muelles y amortiguadores que asegura la unión entre el bastidor del *bogie* y las cajas de grasa de los ejes.

- 57) Suspensión secundaria:** sistema de suspensión que asegura la unión entre los bogies y las cajas que conforman el vehículo ferroviario. Suele estar formada por muelles helicoidales o por un sistema neumático.
- 58) TCR:** siglas que hacen referencia a *Taller Central de Reparaciones*. Los más importantes en España son los de Villaverde y Valladolid.
- 59) Telero:** vara o estaca que forma parte de una barandilla. Se usa en vagones plataformas para evitar caídas o amarrar los materiales transportados. Son abatibles para permitir una carga cómoda.
- 60) Testero:** se denomina así al frontal de los vehículos ferroviarios.
- 61) TEU:** unidad usada en el ámbito del transporte intermodal o de contenedores que equivale a un contenedor de 20 pies de largo.
- 62) Tren-tierra:** es un sistema analógico implantado en 1983 que permite la comunicación con el puesto de control. A pesar de haber sido sustituido por el GSM-R en los trenes con sistema ERTMS, aún lo incorporan todos los trenes.
- 63) Velocidad Alta / Alta Velocidad:** diferencia existente entre los vehículos ferroviarios que pueden alcanzar 250 (km/h) y los que pueden llegar hasta los 300-350 (km/h).
- 64) Velocidad crítica:** es el valor de la velocidad que se alcanza cuando se da el esfuerzo de tracción máximo por simple adherencia.
- 65) Velocidad de circulación:** valor de la velocidad que un tren puede alcanzar en un trazado conforme a las especificaciones de la señalización vigente en el tramo.
- 66) Velocidad de equilibrio en rampa:** específica de cada tren y rampa, se produce cuando se iguala la fuerza de tracción máxima con las fuerzas resistentes.
- 67) Velocidad de régimen:** valor de velocidad utilizado para el diseño de la geometría de una línea, siendo la máxima velocidad que desarrolla un vehículo circulando a través de una determinada topografía y donde el esfuerzo tractor neto es nulo.
- 68) Velocidad mínima en rampa:** valor de la velocidad que debe alcanzar un tren en una rampa determinada manteniendo una cierta aceleración residual.

Estado del arte

Capítulo 4.

Antecedentes del transporte de mercancías

4.1. Introducción

No puede comenzarse a realizar un estudio del estado actual del ámbito de las mercancías por ferrocarril sin tener una referencia de lo acontecido en los inicios del uso del propio medio de transporte. Esto es debido a que el ferrocarril es un medio de transporte muy rígido, en el que decisiones tomadas en un determinado tiempo condicionan el futuro. Así por ejemplo, el tendido de líneas condiciona al tren que circule en el presente y al que lo haga en el futuro, ya que la modernización del material rodante estará sujeta a los límites del trazado. No sucede así en la aviación, donde la renovación de aeronaves no implica un rápido desarrollo de sus instalaciones en tierra. Sumado a esto, es imprescindible reconocer que el ferrocarril nace, no como medio de transporte de pasajeros, (si bien desde prácticamente sus inicios se ha ligado a ello), sino como una efectiva forma de transporte de materiales pesados, en concreto, de los extraídos en explotaciones mineras.

4.2. Los inicios del ferrocarril: la importancia de las mercancías

En la Inglaterra de los primeros años del siglo XIX tiene lugar el nacimiento del primer vehículo ferroviario, concretamente el 21 de febrero de 1804. Con anterioridad a esta fecha, el ingeniero Richard Trevithick, que comenzó trabajando con maquinaria de vapor para la minería, construyó una máquina de alta presión para una empresa siderúrgica. Es entonces cuando se le propone el proyecto de poder arrastrar varias toneladas de metal a través de unos antiguos raíles contruidos para transportar vagonetas gracias a la fuerza animal. El ingeniero diseñó a partir de la idea de una máquina estática a vapor la primera locomotora, que se conoció como *Pen-y-darren*, al igual que la empresa para la cual fue diseñada, (ver figura 4.1.).

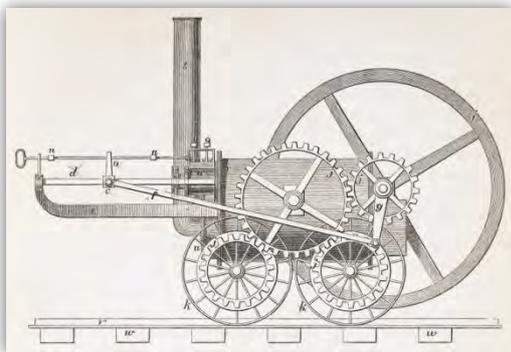


Figura 4.1. Litografía de la *Pen-y-darren*.

El problema con el que se encontraron al realizar los primeros viajes era que los raíles, contruidos sobre base de madera, tendían a hundirse bajo el peso de las cinco toneladas de la locomotora. Cabe destacar que dichos carriles eran los que poseían las pestañas y no las ruedas, al revés que sucede en cualquier ferrocarril posterior a aquél.

Sin desánimo, en julio de 1808, Trevithick presentó en Londres lo que vendría a ser la primera locomotora para el transporte de viajeros, la *Catch me who can*, (*Que me atrape quien pueda*), que alcanzaba una velocidad de 19 (km/h), si bien sólo se trataba de una mera exhibición para dar a conocer el invento. Aquella demostración no tuvo el éxito esperado, y Trevithick abandonó cualquier otro intento parecido.

Otros intentaron emular el invento de Trevithick, pero lo cierto es que no fue hasta la irrupción del ingeniero George Stephenson que el ferrocarril alcanzó el protagonismo que le pertenecía. A pesar de ser mundialmente famoso por su locomotora *The Rocket*, lo cierto es que ésta no fue su primera creación. De este modo, de nuevo vuelve a verse el interés que el tráfico de mercancías tuvo en los comienzos. En septiembre de 1825, se inauguró la primera línea férrea abierta al público del mundo, entre Stockton y Darlington, si bien su verdadera motivación no era el transporte de personas, sino el importante tráfico de carbón que por aquellos años de la Revolución Industrial se demandaba. La locomotora *Locomotion*, de 6,5 (t), fue una máquina fiable que aseguraba el tráfico en la línea, (ver figura 4.2.).

Ya en 1829, se convocó el concurso *Rainhill* de máquinas a vapor, cuyo objetivo era comprobar la fiabilidad de todas las variantes de locomotoras que los diferentes ingenieros presentaban para poder poner en marcha una nueva línea entre Liverpool y Manchester. Stephenson se proclamó vencedor con su *The Rocket*, que venía provista de caja de fuego, caldera tubular y tiro forzado.

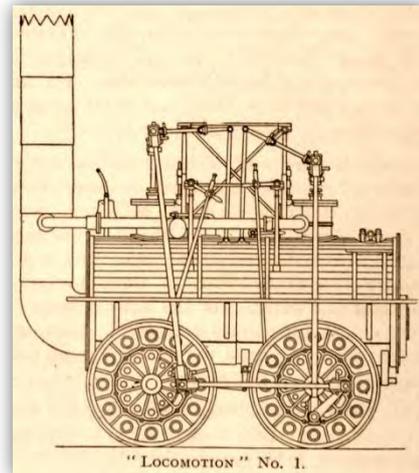


Figura 4.2. Imagen de la *Locomotion*.

4.3. El primer intento del ferrocarril español

Al igual que sucediera con Trevithick, la historia vuelve a olvidar, esta vez en nuestro país, a los verdaderos promotores de inventos que, bien por un motivo u otro, acaban sin tener éxito. Todo el mundo parece saber que el ferrocarril entre Barcelona y Mataró en 1848 fue el primer ejemplo de aquella tecnología importada de los ingleses. Pero lo cierto es que sólo fue el primer ferrocarril peninsular, ya que en 1837, bajo el dominio español de Cuba, se inauguró el trazado entre La Habana y Güines, con material y mano de obra procedentes de Inglaterra.

Sin embargo, en 1825, una fecha muy temprana para la historia del ferrocarril, el empresario gaditano José Manuel Díez Imbrechts propuso la construcción de una línea férrea entre la población de Jerez de la Frontera y el puerto del Portal, en el río Guadalete, de tal modo que este trayecto ayudase al transporte del vino de la región hacia el mar para poder aumentar las exportaciones. A pesar de conseguir la concesión, el proyecto no fructificó debido a la falta de inversión, por lo que Imbrechts lo traspasó a su socio Marcelino Calero y Portocarrero, que lo modificó, -haciendo un cambio en el trazado para que llegase al Puerto de Santa María-, y lo volvió a presentar en 1830, volviendo a resultar en fracaso.

A pesar de que éste y otros intentos no llegasen a buen puerto, el gobierno español tomó nota de cara a regularizar un sistema que ya lograba consolidarse en varios países. Así, tras la inauguración del ferrocarril en Cuba y antes de que se

construyese un solo kilómetro de vía en territorio peninsular, en noviembre de 1844, el gobierno del General Narváez ordenó un informe a una comisión de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, encabezada por el valenciano Juan Subercase Krets.

4.4. El Informe Subercase

Tal y como se apuntaba en la introducción de los antecedentes, la rigidez del ferrocarril implica tener cierta capacidad de visión futura, ya que pueden llegar a tomarse decisiones que comprometan el mañana. Si en la actualidad la gente se pregunta el motivo de nuestro aislamiento ferroviario, -que motiva un lógico menor tráfico de mercancías por tren, al menos internacional-, hay que recurrir al penúltimo mes de 1844 para comprender el motivo.

Popularmente se ha creído que el ancho de vía español, -o ibérico, cualquiera de ambas formas se utilizarán para referirse a él-, venía motivado por una forma de defenderse de posibles ataques militares extranjeros. Nada más lejos de la realidad, pues si se piensa detenidamente, de haberse querido realizar una empresa como esa, éste hubiese sido un obstáculo, pero seguramente no algo determinante, aunque no es necesario especular. La realidad viene de la mano del título de este apartado, el *Informe Subercase*, que es como se conoció al documento "técnico" que la comisión de ingenieros antes citada proporcionó al gobierno español. La palabra *técnico* aparece entrecomillada porque muchos entendidos actuales tildan de verdadero desastre tal informe, indicándose incluso que los ingenieros habían proporcionado una serie de razonamientos sin ni siquiera haber viajado a los países donde ya existía la tecnología para conocerla de primera mano. Lo cierto es que este documento, conservado en la actualidad por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, cita textualmente la necesidad de proponer un único ancho de vía para evitar problemas de conexión entre redes que crecen y acaban unificándose, evitando con ello el trasbordo de viajeros o mercancías, que producen molestias y ralentizan los desplazamientos. Sin embargo, pese a parecer ser previsores en este aspecto, tan sólo unas líneas más abajo se induce a la implantación de un ancho de vía de seis pies castellanos, una anchura mayor a la típicamente existente hasta entonces, -conocido como ancho *Stephenson* y que posteriormente sería conocido como ancho internacional, de 1435 (mm)-, con la excepción del ancho inglés *Brunel* de 2140 (mm) y del ruso de 1520 (mm). Parece ser que se vaticinaba que el ancho *Stephenson* sería posteriormente agrandado, fruto de la teoría de que a mayor ancho de los trenes, mayor estabilidad; algo que es cierto. Pero un sistema que se construye y del que se verifica su buen funcionamiento es difícil de cambiar en el futuro.

La distancia de seis pies castellanos, -1671 (mm)-, vino motivada por la difícil orografía de ciertas zonas de España y por esa aparente tendencia que los ingenieros vieron en aumentar los anchos de vía. Se suponía que con esa mayor distancia entre raíles, las locomotoras serían capaces de portar mayores diámetros de calderas y serían capaces, por tanto, de conseguir mayores potencias, que ayudarían a la buena marcha de los trenes.

Sin embargo, en 1846, -dos años antes de la inauguración de la línea de Barcelona a Mataró-, el Parlamento Británico dictaminó que todas las líneas férreas del Reino Unido se construirían en ancho *Stephenson* de 1435 (mm). Esto podría haber hecho pensar en una posible unificación internacional de criterios acerca del ancho de vía (como acabó sucediendo), más aún cuando el invento del ferrocarril había nacido y establecido sus bases en Inglaterra. No obstante, no se pensó en revisar el informe, por lo que el ancho español acabó prosperando.

La realidad es que el ancho ibérico no permaneció inmóvil a lo largo de su historia, sino que se ha visto modificado en varias ocasiones. Así por ejemplo, las concesiones ferroviarias de origen inglés, utilizaron una medida anglosajona que aproximaba el valor de los seis pies castellanos, en concreto cinco pies ingleses y seis pulgadas, que resulta en un ancho de 1674 (mm). A partir de 1955, RENFE optó por variar de nuevo el ancho de vía, estableciéndolo en los actuales 1668 (mm). A partir de aquella fecha, los vehículos se construyeron con esta nueva especificación, si bien no todas las líneas de la red española y no todos los trenes tenían el mismo ancho, por lo que trenes de 1668 (mm) podían circular por líneas de 1674 (mm) y viceversa.

Fruto de la decisión de construir las líneas con ancho distinto al del resto de Europa, Portugal se vio obligada a adoptar el mismo ancho que España para no verse aislada. Cabe destacar que a día de hoy, Portugal sigue usando el ancho de 1674 (mm), al igual que sucede en varios países sudamericanos que también acabaron adoptando el ancho ibérico.

4.5. Las concesiones y primeras empresas ferroviarias

Las primeras líneas férreas españolas se construyeron como fruto de la iniciativa privada, no habiendo aparecido aún el modelo de las grandes empresas ferroviarias. Esta situación se mantuvo hasta la primera gran regulación nacional que se hizo sobre este aspecto, la Ley General de Ferrocarriles de 1855, en la que se establecía un orden de importancia de las líneas, las cuales pasarían a denominarse de primer orden si éstas tenían inicio en Madrid y terminaban en las costas o en las fronteras. Este hecho motivó que la futura red tuviese un marcado carácter radial.

A partir del siguiente año, se constituirían las grandes empresas ferroviarias, que dominarían el territorio español desde aquel año 1856 hasta la creación de RENFE en 1941 (ver Anexo 13.1), y que progresivamente absorberían a las pequeñas explotaciones ferroviarias. La existencia de estas empresas son el motivo por el cual, a día de hoy, existen en distintas ciudades españolas varias estaciones, como el caso de Madrid, donde la Estación de Príncipe Pío era cabecera de las líneas de *Norte*, la Estación de Atocha (antigua Estación del Mediodía) era la perteneciente a *M.Z.A.* y la Estación de Delicias era el término de las líneas de la *Compañía de Madrid a Cáceres y Portugal (M.C.P.)*, posteriormente absorbida por *Oeste*. La Estación de Chamartín se edificaría mucho después, entre el año 1968 y 1972, que sería la cabecera de la nueva línea del Directo Madrid-Burgos, y que serviría para aliviar el tráfico de viajeros y paquetería hacia el norte de España.

4.5.1. M.Z.A.

En 1856 se creó la *Compañía de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante (M.Z.A.)* a partir de la prolongación de la línea Madrid-Aranjuez hasta Almansa y Alicante, que era propiedad de José de Salamanca. La licitación de una línea muy rentable, la Madrid-Zaragoza, terminaría por completar la red primitiva. En sus comienzos tuvo ciertos problemas con otro promotor ferroviario, el valenciano José Campo, con el que se disputaba la conexión de la costa de Valencia. Sin embargo, no ocurrió así con la zona castellano-manchega, donde Alcázar de San Juan, Manzanares o Toledo eran algunas de las poblaciones y ciudades que dominaba ferroviariamente.

En su expansión hacia el sur, *M.Z.A.* tuvo problemas con *Andaluces* y con *Norte*; ésta última por explotar la línea Córdoba-Sevilla, que hábilmente acabó por acabar controlando en 1875 tras haber concluido la construcción de la línea de Manzanares a Córdoba.

En la zona de Cataluña no estuvo exenta de complicaciones con su rival *Norte*, que gestionaba la línea a Barcelona desde Zaragoza pasando por Lérida. *M.Z.A.* optó por la construcción de su propia línea a Barcelona desde Zaragoza pasando por Flix, Tarragona y la costa del Maresme.

Unas de las últimas líneas, construida a orillas del río Duero, fue la que unía Valladolid con Ariza, que ponía en contacto la línea Madrid-Irún y la Madrid-Barcelona. Esta línea pasó a RENFE tras su creación y la mantuvo abierta hasta enero del año 1985, año del gran cierre de líneas poco rentables.

4.5.2. Norte

A partir de capital francés y belga y con importante influencia inglesa (actualmente por las líneas de la antigua *Norte* se sigue circulando por la izquierda, al contrario del resto de líneas de la red española) en 1858 se creó la *Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España*, cuya primera línea fue la llamada *Línea Imperial*, que une Madrid e Irún pasando por Ávila, Valladolid, Burgos, Vitoria y San Sebastián. Tal y como indica su nombre, la mayoría de las líneas propiedad de esta empresa discurrían por el norte peninsular, a partir del eje vertebrador que suponía la línea de Irún. En 1874 adquirió la línea de Alar del Rey a Santander y en 1878 la de Tudela a Bilbao. En ese mismo año lograba controlar el eje Pamplona-Zaragoza-Barcelona.

Aparte de la línea Villalba-Segovia-Medina del Campo, de mediana importancia, la red ferroviaria que unía León con Asturias y Galicia se convirtió en uno de los grandes baluartes de la empresa, siendo el Puerto de Pajares, junto con el trayecto de Madrid a Ávila, uno de los primeros tramos electrificados del ferrocarril en España. A día de hoy aún pueden encontrarse, en ciertos tramos o estaciones, postes de catenaria en uso pertenecientes a aquéllas primeras electrificaciones.

4.5.3. Andaluces

Esta empresa se creó en 1877 a partir de la congregación de varias explotaciones ferroviarias situadas en el sur peninsular, en torno a un grupo de capitalistas andaluces afincados en Málaga. La red andaluza rompía con la norma de una red radial desde Madrid, ya que en ella se incluían muchos recorridos que conformaban una cierta malla. La líneas principales que gestionaban eran la Sevilla-Cádiz, la Córdoba-Málaga o la Córdoba-Bélmez. Otras rutas también relevantes unían las poblaciones de Jerez de la Frontera con Sanlúcar de Barrameda, Utrera con Bobadilla y Granada o Jaén con Puente Genil.

Ya en el siglo XX, *Andaluces* absorbió la en 1913 la ruta de Bobadilla a Algeciras, de capital inglés, y en 1929 la Linares-Almería.

4.5.4. Oeste

Fundada en 1881, su matriz fue la empresa *M.C.P.*, que tenía en propiedad la línea de Madrid a Portugal pasando por Cáceres. *M.C.P.* también construyó la llamada *Ruta de la Plata*, entre Astorga y Plasencia, pasando por Zamora y Salamanca.

Una crisis en esta empresa obligó a refundar la empresa con el nombre de *Oeste de España*. En 1928, esta empresa fue rescatada por el Estado, que creó la *Compañía Nacional de los Ferrocarriles del Oeste de España*, que pasó también a tutelar otros ferrocarriles ya estatales, como el Ávila-Salamanca o el Betanzos-Ferrol. Incorporó, asimismo, líneas relevantes como la que unía Medina del Campo con Salamanca o Monforte de Lemos con Vigo y Pontevedra; también la línea Santiago de Compostela a Villagarcía de Arousa y Pontevedra.

4.6. La caída de las grandes empresas ferroviarias

A partir de los años veinte del siglo pasado, tras casi ochenta años de gestión privada de los ferrocarriles, el sistema comenzaba a tambalearse. Esto es debido a que el Estado ofrecía una gestión indirecta a las compañías, donde participaba de las decisiones acerca de los nuevos trazados y apoyaba económicamente su construcción. Pero el verdadero problema venía dado por las limitaciones tarifarias, que ofrecían mínimas garantías de supervivencia a las empresas del sector, debido a que por un lado, los trabajadores esperaban ver lógicos aumentos en sus sueldos, mientras que por otra parte, la infraestructura y material móvil necesitaban también atenciones y reemplazos.

Ya en 1918, se introdujo la idea de la posibilidad de nacionalizar el ferrocarril, al igual que había hecho Italia en 1905, e incluso se propuso la idea de que el Estado administrase toda la red ferroviaria, mientras que las empresas privadas podrían centrarse sólo en ofrecer sus servicios. Es este método precisamente, el que en la actualidad y desde el año 2005 se ha implantado en los países europeos, esta vez

decidido así para permitir la entrada de operadores ferroviarios que nada tengan que ver con las empresas nacionales establecidas hasta el momento.

En 1924 se aprobó el Estatuto Ferroviario, que vendría a regular de mejor forma las concesionarias, no permitiría la privatización de nuevas concesiones y convertiría en patrimonio público las subvenciones ofrecidas a las empresas. A partir de él, en 1926, se creó un nuevo ente, el *EFE*, (Jefatura de Explotación de Ferrocarriles por el Estado), con claros tintes de gestor público de la infraestructura.

La época de la República avanzó en una dirección similar, justo hasta la llegada de la Guerra Civil, que supuso poner el ferrocarril al servicio de uno de los dos bandos y la consiguiente pérdida de una gran cantidad de material motor e infraestructuras, que terminó por dar la puntilla a unas agónicas empresas ferroviarias.

4.7. La creación de RENFE

Tras el fin de la guerra, dentro del nuevo modelo de Estado no cabía la anterior concepción que se tenía del transporte. Así, el gobierno del General Franco hizo surgir empresas nacionales de transporte, que no sólo atañían al ferrocarril, sino también a la aviación, como es el caso de *IBERIA*.

No obstante, la primera decisión que se adoptó fue la creación del Consejo Facultativo de Ferrocarriles, junto con los Consejos Directivos, que se encargarían de gestionar las antiguas empresas, conservando éstas sus divisiones tradicionales. Finalmente, en 1941 se realizaría un rescate global a todas las empresas, uniéndolas bajo las siglas *RENFE* (Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles). Tras su creación, el Estado tuvo que indemnizar a las empresas ferroviarias por haberlas privado de años de concesión (ya que el acuerdo firmado por éstas en sus orígenes era por 99 años). Se tuvo que analizar empresa por empresa la cantidad que, en justiprecio, debieran de recibir. Al final, se consiguieron disminuir las cuantías calculadas al aplicar el concepto de *demérito*, por el pésimo estado en que habían sido entregadas a RENFE las infraestructuras y material móvil.

Así pues, la nueva RENFE era una empresa pública que contaba en sus activos con 12400 kilómetros de vías férreas de 23 antiguas empresas, 1500 estaciones, 6600 locomotoras y automotores, 6700 coches y furgones, 75000 vagones y una plantilla de 110000 empleados. Tal y como se ha citado con anterioridad, no todo lo recibido por RENFE pudo considerarse útil, puesto que la mayoría del material rodante necesitaba ser restaurado e incluso algunas piezas no eran más que chatarra, ya que había locomotoras de vapor que ya contaban con más de sesenta años de servicio.

En 1947, se realizó un catálogo de material motor en el que se especificaba, locomotora por locomotora, atendiendo a su clasificación como vapor, diesel o eléctrica todas las características de éstas, diagramas y fotografías. Hubo que realizar un gran esfuerzo para intentar crear una manera de matricular uniformemente todos los trenes. Así, las locomotoras a vapor adoptaron un número de serie correspondiente a su disposición de ejes (ver tabla 4.1.), por lo que dentro de una misma serie, podían encontrarse máquinas de distintas antiguas empresas que

compartían diseño de rodaje. En el caso de diesel o eléctricas, la denominación fue distinta, adoptando números de cuatro cifras que comenzaban por 1, 2, 3 y 4 para las diesel, 5 y 9 para los automotores ó 6, 7 y 8 para las eléctricas. Los coches tenían su propia numeración y los vagones adoptaban no sólo números, sino también letras que caracterizaban su uso: R para los cisternas, J para los cerrados, X para los abiertos con bordes, M para las plataformas, etc. En el siguiente apartado (4.8.), puede observarse una relación de ellos y su evolución con el paso del tiempo.

Tabla 4.1. Serie de locomotoras de vapor de RENFE según su rodaje.

Disposición de ruedas					
Serie en RENFE	Dibujo	Nombre común en argot	Serie en RENFE	Dibujo	Nombre común en argot
020	OO	<i>Cuco</i>	140	oO000	<i>Consolidación</i>
021	OOo	-	141	oO000o	<i>Mikado</i>
120	oOO	-	240	ooO000	<i>Mastodonte</i>
220	ooOO	<i>American</i>	241	ooO000o	<i>Montaña</i>
030	OOO	<i>Bourbonnais</i>	242	ooO000oo	<i>Confederación</i>
031	OOOo	-	151	oO0000o	<i>Santa Fe</i>
130	oOOO	<i>Mogul</i>	060	O00-O00	<i>Mallet</i>
230	ooOOO	<i>Ten Wheeler</i>	160	oO00-O00	<i>Mallet</i>
231	ooO00o	<i>Pacific</i>	062	O00ooO00	<i>Du Bousquet</i>
232	ooO00oo	<i>Baltic</i>	462	ooO00o-oO00oo	<i>Garrat</i>
040	O000	<i>Eight Wheel Switcher</i>	180	oO000-O000	<i>Kitson & Meyer</i>
041	O000o	-	282	oO000o-oO000o	<i>Garrat</i>

En cuanto a la distribución geográfica, RENFE se decantó por un método de siete divisiones del territorio nacional (ver Anexo 13.2), que denominó "zonas", y a las cuales el material rodante se mantenía adscrito junto con sus operarios. Dentro de cada zona, el material tractor podía pertenecer a uno u otro depósito de locomotoras. A lo largo de su vida activa, los trenes podían cambiar de zonas según conveniencia del servicio, cambios en la tracción (como la electrificación de líneas) o por cierre de algunos depósitos.

4.8. La competencia de la carretera

El modelo de gestión de las mercancías por ferrocarril poco había cambiado con respecto a las que utilizaban las anteriores empresas. El transporte detallista era una parte muy importante del tráfico de antaño, por lo que hoy día no puede compararse el sistema de transporte de mercancías al de aquellos tiempos. La fuerte competencia de otros medios de transporte, -junto con la propia evolución del país y sus cambios de necesidades-, hizo variar progresivamente la metodología logística y los medios que se tenían para llevarla a cabo, hasta la aparición de las llamadas *U.N.* o Unidades de

Negocio que RENFE creó en 1994, y que supusieron un nuevo modelo radicalmente distinto al anterior, en el que como se verá en sucesivos apartados, la empresa pública se subdividió para poder especializarse más y dar una mejor respuesta a sus clientes.

Por otra parte, lo primero que debe comprenderse es que no sólo a nivel nacional, sino a nivel europeo, la densidad del tráfico de mercancías por ferrocarril no supone un alto porcentaje del total ni mucho menos. Actualmente se están barajando cifras de alrededor del 8 % del total de mercancías que se transportan por tren, por lo que puede entenderse que una parte muy importante se la lleva la carretera. Esto es debido en gran medida a la extensión del continente europeo, al tamaño de sus países y a la distancia entre sus ciudades. Lo cierto es que, aunque parezcan grandes, las distancias entre nuestras ciudades son pequeñas cuando se comparan con otros continentes, por lo que los viajeros, animados por realizar sus desplazamientos en no más de 3 ó 4 horas, acaparan una enorme cantidad del tráfico ferroviario, que lógicamente, se pone a su servicio esperando recoger grandes beneficios. No sucede así, por ejemplo, en Estados Unidos, donde las distancias entre las más importantes ciudades son de miles de kilómetros, con un triple cambio de hora entre ellas, como pueda ser el caso de Nueva York y Los Ángeles. Allí el medio de transporte elegido por la gran mayoría es el avión, por lo que en el ferrocarril se abre una inmensa disponibilidad a la circulación de trenes mercantes, tráfico que manejan las grandes empresas ferroviarias estadounidenses, como la *BNSF (Burlington Northern Santa Fe)*, la *Union Pacific*, la *CSX Transportation* o la *NS (Norfolk Southern)*.

Introducida esta condición tan relevante en este sector, hay que comenzar a explicar el tipo de mercancías que desde los primeros años de RENFE hasta la aparición de los contenedores en 1972, se ha venido transportando:

La red ferroviaria heredada en 1941 cumplía con aquellas antiguas disposiciones que indicaban una composición radial a partir de Madrid de las líneas más importantes. Sin embargo, bajo la sombra de las grandes empresas que habían dominado el ferrocarril, había todo un entramado de pequeñas explotaciones mucho más modestas que también ofrecían tráficos transversales o ramificaciones de las líneas principales. Esto generaba un sinfín de kilómetros de vías de apartaderos y de accesos a empresas y fábricas que habían demandado (y que durante la propia existencia de RENFE demandaban) una salida de sus productos por tren. Este tipo de situaciones, unida al importante sector agrario que durante los años 50 y 60 existía en España, hacía que los tráficos mercantes fuesen verdaderamente heterogéneos, y que los propios trenes fuesen una pintoresca mezcla de vagones de transportaban distintos materiales y productos a diversos destinos. A su vez, esto repercutía en un aumento considerable de los tiempos de viaje, unido a las evidentes restricciones que imponía el material tractor a vapor, como las paradas para abastecimiento de agua o la necesidad de dobles tracciones en rampas difíciles, junto con las esperas en estaciones a causa de una red en la que prevalecían las líneas de vía única, que imposibilitaban los cruces de trenes y obligaban a detenerse en estaciones o apartaderos para, o bien cruzarse, o bien rebasar a otros trenes. Como en toda situación, hay excepciones, como es el caso de los llamados *trenes pescaderos*, que con vagones frigoríficos enfriados gracias a

grandes bloques de hielo, debían salvar las distancias entre La Coruña/Vigo o Cádiz/Huelva con Madrid lo más rápidamente posible para poder ofrecer a la capital española los pescados y mariscos típicos de esas zonas del litoral en perfecto estado.

Lo cierto es que, tal y como acaba de comentarse, el transporte de mercancías tenía en la agricultura y ganadería un gran sustento que con el tiempo se tendió a disipar. Tanto es así, que los rebaños de animales trashumantes tenían su especial dedicación por parte de RENFE, como puede observarse en las figuras 4.3. y 4.4.

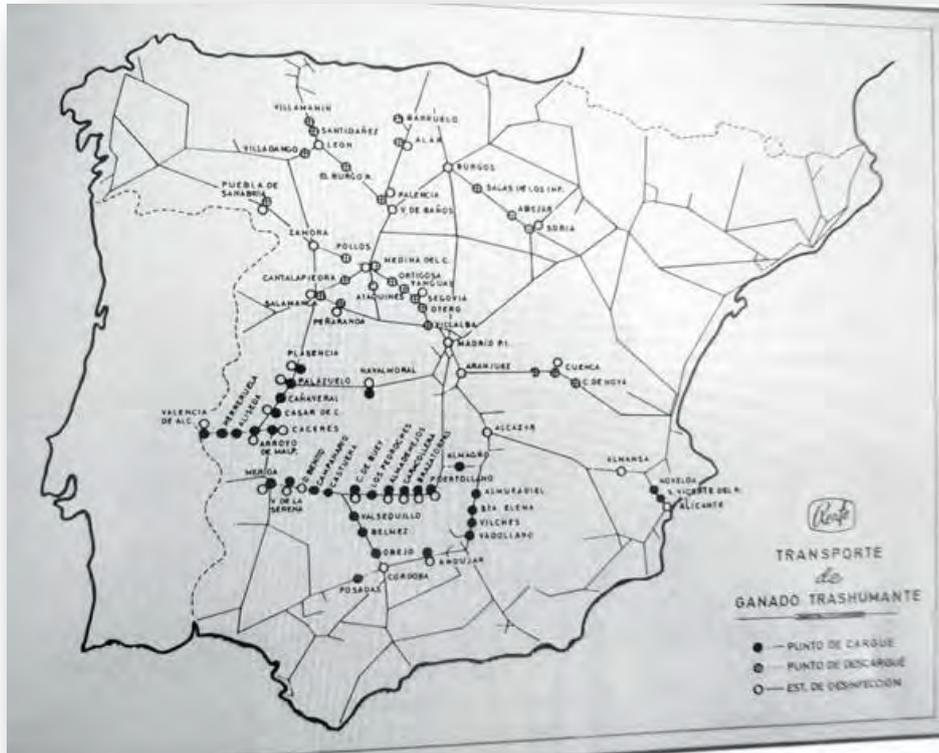


Figura 4.3. Mapa de los puntos de carga, descarga y desinfección de ganado.



Figura 4.4. Operaciones de carga y descarga de ganado bovino, porcino y ovino, respectivamente.

En el caso del ganado, el incremento de las fianzas demandadas a los ganaderos, las nuevas normativas que RENFE establece para la petición de vagones, el incremento de tarifas y las empeoradas condiciones higiénicas hacen ir reduciendo el número de estos transportes hasta su desaparición, consiguiendo que esta parte del mercado fuese a parar a la carretera.

Del lado del resto de productos transportados, la situación tampoco mejoraba, sino todo lo contrario. Desde la década de los 20, el parque automovilístico europeo se había visto incrementado, sobre todo en número de camiones y autobuses. En España,

la Guerra Civil había hecho "aparcar" el parque automovilístico, por lo que parecía que el ferrocarril lograba repuntar. Sin embargo, con cierto retraso, también llegó un momento en que pudo comprobarse los beneficios de un menor precio, el puerta a puerta y la rapidez que el transporte con camiones suponía. La sucesiva recuperación española tras la postguerra hacía que cada vez se incrementase más el número de productos de alto valor añadido en detrimento de los procedentes del sector primario, antiguos baluartes del transporte por tren. Además, se unía a ello el proceso de mejora de las carreteras, junto con una menor dependencia energética del carbón, que era transportado prácticamente en su totalidad por tren.

Así pues, durante estas épocas de cambio entre los años 40 y los 70, RENFE explotó los servicios de mercancías bajo dos perspectivas:

La primera de ellas, en vigor hasta los años 60, proponía dos tráficos diferenciados: los de *Pequeña Velocidad*, en referencia a esos trenes heterogéneos a los que se hacía referencia con anterioridad; y los de *Gran Velocidad*, que se corresponden con las mercancías perecederas, que como antes también se vio, se correspondían, por ejemplo, a los trenes de pescado.

A partir de los 60, se creó el sistema de *vagón completo*, que obligaba al cliente a rellenar al menos un vagón de mercancías entero. Este método capitalizaba las tres cuartas partes de las toneladas/kilómetro transportadas por RENFE. El tráfico intermodal también comenzaba a despuntar por aquellos años.

El material que RENFE utilizó durante estos períodos estuvo constituido en gran parte por los llamados *vagones unificados*, vehículos provistos de dos ejes y freno de vacío que compartían un bastidor común, y cuya caja variaba en función de si se transportaba ganado, mineral, vigas, bobinas, combustibles, productos alimentarios, etc.

4.9. El contenedor, nuevo concepto de transporte

A mediados de la década de los 50 del siglo XX, un empresario norteamericano dueño de una pequeña naviera, que transportaba combustibles entre Houston y Nueva York, decidió aliarse con una empresa que transportaba sus mercancías por camión. En los viajes de vuelta en los que los buques navegaban vacíos, el empresario, Malcom Maclean, acordó con aquella empresa transportar los remolques de los camiones en la cubierta de su barco para así hacer más rentable la utilización de su flota. Al cierto tiempo, este visionario pensó la manera de eliminar las ruedas de los remolques, de tal manera que tan sólo las cajas, más sencillas de apilar, fuesen las que transportase en sus buques. Así nació la feliz idea del contenedor, que proporcionó a su creador grandes beneficios que le permitieron crear nuevas empresas navieras especializadas ya en el transporte con su nuevo invento. Y no sólo cambió el concepto de barco carguero, sino el de los propios remolques de camiones y el que aquí atañe, el de los nuevos vagones que transportarían los contenedores.

Según su definición, el contenedor es un gran embalaje metálico que proporciona un viaje seguro de las mercancías gracias a su estanqueidad, evitando inclemencias y robos. Su estructura permite que sean apilables, gracias a unos pivotes no simétricos que encajan en unos orificios, tal y como puede verse en las figuras 4.5. y 4.6. Estos pivotes se incluyen en los vehículos que los transportan.

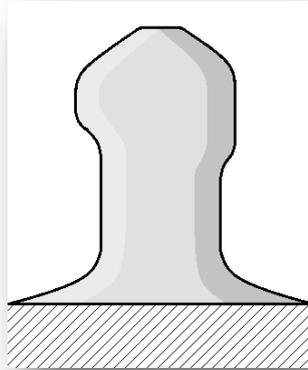


Figura 4.5. Pivote asimétrico.



Figura 4.6. Alojamiento en el vértice del contenedor.

La unidad básica del contenedor es el denominado *TEU (Twenty Equivalent Unit)*, que es una medida basada en el tamaño del contenedor más pequeño, de 20 pies de largo.

La clave del éxito del sistema es la rígida estandarización al que está sometido, que permite la existencia de grandes ejércitos de grúas portuarias, móviles o tipo puente para las terminales de contenedores ferroviarias. Todas estas cajas metálicas estandarizadas tienen unas medidas variables, siendo las más corrientes los 20 ó los 40 pies (con 32,6 (m³) y 66,7 (m³) respectivamente), aunque también existen los de 30 pies. En la tabla 4.2. pueden verse algunas medidas variables para los de 20 y 40 pies.

Tabla 4.2. Alturas variables de los contenedores de 20 y 40 pies.

Medidas

Tanto los contenedores de 20 pies (6 m) como los de 40 pies (12 m) para carga sólida pueden tener las medidas siguientes en milímetros:

Designación	Altura total	Altura interior	40 pies		40 pies		20 pies	
			Anchura total	Anchura interior	Longitud total	Longitud interior	Longitud total	Longitud interior
8 pies	2.438	2.197	2.438	2.299	12.192	11.998	6.058	5.867
8,5 pies	2.591	2.350	2.438	2.299	12.192	11.998	6.058	5.867
9 pies	2.735	2.494	2.438	2.299	12.192	11.998	6.058	5.867
9,5 pies	2.918	2.677	2.438	2.299	12.192	11.998	6.058	5.867

Así mismo, bajo el nombre de contenedor se agrupa una batería de tipos de estructuras que coinciden tanto en sus dimensiones como en los sistemas de anclaje y elevación. De todas formas, pueden distinguirse los denominados contenedores marítimos (los más comunes), que pueden ser utilizados en todos los modos de transporte y los contenedores terrestres-ferroviarios, que cumplen las especificaciones

UIC para transporte mediante camión o tren. Los tipos de contenedor según su función se exponen en la tabla 4.3. de la página siguiente.

Tabla 4.3. Tipos de contenedores.

Nombre	Imagen	Descripción
<i>Dry Van</i>		Herméticamente cerrado, sin refrigeración ni ventilación.
<i>High Cube</i>		De altura especial.
<i>Reefer</i>		Con sistema de refrigeración con conexión a un generador externo.
<i>Open Top</i>		Abierto por la parte de arriba; suelen taparse con una lona.
<i>Flat Rack</i>		Sin paredes ni techo, para cargas especiales.
<i>Open Side</i>		Con puertas laterales.
<i>Tank</i>		Cisternas para el transporte de líquidos.
<i>Flexi-Tank</i>		Con una bolsa en su interior, sirve para carga de productos a granel.

4.10. La creación de centros logísticos intermodales y los TECO

El acrónimo *TECO* viene de la denominación *Tren Expreso de Contenedores*. Después de un período de maduración del sistema e implantación mundial, el 12 de julio de 1972, RENFE se estrena con el nuevo servicio de trenes *TECO* entre la antigua

estación de Madrid-Peñuelas y Barcelona-Morrot, habiendo realizado su recorrido durante la noche. Los primeros trenes tendían a cruzarse en su recorrido en el punto medio, ya que sus horarios eran prácticamente idénticos en la ida y en la vuelta. El ciclo era de 13 horas, que se ampliaban a 24 como máximo si el cliente exigía un servicio puerta a puerta. Este servicio fue adoptado por la propia RENFE a través de una flota de camiones propios.

Ya en 1968, RENFE se adhirió a una sociedad que estaba formada por varias empresas ferroviarias europeas, *Intercontainer*, que planteaba la creación de trenes directos de mercancías. A partir de 1972, RENFE invirtió mil millones de pesetas para la compra de unos 3000 contenedores y 500 vagones plataforma, además de adecuar una serie de terminales de carga con la colocación de grúas puente o pórtico y grandes explanadas para apilar los contenedores.

Los centros logísticos para la carga y descarga de contenedores que se utilizan y se construyen hoy en día, son la aplicación del concepto de aquellos dos primeros que se implantaron en Madrid y Barcelona, que pronto crecieron en número y tamaño. De este modo, los centros actuales podrían dividirse en puertos, terminales logísticas o puertos secos (ver figura 4.7.).



Figura 4.7. Vista de Madrid-Abroñigal.

Los que se encuentran en servicio se ubican en:

Madrid-Abroñigal, Zaragoza-Plaza, Barcelona-Morrot, Tarragona-Constantí, Valencia-Fuente de San Luis, Silla, Alicante-Benalúa, Murcia, Málaga, Cádiz, Puerto de Santa María, San Roque, Sevilla La Negrilla y Sevilla Puerto, Córdoba-El Higuero, Mérida, Vigo-Guixar, A Coruña-San Diego, Lugo, León, Torrelavega y Bilbao.

Los trenes *TECO* eran sinónimo de modernidad, pero sin embargo, el negocio no obtuvo los éxitos previstos, haciendo que no sólo los trenes portacontenedores, sino todos los tráficos mercantes, se hayan visto poco a poco disminuidos. Dentro de las causas de este claro descenso del transporte por ferrocarril está el diferente ancho de vía, que Subercase invitó a implantar en España con su informe, y que desgraciadamente lo ha hecho muy vulnerable frente a otras vías de locomoción, como la carretera, donde España cuenta con una flota desmedida de camiones que se intenta minimizar, -como se verá más adelante-, mediante la aplicación de ambiciosos planes que en épocas de crisis como la actual parece que no son adecuados de llevar a

cabo. Esto, unido a la posición geográfica de España dentro de Europa, parece no ayudar a remontar el servicio, si bien puede ser una ventaja si se piensa desde otro punto de vista, como se verá también en sucesivos apartados.

Tras la creación de Renfe Operadora, la renovada empresa ofrece sus servicios para el transporte de mercancías separando su oferta en *Intermodal* (contenedores, semirremolques), *Siderúrgicos* (productos planos, largos, tuberías), *Multiproducto* (maderas, cementos, químicos, minerales, graneles, etc) y *Automoción* (vehículos y repuestos), donde se engloba *Pecovasa*. Por su parte, *Logirail* nace de Renfe para proveer de servicios logísticos en tierra.

Dentro de la oferta de contenedores, existen otros sub-apartados como el *Club Teco*, el *Vagón Completo* o el *Container Click*, que de forma especializada bajo la plataforma *Omnium* de *Renfe Mercancías* ofrecen productos especiales o que se adecúan a cada cliente.

Capítulo 5.

Situación actual y soluciones

5.1. La liberalización del transporte de mercancías

A partir de enero de 2005, casi un año después de lo previsto, en España tuvo lugar la liberalización del transporte ferroviario, según la cual, RENFE dejaba de tener la titularidad de la red ferroviaria, para pasar a ser una operadora en competición con cualquier otra que tuviese previsto entrar en el mercado. De este modo, el nuevo ente estatal, ADIF, pasaría a ocuparse de la gestión, el mantenimiento y la construcción de líneas.

Con este primer paso, RENFE pasaría a convertirse en Renfe Operadora, cambiando su imagen corporativa junto con la decoración de todo su material rodante. En esta etapa, la apertura del mercado se había procurado para los operadores de mercancías, mientras que el reservado para el ámbito viajeros se está abriendo en 2014.

Las operadoras ferroviarias que obtuvieron su licencia para operar en la red española fueron las que aparecen relacionadas en la tabla 5.1. Previamente, se informa acerca de los tráficos de dichas empresas en la figura 5.1.:

Observatorio de tráficos de empresas ferroviarias sobre la RFIG

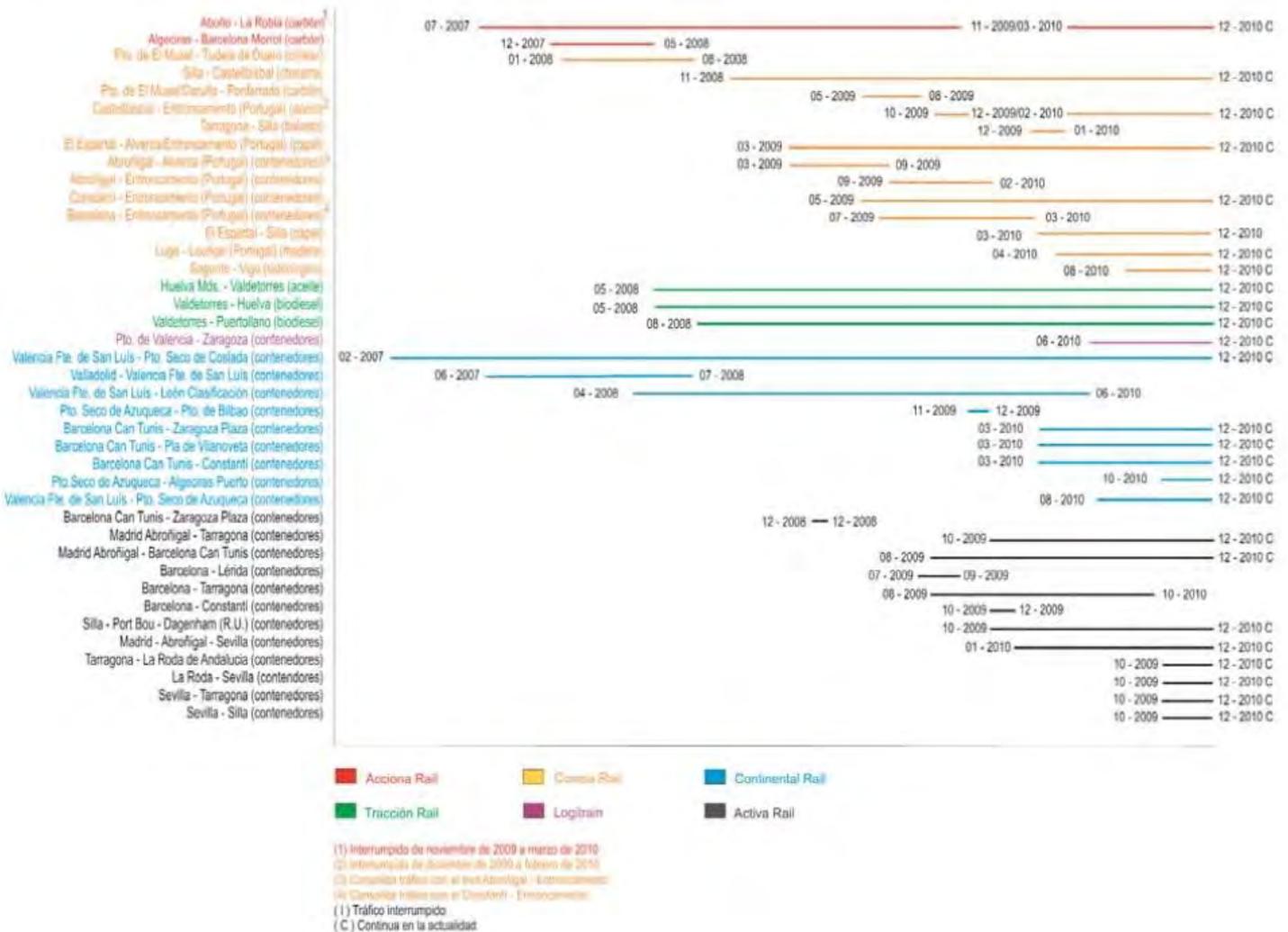


Figura 5.1. Tráficos ferroviarios de mercancías de las nuevas empresas privadas.

Tabla 5.1. Operadores ferroviarios de mercancías a partir de 2005.

Empresas ferroviarias con licencia de operador. 2010

Empresa ferroviaria	Resolución Ministerio Fomento	Fecha inscripción UE	Declaración actividad	Nivel de Actividad
Renfe Operadora	27/09/2005	07/10/2005	Servicios de mercancía general, perecederas y peligrosas	N3
Comsa Rail Transport S.A.	27/09/2005	07/10/2005	Servicios de mercancía general, perecederas y peligrosas	N1
Continental Rail S.A.	14/10/2005	21/10/2005	Servicios de mercancía general, perecederas y peligrosas	N1
Acciona Rail Services S.A.	16/03/2006	16/03/2006	Servicios de mercancía general	N1
Activa Rail S.A.	04/07/2006	14/07/2006	Servicios de mercancía general	N1
Tracción Rail S.A.	24/07/2006	12/09/2006	Servicios de mercancía general, perecederas y peligrosas	N1
Eusko Trenbideak-FFCC VASCOS S.A.	24/08/2006	05/09/2006	Servicios de mercancía general	N1
Arcelor Mittal Siderail S.A.	17/07/2007	03/09/2007	Servicios de mercancía general y peligrosas	N2
EWSI (homologación licencia UE)-	17/01/2008	17/01/2008	Servicios de mercancía general y peligrosas	N1
Logitren Ferroviaria S.A.	30/04/2008	19/05/2008	Servicios de mercancía general	N1
FESUR, Ferrocarriles del Suroeste, S.A.	28/05/2008	05/06/2008	Servicios de mercancías peligrosas y perecederas	N1
FGC MOBILITAT, S.A.	30/07/2009	02/12/2009	Servicios de mercancía general, peligrosas y perecederas	N1
Alsa Ferrocarril, S.A.U	29/03/2010	12/04/2010	Tracción exclusiva y transporte de mercancías	N1
Guinovart Rail, S.A.	20/12/2010	14/01/2011	Tracción exclusiva y transporte de mercancías	N1

Tal y como puede comprobarse, una mayoría de los tráficos que realizan estas nuevas empresas son de mercancía general, que se vienen prestando con trenes de contenedores que resultan más atractivos, ya que ponen en comunicación de forma sencilla mercancías procedentes de otros países, teniendo en cuenta, además, que ciertos operadores son filiales de sus matrices europeas.

Además, a pesar de lo que se pueda pensar en relación con lo mencionado en el apartado 4.8., (un 8% de las mercancías transportadas por tren), de que todo este compendio de empresas están en rivalidad por unos tráficos cada vez más escasos, la realidad supone que una mayor competencia en este mercado puede revelar la aparición de nuevos tráficos, ya que las empresas interesadas en el transporte de sus productos a menor precio pueden descubrir interesantes ofertas por parte de las operadoras ferroviarias. De este modo, y en línea con este hecho, la aparición de trenes de contenedores cada vez con mayor capacidad es una realidad que poco a poco debería de ir aflorando, cuyo primer ejemplo se encuentra en la empresa *Continental Rail*, que desde 2008 viene transportando mercancías en contenedor entre Valencia y Madrid en trenes de 600 metros de largo y capacidad para 83 TEU.

Otro aspecto interesante, que se tratará en el punto 5.3., es el de un transporte eficiente, que no deba devolver contenedores vacíos, sino que aprovechen los actuales tráficos de este tipo para el retorno de productos, por ejemplo, de exportación.

5.2. Planes europeos para el transporte ferroviario

Según indica el documento *La aportación del transporte por carretera a la intermodalidad* del Ministerio de Fomento, el transporte de mercancías en los últimos 20 años se ha visto incrementado no sólo por el crecimiento de los grandes centros de consumo que son las ciudades, sino por el evidente cambio de mentalidad en la manera de gestionar las producciones, ahora centradas en la base del *just in time* y en la deslocalización de los centros que requieren gran mano de obra para abaratar los

procesos productivos. Es por ello que la Unión Europea se centra en fomentar un uso equilibrado de todos los medios de transporte para poder así descongestionar el más utilizado y problemático de todos ellos (medioambientalmente hablando), que es la carretera, (ver figura 5.2.).

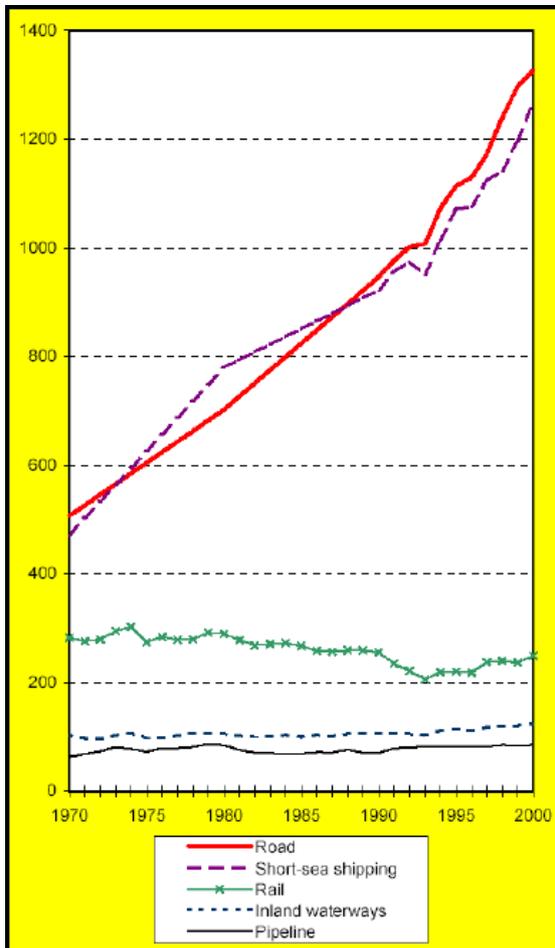


Figura 5.2. Evolución por modos de transporte en la Unión Europea de las mercancías en billones t-km.

De este modo hasta 2010, la UE se había fijado como objetivos una serie de políticas que tuvieran como objetivo esa revitalización de todos los medios de transporte y un mayor peso de los métodos intermodales de transporte, basados en la utilización de los contenedores. Pueden resumirse en los siguientes:

- ♦ *Libro Blanco* de transportes.
- ♦ Redes transeuropeas.
- ♦ La Europa del ferrocarril.
- ♦ Transporte marítimo en la UE.
- ♦ *Short Sea Shipping*.
- ♦ Transporte intermodal.
- ♦ Espacio Único Europeo.
- ♦ Movilidad sostenible.
- ♦ Seguridad en el transporte.
- ♦ Transporte inteligente.
- ♦ Ampliación de la UE.

Dentro de los que atañen específicamente al ámbito del ferrocarril se encuentra el *Libro Blanco*, que consiste en un extenso documento donde se recogen una serie de acciones y medidas encaminadas a diferenciar el crecimiento económico con el de la movilidad, de tal manera que se promueve un impulso del ferrocarril, intentando llegar a hacer realidad la intermodalidad, mediante su conexión con los tráficos fluviales, el aéreo y uno de carretera que mejore en calidad y seguridad.

En él, se hace hincapié en la falta futura de combustibles fósiles y en la reducción de hasta un 60% de las emisiones nocivas al medio ambiente, mediante la utilización de aquellos medios de transporte que sean capaces de con poco impacto ambiental ser capaces de movilizar grandes volúmenes de mercancías, que requiere a su vez, -y en el caso del ferrocarril-, la adecuación de una red europea unificada en criterios de seguridad, mediante la implantación de los sistemas *ERTMS* no sólo para el tráfico de trenes de Alta Velocidad, sino también para el caso de aquellos corredores estratégicos para el transporte de mercancías que mantengan tráficos internacionales.

Además, prevé una mayor conexión entre modos de transporte con plataformas intermodales tanto para viajeros como mercancías.

Este informe señala que para distancias menores a 300 (km), el camión seguirá siendo el modo más normal para el transporte, a sabiendas que a medida que surgen nuevas tecnologías, los camiones también se vuelven más eficientes y contaminan menos. Para envíos mucho más lejanos, hace incidir en la necesidad de hacer atractivos para los expedidores los medios de transporte marítimos y ferroviarios, sobre todo este último.

Quizá el planteamiento más ambicioso sea el de la creación de un Espacio Único Europeo del Transporte, que si bien es técnicamente más sencillo de realizar en el ámbito aéreo (cuyo nombre es Cielo Único Europeo), en el caso del ferrocarril se encuentra con evidentes trabas que poco a poco se van solucionando, como es el caso antes apuntado del uso de sistemas comunes de seguridad amén de los ya existentes en cada país. En el caso de España, el caso insalvable es el famoso ancho de vía, que dificulta no sólo tecnológicamente, sino físicamente el paso de trenes entre países. Dentro del Espacio Único para el tren, en el *Libro Blanco* se preveían actuaciones ya formalizadas, como la separación de operadores y administradores ferroviarios, junto con otros tres aspectos básicos, que son las autorizaciones únicas de tipos de vehículo y certificaciones de seguridad, un aseguramiento no discriminatorio de accesos a la infraestructura ferroviaria y un enfoque integrado para la gestión de corredores de mercancías.

Si se indaga un poco más dentro del tema de los corredores de mercancías, el *Libro Blanco* pone sobre la mesa la idea de, al igual que existen a día de hoy corredores para tráficos de pasajeros de Alta Velocidad, crear una serie de corredores exclusivos para tráficos mercantes, de tal manera que estos trenes no deban supeditarse a los horarios y prioridades que tienen los trenes de viajeros.

Volviendo de nuevo al documento del Ministerio de Fomento, en él se destaca que la Unión Europea promueve un cambio de pensamiento dentro del concepto de intermodalidad, haciendo ver que éste no se liga a un sólo modo de transporte, sino que es una cuestión de comercio y movilidad que se sirve de las innovaciones tecnológicas de comunicación, y que puede ser un indicador del nivel de integración de los distintos modos de transporte. Sin embargo, el transporte de contenedores, exponente de la intermodalidad, no es un negocio rentable, por lo que los Estados se ven obligados a subvencionar este sector. Al contrario que sucede en Norteamérica, tal y como ya se citó con anterioridad, el transporte intermodal en Europa no es mayoritario y la suma de todos sus métodos (tren, barco y camión) tan sólo logra llegar a la mitad de la actividad que éste representa en el mercado estadounidense. Los distintos puntos de trasbordo que el transporte por contenedores representa, por pequeños y cortos que sean, suponen una desventaja frente al método de transporte tradicional por un sólo medio. Es por ello que se promueve que los nodos de transporte se conviertan en puntos que añadan valor a la cadena general del transporte.

Otro aspecto destacable son los impuestos y gravámenes que diferencian los modos de transporte, es decir, que no se encuentran con los mismos costes los camiones, el ferrocarril o el transporte marítimo. Una tendencia a suavizar las diferencias posibilitaría una mayor atracción hacia esos otros modos que no son la carretera.

Para lograr todos estos aspectos se ha creado el proyecto *Marco Polo*, que tiene tres objetivos principales:

- Poner en marcha ayudas para hacer efectivo el traspaso a otros modos de transporte desde el sector de la carretera, denominado *Acciones de transferencia de modos*, de tal modo que para volúmenes de hasta 200 contenedores se utilice el barco con travesía marítima corta, hasta 50 las barcasas fluviales si fuese posible, y hasta 25 ó 30 contenedores el ferrocarril.
- Fomento de ayudas para lanzar los servicios de transporte de mercancías y de instalaciones estratégicas, denominado *Acciones de efecto catalizadores*. En este aspecto se trabajaría por crear servicios marítimos frecuentes a través de las llamadas "autopistas del mar" y por ofertar servicios ferroviarios que no necesiten cambios de tracción ni locomotora para poder así ser más competitivos en tiempos.
- Transmisión de estímulos que logren hacer cooperar a los distintos ámbitos de la logística, denominado *Acciones de aprendizaje en común*. El transporte es una de las partes de la cadena de suministro, y *Marco Polo* plantea una gestión en forma de red. Dentro de esta gestión, se promueve una cooperación entre el tren y los barcos fluviales, nuevos modelos de gestión específicos del ferrocarril, creación de escuelas de especialización para profesionales del ferrocarril y patrones de barco, nuevos métodos para establecer tarifas y en general, realizar acciones que incrementen la demanda de servicios de transporte distintos a los de la carretera.

Todas las acciones e impulsos que la Unión Europea se centra por potenciar tienen una repercusión distinta en cada país, por lo que en el apartado 5.3. se intentará hacer una revisión de cuáles son los que tendría o tienen en nuestro país.

5.3. Soluciones en España para el transporte de mercancías

Lo primero que resulta relevante es hacer una pequeña revisión de cuáles son las cifras de mercancías transportadas por los distintos medios de transporte, para lo cual se han creado las tablas de la página siguiente. Todos los datos han sido extraídos de la página *web* del Ministerio de Fomento. En ellas se analizarán, según las unidades expresadas en la tabla 5.2., el transporte aéreo, por ferrocarril, por carretera y el transporte marítimo.

Tabla 5.2. Unidades utilizadas de la tabla 5.3. a la 5.8.

Transporte aéreo	Aeropuertos / kilogramos (salidas + llegadas)
Transporte por carretera	Millones de toneladas - kilómetro
Transporte ferroviario	Miles de toneladas - kilómetro
Transporte marítimo	Toneladas por tipo de mercancía

Tabla 5.3. Tráfico aeroportuario comercial. Movimiento de mercancías.

PERIODO	TOTAL	NACIONAL			INTERNACIONAL		
		TOTAL	REGULAR	NO REGULAR	TOTAL	REGULAR	NO REGULAR
2012	625.467.023	120.061.502	105.311.315	14.750.187	505.405.521	450.982.244	54.423.277
2011	649.819.803	140.588.505	125.143.636	15.444.869	509.231.298	454.051.874	55.179.424
2010	635.765.336	147.732.063	134.053.216	13.678.847	488.033.273	420.246.673	67.786.600
2009	549.237.445	155.794.962	140.290.098	15.504.864	393.442.483	328.498.117	64.944.366
2008	607.355.440	194.079.168	166.540.642	27.538.526	413.276.272	349.432.343	63.843.929
2007	607.129.090	210.764.375	173.997.300	36.767.075	396.364.715	331.104.805	65.259.910
2006	582.875.551	213.030.589	150.019.939	63.010.650	369.844.962	301.232.143	68.612.819
2005	610.144.569	232.556.921	165.480.110	67.076.811	377.587.648	298.193.254	79.394.394
2004	629.396.407	237.376.804	181.283.570	56.093.234	392.019.603	299.863.155	92.156.448
2003	576.835.373	222.433.115	172.782.577	49.650.538	354.402.258	266.044.543	88.357.715
2002	574.066.012	225.733.721	184.407.238	41.326.483	348.332.291	264.911.628	83.420.663
2001	577.031.488	230.789.184	197.847.905	32.941.279	346.242.304	285.824.876	60.417.428
2000	607.520.286	255.120.926	220.087.975	35.032.951	352.399.360	311.747.724	40.651.636
1999	583.485.189	248.001.055	213.270.024	34.731.031	335.484.134	298.677.552	36.806.582
1998	547.966.741	234.031.780	204.182.885	29.848.895	313.934.961	262.475.195	51.459.766
1997	539.792.498	243.945.575	206.551.841	37.393.734	295.846.923	245.390.595	50.456.328
1996	491.878.263	214.369.082	178.808.912	35.560.170	277.509.181	217.185.925	60.323.256
1995	452.805.139	201.705.718	172.201.087	29.504.631	251.099.421	200.564.880	50.534.541
1994	413.123.296	194.231.555	164.917.551	29.314.004	218.891.741	180.368.786	38.522.955
1993	379.682.566	189.347.151	165.526.910	23.820.241	190.335.415	164.935.735	25.399.680
1992	396.782.257	194.198.488	181.088.140	13.110.348	202.583.769	181.096.731	21.487.038
1991	382.827.011	193.894.520	180.155.410	13.739.110	188.932.491	171.220.198	17.712.293
1990	424.733.140	200.306.702	189.840.212	10.466.490	224.426.438	196.597.836	27.828.602

Tabla 5.4. Toneladas kilómetro, según tipo de desplazamiento, sector privado por carretera.

PERIODO	TOTAL	INTERIOR				INTERNACIONAL
		TOTAL	INTRAMUNICIPAL	INTERMUNICIPAL INTRAREGIONAL	INTERREGIONAL	TOTAL
2012	9.568	9.162	347	5.299	3.515	406
2011	10.755	10.445	423	6.261	3.762	310
2010	11.726	11.340	543	6.497	4.301	386
2009	12.748	12.323	666	7.290	4.367	425
2008	16.055	15.539	1.039	9.305	5.195	517
2007	19.410	18.840	1.468	11.420	5.952	570
2006	19.665	19.081	1.712	10.925	6.443	584
2005	19.440	18.955	1.862	10.850	6.242	485
2004	18.605	18.039	2.043	9.879	6.118	566
2003	17.291	16.865	1.851	9.086	5.928	426
2002	17.199	16.686	1.800	8.956	5.929	514

Tabla 5.5. Toneladas kilómetro, según tipo de desplazamiento, sector público por carretera.

PERIODO	TOTAL	INTERIOR				INTERNACIONAL
		TOTAL	INTRAMUNICIPAL	INTERMUNICIPAL INTRAREGIONAL	INTERREGIONAL	TOTAL
2012	189.638	124.255	1.314	30.691	92.251	65.383
2011	196.085	131.903	1.924	33.144	96.835	64.182
2010	198.338	134.864	2.031	32.575	100.259	63.475
2009	199.143	138.727	2.579	35.849	100.299	60.416
2008	226.923	159.645	3.283	41.997	114.365	67.278
2007	239.459	171.758	3.634	46.342	121.782	67.701
2006	222.093	155.518	4.254	42.644	108.619	66.575
2005	213.779	147.418	3.975	40.012	103.431	66.361
2004	202.210	136.987	4.056	35.902	97.029	65.223
2003	175.296	121.545	3.691	31.122	86.732	53.751
2002	167.346	112.813	3.226	29.460	80.128	54.533

Tabla 5.6. Toneladas kilómetro, según clase de mercancía, por carretera.

PERIODO	TOTAL	PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y ANIMALES VIVOS	PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y FORRAJES	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	MINERALES BRUTOS O MANUFACTURADOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	MAQUINAS, VEHÍCULOS, OBJETOS MANUFACTURADOS Y TRANSACCIONES ESPECIALES	OTRAS MERCANCÍAS
2012	199.205	35.052	46.539	5.131	22.927	58.415	31.142
2011	206.840	33.885	44.671	5.526	28.332	61.025	33.400
2010	210.064	30.246	45.211	6.068	31.694	63.079	33.765
2009	211.891	33.892	45.264	5.983	36.971	59.299	30.482
2008	242.978	35.642	45.224	6.728	47.387	68.309	39.687
2007	258.870	36.133	43.994	6.297	57.577	74.315	40.554
2006	241.758	36.531	40.853	5.979	53.424	67.819	37.152
2005	233.219	33.678	34.765	5.931	50.948	72.054	35.843
2004	220.816	34.021	33.221	6.163	44.461	67.725	35.225
2003	192.587	29.078	26.776	5.927	38.643	61.548	30.614
2002	184.545	29.913	25.958	5.832	35.789	58.502	28.551

Tabla 5.7. Toneladas kilómetro transportadas por Renfe.

PERIODO	TOTAL			NACIONAL			INTERNACIONAL		
	TOTAL	INTERMODAL	VAGÓN COMPLETO	TOTAL	INTERMODAL	VAGÓN COMPLETO	TOTAL	INTERMODAL	VAGÓN COMPLETO
2012	7.049	3.102	3.947	5.464	2.077	3.387	1.585	1.025	560
2011	7.564	2.979	4.585	6.263	2.290	3.972	1.301	688	613
2010	7.417	2.730	4.687	6.370	2.301	4.069	1.047	429	618
2009	6.973	2.535	4.438	5.864	2.126	3.737	1.109	408	701
2008	9.737	3.322	6.415	8.225	2.838	5.386	1.513	484	1.029
2007	10.547	3.336	7.211	8.763	2.817	5.946	1.784	519	1.265
2006	11.012	3.981	7.031	9.125	3.212	5.913	1.887	769	1.118
2005	11.071	-	-	10.268	3.201	7.067	803	-	-
2004	11.460	-	-	10.393	3.182	7.211	1.067	-	-
2003	11.867	-	-	10.820	3.427	7.393	1.047	-	-
2002	11.673	-	-	10.629	3.254	7.375	1.044	-	-
2001	11.752	-	-	10.688	3.289	7.399	1.064	-	-
2000	11.620	-	-	10.477	3.217	7.260	1.143	-	-
1999	11.470	-	-	10.383	3.170	7.213	1.087	-	-
1998	11.325	-	-	10.272	2.890	7.382	1.053	-	-
1997	11.030	-	-	9.939	2.728	7.211	1.091	-	-
1996	9.790	-	-	8.897	2.369	6.528	893	-	-
1995	9.868	-	-	9.123	2.350	6.773	745	-	-

Tabla 5.8. Mercancías transportadas a través de los puertos del Estado, según clase de mercancía.

PERIODO	TRAFICO PORTUARIO (TONELADAS)										OTRAS INFORMACIONES				
	TOTAL	TRAFICO DE MERCANCÍAS					OTRO TRAFICO PORTUARIO					CONTENEDORES (TEUS)	BUQUES		NUMERO DE PASAJEROS
		GRANELES		MERCANCÍA GENERAL			TOTAL	TRAFICO LOCAL Y AVITUA LLAMIENTO	PESCA	NUMERO	TRB				
TOTAL	LIQUIDOS	SOLIDOS	TOTAL	CONTENEDORES	CONVENCIONAL										
2012	473.445.031	241.611.829	153.274.333	88.337.496	218.335.966	161.280.451	57.055.515	13.497.236	13.270.309	226.927	13.999.337	132.198	1.964.356.087	26.695.673	
2011	455.882.418	229.337.361	150.041.925	79.295.436	212.773.880	156.746.142	56.027.738	13.771.177	13.541.688	229.489	13.849.935	133.071	1.874.564.543	26.400.986	
2010	430.911.708	227.537.626	148.925.691	78.611.935	190.053.175	137.786.868	52.266.307	13.320.907	13.091.858	229.049	12.505.803	123.554	1.748.530.922	27.476.360	
2009	412.724.739	223.124.901	143.617.724	79.507.177	176.180.527	127.658.229	48.522.298	13.419.311	13.180.259	239.052	11.719.125	116.089	1.623.963.937	26.049.656	
2008	472.531.287	254.867.019	153.722.765	101.144.254	203.697.495	145.141.579	58.555.916	13.966.773	13.752.592	214.181	13.314.317	123.986	1.641.682.043	26.449.397	
2007	483.111.315	267.607.326	150.804.470	116.802.856	200.656.338	138.529.762	62.126.576	14.847.651	14.621.484	226.167	13.187.295	132.498	1.612.775.877	26.017.407	
2006	461.576.945	262.862.207	149.924.383	112.937.824	184.377.302	124.600.075	59.777.227	14.337.436	14.099.171	238.265	11.969.810	122.534	1.438.317.363	24.217.112	
2005	439.755.434	259.654.257	146.006.096	113.648.161	166.612.612	113.229.475	53.383.137	13.488.565	13.266.686	221.879	11.034.166	119.167	1.317.299.011	22.402.164	
2004	410.171.242	243.518.580	138.640.639	104.877.941	153.452.766	103.086.390	50.366.376	13.199.896	12.974.570	225.326	9.968.913	117.673	1.242.593.405	22.252.638	
2003	379.418.572	228.663.603	130.445.484	98.218.119	138.575.449	92.023.196	46.552.253	12.179.520	11.938.578	240.942	8.985.277	118.919	1.211.392.701	20.077.039	
2002	361.212.121	225.564.121	125.547.236	100.016.885	124.007.742	80.408.835	43.598.907	11.640.258	11.394.634	245.624	8.151.844	114.455	1.138.180.472	19.096.800	
2001	348.692.463	219.086.297	126.088.543	92.997.754	117.918.599	75.279.828	42.638.771	11.687.567	11.420.406	267.161	7.498.319	111.948	1.044.035.415	18.572.427	
2000	339.105.524	217.398.503	125.075.494	92.323.009	109.840.290	68.398.576	41.441.714	11.866.731	11.597.756	268.975	7.077.670	120.723	1.044.877.896	18.609.746	
1999	322.510.009	208.658.370	120.070.766	88.587.604	101.804.007	63.722.015	38.081.992	12.047.632	11.650.376	397.256	6.462.077	123.682	994.171.410	17.546.493	
1998	304.099.986	198.242.780	118.534.179	79.708.601	93.929.440	56.959.837	36.969.603	11.927.766	11.499.158	428.608	5.872.224	116.345	890.344.389	16.456.738	
1997	290.296.633	197.862.190	126.283.929	71.578.261	82.062.798	48.241.149	33.821.649	10.371.645	9.961.650	409.995	4.941.756	112.119	808.256.164	14.972.781	
1996	282.286.342	197.711.211	124.298.948	73.412.263	74.023.275	42.410.380	31.612.895	10.551.856	10.144.950	406.906	4.373.065	107.906	760.417.704	14.327.947	
1995	291.027.810	207.066.435	127.937.919	79.128.516	71.353.708	39.309.512	32.044.196	12.607.667	11.968.822	638.845	3.935.099	97.780	639.549.902	13.748.882	
1994	262.542.066	186.178.750	116.254.657	69.924.093	63.246.267	32.392.514	30.853.753	13.117.049	12.398.857	718.192	3.351.109	103.174	535.301.219	13.877.029	
1993	244.555.940	175.804.835	111.297.305	64.507.530	55.041.108	27.802.806	27.238.302	13.709.997	13.015.162	694.835	2.838.899	95.649	467.640.040	13.318.040	
1992	253.155.290	186.244.850	119.365.313	66.879.537	52.912.452	26.675.054	26.237.398	13.997.988	13.241.805	756.183	2.812.537	97.264	448.205.549	13.726.759	

De forma evidente se presenta en prácticamente todas las tablas un descenso de las toneladas transportadas a partir del año 2009, debido a la aparición de la crisis económica. Sin embargo, los datos que presenta la tabla 5.7. referentes al ferrocarril son aún más alarmantes, ya que el descenso se puede cifrar en el transporte de alrededor de 2 millones de toneladas menos en 2012 que en 1995. Este hecho no es sólo atribuible al descenso del transporte de las mercancías por tren que ya se viene produciendo, sino a la aparición de las nuevas operadoras ferroviarias, que han usurpado cuota de mercado al antiguo monopolio de RENFE, ya que esta tabla presenta solamente los datos de esta empresa.

Una vez analizados los datos reales de tráfico de mercancías, hay que concretar las soluciones que, desde el punto de vista ferroviario, se han dado al problema de generar un tráfico eficaz para el transporte de contenedores.

El mayor problema que ya se destacó en el apartado 4.4. es el distinto ancho de vía, que ha imposibilitado desde la creación de los primeros ferrocarriles españoles un transporte eficiente de las mercancías y de viajeros a través de la frontera francesa. Frente a esta problemática, en las fronteras de Irún y Portbou se idearon unas terminales logísticas que permitieron y siguen permitiendo el cambio de la carga de una forma lo más rápida posible de los vagones con ancho ibérico a los vagones con ancho internacional. La secuencia, que puede verse reflejada en la figura 5.3., consiste en la llegada del tráfico, -bien de un lado de la frontera o de otro-, hasta una playa de vías en la que conviven ambos anchos. Sobre ella, cruzando de lado a lado, se halla una



grúa puente que se encarga de trasvasar los contenedores de un tren a otro, para que después éstos continúen su camino hasta destino.

Figura 5.3. Vista de la terminal logística de Portbou.

Éste ha sido el principal método para subsanar el problema del distinto ancho hasta hace poco más de 5 años, -aproximadamente-. Pero, sin embargo, dado que la Unión Europea aboga por dar un mayor protagonismo al servicio intermodal de mercancías para eliminar tránsitos por carretera, España se ha embarcado en aportar nuevas soluciones a este cuello de botella que supone el distinto ancho, mediante la creación (aún sin terminar) del tercer raíl en el Corredor Mediterráneo.

El proyecto del tercer raíl supone la creación de un nuevo concepto de infraestructura que ya se venía explotando de forma local en los puertos del norte de España, donde las vías que conducen a los muelles sirven a la vez al tráfico mercante

de ancho ibérico y al de ancho FEVE. Para ello, basta con tener una vía de ancho de 1668 (mm.), en cuyo interior se aloja un tercer raíl a la anchura de la otra vía, de tal modo que un carril es compartido por los dos anchos y el otro se utiliza a conveniencia del material rodante que circule por él. Así pues, se logra tener en una sola infraestructura los dos anchos, lo que evita la creación de un sistema paralelo y el consiguiente gasto mucho mayor que supone la creación de una nueva línea férrea, (ver figura 5.4.).



Figura 5.4. Vista de la implantación del tercer raíl.

La elección del Corredor Mediterráneo obedece a la existencia de grandes centros industriales a lo largo de la costa levantina, por lo que, en primera instancia, la implantación de este tercer carril se realiza entre las ciudades de Alicante y la frontera francesa, puntos entre los cuales se encuentran, entre otros, los puertos de Valencia y Barcelona, los centros industriales de Sagunto y Tarragona y los centros logísticos de Fuente de San Luis y Silla en Valencia y los de Morrot y Can Tunis en Barcelona, (ver figura 5.5.) Es, por ende, la forma más rápida de poder exportar mercancías gracias al ferrocarril.

Se prevé una gradual expansión del sistema hasta los puertos de Algeciras y Sevilla, razón que será explicada más adelante en este mismo apartado.

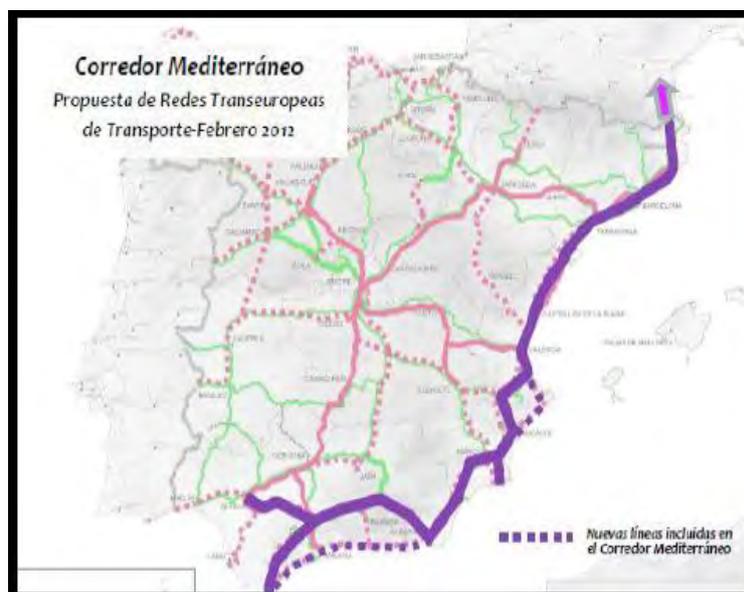


Figura 5.5. Plan de implantación del tercer raíl en toda la costa mediterránea.

Las ventajas que ofrece esta posibilidad superan a los inconvenientes, que son dos principalmente:

- En Francia coexisten dos tipos de electrificación distintos, los 1500 (V) en corriente continua y los 25 (kV) en corriente alterna. El uso de locomotoras y vehículos bicorriente es algo normal asumido. En el sur del país, la red francesa se encuentra equipada con catenaria a 1500 (V), mientras que en España se duplica ese valor, llegando a los 3000, lo que hace que los trenes que puedan cruzar la frontera deban ser trenes encabezados por material diesel.

- En segundo lugar podría pensarse en una línea saturada de tráfico, ya que el Corredor Mediterráneo es utilizado por innumerables trenes de viajeros; desde servicios *Alvia*, *Euromed* o *Media Distancia* hasta *Cercanías*, junto con los tráfico mercantes.

Este método, que logra la integración de ambos anchos, será hermano del que desde 2012 ya se encuentra en servicio, que es la gestión de un nuevo tráfico de trenes de contenedores por la línea de Alta Velocidad (LAV) entre Barcelona y Figueras, que elimina por completo los retrasos en la frontera franco-española.

Visto desde cierto punto de vista, puede parecer ciertamente crítico a la hora de realizar un estudio de seguridad de la línea, puesto que las condiciones de servicio de un tren de Alta Velocidad no se asemejan en nada a un largo tren de mercancías. Los pesados trenes mercantes tienen un impacto mucho mayor sobre la infraestructura, ya que, aparte de su gran masa, éstos circulan a una velocidad baja, por lo que el tiempo que el raíl debe estar soportando el paso del tren se incrementa enormemente. Este hecho puede generar tensiones y deformaciones en la vía que pueden afectar a la rápida marcha de los trenes *AVE*. Sin embargo, se asegura que esta parte de la línea se ha diseñado previendo este tipo de tráfico mixtos.

Actualmente, los trenes de contenedores que circulan por esta línea de altas prestaciones tienen su origen en Barcelona-Morrot, donde directamente los vagones de ancho *UIC* son cargados en sus dependencias. Es un servicio *TECO* operado conjuntamente por *Naviland Cargo*, *Port de Barcelona* y *Renfe*. El servicio es denominado *Barcelyon Express*, puesto que su destino es la terminal de *Naviland Cargo* en Vénissieux, Lyon.



Figura 5.6. Identidad visual de la empresa que gestiona el tráfico entre Barcelona y Lyon.

La posibilidad que ofrece la infraestructura hace que estos trenes puedan tener una longitud inusual en España, ya que alcanzan los 750 (m), por lo que deben ser arrastrados por una doble tracción de locomotoras 252 de ancho *UIC* excedentes de la antigua relación del *Talgo 200* entre Madrid y Málaga, (ver figura 5.7. de la página siguiente).

Este servicio ferroviario se ofrece tres veces por semana en días alternos, -los martes, jueves y sábados-, tanto desde Barcelona como desde Lyon.



Figura 5.7. Servicio *Barcelyon Express* circulando en territorio español.

Frente al reto que supone la innovación en el campo del transporte de contenedores, aparece otra solución que se engloba también dentro de la intermodalidad, que consiste en el tráfico de trenes de transporte de camiones.

España es un país con un ingente parque de camiones de toda clase, que desde los años 50 ha venido incrementándose. Restándole importancia al ferrocarril, las empresas han ido afianzando los portes por camión, haciendo, por ejemplo, que las grandes empresas de paquetería y servicio urgente se hayan decantado por la carretera por su mayor flexibilidad.

Durante tanto tiempo, varias generaciones de trabajadores han visto en el camión una forma de vida aceptable, pero que en la actualidad se pretende hacer disminuir. Sin embargo, y debido a la actual crisis económica, resultaría una verdadera locura eliminar de un plumazo todo un entramado logístico forjado durante más de cincuenta años. Es decir, todas las familias que viven del camión se verían gravemente afectadas, por lo que un cambio en el modelo de transporte actual traería consigo más paro y descontento. Es por ello que quizá buscando una unión equilibrada entre el camión y el ferrocarril se pueda llegar a un buen nexo de unión entre ambos modos de transporte.

Viendo en el transporte de camiones por ferrocarril una buena solución, a mediados de los años 80 la empresa logística *Giribets* realizó un contrato con RENFE para el traslado nocturno de su flota de camiones por tren, desde la población de Granollers hasta el madrileño barrio de Villaverde. La alianza entre ambas empresas obligó a la compra de unos vagones especiales que permitían crear una superficie uniforme a lo largo de todas las plataformas para que una cabeza tractora pudiese maniobrar marcha atrás para cargar el tren con los semirremolques. Después, con un ingenioso sistema hidráulico, los remolques eran descendidos hasta que las ruedas quedaban ocultas dentro del bastidor del vagón, de tal manera que la altura total de vagón más camión no superase el gálibo máximo permitido. Una vez que el tren llegaba a Madrid, los remolques eran descargados y con varias cabezas tractoras, distribuidos a sus puntos de destino, (ver figura 5.8.).



Figura 5.8. Momento de la carga de los semirremolques a través de las plataformas.

El problema con el que se enfrentaba este servicio permaneció oculto varios años, hasta el 5 de julio de 1990, fecha en la cual un fatal accidente acabó con la prestación de este eficiente servicio.

La carga de vagones de mercancías se encuentra estipulada por una extensa normativa que todos los operadores ferroviarios conocen para poder estibar de forma correcta los productos. Así, dependiendo del tipo de carga, en esta normativa se especifica cómo se debe amarrar la carga y cómo debe señalizarse. Por contra, los vehículos de carretera tienen otra forma de estibarse, más laxa, debido a que las fuerzas y movimientos sobre un pavimento son menos acusados que sobre una vía férrea. Fruto de esta doble forma de estiba, en la fecha señalada un semirremolque que se encontraba en el último vagón de la composición que hacía el recorrido entre Villaverde y Granollers sufrió un desplazamiento de su carga, seguramente debido al movimiento de lazo del tren, de tal manera que una de las vigas que portaba rompió la lona azul que puede verse en el camión de la figura 5.8., con la fatal circunstancia de que en aquel momento iba a producirse el cruce del tren con un automotor 444-500 que cubría el servicio *Intercity* entre Zaragoza-Madrid. La viga sobresaliente arrancó el lateral del automotor a su paso por el término municipal de Alcalá de Henares, quedando en el estado que puede observarse en la figura 5.9. Fruto del accidente, en el que fallecieron varias personas, el servicio de *Giribets* fue cancelado, haciendo desaparecer una de las formas más útiles de transporte de camiones.



Figura 5.9. Estado del coche afectado por el impacto de la viga.

Es hora pues, de establecer una serie de posibles soluciones para lograr incrementar el tráfico intermodal en España, en concreto por ferrocarril.

Con anterioridad se señalaba que la ubicación geográfica de España dentro de la Unión Europea no ayudaba a generar el suficiente tráfico de mercancías, por lo que

se partía de la base de una situación inferior a la que se encuentra, por ejemplo, Austria o Suiza, países que por su estratégica ubicación son puntos clave en el paso de los tráficos ferroviarios europeos. Es decir, que no son países que requieran específicamente ser origen o destino de mercancías, tan sólo se encargan de canalizarlas a través de ellos. No obstante, aunque pueda parecer verdad que la Península Ibérica no se encuentra en esa situación, en realidad sí que puede llegar a contarse con un importante tráfico de contenedores, partiendo de las ventajas que ofrece el puerto de Algeciras.

Los tráficos mercantes marítimos que tienen su punto de origen en Asia ofrecen una gran posibilidad al ferrocarril español, como consecuencia de las rutas comerciales que se utilizan hoy en día. Los grandes buques portacontenedores procedentes de la costa este del continente asiático atraviesan el estrecho de Malaca para después navegar a lo ancho del Océano Índico, subiendo hacia el Mediterráneo por el Mar Rojo. Tras pasar el Canal de Suez, se encaminan directamente al puerto de Algeciras. Es en este lugar donde se tiene que poner un especial hincapié en reforzar y agrandar sus posibilidades logísticas, pudiendo hacer que en un futuro los buques descarguen gran parte de su mercancía en trenes expresos *TECO* que puedan, gracias al uso del tercer raíl del Corredor Mediterráneo, (debidamente prolongado hasta Algeciras, como mostraba la imagen 5.5.), hacer llegar al centro de Europa de forma rápida grandes cantidades de mercancías mucho antes de lo que el propio barco pueda tardar navegando por la costa oeste de Europa hasta Rotterdam, punto clave de las navieras más importantes. Una segunda actuación importante sería la de electrificar y duplicar la vía que llega a Algeciras, ya que actualmente es una vía única por la que circulan trenes diesel.

Sería útil, pues, aprovecharse de la construcción de los grandes barcos portacontenedores que pueden actualmente albergar en sus bodegas y sobre ellas hasta 18000 *TEU*. Un claro ejemplo lo encontramos en la naviera *Maersk Line*, que posee la flota de barcos más grandes del mundo para tráfico de contenedores, los llamados *Triple-E*, como el mostrado en la figura 5.10.

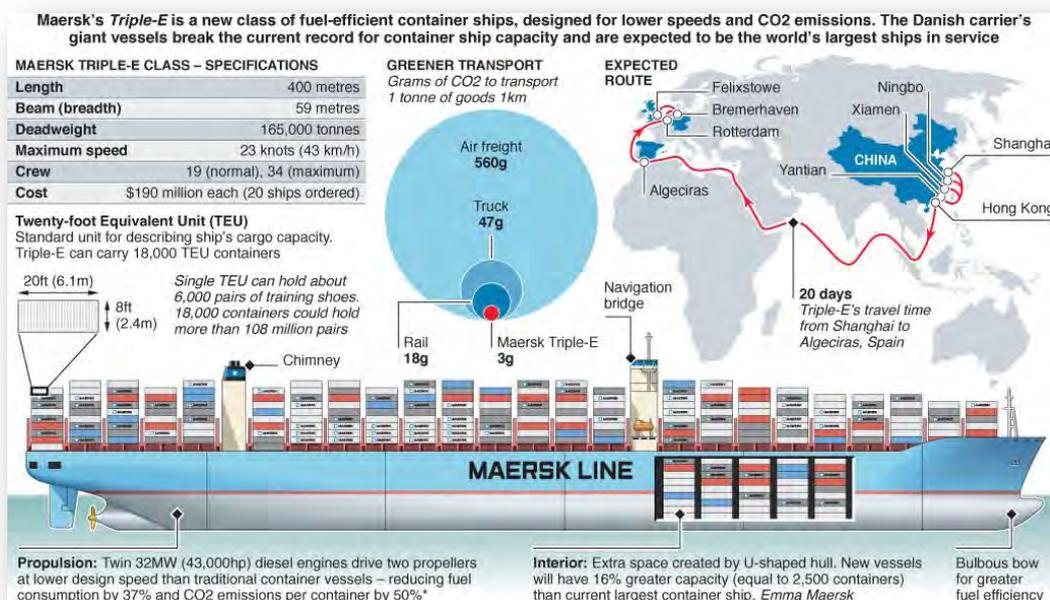


Figura 5.10. Muestra y comparativas de la serie de buques *Triple-E* de *Maersk*.

En tanto la creación de ese gran eje desde Algeciras a Francia podría hacer repuntar el servicio de trenes mercantes en Renfe, aún quedaría la cuestión de los cientos y miles de camiones que cruzan las carreteras y autovías de nuestro país. La solución que en los años 80 se proporcionó a *Giribets* parece que podría seguir siendo una opción plausible para eliminar el congestionamiento de la red estatal de carreteras. Lógicamente, habría que asumir un cambio en la estibación de los camiones para que accidentes como el de 1990 no vuelvan a suceder. Además, en la actualidad se han desarrollado nuevos modelos de vagón para cargar los remolques de los camiones, como es el caso de los nuevos vagones *Megaswing* de la empresa sueca *Kockums Industrier*, que no necesitan ningún tipo de instalación auxiliar para realizar la carga (ver figuras 5.11. y 5.12.).



Figura 5.11. Maniobra de carga de un remolque en el vagón *Megaswing*.

El propio vagón es capaz de girar sobre uno de sus *bogies* para facilitar la entrada del camión.

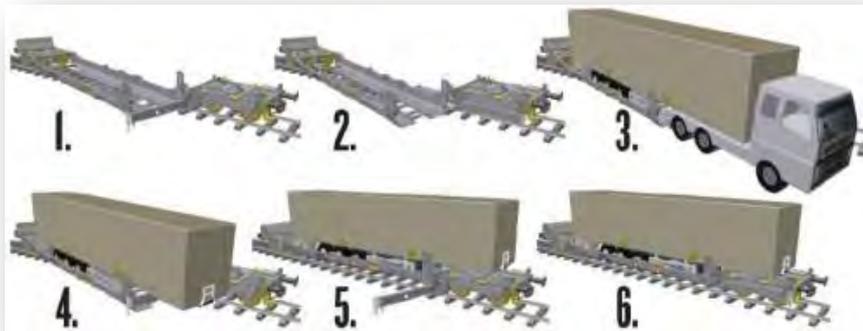


Figura 5.12. Proceso de carga de los *Megaswing* paso a paso.

No obstante, el problema que sigue siendo inherente a ese tipo de tráfico es que al menos una parte de los camioneros quedan desplazados de la cadena de transporte, pues tan sólo los remolques son los transportados, por lo que los conductores son necesarios en el origen y destino. Frente a este inconveniente, Suiza proporciona la solución: su ley que prohíbe la circulación de camiones obliga a los mismos a ser transportados por tren, ofreciendo a los camioneros la posibilidad de pernoctar en un coche-cama que se engancha en la composición. Estos trenes, a diferencia de los ya propuestos, transportan la cabeza y el remolque (ver figura 5.13. de la página siguiente). Mientras esto parece una solución, económicamente hablando puede no ser rentable, puesto que las empresas de transporte no estarían dispuestas a

pagar los servicios de un camionero más los gastos del transporte por ferrocarril. Sería misión de la operadora ferroviaria el poder proporcionar precios o descuentos atractivos que no supusiesen más gasto del que supone un depósito de combustible. A esto, habría que sumar la consideración del *Libro Blanco*, según la cual el camión es una buena opción para distancias de hasta 300 (km). Por tanto, ese tipo de servicios ferroviarios serían en principio interesantes para relaciones de muy largo alcance, como los recorridos entre Barcelona y Galicia o Barcelona y Cádiz/Málaga.



Figura 5.13. Transporte de camiones en territorio suizo.

5.4. Conclusiones

Por tanto, para concluir esta parte del informe, resulta importante a modo de resumen señalar que, a pesar de las dificultades geográficas o tecnológicas a las que ha debido enfrentarse España a lo largo de los años en materia de transporte ferroviario, aún existen formas de poder revitalizar este sector para poder llevarlo a un punto en el cual pueda ser una forma eficiente y lucrativa de transportar carga no sólo a nivel nacional, sino también internacional. Recordando, estos puntos clave son:

- Impulso en la creación de corredores, que si no son exclusivamente para tráficos mercantes, al menos puedan suponer un método viable para el movimiento de grandes cargas.
- Proyectos para poder hacer viable la composición de trenes de contenedores de más de 600 (m), que es el máximo actual en líneas convencionales aumentando el peso por eje máximo de las 21,5 (t) actuales a 22,5 (t).
- Creación de proyectos en pro de ofrecer posibilidades reales a los tráficos internacionales de poder adentrarse en España de un modo sencillo, sin tener que realizar grandes operaciones en la frontera con Francia.
- Y por último, concienciar de la necesidad de seguir realizando cambios en materia de transporte para que todos los medios disponibles, (carretera, ferrocarril, transporte aéreo y marítimo) puedan aprovecharse del concepto de intermodalidad.

Capítulo 6.

La locomotora S-253

6.1. Situación del material tractor antes de 2008

Resulta imprescindible, antes de la introducción de una novedad o mejora en cualquier campo, hacer un estudio de cuál es la situación manejada hasta el momento para, de éste modo, considerar las innovaciones a tener en cuenta en el diseño de un nuevo producto, o de existir éste ya, al menos considerar si su adquisición supone una variación o cambio significativo.

En el presente caso ferroviario, hay que realizar una breve retrospectiva de cuál era el material tractor utilizado en mercancías existente antes de la irrupción en la red ferroviaria española de las nuevas locomotoras S-253, observando sus características y prestaciones.

6.1.1. Locomotora S-269



Figura 6.1. Locomotora 269 a lo largo de su historia: con librea verde de origen y cristales no blindados, en colores *taxi* y en colores de *Renfe Operadora*.

A comienzos de 1970, RENFE se decidió por la adquisición de este modelo de locomotora, de aspecto exterior poco expresivo, que le valió el apelativo de "*caja de zapatos*". La serie 269 fue la más numerosa que jamás haya tenido RENFE a lo largo de su historia, formada por 265 unidades, de las cuales 109 siguen en funcionamiento a día de hoy, si bien unas cuantas de ellas circulan en doble composición (mando múltiple), consiguiendo el doble de esfuerzo tractor. Junto con sus hermanas bitensión de las series 279 y 289 forman un conjunto conocido en el ámbito ferroviario como "*las japonesas*", debido a que su diseño original y parte de la serie fue construido por *Mitsubishi*. Actualmente todas las locomotoras se utilizan para el servicio de mercancías, si bien a lo largo de su vida activa han arrastrado trenes expresos nocturnos, rápidos diurnos o composiciones *Talgo*.

Las máquinas de esta serie son locomotoras de dos *bogies* de dos ejes tipo B'B' y con un motor en cada *bogie*, originalmente con dos relaciones de transmisión, una para viajeros (mayor velocidad y menor esfuerzo tractor) y una para mercancías (menor velocidad y mayor esfuerzo tractor).

Son máquinas bicabina, cuya longitud entre topes es de 17,7 metros y la longitud de su caja es de 16,1 metros. El ancho de la caja es de 3,126 metros y su altura es de 4,26 metros (gálibo RENFE). Tienen un empate de 10,4 metros y un empate del *bogie* de 2,280 metros. Las ruedas tienen un diámetro de 1250 (mm).

Todas las 269 son de tipo monotensión aptas para los 3000 voltios en corriente continua que se utilizan en las líneas convencionales del país. Su ancho de vía es el ancho ibérico de 1668 (mm). Proporcionan una potencia nominal de 3100 (kW) con sus 88 toneladas (22 por eje), pudiendo acoplarse hasta 3 locomotoras en mando múltiple.

El sistema de frenos dual incluía en origen el sistema por vacío, si bien fue suprimido al poco tiempo, conservándose el de aire comprimido, el eléctrico reostático y el freno de estacionamiento.

Las 269 pueden proporcionar energía eléctrica al tren con una manga de 3000 voltios. Cada máquina tiene dos motores de tracción, cada cual de 1550 (kW), modelo MB-3200-B2 ó B3, si la construcción de la locomotora fue en los años 70 u 80, respectivamente. Para su uso en mercancías, las subseries 0 y 100 desarrollaban 80 (km/h), la subserie 500 llegaba a los 90 (km/h) y en las 200, 300 y 600 se consiguen los 100 (km/h).

Los equipos auxiliares se alimentan con motor de corriente continua de 80 (kW) en las locomotoras más antiguas y con alternador y convertidor de 160 (kW) en las modernas. La tensión de batería es de 72 voltios y la alimentación al circuito de tracción de 72 voltios en corriente continua para las locomotoras antiguas y de 110 en corriente alterna para las modernas. Toda la serie 269 viene equipada con sistema ASFA y con equipo de *tren-tierra*.

Sus constructores fueron *Mitsubishi* (2 locomotoras), *CAF* (190), *MACOSA* (49) y *ATEINSA* (23).



Figura 6.2. Vista de la cabina de la 269 reformada.

La especialización de máquinas para mercancías se ha realizado en dos vertientes: por un lado, dejando locomotoras monorreductoras con velocidades adecuadas a este tipo de trenes, y por otro con la creación de máquinas tándem, que ofrecen un mayor esfuerzo de tracción.

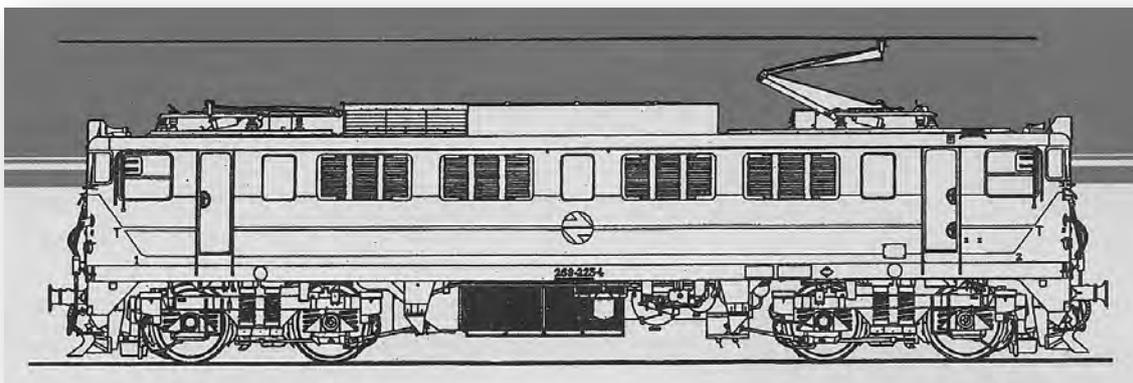


Figura 6.3. Esquema de la locomotora 269 en estado de origen.

Tabla 6.1. Características de las locomotoras de la serie 269.

	269-0/1	269-2/3	269-400	269-500	269-600	269-900
Nº locomotoras	108	131	22	22	4	131
Tipo de locomotora	B'B'	B'B'	B'B'	B'B'	B'B'	B'B'
Potencia (kW)	3100	3100	3100	3100	3100	3100
Velocidad máxima para viajeros (km/h)	140	160	160	160	160	160
Velocidad máxima en mercancías (km/h)	80	100	90	90	100	100
Esfuerzo tractor máx. (viaj./merc.), (kN)	163/263	143/232	143/232	143/232	143/232	143/232
Freno neumático de origen	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual
Freno eléctrico de origen	Reostático	Reostático	Reostático	Reostático	Reostático	Reostático
Regulación de marcha	Reostática	Reostática	Reostática	Reostática	Chopper	Reostática
Masa (t)	88	88	88	88	88	88
Peso por eje (t)	22	22	22	22	22	22
Relación de engranajes (viaj./merc.)	3,30/5,31	2,91/4,68	2,91/4,68	2,91/4,68	2,91/4,68	2,91/4,68

6.1.2. Locomotora S-289



Figura 6.4. 289-100 con la librea lucida hasta el momento y proceso de reforma desde una 289 original.

Las locomotoras de la serie 289 son prácticamente iguales a las de la serie 269, diferenciándose de ellas (como hecho más destacable) en que originalmente eran máquinas bitensión, aptas para circular bajo tensión de catenaria de 3000 ó 1500 voltios en corriente continua, dado que este segundo valor fue el adoptado en gran medida en las electrificaciones del País Vasco hasta su cambio gradual terminado en 1991. Es por ello que aquí se pretende destacar sólo una parte de la serie, la que se corresponde con la imagen que ilustra este apartado, la subserie 100.

Conocidas como Tándem, las 289-100 son fruto de la unión permanente de dos máquinas 289, de tal modo que los testeros en los que se produce el acoplamiento no llevan cabina de conducción, que fue eliminada tras la reforma y creación de esta subserie en 1999 en el TCR de Villaverde. En la época de la reforma las máquinas ya habían perdido su característica de bitensión.

Estas locomotoras tienen una masa adherente de 168 toneladas, que les permite remolcar cargas de 1290 toneladas en rampas de 20 milésimas, convirtiéndolas en las más potentes que actualmente aún tiene *Renfe*.

Como novedad frente a las 289 clásicas, éstas incorporan un pasillo por el interior que une ambas semi-locomotoras, un nuevo pupitre de conducción y nuevos asientos, aparte de aire acondicionado y lunas blindadas que son comunes en todas las demás. Disfrutan de una transmisión monorreductora de 100 (km/h), así como de una doble juego de mangas de freno para una mayor seguridad. No pueden ser acopladas en mando múltiple.

Tabla 6.2. Características de las locomotoras de la serie 289-100.

	289-100
Nº locomotoras	9
Tipo de locomotora	B'B' B'B'
Potencia (kW)	6200
Velocidad máxima (km/h)	100
Esfuerzo tractor máx. (kN)	534
Freno neumático de origen	Aire comprimido
Freno eléctrico de origen	Reostático
Regulación de marcha	Reostática
Masa (t)	176
Peso por eje (t)	22
Relación de engranajes	4,68

6.1.3. Locomotora S-250



Figuras 6.5. Esquemas de pintura lucidos por la 250 desde su origen hasta su retirada en 2010.

Este modelo de locomotora está clasificada, junto con la serie 251, como una locomotora de "gran potencia", por conseguir algo más de 4500 (kW) y por estar dotada de 6 ejes motores.

Recibida entre los años 1982 y 1987, este modelo de tecnología germano-suiza acataba las condiciones expresadas en el Pliego de Condiciones Técnicas que se formalizó en 1974, según el cual, los nuevos modelos deberían responder unos principios básicos, como la capacidad de remolcar trenes de viajeros y mercancías bajo tensión de 3000 (V), poder desarrollar una potencia superior a 4500 (kW) y una velocidad máxima de 160 (km/h), distribuir su tracción a lo largo de 6 ejes motores,

con libertad respecto a la disposición de los *bogies*, para poder remolcar trenes de mercancías de hasta 1000 toneladas por rampas de 20 milésimas utilizando la máxima adherencia posible entre rueda-carril.

Las máquinas de la serie 250 cuentan con caja autoportante con estructura de acero, con cabina de conducción en cada extremo unidas por un pasillo lateral.

La disposición de los *bogies* es Co'Co', es decir, dos *bogies* de tres ejes de tipo monomotor-birreductor, alimentado por un equipo de tracción doble con arranque por eliminación de resistencias.

Las locomotoras con tecnología *chopper* tienen dos grupos de tracción independiente entre sí, alimentando cada cual a un *bogie*. La energía que pueda necesitar el tren se realiza a 3000 (V) a través de una manga normalizada.

El equipo de frenado para el tren era originalmente dual (de vacío o por aire comprimido), mientras que el freno de la propia locomotora es por aire comprimido. El freno eléctrico es reostático y ofrece una potencia continua en llanta de 4000 (kW).

El referente a nivel europeo para el diseño de las locomotoras 250 fueron las series CC-6500 de la *SNCF*, la serie 103 de la *DB* y la Re 6/6 de los ferrocarriles suizos *SBB*, todas ellas caracterizadas por el uso de *bogies* de tres ejes. De este modo, los constructores de la máquina fueron *Krauss-Maffei* (5 locomotoras) y las 35 restantes que componen la serie fueron suministradas por *CAF*, *La Maquinista Terrestre y Marítima (MTM)* y *Brown Boveri*, actual *ABB*.



Figura 6.6. Cabina de la serie 250.

Figura 6.7. Diagrama de esfuerzo tractor de la 250.

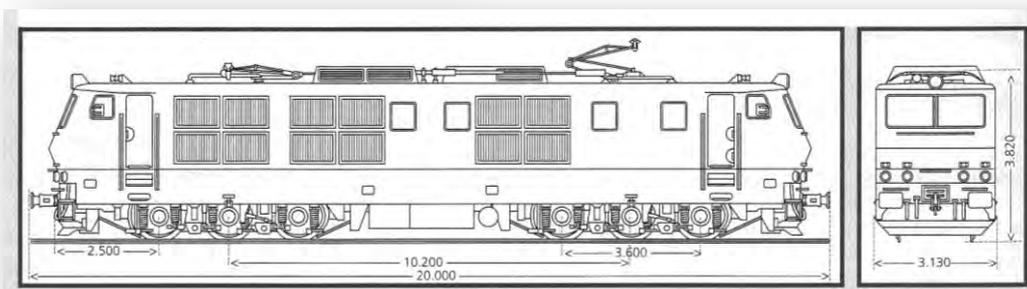


Figura 6.8. Esquema de la locomotora 250.

Tabla 6.3. Características de la locomotora de la serie 250.

	250
Nº locomotoras	40
Tipo de locomotora	Co'Co'
Potencia (kW)	4600
Velocidad máxima (viaj./merc.), (km/h)	160/100
Esfuerzo tractor (viaj./merc.), (kN)	197/316
Freno neumático	Dual
Freno eléctrico	Reostático
Masa (t)	124
Peso por eje (t)	20,6
Relación de engranajes (viaj./merc.)	2,29/3,66

Este modelo de máquina, cuya vida útil dentro del área de mercancías se desarrolló en el litoral levantino y Cataluña casi en exclusiva, fue finalmente dada de baja en 2010, antes de lo que podría esperarse, debido a problemas en su mecánica y a que el mantenimiento se hacía inviable por su complejidad y coste.

6.1.4. Locomotora S-251



Figura 6.9. Libreas de la locomotora 251 a lo largo de su vida activa.

Tal y como se acaba de mencionar en el anterior apartado, la serie de locomotoras 251 tenía que cumplir el mismo pliego de condiciones técnicas que la anterior, si bien esta se diferencia de aquella en dos elementos principales: el primero de ellos es la disposición de los *bogies*, que en la serie 251 es Bo'Bo'Bo', de tal manera que al *bogie* central se le permite un desplazamiento transversal con respecto al eje longitudinal de la locomotora para permitir su perfecta inscripción en curvas cerradas. El otro punto a tener en cuenta es que su tecnología no es europea, sino japonesa (de *Mitsubishi*), al igual que las máquinas 269, 279 y 289. Esta coincidencia no termina aquí, ya que el *bogie* que utilizan estas locomotoras es exactamente igual al que porta la 251, por lo que la tecnología y diseño es común. Este hecho permite comprender el apodo dado a estas máquinas, "*la japonesa y media*", puesto que los tres *bogies* que llevan equivaldrían a una 269 y media más.

En cuanto a sus características, la caja es de tipo autoportante con estructura de acero y dos cabinas de conducción conectadas por un pasillo lateral.

Los *bogies*, al igual que las 269, son monomotores y birreductores, con barras bajas de tracción para transmitir esfuerzos a la caja.

Todas las 251 tienen tecnología *chopper* y cada máquina cuenta con tres grupos de tracción independientes. Cada grupo comprende un *chopper* bifásico que regula la alimentación del motor de tracción y un *chopper* monofásico que regula el *shuntado* del motor de tracción.

La energía de los servicios auxiliares (ventiladores, resistencias de freno y del *chopper*, compresores y bombas) viene asegurada por dos convertidores rotativos motor-alternador que proporcionan 160 (kW).

Las 251 suministran energía eléctrica a la composición arrastrada a 3000 voltios en corriente continua mediante manga normalizada en los testeros de la caja.

Por su parte, el sistema de frenado era de origen dual (vacío y aire comprimido), aunque el de vacío fue eliminado posteriormente. El freno de la propia máquina es por aire comprimido y el freno dinámico o eléctrico es reostático y puede ofrecer una potencia continua en llanta de 3600 (kW).



Figura 6.10. Cabina reformada de una 251.

Figura 6.11. Diagrama de esfuerzo tractor de la 251.

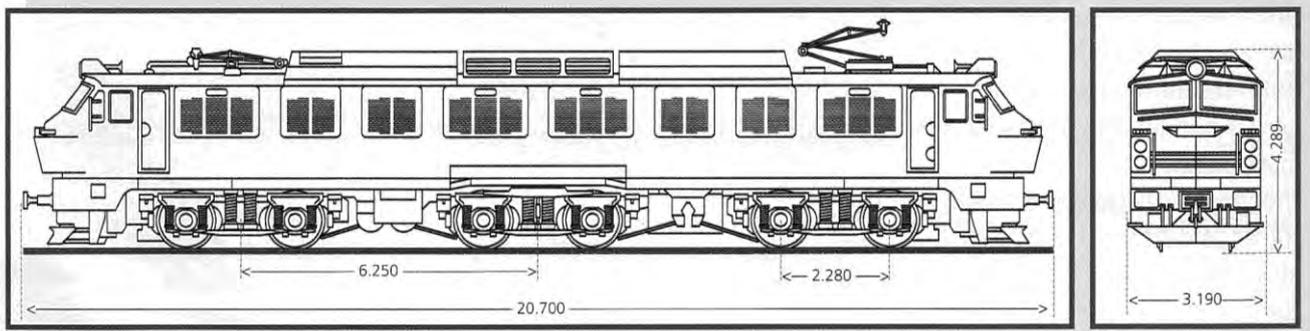


Figura 6.12. Esquema de la locomotora 251.

La serie 251, compuesta por 30 locomotoras, fue construida entre 1982 y 1984 por CAF, MACOSA, Westinghouse-WESA, General Electric GEE y Mitsubishi. Su diseño está basado en las locomotoras japonesas para expresos nocturnos y de mercancías de la Japanese National Railways, (JNR) serie EF66 de 1966.

El principal cometido de estas poderosas locomotoras es la tracción de trenes bobineros y de alambrón en la zona de Asturias, así como de servicios transversales entre esta comunidad y la costa levantina (Sagunto). Dada su gran capacidad, no le está permitido circular en mando múltiple.

Tabla 6.4. Características de la locomotora de la serie 251.

	251
Nº locomotoras	30
Tipo de locomotora	Bo'Bo'Bo'
Potencia (kW)	4650
Velocidad máxima (viaj./merc.), (km/h)	160/100
Esfuerzo tractor (viaj./merc.), (kN)	216/349
Freno neumático	Dual
Freno eléctrico	Reostático
Masa (t)	138
Peso por eje (t)	23
Relación de engranajes (viaj./merc.)	2,91/4,68

6.2. El nuevo material motor S-253

En el anterior apartado se acaba de presentar cuál era la situación del material tractor del aérea de mercancías en Renfe y cuáles eran los modelos que por su antigüedad, transformación o problemas de mantenimiento iban a desaparecer. Haciendo una recapitulación, puede decirse que eran sustituibles 40 locomotoras serie 250 (si bien en ese año sólo quedaban en servicio 36) y hacía falta un buen número de máquinas que sustituyesen la progresiva falta de locomotoras 269 (aunque no se necesitasen sustituir el total de las 156 que ya no estaban en servicio, pues hubiese supuesto un gasto innecesario tener tal número de locomotoras). El nuevo material no necesitaba desarrollar una enorme potencia, pues a pesar de sustituir a la serie 250, ésta no venía ya aplicando esfuerzos que otra locomotora más ágil no pudiese desarrollar. Es por ello que en 2006, Renfe Operadora realizó un concurso para adjudicar a la empresa que mejor producto ofreciese la fabricación de una nueva serie de locomotoras formada por cien unidades. El concurso fue finalmente adjudicado a *Bombardier*, que logró introducir en España un producto que llevaba mucho tiempo comercializando y mejorando en el resto de Europa, el modelo *Traxx*.

Cabe destacar que ya en 2002 se demandó un informe técnico a Justo Arenillas para la realización de un pliego de condiciones para la adquisición de nuevas

locomotoras, que finalmente no fue tenido en cuenta en 2006. Dicho informe planteaba una máquina con velocidad máxima de 120 (km/h), capaz de arrastrar 1200 toneladas en rampas de 20 milésimas a 55 (km/h), con seis ejes motores de tipo Co'Co' y con una masa entre 120 y 132 toneladas. Su esfuerzo tractor en el arranque sería de 400 (kN) y en régimen continuo se fijaba en 330 ó 350 (kN). Puede comprobarse que Justo Arenillas planteó una locomotora muy similar a las serie 251 (a excepción de los bogies) que tan buen resultado había dado y aún daba para el arrastre de trenes pesados.

La familia de locomotoras *Traxx* de *Bombardier* nació en 1997, y se compone en la actualidad de una serie de 11 modelos principales, que son los presentados a continuación:

Tabla 6.5. Modelos desde 1997 a la actualidad de la familia *Traxx*.

Modelo	Tracción	Imagen	Modelo	Tracción	Imagen
AC (1997)	Eléctrica 15 (kV)		DC (2006)	Eléctrica 3 (kV)	
DCP (1999)	Eléctrica 3 (kV)		DE (2006)	Diesel y Eléctrica	
AC1 (2000)	Eléctrica 15+25 (kV)		AC3LM (2012)	Eléctrica (Last Mile) 15+25 (kV)	
AC2 (2004)	Eléctrica 15+25 (kV)		DCLM (2012)	Eléctrica (Last Mile) 3 (kV)	
MS2 (2004)	Multi-sistema		DEME (2012)	Diesel y Eléctrica (Multi Engine)	
MS2e (2006)	Multi-sistema				

La locomotora que Renfe adquirió se engloba dentro del modelo de corriente continua para 3000 (V) del año 2006. Su modelo exacto es *TRAXX F140 DC* y proviene de la serie 185 de la alemana *Deutsche Bahn (DB)*. La locomotora adquirida ofrece poder arrastrar para una misma pendiente frente a anteriores modelos de máquinas,

un 30% más de carga. La elección de *Bombardier* como fabricante parece muy adecuada, ya que la dilatada historia de este tipo de locomotora lo convierte en un producto afianzado, con calidad y rendimiento conocidos. El mantenimiento es, además, prácticamente común para todos los modelos de todas las empresas europeas, lo que permite al fabricante prestar sus servicios de repuestos de forma eficaz.

La potencia de 5400 (kW) de la 253 está controlada mediante el uso de microprocesadores *Mitrac* realizados con semiconductores de tecnología *IGBT* que se encuentran refrigerados por agua. Los convertidores auxiliares de 180 (kV) cada uno, alcanzan una alimentación de 3 x 460 (V) a una frecuencia de 60 (Hz). Por su parte, las baterías ofrecen 110 (V) de tensión en corriente continua.

Los cuatro motores eléctricos que aseguran la tracción de estas locomotoras fueron construidos en la República Checa por la división ferroviaria de *Skoda*.

Los sistemas de freno lo componen, por un lado, el freno eléctrico regenerativo y reostático con potencia hasta 2600 (kW) y que consigue una fuerza de 200 (kN). El modo regenerativo permite ahorrar un 10% de energía en las frenadas. El otro modo de frenar la locomotora lo compone el freno neumático de disco, capaz de ser operado eléctricamente de dos formas: indirecto autoactuador y no autoactuador. Por su parte, el freno de estacionamiento es de tipo acumulador de 46 (t). Dichos sistemas de freno son fabricados por la empresa especialista alemana *Knorr-Bremse*.

Salvo las 5 primeras locomotoras de la serie, que poseen *ASFA* convencional, las 95 restantes ya se encuentran equipadas con el *ASFA-digital* y todas ellas con preinstalación del sistema *ERTMS*, del que de momento en España gozan sólo los trenes que circulan por líneas de altas prestaciones (es decir, líneas aptas para Alta Velocidad). Como novedad además, la pantalla principal de conducción puede operarse de forma táctil e indica el estado de la propia máquina así como de otra que pudiera ser enganchada a la primera en doble tracción. Además ofrece información de posibles fallos y errores para el personal encargado de mantenimiento, aparte de disponer del sistema *Teloc*, que monitoriza y graba todas las operaciones que el agente de conducción haya realizado sobre la máquina.

El sistema que asegura la visión del convoy remolcado no es ya un clásico retrovisor, sino que al estilo de los trenes más rápidos, -como los trenes que realizan los servicios *AVE* y *Alvia*-, es asegurada por una cámara acoplada a cada lateral de la locomotora, cuyo visionado de imágenes se realiza en una de las pantallas secundarias del pupitre de conducción.

Parte de la serie 253 fue construida en la factoría que *Bombardier* tiene en Vado-Ligure, Italia; en concreto 55 máquinas de las 100. Las 45 restantes fueron construidas por la propia Renfe en los talleres de Villaverde. La fiabilidad de estas locomotoras está prevista, aproximadamente, en una incidencia cada 180000 (km), frente a los 33000 (km) del período anterior. Además, la media de edad del parque motor de Renfe Mercancías se ha reducido desde los 26,7 a los 12 años.

A la vez que Renfe adquirió sus 100 locomotoras, la nueva operadora ferroviaria para tráficos de mercancías *Comsa Rail Transport*, que comenzó su

actividad en 2007 en España y 2009 en Portugal, formalizó un pedido de 3 máquinas más para su empresa (numeradas como 253-001, 002 y 003).

6.2.1. Tabla de características básicas

A continuación, se presentan en la tabla los datos de la locomotora que la operadora ferroviaria (Renfe), expone a sus clientes desde su página *web*.

Tabla 6.6. Características técnicas de la S-253.

Características técnicas	
Número de unidades	100
Ancho de vía	1668 (mm)
Tensión alimentación	3000 (V) en C.C.
Cabinas de conducción	2
Número de motores	4 motores trifásicos asincrónicos
Potencia total	5400 (kW) / 7337 (CV)
Esfuerzo tractor al arranque	300 (kN)
Compresor principal	2400 (L/m) con pistón de aceite
Grupo auxiliar	2 convertidores
Masa total	87 (Tm)
Masa por eje	21,8 (Tm)
Velocidad máxima	140 (km/h)
Relación de engranajes	5,2272
Disposición de bogies	Bo'Bo'
Masa del bogie con motores	16 (Tm)
Dimensión ruedas (nueva/vieja)	1250/1170 (mm)
Freno neumático	De disco
Freno eléctrico	Regenerativo y reostático
Freno estacionamiento	Muelle acumulador
Mando múltiple	Sí
Pantógrafo	<i>Stemmann Technik</i>
Señalización en cabina	ASFA Digital y ERTMS
Constructor	<i>Bombardier</i>
Dimensiones	
Longitud entre topes	18900 (mm)
Anchura de la caja	2997 (mm)
Altura máxima	4270 (mm)
Empate del bogie	2600 (mm)
Distancia entre ejes	10390 (mm)

6.3. Diseño en software 3D

Una vez se han presentado las circunstancias de compra y las características de la nueva serie de locomotoras, se procederá a realizar la parte central y más relevante que persigue este Trabajo Fin de Grado, que es el proceso de diseño en 3D del producto mediante la utilización de *software* comercial. Dicho desarrollo se centrará en los aspectos mecánicos de la locomotora, no incluyéndose en este trabajo los aspectos eléctricos o electrónicos, que como bien figuran al término de este informe, pueden ser un buen estímulo para trabajos futuros.

Para la realización pues, del diseño, se determinó la utilización del *software Solid Edge*, -producto desarrollado por el grupo *Siemens*-; una útil herramienta que permite desarrollar de forma eficaz reproducciones de piezas en tres dimensiones perfectamente definidas para una posterior unión en conjuntos. Una vez concluida la fase de diseño, este *software* ofrece la posibilidad de la creación de planos acotados de todas las piezas, así como de explicativas imágenes explosionadas para comprender fácilmente el montaje de los distintos elementos. Así es como, en el Anexo 12.6 de este informe, se ofrecen todos los planos obtenidos a tal efecto, ordenados de tal manera que resulte sencillo la identificación de cada una de las partes que conforman los conjuntos que a su vez, forman partes esenciales de la locomotora.



Figura 6.13. Identidad visual del *software* comercial 3D desarrollado por *Siemens*.

Para mostrar cuál ha sido el procedimiento de diseño de la locomotora, se irán mostrando de forma detallada todas las piezas que conforman cada uno de los subconjuntos principales, para terminar mostrando el conjunto principal montado. Las imágenes están tomadas directamente de la interfaz de diseño de *Solid Edge*.

6.3.1. La caja

En argot ferroviario, se conoce por "caja" a la carrocería del vehículo, que en este caso es de tipo autoportante, es decir, bastidor y caja forman un sólo cuerpo encargado de resistir las fuerzas que se generan durante la vida en servicio de la locomotora.

El diseño aquí propuesto se descompone en tres partes principales, la caja junto con el bastidor, el testero y el techo, (que a su vez, se descompone en tres partes, cada una de las cuales es fácilmente identificable al observar exteriormente la locomotora).

La primera de ellas puede observarse en las siguientes figuras:



Figura 6.14. Vista general de la caja.

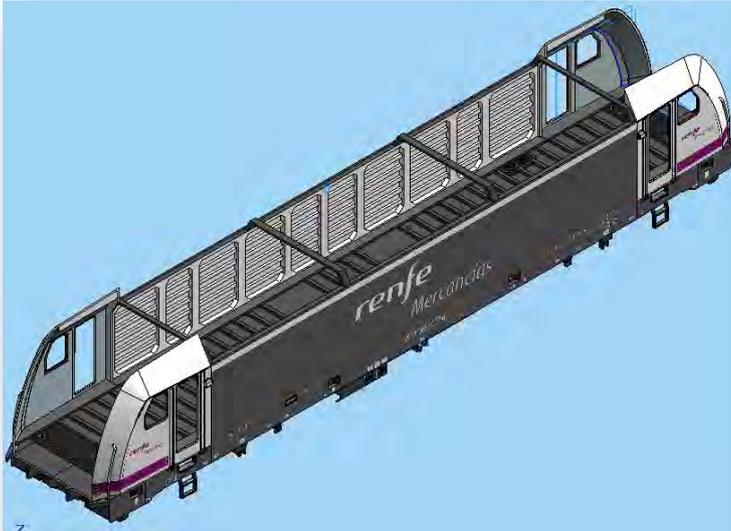


Figura 6.15. Vista en perspectiva de la caja.



Figura 6.16. Tabique de la cabina.

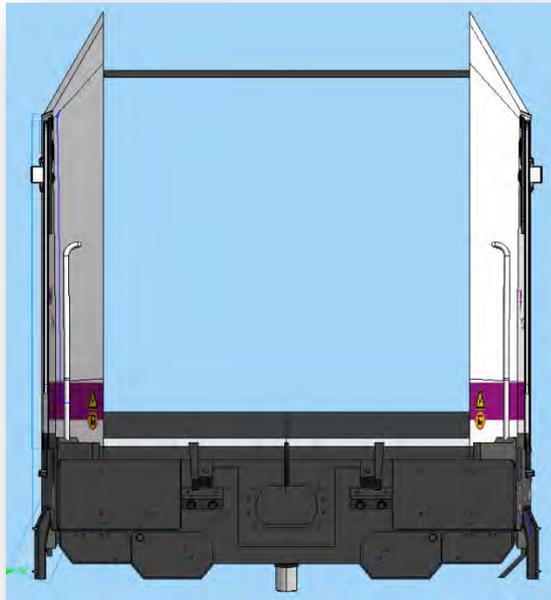


Figura 6.17. Vista frontal.

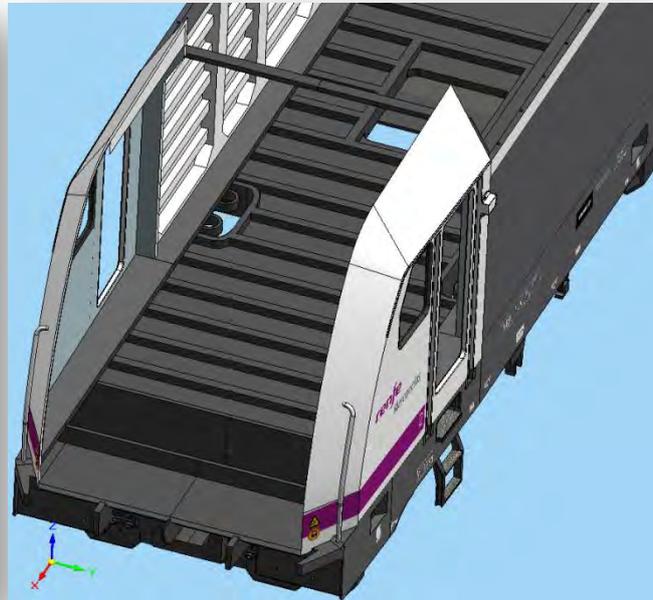


Figura 6.18. Detalle de las vigas del bastidor.

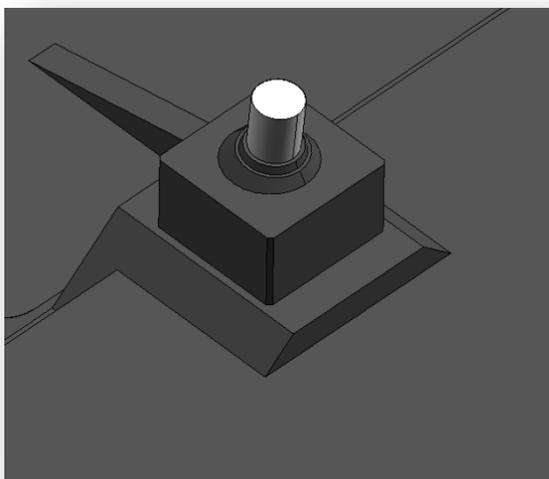


Figura 6.19. Eje de unión bastidor-biela de arrastre.



Figura 6.20. Detalle de la escalerilla.



Figura 6.21. Detalle de las inscripciones en los laterales de la caja.

La segunda parte se corresponde con el testero de la locomotora:

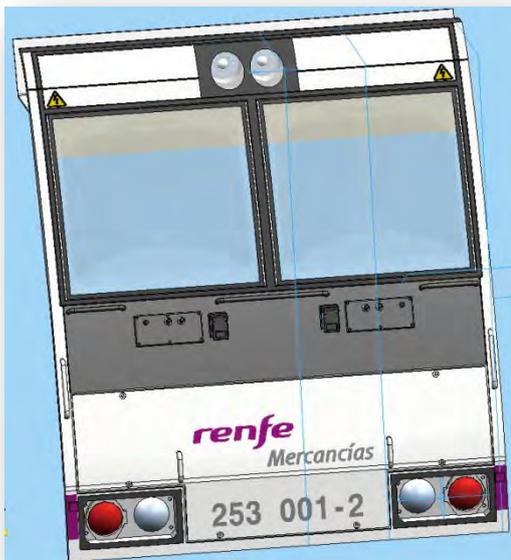


Figura 6.22. Frontal de la cabina.



Figura 6.23. Detalle de los limpiaparabrisas.

El diseño de la última parte puede observarse en las tres imágenes siguientes:

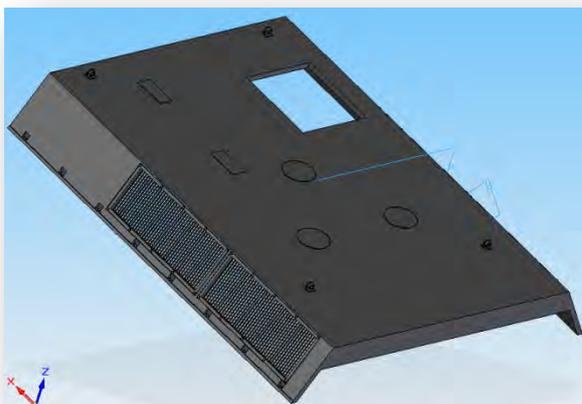


Figura 6.24. Techo lado cabina 1.

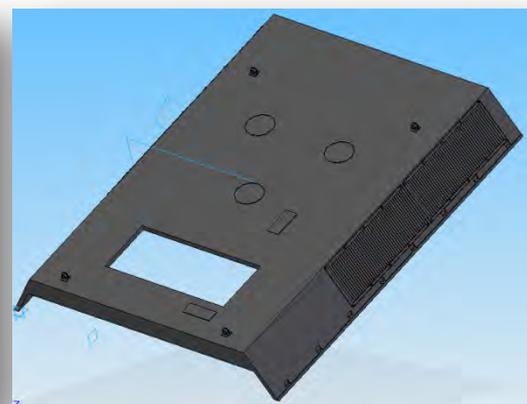


Figura 6.25. Techo lado cabina 2.



Figura 6.26. Parte central del techo de la locomotora.

6.3.2. El bastidor del bogie

Una parte principal en todo vehículo ferroviario es el *bogie* sobre el que se asienta. Dicho *bogie* está compuesto por multitud de elementos, entre los cuales se encuentra el bastidor, parte fundamental encargado de soportar los esfuerzos que genera el vehículo. De este modo, sobre él se asienta la suspensión secundaria, sobre la que reposa el peso del tren. Además, el bastidor descansa sobre las cajas de grasa, unidas a él mediante la suspensión primaria. También es el encargado de soportar parte del peso del motor y de la reductora.



Figura 6.27. Vista general del bastidor.

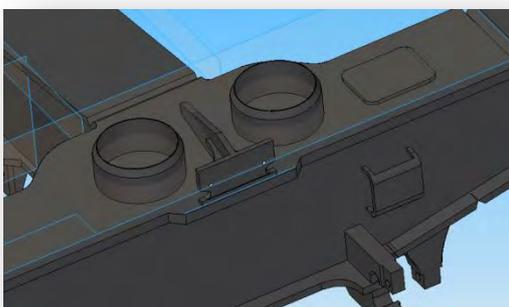


Figura 6.28. Detalle de los cilindros que aseguran el asiento de la suspensión secundaria.

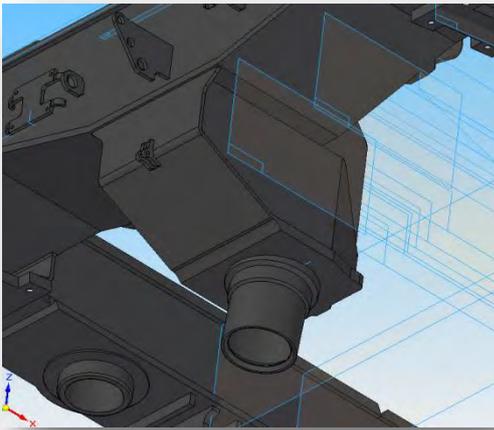


Figura 6.29. Unión con la biela de arrastre.

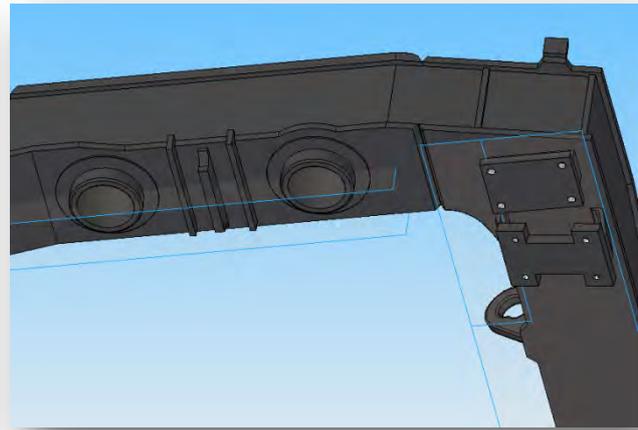


Figura 6.30. Asiento de la suspensión primaria y anclajes del quitapiedras y del freno de disco.

6.3.3. El eje

Otra de las piezas clave en todo vehículo ferroviario y que forma parte del *bogie* es el eje. El perteneciente a la locomotora S-253 tiene la particularidad de ser hueco. Antes de pasar a ver su diseño, conviene explicar adecuadamente el motivo:

Aunque a primera vista pudiese parecer que un eje macizo proporciona mejores condiciones para la explotación del vehículo por su robustez, la realidad demuestra que son más las desventajas que las ventajas de este tipo de construcción.

Un eje ferroviario se divide en una serie de partes, a saber:

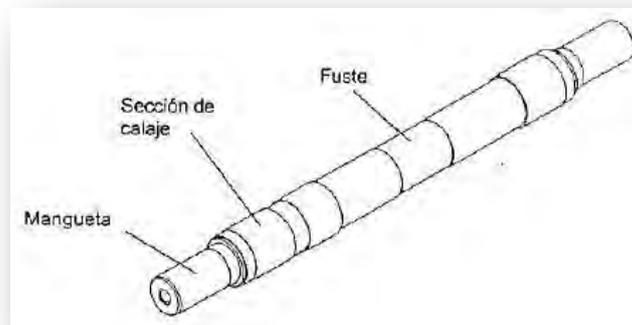


Figura 6.31. Partes de un eje ferroviario.

- La *mangueta* es el extremo del eje, que soporta el peso del tren.
- El *fuste* es el cuerpo del eje.
- La *sección de calaje* es la zona donde se acoplan las ruedas, los discos de freno o los engranajes.

La zona del fuste sólo proporciona peso a la pieza, ya que en el centro del eje no suelen posicionarse elementos que generen fuerzas o momentos, por lo que es la parte de menor responsabilidad.

En aquellas zonas que sí tienen soportan momentos, éstos se distribuyen como muestra la figura 6.32.:

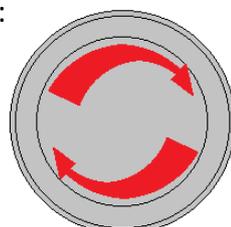


Figura 6.32. Momentos dentro de la sección del eje.

Esta distribución sugiere que los pares que se generan en las distintas secciones del eje, -y que son máximos en los momentos de acelerar y frenar-, se distribuyen en los alrededores de la sección, nunca en el centro de la misma. Tan sólo el peso del propio tren aplica su fuerza atravesando dicho centro. El efecto que pueda tener este último puede evitarse mediante un cálculo de resistencia; de tal modo que el hueco no ponga en peligro la integridad del eje a causa de posibles deformaciones y tensiones extremas.

Por tanto, con el uso del eje hueco de momento se ha ahorrado peso, pero el motivo principal de su uso reside en el mantenimiento:

Los ejes se inspeccionan de forma regular mediante técnicas de ultrasonidos según indique el fabricante del mismo (ver figura 6.33.). Estos exámenes pretenden



verificar la no aparición de grietas críticas que puedan desembocar en una rotura catastrófica del eje. Utilizando las expresiones de la Ley de Paris, las operadoras ferroviarias verifican el buen estado de los ejes de sus trenes.

Figura 6.33. Inspección por ultrasonidos de un eje.

La geometría angulosa que generan los cambios de sección a lo largo del eje dificulta que las ondas sonoras penetren bien en el interior de la pieza, pudiendo quedar zonas mal examinadas que puedan ser posibles fuentes generadoras de grietas. Este efecto intenta minimizarse con el uso de radios de acuerdo en los cambios de sección. Además, una correcta inspección supone el desmontaje completo del eje para llevar a cabo la tarea, lo que supone grandes tiempos de mantenimiento, que a su vez repercute económicamente en la empresa al obligar a tener vehículos parados.

Frente a este hecho, el eje hueco supone la solución ideal. Su orificio central permite deslizar por su interior los instrumentos de medida por ultrasonidos, haciendo que las ondas penetren con facilidad en todos los rincones. A esto hay que sumar que con tan sólo desmontar la caja de grasa de un extremo del eje es suficiente para introducir el instrumento medidor, ahorrando considerablemente tiempo y dinero.

Este tipo de ejes es obligatorio para todos los trenes de pasajeros que circulan por la red alemana y actualmente es el utilizado en nuevos trenes y por el que se están sustituyendo los antiguos ejes macizos.

El accidente ferroviario acaecido en *Viareggio*, Italia, el 29 de junio de 2009, supuso un antes y un después en el análisis de los ejes montados (ver figura 6.34.). Un tren de mercancías con vagones cisterna cargados de gas licuado de petróleo descarriló y explotó mientras atravesaba la estación de este pueblo italiano, acabando con la vida de 22 viajeros que esperaban al tren e hiriendo a otros 50. Tras una investigación exhaustiva del accidente, se determinó que la causa del descarrilamiento fue la rotura de uno de los ejes de un vagón por efecto del óxido, que penetró hasta lograr seccionar por completo el eje. El vagón era propiedad de una empresa logística

de un país, se había sido procedido a su mantenimiento en otro y circulaba por un tercero en el momento del accidente. Este movimiento de material rodante insta a ser muy meticuloso en las labores de inspección.



Figura 6.34. Accidente en la localidad de Viareggio, Italia.

Es por este tipo de razones por las que los ejes se fabrican en la actualidad huecos. Sin más explicación, se presenta el diseño para la locomotora 253:



Figura 6.35. Vista general del eje.

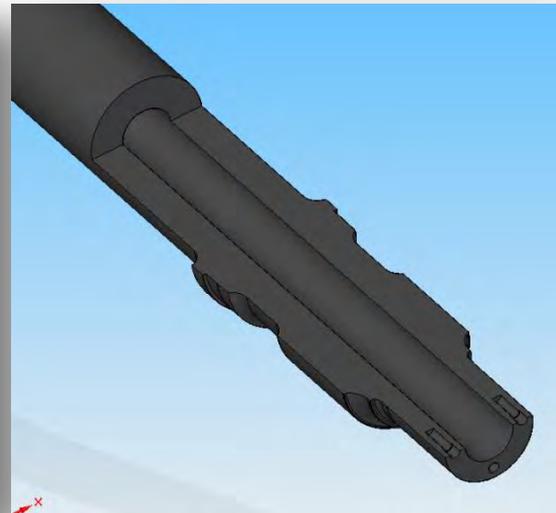


Figura 6.36. Sección del eje.

6.3.4. Las ruedas

El diseño de las ruedas de la 253 se basa en una geometría sencilla, en la que el velo de la misma no adopta la característica forma ondulada, sino que es plana, debido a que sobre ella se asientan los discos de freno. Los agujeros practicados en el velo para la sujeción de dichos elementos no son roscados, para evitar así la posible propagación de grietas al hacer los filetes de la rosca.

Figura 6.37. Sección de la rueda.

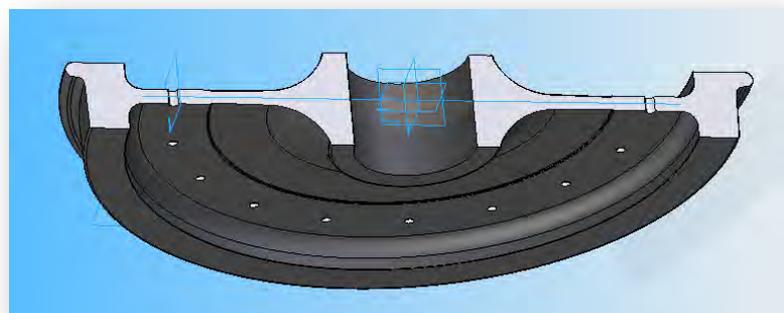




Figura 6.38. Vista general de la rueda.

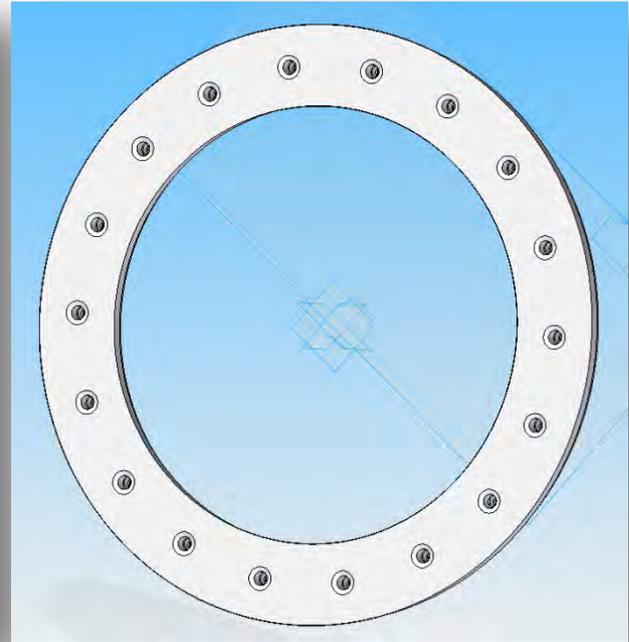


Figura 6.39. Vista del disco de freno.

6.3.5. La caja de grasa

Es el elemento que permite el giro de los ejes, ya que en su interior se encuentran los rodamientos. A su vez, descarga el peso del vehículo sobre el eje calado.

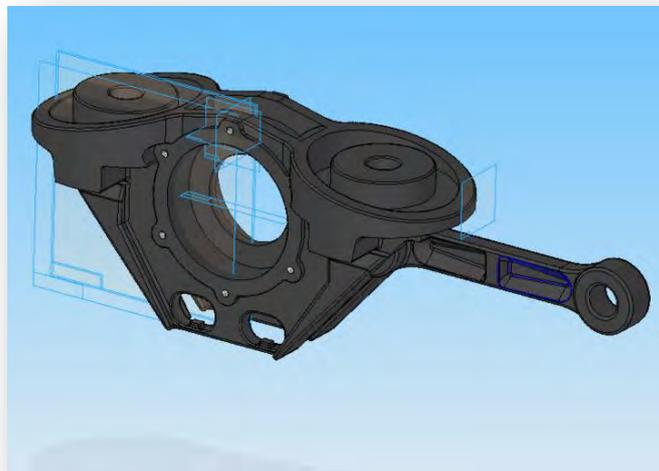


Figura 6.40. Vista del cuerpo de la caja de grasa.



Figura 6.41. Resorte de la suspensión primaria, tapeta exterior e interior.

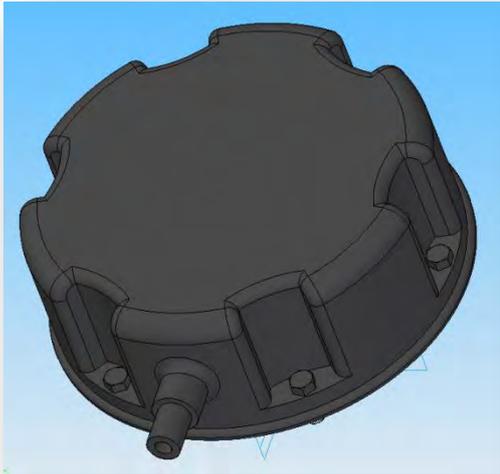


Figura 6.42. Tapa de la tapeta exterior.



Figura 6.43. Rodamiento.

6.3.6. La reductora y el motor

El diseño de la reductora se ha realizado a partir del dato de la relación de engranajes, junto con la herramienta de creación de engranajes de *Solid Edge*, la cual, mediante un sencillo asistente, es capaz de generar un par de engranajes a partir de la introducción de una serie de datos, como la distancia entre centros, la relación de transmisión y el ancho de cara, entre otros.

Lo primero que resulta evidente es comprobar si la relación proporcionada puede obtenerse con un solo par de ruedas dentadas, para lo cual se recurre a la siguiente ecuación [6.1] y consideración: $1/7 \leq i$ (relación de transmisión) ≤ 7

$$x \text{ (pares de ruedas)} \geq \left\lceil \frac{\log(i)}{\log(i_{\text{máx}})} \right\rceil \quad [6.1]$$

$$\text{Cuyo resultado es: } x \geq \left\lceil \frac{\log(5,2272)}{\log(7)} \right\rceil = 0,8499 \Rightarrow x = 1$$

La corona del par de engranajes creados en *Solid Edge* tiene 118 dientes y el piñón tiene 22, por lo que se mantiene bastante bien la relación original.



Figura 6.44. Corona de la reductora.

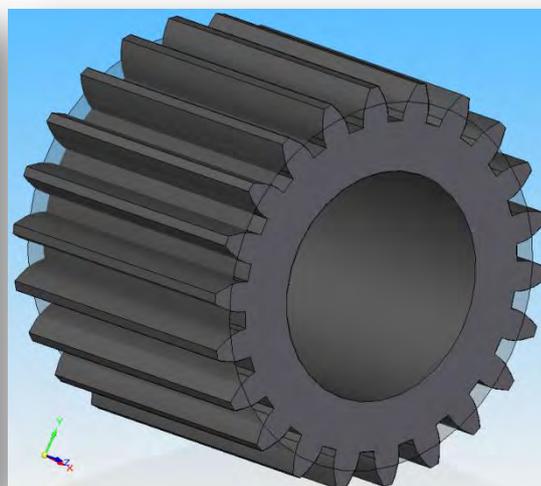


Figura 6.45. Piñón de la reductora.

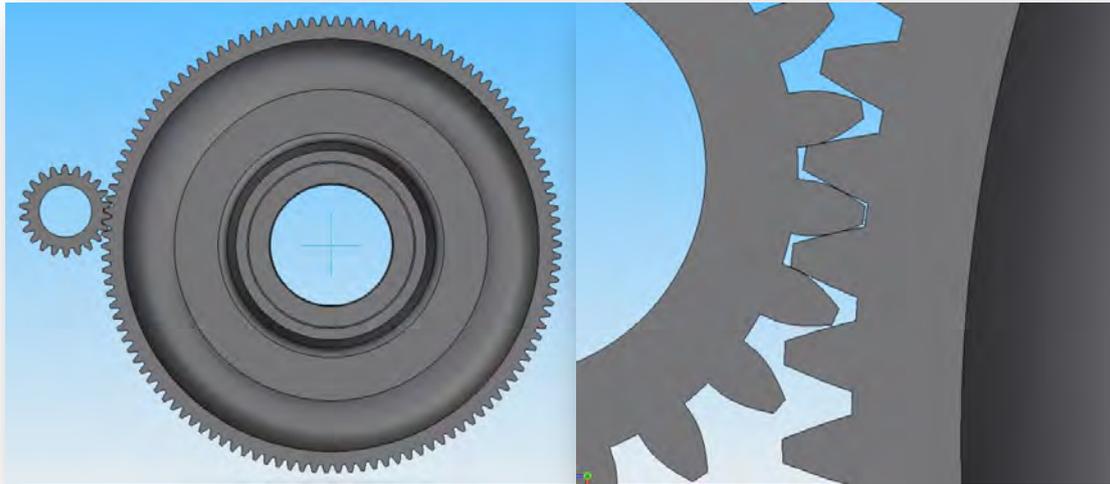


Figura 6.46. Vista del montaje de la reductora y detalle del punto de engrane.

A continuación, en la tabla 6.7., se detallan los parámetros principales de esta reductora, calculados a partir de las ecuaciones que también aquí se incluyen.

Tabla 6.7. Parámetros del par de engranajes.

Parámetro	Ecuación	PIÑÓN (1)	CORONA (2)
Número de dientes (Z)	-	22	118
Factor de desplazamiento (x)	$x = \frac{14 - Z}{17}$	0	0
Módulo (m) (mm)	$m = \frac{2 \cdot r}{Z}$	7,48	7,48
Desplazamiento en la talla (mm)	<i>desplazamiento = x · m</i>	0	0
Ángulo de presión de referencia (α) (°)	-	20°	20°
Ángulo de presión en el montaje (α') (°)	-	10°	
Radio primitivo de referencia (r) (mm)	$r = \frac{Z \cdot m}{2}$	82,35	441,61
Distancia entre ejes de funcionamiento (a') (mm)	$a' = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} \cdot (r_1 + r_2)$	499,95	
Radio primitivo de funcionamiento (r') (mm)	$r'_1 = a' \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} / r'_2 = a' \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$	78,56	421,38
Radio base (r _b) (mm)	$r_b = r \cdot \cos \alpha$	77,38	414,97
Radio de cabeza (r _a) (mm)	$r_a = r + m \cdot (1 + x)$	89,83	449,09
Radio de pie (r _f) (mm)	$r_f = r - m \cdot (1 + c - x)$	73,00	432,26
Paso (p) (mm)	$p = m \cdot \pi$	23,50	23,50
Hueco (e) (mm)	$e = \left(\frac{p}{2}\right) - 2 \cdot m \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha$	11,75	11,75
Espesor (s) (mm)	$s = \left(\frac{p}{2}\right) + 2 \cdot m \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha$	11,75	11,75

En el apartado 6.3.14. se detallan los esfuerzos a los que se ve sometido este par de ruedas dentadas.

Por su parte, el motor se ha diseñado de forma genérica, sin incluir mucho detalle (ver figura 6.47.).



Figura 6.47. Vista del motor eléctrico, del acoplamiento elástico y del eje motriz.

El acoplamiento elástico consiste en un sistema que permite un cierto grado de holgura en la interacción entre el eje de salida del motor y el del eje de la primera rueda dentada de la reductora, ya que el movimiento de lazo típico de los vehículos ferroviarios es incompatible con la instalación rígida (anclada) que requiere el motor. En la figura 6.48. puede observarse el sistema de dos engranajes que recibe un par de semiejes, uno procedente del motor y otro que se dirige a la reductora.



Figura 6.48. Detalle de un acoplamiento elástico seccionado.

Por último, se presenta el diseño de la carcasa que envuelve el conjunto del motor:



Figura 6.49. Vista de la carcasa del eje.

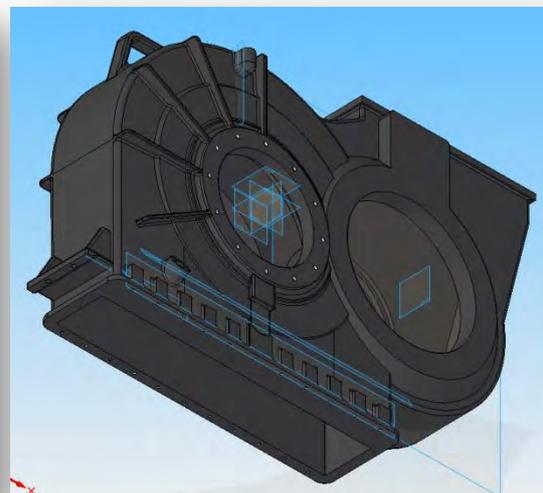


Figura 6.50. Carcasa de la reductora.

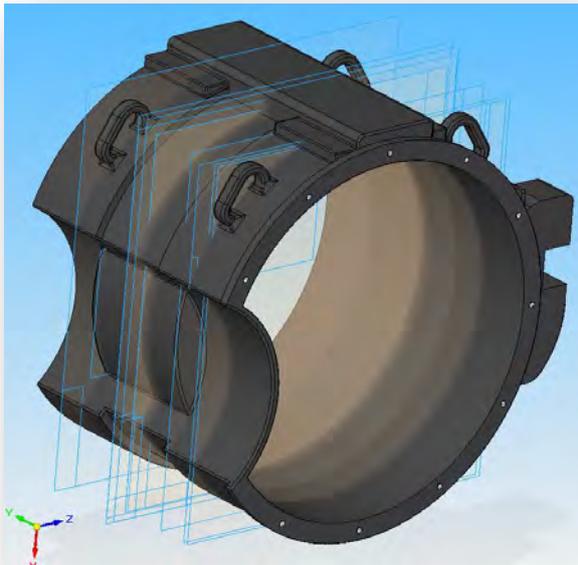


Figura 6.51. Carcasa del motor.



Figura 6.52. Tapa de la carcasa del motor.

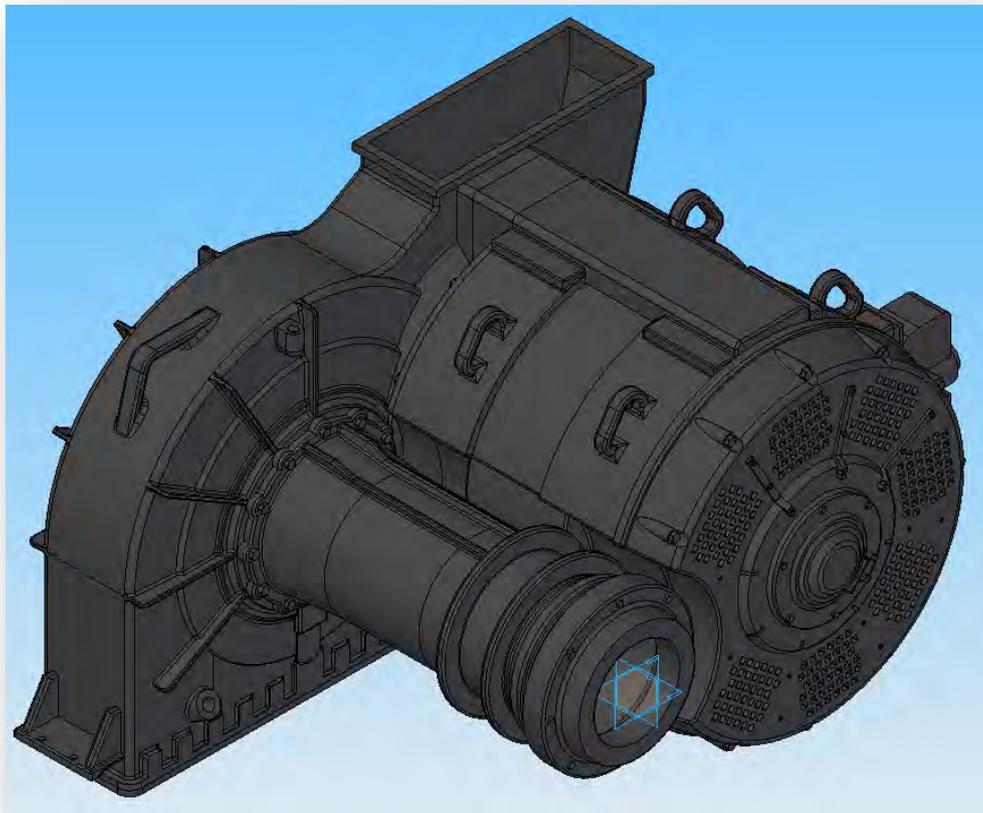


Figura 6.53. Conjunto de la carcasa montado.

6.3.7. Montaje del bogie

Para terminar de montar el *bogie* por completo, hay que añadir una serie de piezas que lo completan, -aparte de las ya expuestas desde el apartado 6.3.2.-, que son los quitapiedras, (que colocados delante de las ruedas sirven para eliminar cualquier pequeño obstáculo de la vía y para sujetar los tubos de los areneros), los bombines y pinzas de los frenos de disco, los resortes de la amortiguación secundaria y los amortiguadores que suavizan los movimientos entre la caja y el bastidor del *bogie*.

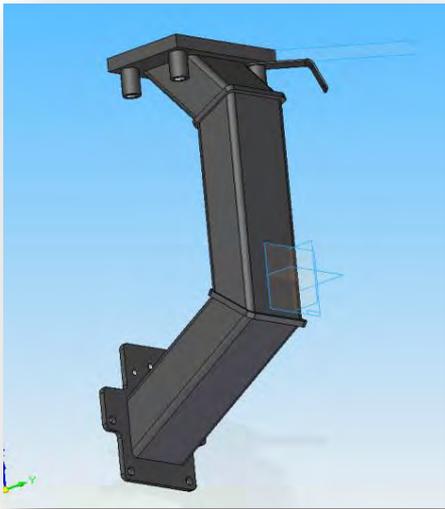


Figura 6.54. Quitapiedras.



Figura 6.55. Amortiguador utilizado en el bogie.

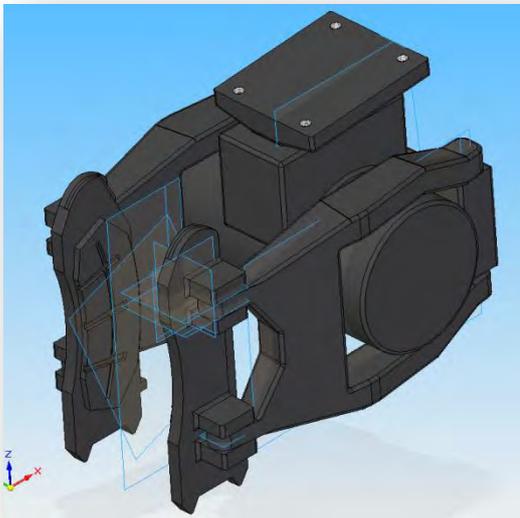


Figura 6.56. Vista del sistema de frenos.



Figura 6.57. Resorte de la suspensión secundaria.

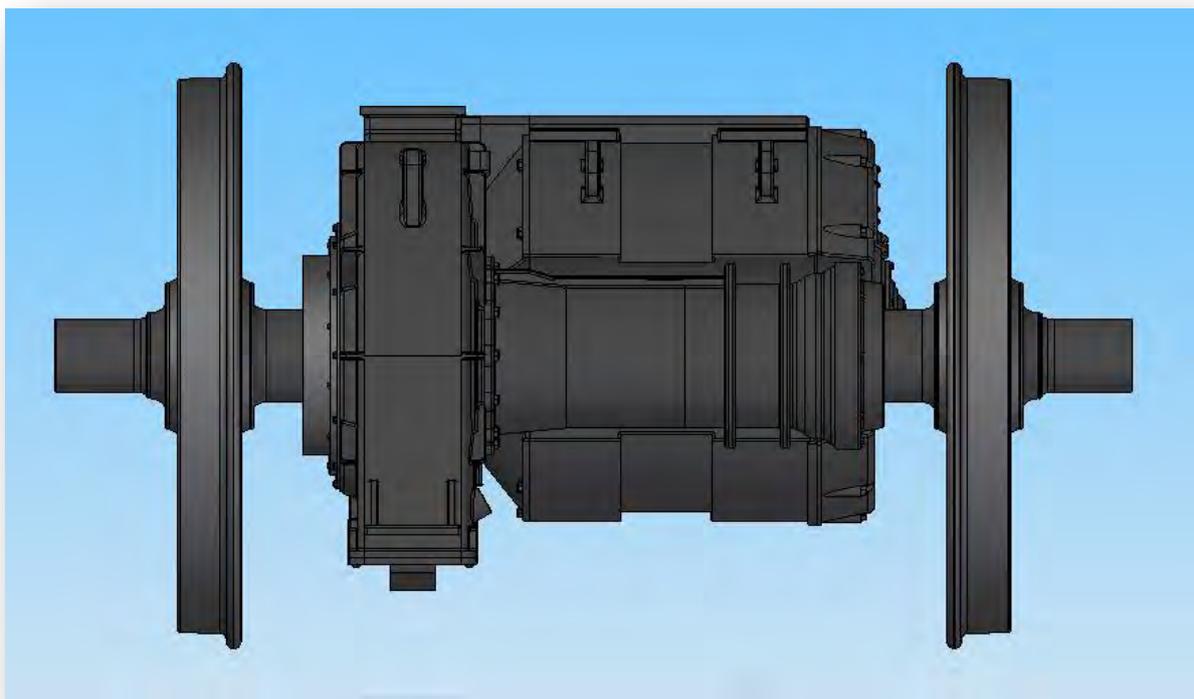


Figura 6.58. Vista en alzado del conjunto motor-eje montado.

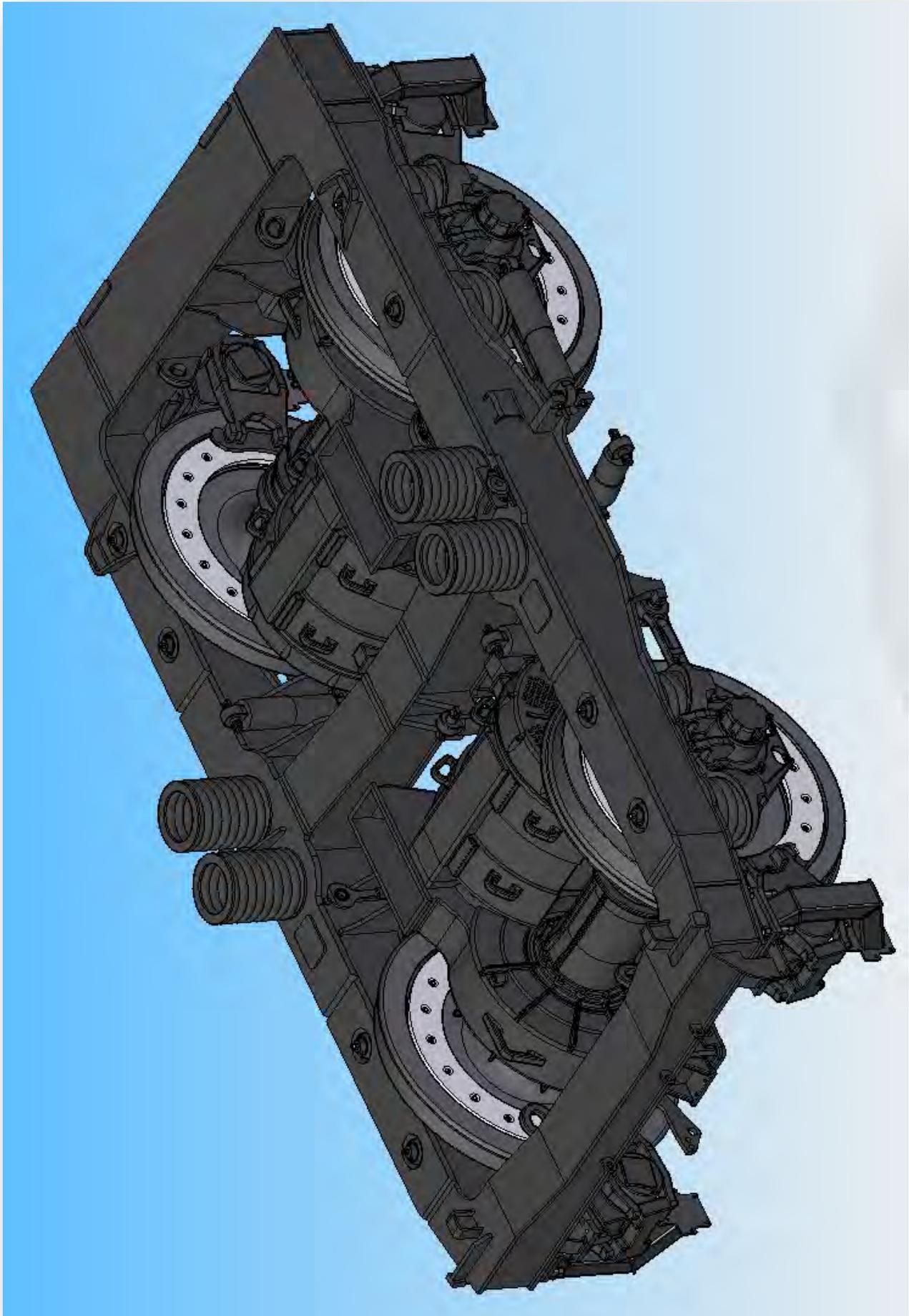


Figura 6.59. Vista general del *bogie* montado.

6.3.8. El tope

Es el elemento protector inmediato ante un choque y el encargado de ofrecer el correcto posicionamiento entre vehículos en el momento de ser enganchados, ya que los topes de vehículos contiguos deben tocarse ligeramente entre sí. En su interior se aloja un sistema de recuperación mediante la existencia de un resorte. A continuación, entre la figura 6.60. a la 6.63. puede observarse su diseño.

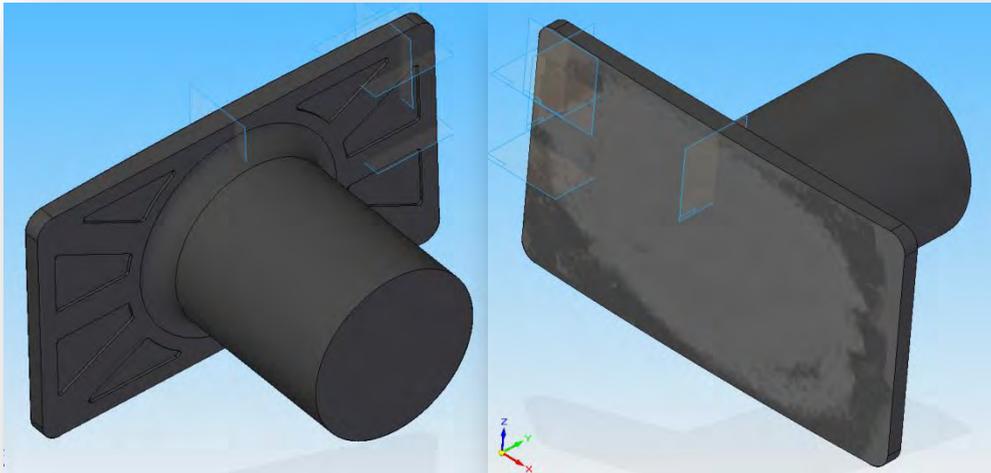


Figura 6.60. Vistas por ambos lados del frontal del tope.

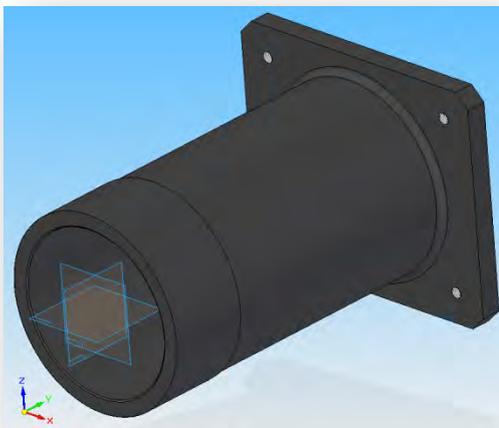


Figura 6.61. Base del tope.



Figura 6.62. Resorte helicoidal del tope.

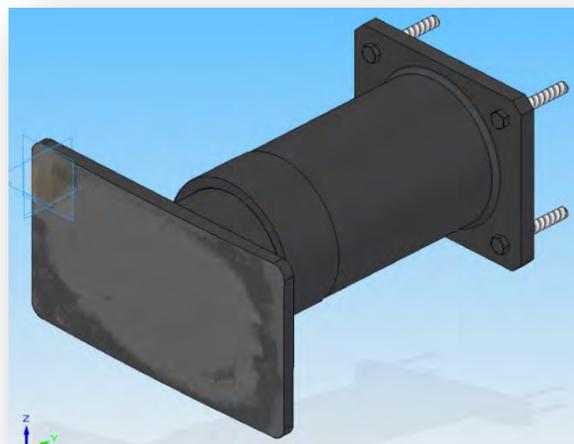


Figura 6.63. Vista del conjunto del tope montado.

6.3.9. El enganche de husillo

Las locomotoras convencionales como la que aquí se presenta, -es decir, que no forma parte de un vehículo automotor-, se sirven del denominado *enganche de husillo* para unirse con el material que remolcan. Es uno de los tres tipos de enganche más utilizado en mundo, y es el que portan todo tipo de coches y vagones en Europa. Junto a éste, existe el automático o *Scharfenberg* (para automotores) y el *Janney* (utilizado principalmente en Estados Unidos y China), que es semiautomático, ya que requiere unir las mangueras de freno (ver figura 6.64.).



Figura 6.64. De izda. a dcha.: enganche de husillo, Scharfenberg y Janney.

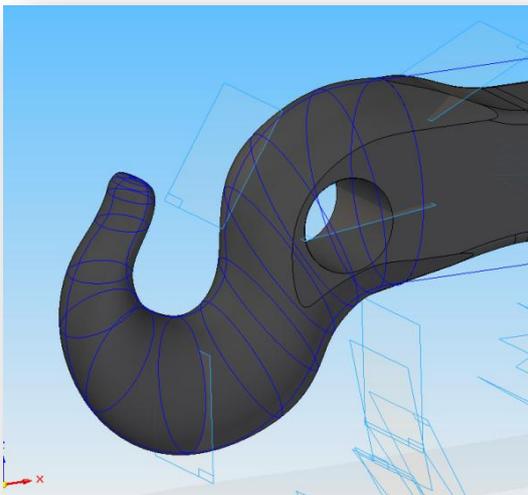


Figura 6.65. Imagen del gancho.



Figura 6.66. Argolla del enganche.



Figura 6.67. Uno de los eslabones del enganche.



Figura 6.68. Tornillo para tensar.

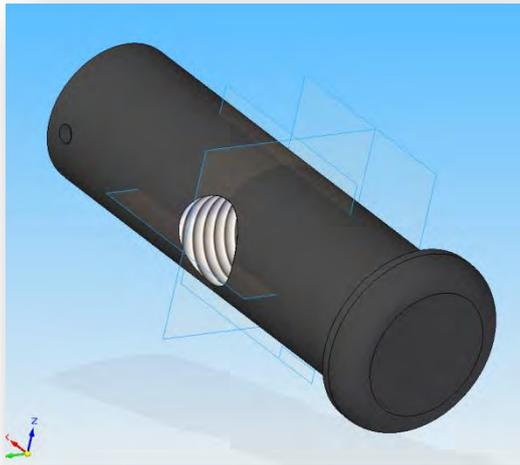


Figura 6.69. Pernos para alojar el tornillo.



Figura 6.70. Horquilla.

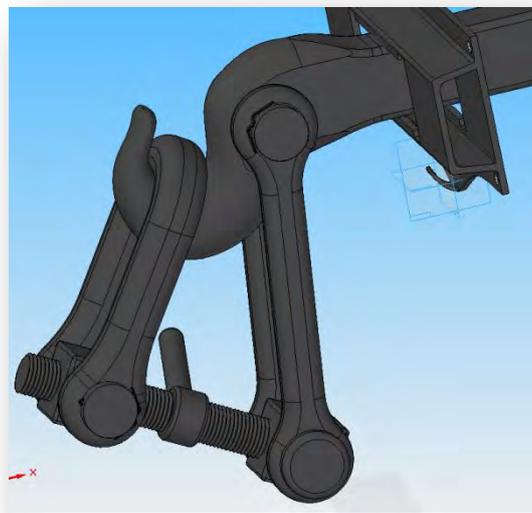


Figura 6.71. Vista general del enganche recogido.

6.3.10. El pantógrafo

Es el elemento que permite la toma de corriente de la catenaria. Dado que la fricción del pantógrafo con la catenaria genera una propagación de ondas (que se intenta sea nula con la propia geometría de la catenaria, mediante el uso de las péndolas), éste no puede encontrarse rígido, sino que mediante una serie de tensores o sistema de aire comprimido permite cierta oscilación en vertical.

El diseño de los pantógrafos ha variado a lo largo de los años, dependiendo también del tipo de corriente captada por el tren, -trifásica o monofásica-, o de la velocidad máxima del tren (ver figura 6.72.).

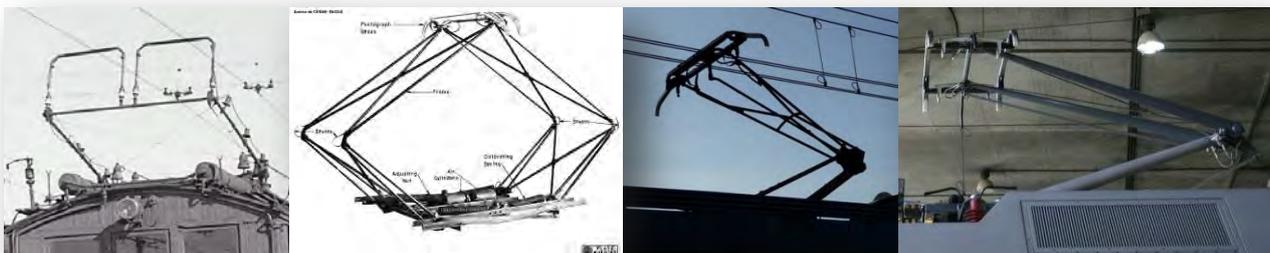


Figura 6.72. Pantógrafo trifásico, de rombo, monobrazo y de Alta Velocidad.

Antiguamente era común el uso de pantógrafos de tijera o de rombo, mientras que en la actualidad el más utilizado es el monobrazo. Normalmente, para el caso de la Alta Velocidad, se suele utilizar un tipo de pantógrafo monobrazo más simplificado, como el de la anterior figura 6.72., para minimizar las turbulencias que el flujo de aire genera a su alrededor.

A continuación se presenta despiezado el pantógrafo que porta la serie de locomotoras 253:



Figura 6.73. Brazo inferior del pantógrafo.



Figura 6.74. Brazo superior del pantógrafo.

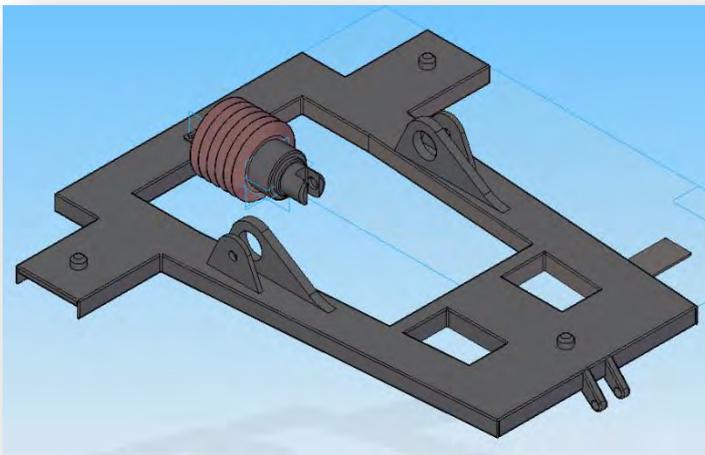


Figura 6.75. Base del pantógrafo.



Figura 6.76. Cabezal de captación.



Figura 6.77. Imágenes de los tres tipos de tensores de los que se sirve el pantógrafo.



Figura 6.78. Vista general del pantógrafo desplegado.

6.3.11. La cabina

Aunque la mecánica pretende representar una mayoría del apartado de diseño, el visionado de la cabina de conducción resulta imprescindible a la hora de poder ofrecer al cliente un resultado óptimo de visualización de su producto. De esta manera, se ha incluido el diseño del pupitre de conducción y de los asientos para el agente de conducción y su ayudante.

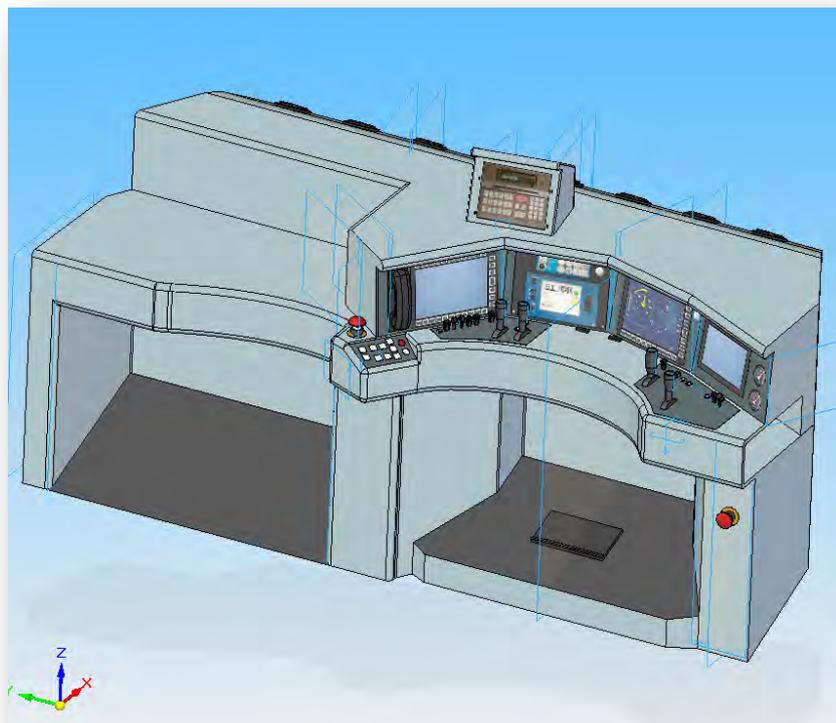
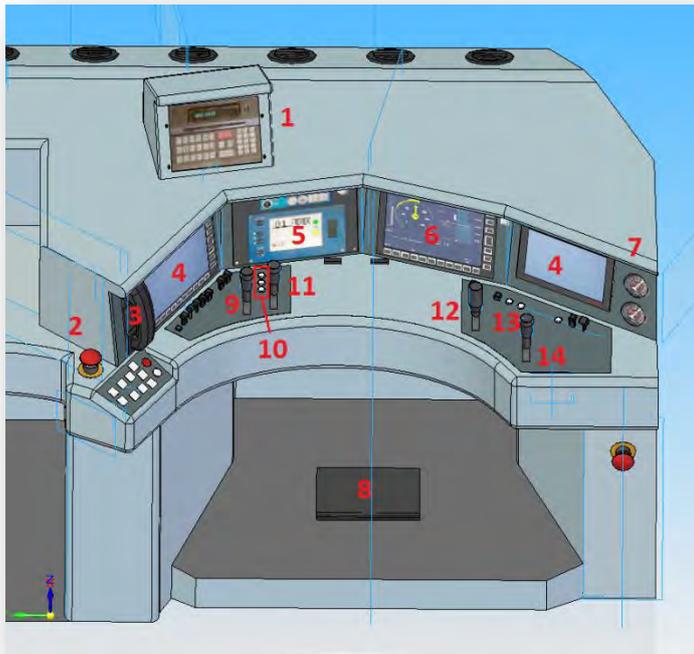


Figura 6.79. Vista general del pupitre de conducción.



- 1 - Tren-tierra
- 2 - Freno de emergencia
- 3 - Teléfono GSM-R
- 4 - Pantalla auxiliar
- 5 - ASFA
- 6 - Pantalla principal
- 7 - Indicadores de presión
- 8 - Pedal Hombre Muerto
- 9 - Regulador
- 10 - Inversor
- 11 - Freno regenerativo
- 12 - Freno del tren
- 13 - Luces
- 14 - Freno de la locomotora

Figura 6.80. Detalle de los distintos controles del pupitre.



Figura 6.81. Asientos regulables en altura para el maquinista y el ayudante.

6.3.12. Montaje final

Antes de presentar la visualización del conjunto completo de la locomotora, quedan por exponer todos aquellos elementos auxiliares u otras piezas que se ubican en el bastidor de la locomotora, como el quitanieves, los areneros, los armarios para los equipos eléctricos, las bielas de arrastre del *bogie*, los aparatos de aire acondicionado, el sistema de transporte de electricidad de alto voltaje del techo o las escalerillas, entre otros. Todos ellos pueden observarse de la figura 6.82. a la 6.99.

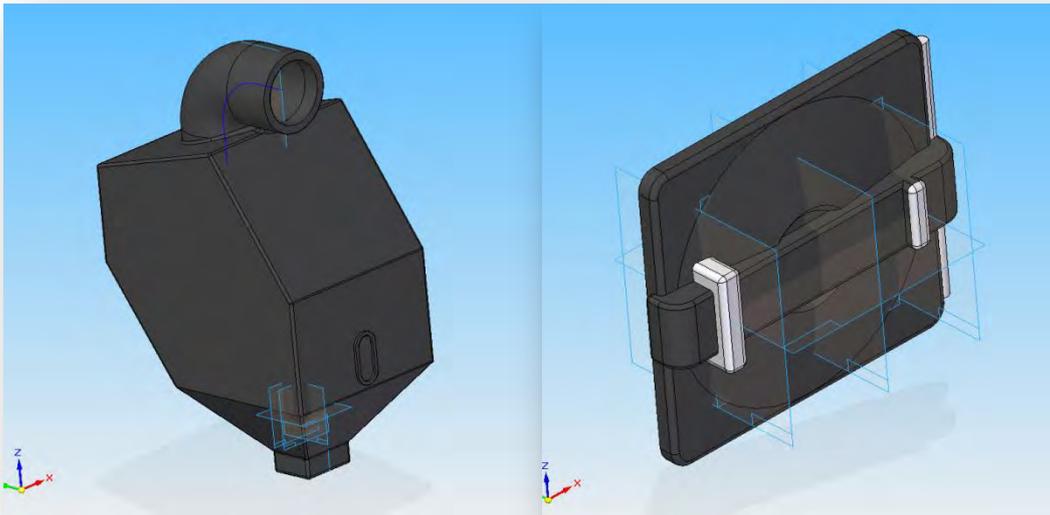
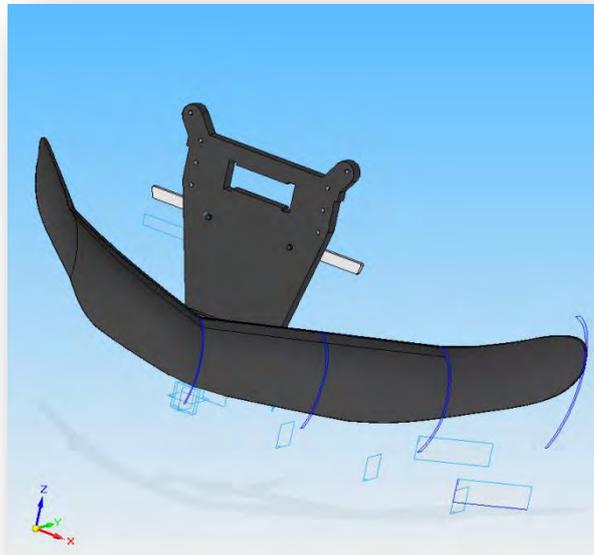


Figura 6.82. Arenero y tapa del mismo.



Figuras 6.83. Pala quitanieves.



Figuras 6.84. Tubería de freno TDP.

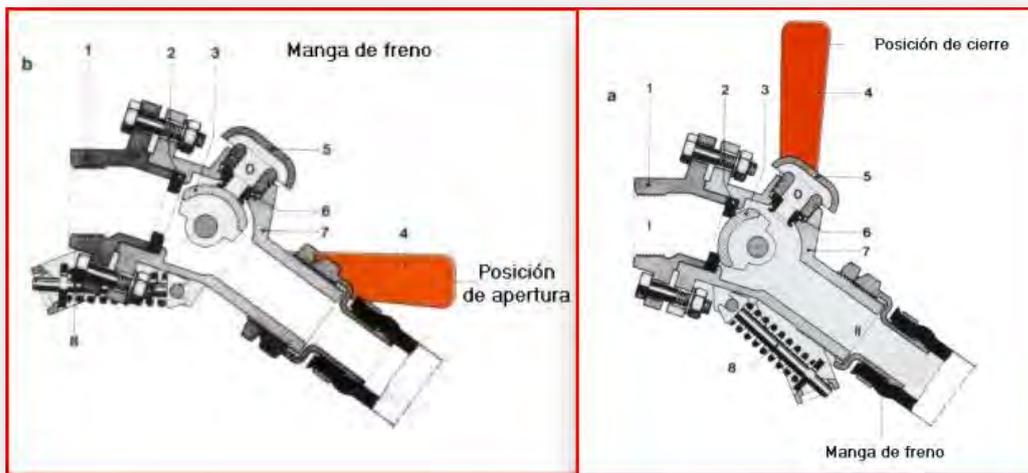
Las mangueras de freno deben soportar la presión del freno por aire comprimido, que es de 5 (kg/cm²) como máximo; mientras que las mangueras de los depósitos llegan hasta los 7-10 (kg/cm²). La válvula que puede observarse en la figura 6.83. se corresponde con la denominada *TDP* (Tubería de Depósitos Principales), pues va pintada en color rojo, a diferencia de las *TFA* (Tubería de Freno Automático) que se pintan de azul.

La *TDP*, que no se regula por el mando de freno, alimenta por aire comprimido una

serie de elementos, como las válvulas relé del equipo de freno de las locomotoras en doble tracción o remolcadas, de los coches o de los furgones y de sus relativos sistemas, como las puertas automáticas en el caso de trenes de viajeros. Los vagones de mercancías no suelen incluir este tipo de mangueras.

Por su parte, la TFA se encarga de accionar los frenos en cada vehículo de la composición cuando el agente de conducción acciona a su vez la palanca desde el pupitre de mandos. Si la tubería sufriese una rotura, también se accionaría el freno de forma automática, de ahí su denominación.

En la imagen 6.84. se muestra el grifo en las posiciones abierto y cerrado, respectivamente.



Donde:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 - Brida | 5 - Tornillo de escape |
| 2 - Junta anular | 6 - Junta anular |
| 3 - Macho de segmento esférico | 7 - Cuerpo |
| 4 - Maneta | 8 - Dispositivo de enclavamiento |

Figura 6.85. Muestra de las dos configuraciones de la manguera de freno.

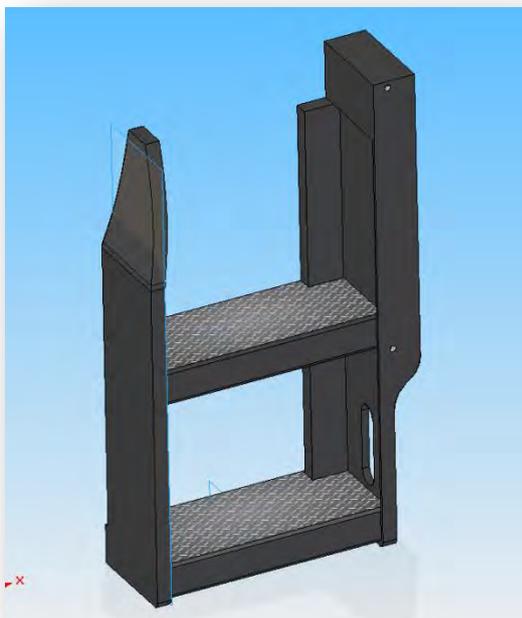


Figura 6.86. Escalerilla del testero.

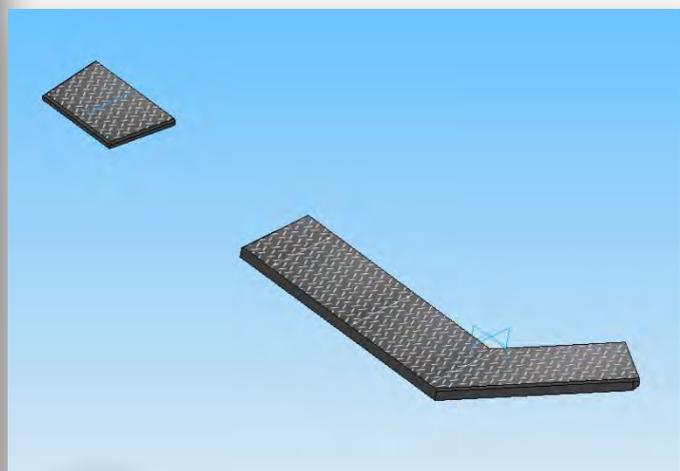


Figura 6.87. Pasarelas del testero.

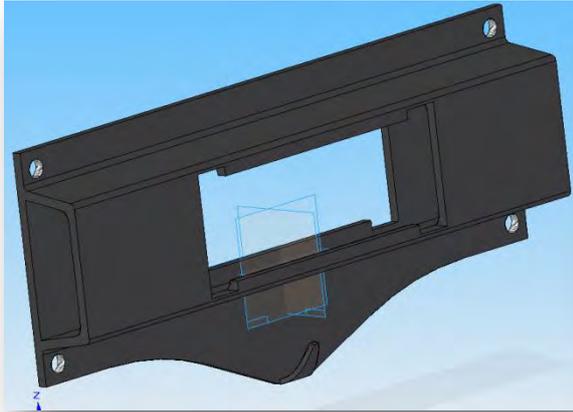


Figura 6.88. Placa porta-enganche.

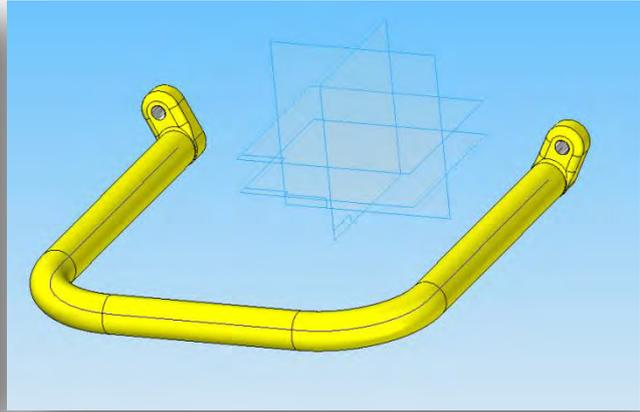


Figura 6.89. Barra auxiliar bajo el tope.



Figura 6.90. Aparato de aire acondicionado.

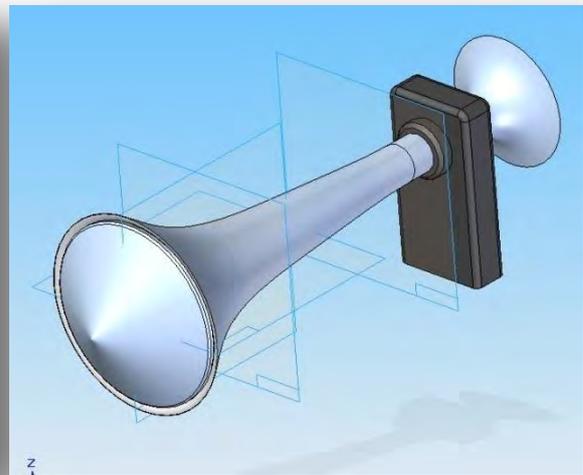


Figura 6.91. Bocina.



Figura 6.92. Cable rígido de alta tensión del techo.

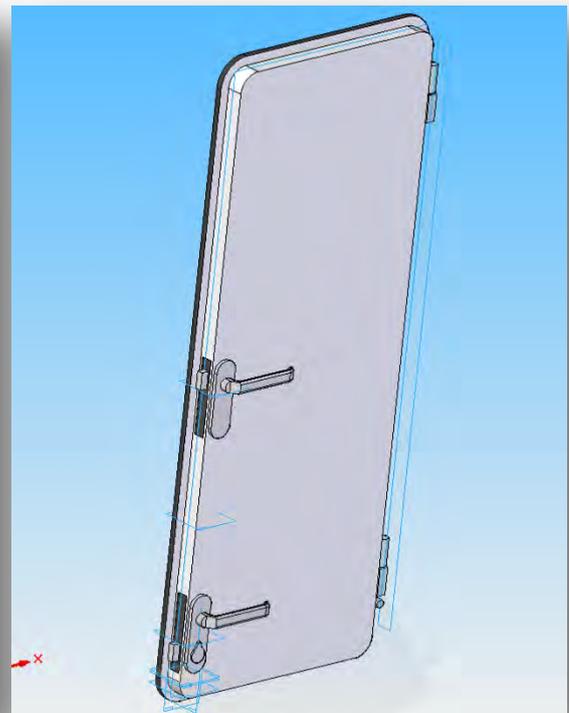


Figura 6.93. Puerta exterior de cabina.

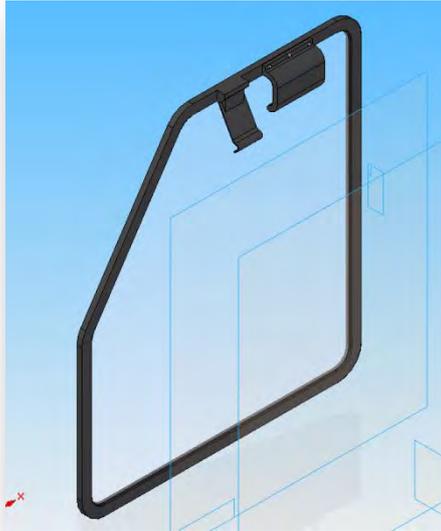


Figura 6.94. Ventana lateral de la cabina.

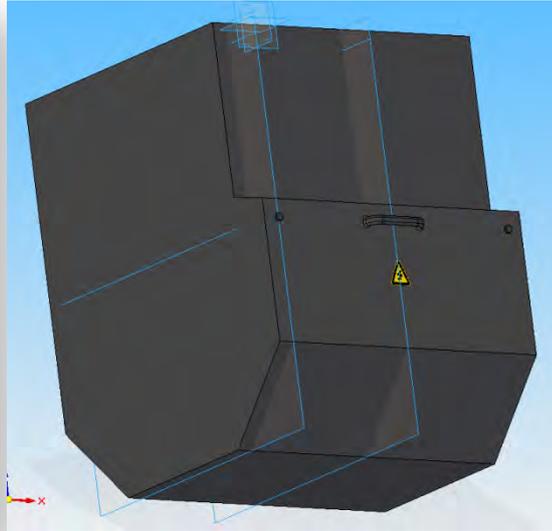


Figura 6.95. Equipo eléctrico bajo el bastidor.

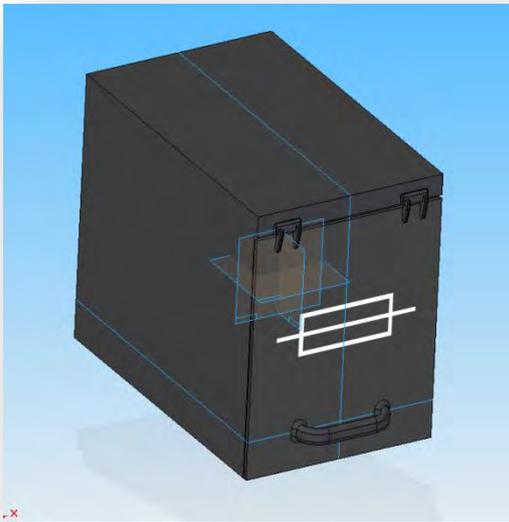


Figura 6.96. Armario bajo el bastidor.

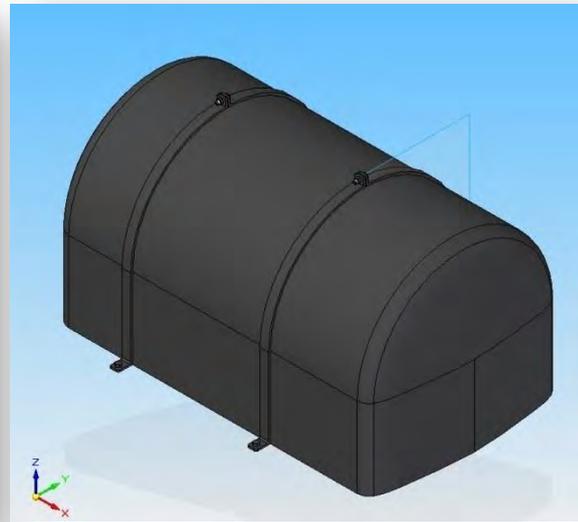


Figura 6.97. Depósito de aire comprimido.

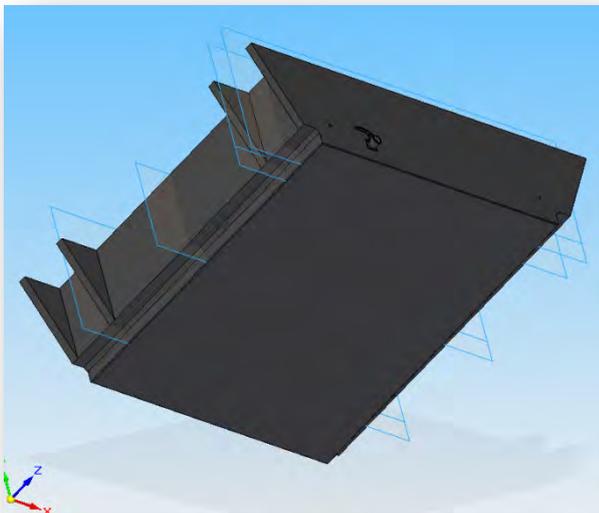


Figura 6.98. Elemento principal de los bajos.

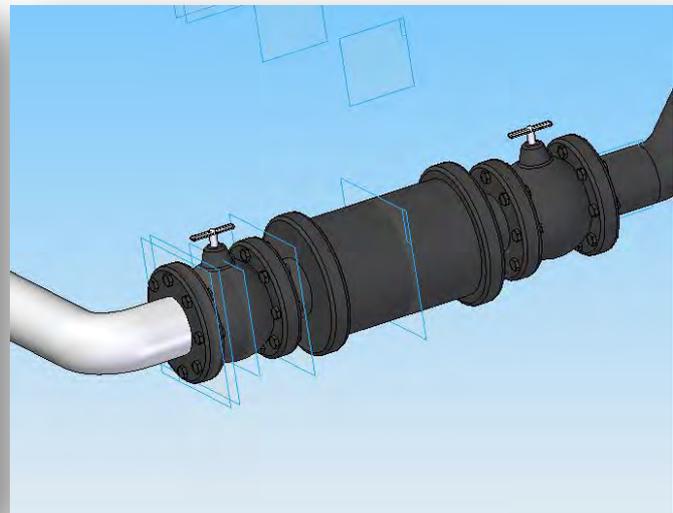


Figura 6.99. Detalle de las válvulas de bola.

Finalmente, de la figura 6.100. a la 6.102. se presenta el modelo de la locomotora S-253 terminado y montado:



Figura 6.100. Vista del testero.



Figuras 6.101. Vista en perspectiva.



Figuras 6.102. Vista lateral de la locomotora.

6.4. Materiales utilizados en la construcción de la locomotora

La locomotora 253 está fabricada con distintos tipos de materiales, ya que en la actualidad la fabricación es mucho más compleja y tiene que revelar más competitividad en precios que antaño, cuando en el ferrocarril prevalecía siempre el acero, si bien las piezas y partes de alta responsabilidad están realizadas en dicho material y debidamente soldadas.

El *bogie* está constituido por planchas de acero soldadas tipo EA1N, cuyo límite elástico tiene un valor de 379,3 (MPa) y su límite de rotura es de 578,3 (MPa). Su microestructura es la mostrada en la figura 6.103.:

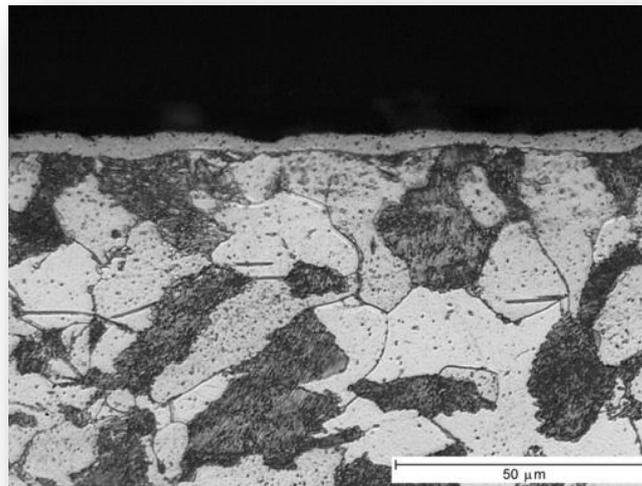


Figura 6.103. Microestructura del acero AE1N.

Según un documento del fabricante *Bombardier*, los materiales básicos para la fabricación, según su peso dentro del total, son los que aparecen en la relación de la tabla 6.8. La pintura con la que se recubre toda la máquina ha supuesto reducir en cinco litros el disolvente utilizado por cada locomotora. Así mismo, se ha reducido la pintura con isocianatos, ya que se ha reemplazado por otra basada en poliuretano. Algunos operadores ferroviarios piden un acabado especial antigraffiti.

Tabla 6.8. Kilogramos de cada tipo de material utilizados por locomotora.

Manufacturing materials*	Weight (kg/vehicle)*
Metals	73,842
Chemicals	3,713
Polymers	1,314
Other materials	584
Composites	327
Renewable materials	94
Unspecified	1,080
Total	80,954

* as of 2006



Figura 6.104. Testero en construcción.

Los estándares de construcción de hoy en día obligan a tener en cuenta en el diseño de productos su reciclaje o reutilización una vez que el elemento en cuestión ya ha dejado de ser útil. En la construcción de locomotoras también se cumple esta máxima, por lo que el fabricante expone el porcentaje de cada tipo de material que puede llegar a ser reciclado, (ver tabla 6.9.).

Tabla 6.9. Reciclaje de materiales.

Material group	Weight (%) [*]	Recyclability (%) [*]
Metals	91.2	99.9
Chemicals	4.6	73.5
Polymers	1.6	98.9
Other materials	0.72	0
Composites	0.4	0
Renewable materials	0.12	100
Unspecified	1.33	0
Total locomotive	100.00	96.3

* as of 2006

Por tanto, puede confirmarse que los materiales utilizados en la fabricación de la locomotora *Traxx* se muestran bastante propicios a ser reutilizados en el futuro, puesto que exceptuando los *composites* y otros tipos de materiales minoritarios (que no suponen más que un 2,5 % del total), todo el metal, polímeros o químicos podrán ser reciclados, lo que convierte a este modelo de máquina en una locomotora respetuosa con el medio ambiente.

Capítulo 7.

Cálculos y resultados

7.1. Cálculo de características de la S-253

En este apartado se procederán a presentar una serie de cálculos realizados a partir del propio diseño de la locomotora, de tal modo que permitan verificar sus aptitudes para condiciones de servicio.

7.1.1. Gráfica Esfuerzo Tractor - Velocidad

A partir de los datos técnicos facilitados por la operadora ferroviaria *Renfe* y de las exigencias del Administrador de Infraestructuras *ADIF*, se va a proceder a realizar un estudio de las capacidades máximas de este material tractor para verificar si en la actualidad se estarían utilizando todos los recursos de los que dispone a la hora del arrastre de trenes de mercancías, -en concreto de trenes *TECO*-, en uno de los tramos clásicos de la línea Imperial Madrid-Irún (tipo de tren y líneas habituales para la serie 253), el circundante a La Cañada, con 17 milésimas de rampa (ver Anexo 13.3) y radios de curva de hasta 377 metros.

Por otra parte, para proceder a este cálculo hay que tener conocimiento de las cargas que a día de hoy transportan estas locomotoras (en número de vagones) por ese trazado determinado. Haciendo un análisis estadístico a través de la mera observación de los tráfico que circulan por la línea, se obtiene lo siguiente:

Tabla 7.1. Estadística de observaciones.

Número de observaciones, N	20
Datos de las observaciones (número de vagones)	20, 21, 30, 16, 29, 20, 28, 21, 16, 17, 20, 28, 28, 27, 20, 20, 20, 18, 19, 23
Media de las observaciones, \bar{x}	23
Desviación típica, σ	4,66

Las limitaciones que el Administrador de Infraestructuras impone a los trenes de mercancías que circulen por este tramo de la línea es que su longitud máxima sea de 480 (m), ampliable de forma especial hasta los 550 (m), (ver Anexo 13.4). Tomando el valor de 480 (m) y suponiendo que el tren está formado únicamente por vagones plataforma tipo *Lgnss* (uno de los más comunes, ver figura 7.1.), con una longitud entre topes de 13,86 (m), se obtiene un tren formado por 34 vagones, muy superior a la media observada en la tabla 7.1.



Figura 7.1. Imagen de un vagón tipo *Lgnss*.

Sin embargo, se tomará el valor de 23, por si fuese menester valorar trenes de longitud superior *a posteriori*, puesto que a un convoy no le basta con poder circular a

cualquier velocidad; debe al menos conseguir alcanzar una velocidad de 50 (km/h) (como señaló Justo Arenillas en su informe desechado previo a la compra de las 253) para que el transporte sea efectivo y no se produzcan embotellamientos en líneas con tráfico de mercancías.

Por otra parte, es destacable que los trenes portacontenedores no tienen porqué ser trenes puros, es decir, que estén formados por un único tipo de vagón, pero es una situación que suele darse a menudo, por lo que se tomará así para el estudio.

A continuación se presentan los datos técnicos de los vagones tipo *Lgnss* que se utilizarán para este estudio, que pueden obtenerse en la propia *web* de la operadora. Junto con ellos, se utilizarán los datos proporcionados en la tabla 6.6., presentada en el apartado 6.2.1.

Tabla 7.2. Características técnicas de los vagones *Lgnss*.

Numeración	Nacional MC	470.001 a 470.100	470.101 a 470.800
	Internacional	22714433000-7 a 099-9	22714433100-5 a 799-4
Características Generales			
Carga Máxima t		32,5	33,0
Tara Media t		12,5	12,0
Peso por Eje t		22,5	
Freno		Aire Comprimido	
Velocidad km/h		120	
Long. entre Topes m		13,86	
Altura Máxima m		-	
Altura Apoyo Contenedores m		1,180	
Empate m		9,0	
Dimensiones Interiores			
Largo m		12,620	
Ancho m		2,770	
Superficie Útil m ²		-	
Otras Características			
Cambiador de Potencia		Dispositivo autocontinuo	
Aptos para Tráfico Internacional		Si	
Año de Construcción		1.991/1.992	1.989/1.991

La obtención del gráfico Esfuerzo Tractor - Velocidad se realiza con la ayuda de las siguientes ecuaciones, teniendo en cuenta que nunca puede superarse el esfuerzo tractor máximo:

$$F_{total} = \text{mín} (F_{máx.}, F_{T,pot}) \quad [7.1]$$

$$\text{Donde } F_{m\acute{a}x} = \frac{T_{m\acute{a}x}}{R_{rueda}} \text{ y } F_{T,pot} = \frac{\text{Potencia}}{V} \quad [7.2] \text{ y } [7.3]$$

Donde, a su vez:

- $T_{m\acute{a}x}$ es el par máximo en (kN·m)
- R_{rueda} es el radio de la rueda en (m)
- $Potencia$ es la potencia en (kW)
- V es la velocidad en (m/s)

Dado que el dato de $F_{m\acute{a}x}$ ha sido proporcionado en la tabla 6.6., con un valor de 300 (kN), tan sólo resta calcular la $F_{T,pot}$ y tomar, comparando ambas, la de menor valor. Véase pues, el cálculo en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Obtención de los valores para la representación gráfica Esfuerzo Tractor - Velocidad.

V (km/h)	V (m/s)	$F_{m\acute{a}x}$ (kN)	$F_{T,pot}$ (kN)	F_T (kN)
0	0,00	300	∞	300,00
20	5,56	300	971,22	300,00
40	11,11	300	486,05	300,00
60	16,67	300	323,93	300,00
80	22,22	300	243,02	243,02
100	27,78	300	194,38	194,38
120	33,33	300	162,02	162,02
140	38,89	300	138,85	138,85
160	44,44	300	121,51	121,51

Para comprobar de manera más visual el resultado de los cálculos anteriores, al término del siguiente apartado puede comprobarse, -en color granate-, la curva de la gráfica Esfuerzo Tractor - Velocidad.

7.1.2. Velocidad de régimen

Seguidamente se procede a calcular la velocidad de régimen, que representa la máxima velocidad que desarrolla un vehículo ferroviario circulando por un determinado trazado y donde su esfuerzo tractor neto es nulo.

Para ello, es necesario calcular las resistencias que debe vencer el tren en el tramo más crítico, que para este caso será el descrito con anterioridad.

$$R_{total} = R_{avance\ recta} + R_{avance\ curva} + R_{gravitatoria} \quad [7.4]$$

- La resistencia al avance en recta y horizontal viene dada por la ecuación de *Davis*. Se calcula por un lado la resistencia de la locomotora y por otra la de los vagones, haciendo uso de la tabla 7.4., que contiene datos genéricos de los coeficientes de la ecuación [7.5].

$$R_{avance\ recta} = M \cdot (a + b \cdot V + c \cdot V^2) \quad [7.5]$$

Donde:

M es la masa del vehículo en toneladas.

a , b y c son los coeficientes específicos de la ecuación de *Davis*.

V es la velocidad del tren en (km/h).

Tabla 7.4. Valores clásicos de los coeficientes específicos de la ecuación de *Davis*.

Tren	Coeficientes específicos		
	a (daN/t)	b (daN/t)/(km/h)	c (daN/t)/(km/h) ²
Locomotora BB	1,25	0,01	$3,750 \cdot 10^{-4}$
Locomotora CC	1,20	0,01	$2,500 \cdot 10^{-4}$
Clásico viajeros	1,50 - 2,00	0,00	$2,222 \cdot 10^{-4}$
Mercancías de <i>bogies</i>	1,50 - 2,00	0,00	$2,500 \cdot 10^{-4}$
Mercancías clásico	1,50 - 2,00	0,00	$6,250 \cdot 10^{-4}$

Por tanto, se utilizarán los siguientes valores para el cálculo:

Tabla 7.5. Valores utilizados para calcular la resistencia en recta en función de la velocidad.

Vehículo	Masa (t)	a (daN/t)	b (daN/t)/(km/h)	c (daN/t)/(km/h) ²
Locomotora 253 (tipo BB)	87	1,25	0,01	$3,750 \cdot 10^{-4}$
Vagón <i>Lgnss</i> (de ejes)	33+12=45	1,75	0,00	$6,250 \cdot 10^{-4}$

Y la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$R_{avance\ recta} = 87 \cdot (1,25 + 0,01 \cdot V + 3,75 \cdot 10^{-4} \cdot V^2) + 23 \cdot 45 \cdot (1,75 + 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot V^2) \quad [7.6]$$

- Para la resistencia en curva, y dado que el ancho de vía ibérico son 1668 (mm), se utilizará la expresión:

$$R_{avance\ curva} = \frac{800}{R} \cdot M \quad [7.7]$$

Donde:

R es el radio de la curva en metros.

- Para la resistencia gravitatoria, se utiliza ésta otra:

$$R_{gravitatoria} = M \cdot i \quad [7.8]$$

Donde:

i es la pendiente en milésimas (mm/m).

Finalmente se obtiene la tabla 7.6., que proporciona los datos suficientes para elaborar un gráfico donde visualmente se observe la velocidad de régimen, que es la intersección de la curva Esfuerzo Tractor - Velocidad calculada en el apartado 7.1.1 y la curva de Resistencias:

Tabla 7.6. Resistencias en función de la velocidad.

V (km/h)	R_{ar} (daN)	R_{ac} (daN)	R_{ag} (daN)	R_{total} (daN)	R_{total} (kN)
0	1920,00	2380,90	19074	23374,90	233,7490
20	2209,20	2380,90	19074	23664,10	236,6410
40	3042,00	2380,90	19074	24496,90	244,9690
60	4418,40	2380,90	19074	25873,30	258,7330
80	6338,40	2380,90	19074	27793,30	277,9330
100	8802,00	2380,90	19074	30256,90	302,5690
120	11809,20	2380,90	19074	33264,10	332,6410
140	15360,00	2380,90	19074	36814,90	368,1490
160	19454,40	2380,90	19074	40909,30	409,0930

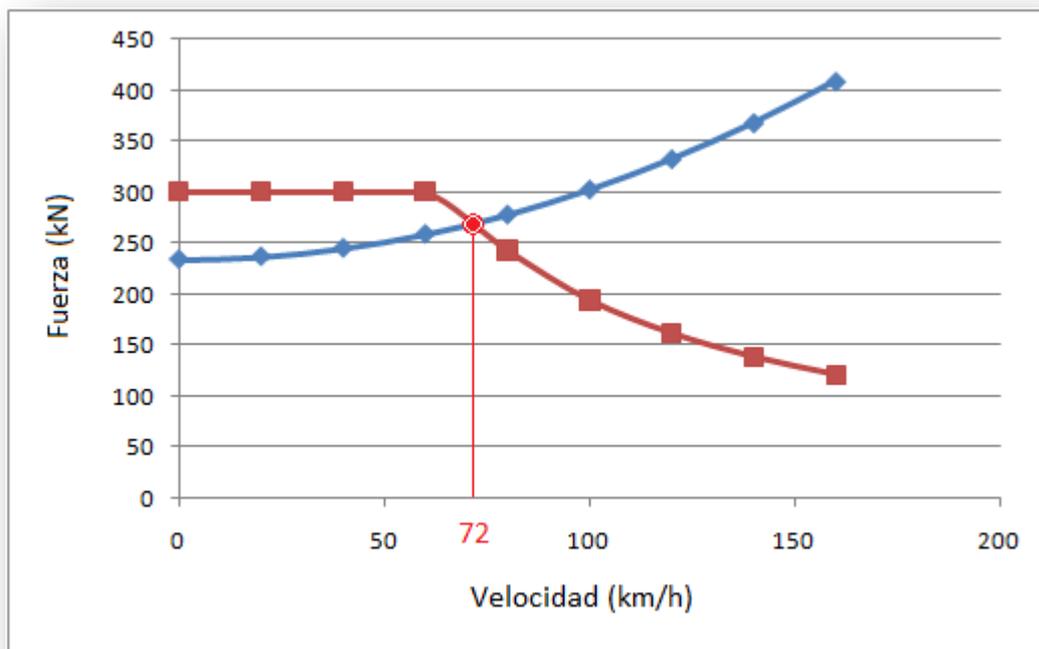


Figura 7.2. Gráfica Esfuerzo Tractor-Velocidad y Resistencias.

La velocidad de régimen para las condiciones dadas está en 72 (km/h). Teniendo en cuenta que sería admisible una velocidad mínima de 50 (km/h) y observando los datos de la tabla 7.6., un convoy con 30 vagones sería posible si éste no circulase cargado al máximo, puesto que si se diese ese caso, en el momento del arranque ya se estaría muy próximo al límite de 300 (kN).

A la vista de los resultados, por consiguiente, puede considerarse que de ser utilizada en estos términos, la locomotora 253 se estaría aprovechando de forma eficaz, aún teniendo en cuenta que la adherencia puede variar considerablemente, teniendo en cuenta que el trazado estudiado (al igual que otros muchos de la red

ferroviaria española) sufren intensas heladas en los meses de invierno, que minimizan la posibilidad de una buena adherencia. Para contrarrestar este hecho, las locomotoras modernas poseen equipos de cálculo avanzados que permiten al agente de conducción relegar la tarea de conseguir más adherencia al computador central de la máquina. Gracias a las nuevas tecnologías, el reconocido Justo Arenillas preveía el logro de valores cercanos a 0,4 el índice de adherencia que pueda llegar a conseguirse hoy en día.

7.1.3. Carga remolcable máxima según rampa

A continuación, atendiendo a las milésimas que pueda caracterizar una rampa, se exponen las cargas máximas que la locomotora 253 puede arrastrar. Se tomará el caso de rampa en línea recta y a una velocidad máxima de 50 (km/h), -300 (kN) de esfuerzo tractor-.

Para realizar los cálculos, basta con utilizar las ecuaciones [7.6] y [7.8].

Tabla 7.7. Cargas máximas remolcables.

Pendiente (mm/m)	Carga máxima (t)
0	5535,03
10	1733,80
20	988,89
30	676,79

Observando esta tabla, se deduce rápidamente el número de vagones que, como el descrito al comienzo, pueden ser arrastrados por la locomotora 253: en llano, hasta 123 vagones (situación que nunca puede darse, porque los trazados no son llanos); con 10 milésimas, 38 vagones; con 20 milésimas, 21 vagones y con 30 milésimas (también caso extremo), un total de 15 vagones.

7.1.4. Potencia de adherencia

El esfuerzo máximo de tracción sucede en el momento del arranque de un tren, situación en la cual la adherencia disponible será máxima. La potencia que puede conseguirse en dicho momento, medida en caballos, se corresponde con la siguiente expresión:

$$P_{adh} = \left(\frac{\mu}{1 + 0,01 \cdot V} \right) \cdot \frac{P_a \cdot V}{270} \quad [7.9]$$

Donde:

P_a es el peso de la locomotora en (kg).

μ es el coeficiente de adherencia.

V es la velocidad en (km/h).

Se supondrá un valor de adherencia constante de 0,2; algo habitual. Así, se obtiene la siguiente tabla 7.8., que muestra la potencia en función de la velocidad:

Tabla 7.8. Resultados de la potencia de adherencia.

Velocidad (km/h)	P_{adh} (CV)	P_{adh} (kW)
0	0	0
20	1074,07	789,97
40	1841,27	1354,25
60	2416,66	1777,45
80	2864,19	2106,60
100	3222,22	2369,94
120	3515,15	2585,38
140	3759,26	2764,93
160	3965,81	2916,84

Los valores de potencia están por debajo de los 5400 (kW) desarrollables por la locomotora, por lo que se podrían suponer valores superiores de adherencia.

7.1.5. Potencia en llanta

Es la potencia que la locomotora logra desarrollar en la banda de rodadura de la rueda, en contacto con el raíl. Se calcula en (CV) mediante la expresión [7.10]:

$$P_{llanta} = \frac{F_T \cdot V}{270} \quad [7.10]$$

Donde:

F_T es el esfuerzo máximo de tracción en (kg).

V es la velocidad en (km/h).

El esfuerzo tractor se toma de la tabla de resultados 7.3., ya que depende de la velocidad.

Tabla 7.9. Resultados de la potencia en llanta.

Velocidad (km/h)	F_T (kN)	F_T (kg)	P_{llanta} (CV)	P_{llanta} (kW)
0	300,00	30581,04	0	0
20	300,00	30581,04	2265,26	1666,07
40	300,00	30581,04	4530,52	3332,15
60	300,00	30581,04	6795,78	4998,23
80	243,02	24772,68	7340,05	5398,53
100	194,38	19814,47	7338,69	5397,53
120	162,02	16515,80	7340,35	5398,75
140	138,85	14153,92	7339,06	5397,80
160	121,51	12386,34	7340,05	5398,53

La potencia máxima que la 253 desarrolla en llanta a su máxima velocidad (que son 140 (km/h), aunque para su homologación se requiere al menos un 10% más de velocidad) es de aproximadamente 5400 (kW), el máximo desarrollable por sus motores.

7.1.6. Potencia de resistencia

Como su propio nombre indica, se trata de la potencia, -medida en caballos de vapor-, necesaria para superar la resistencia total al movimiento de la máquina. Depende del rendimiento del motor (que se supondrá en un 80%) y del coeficiente de servicio, que indica las condiciones no previstas de demanda de potencia, que se supondrá con un valor de 1,7.

$$P_r = \frac{R \cdot V}{270} \cdot \frac{k}{\eta} \quad [7.11]$$

Donde:

R es la resistencia total en recta y horizontal de la locomotora en (kg).

η es el rendimiento del motor.

k es el coeficiente de servicio.

V es la velocidad en (km/h).

De la ecuación [7.11] se obtienen una serie de resultados, reflejados en la tabla 7.10.

Tabla 7.10. Resultados de la potencia de resistencia.

Velocidad (km/h)	R (kg)	P_r (CV)	P_r (kW)
0	110,85	0	0
20	141,89	22,33	16,42
40	199,54	62,82	46,20
60	283,79	134,01	98,56
80	394,65	248,48	182,75
100	532,11	418,79	308,01
120	696,17	657,49	483,57
140	886,85	977,17	718,70
160	1104,13	1390,38	1022,61

7.1.7. Potencia en el gancho

Se trata de la potencia efectiva necesaria para el arrastre de un convoy, de tal manera que se calcula como la diferencia entre la potencia que la locomotora desarrolla en llanta y la potencia de resistencia, según indica la ecuación [7.12].

$$P_g = P_{llanta} - P_r \quad [7.12]$$

Tabla 7.11. Resultados de la potencia en el gancho.

Velocidad (km/h)	P_g (CV)	P_g (kW)
0	0	0
20	2242,93	1649,65
40	4467,70	3285,95
60	6661,77	4899,67
80	7091,57	5215,78
100	6919,90	5089,52
120	6682,86	4915,18
140	6361,89	4679,10
160	5949,67	4375,92

7.1.8. Esfuerzo de tracción neto, ETN

Es uno de los datos clave para cualquier material tractor, ya que informa acerca de la diferencia entre el esfuerzo máximo de la locomotora y la resistencia en recta y horizontal del convoy completo. Se calcula mediante las ecuaciones [7.13] y [7.14].

$$ETN = F_g - R_{vag,ar} \quad [7.13]$$

$$F_g = F_T - R_{loc,ar} \quad [7.14]$$

Donde:

F_T es el esfuerzo tractor máximo en (kN).

$R_{vag,ar}$ es la resistencia en recta y horizontal de los vagones en (kN).

$R_{loc,ar}$ es la resistencia en recta y horizontal de la máquina en (kN).

De esta manera se obtiene, para cada velocidad, el máximo esfuerzo para el tipo de tren que se ha caracterizado al comienzo del apartado 7.1.

Tabla 7.12. Resultados del ETN.

Velocidad (km/h)	F_T (kN)	$R_{loc,ar}$ (kN)	$R_{vag,ar}$ (kN)	F_g (kN)	ETN (kN)	ETN (t)
0	300,00	1,09	18,11	298,91	280,80	28,62
20	300,00	1,39	20,70	298,61	277,91	28,33
40	300,00	1,96	28,46	298,04	269,58	27,48
60	300,00	2,78	41,40	297,22	255,82	26,07
80	243,02	3,87	59,51	239,15	179,64	18,31
100	194,38	5,22	82,80	189,16	106,36	10,84
120	162,02	6,83	111,26	155,19	43,93	4,48
140	138,85	8,70	144,90	130,15	-14,75	-1,50
160	121,51	10,83	183,71	110,68	-73,03	-7,44

Puede observarse que hasta una velocidad de 120 (km/h) , -e incluso algo más-, la máquina es capaz de traccionar el tren de 23 vagones de 45 (t) cada uno que se había especificado. Sin embargo, llega un punto en que ya no es posible con sólo una locomotora realizar ese esfuerzo a esas velocidades. No obstante, los vagones tipo *Lgnss* tienen fijada como velocidad máxima 100 (km/h), -al igual que casi todo vagón de mercancías-, por lo que aunque la locomotora tenga capacidad para llevarlo a mayor velocidad, las especificaciones del vagón se lo impiden (aparte, claro está, de los límites de velocidad en la línea). La velocidad máxima de cualquier tipo de tren, ya sea de viajeros o de mercancías, queda estipulada por la velocidad máxima que pueda alcanzar el coche o vagón más lento dentro de la composición.

7.1.9. Capacidad de arrastre o de tracción

Es el último cálculo que viene a colación de todos los anteriores, que permite conocer la fuerza máxima necesaria para transportar el número máximo de vagones sin que los motores sufran recalentamiento. Esta característica se mide en toneladas, según indica la ecuación [7.15]:

$$CA = \frac{ETN}{r_{av} + r_{ag}} \quad [7.15]$$

Donde:

ETN es el esfuerzo de tracción neto en (kg).

r_{av} es la resistencia específica en recta y horizontal de los vagones en (kg/t).

r_{ag} es la resistencia específica en gradiente (kg/t).

Tabla 7.13. Resultados de la capacidad de arrastre.

Velocidad (km/h)	r_{av} (kg/t)	r_{ag} (kg/t)	CA (t)
0	1,78	17,32	1498,43
20	2,04	17,32	1463,33
40	2,80	17,32	1365,80
60	4,07	17,32	1218,79
80	5,86	17,32	789,90
100	8,15	17,32	425,60
120	10,96	17,32	158,42
140	14,27	17,32	-47,48
160	18,09	17,32	-210,11

Como resulta obvio, vuelven a reflejarse resultados similares a los del esfuerzo de tracción neto, en cuanto a posibilidades a partir de ciertas velocidades.

7.1.10. Distancia de parada

A continuación se va a realizar el cálculo para determinar la distancia mínima de frenada en el caso de la locomotora aislada y en el del convoy con 23 vagones, para diferentes valores de coeficiente de adherencia.

Se utilizará la clásica Ley de Newton y la ecuación del movimiento uniforme [7.16] y [7.19]:

$$-F_{freno} - R_{ar} - R_{ag} - R_{ac} + R_i = m \cdot a \quad [7.16]$$

Donde:

F_{freno} es la fuerza de frenado en (N).

R_{ar} , R_{ag} , R_{ac} y R_i son las resistencias en horizontal y línea recta, gravitatoria, en curva y de inercia, respectivamente, medidas en (N). La resistencia de inercia suma porque impide el frenado.

Simplificando (R_{ag} y R_{ac} se suponen nulas), se obtiene lo siguiente:

$$-F_{freno} - R_{ar} + R_i = m \cdot a \quad [7.17]$$

Y a su vez (μ , coeficiente de adherencia; g , aceleración de la gravedad):

$$-\mu \cdot m \cdot g - r_{ar} \cdot m + r_i \cdot m = m \cdot a \quad [7.18]$$

En la tabla 7.14. se obtienen las distancias de frenado para la locomotora aislada dependiendo del coeficiente de adherencia y de la velocidad. Previamente, de la ecuación [7.18] se obtiene el valor de la desaceleración, ($r_i=0,15$) que se introduce en [7.19] para hallar la distancia:

$$s = \frac{V^2}{2 \cdot a} \quad [7.19]$$

Tabla 7.14. Distancia de parada de la locomotora aislada.

Coeficiente de adherencia, μ	Velocidad, V (km/h)	Desaceleración, a (m/s^2)	Distancia de parada, s (m)
0,10	50	-0,857	112,54
	100	-0,891	432,99
	140	-0,931	812,21
0,20	50	-1,838	52,47
	100	-1,872	206,09
	140	-1,912	395,49
0,30	50	-2,819	34,21
	100	-2,853	135,23
	140	-2,893	261,38
0,40	50	-3,801	25,37
	100	-3,834	100,63
	140	-3,874	195,19

Esta tabla resulta muy útil para el personal de conducción a la hora de frenar, ya que a pesar de desconocer el coeficiente de adherencia, pueden estimar un rango de distancias mínimo para realizar con seguridad la frenada. Pueden comprobarse las diferencias en las distancias dependiendo del estado de la vía, que es, en definitiva, la característica que determina el valor del coeficiente.

A continuación, se exponen los cálculos realizados para determinar la distancia de parada de un tren formado por 23 vagones de 45 (t) cada uno. Para ello, se recurrirá a la *Fórmula de Maison*, para lo cual hay que calcular previamente el coeficiente de freno instantáneo, según indican las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{P'}{P} = \frac{Q \cdot \mu_z}{P \cdot \mu} \leq 1 \quad [7.20]$$

Donde:

Q es el esfuerzo ejercido por cada par de zapatas, de valor $(2/3) \cdot P$.

P es el peso del tren.

μ_z es el coeficiente de rozamiento rueda-zapata, de valor 0,15.

μ es el coeficiente de rozamiento rueda-carril.

Después se introduce su valor en la *Fórmula de Maison* y se despeja el valor de la distancia de parada, L :

$$\lambda = \frac{P'}{P} = \frac{1}{1000 \cdot \varphi} \cdot \left[\left(\frac{4,24}{L} - 0,0006 \right) \cdot V^2 - 3 + i \right] \quad [7.21]$$

Donde:

φ es un coeficiente de valor 0,10 para pendientes inferiores al 15 ‰.

V es la velocidad del tren en (km/h).

i es la pendiente o rampa, si la hubiere, en (mm/m).

Dependiendo del valor del coeficiente de rozamiento entre rueda y raíl, se determinan las siguientes posibles longitudes de parada, dependiendo, a su vez, de la velocidad, (ver tabla 7.15.).

Tabla 7.15. Distancia de parada de un tren con 23 vagones.

Coeficiente de adherencia, μ	Coef. de freno instantáneo, λ	Velocidad, V (km/h)	Distancia de parada, L (m)
0,10	1,00	50	101,43
		100	388,99
0,20	0,50	50	194,49
		100	718,64
0,30	0,33	50	282,66
		100	1087,18
0,40	0,25	50	359,32
		100	1247,06

7.1.11. Aceleración residual

La aceleración residual indica el valor de la rampa que se puede superar gracias a ese restante empuje extra que aún se le puede dar al tren. Servirá, pues, como coeficiente de seguridad para asegurar la tracción del tren. Tomando el ejemplo que se viene repitiendo en apartados anteriores, -tren de 23 vagones-, la aceleración residual se calcula con la ecuación [7.22] que aparece a continuación.

$$F_T - R_{ar} - R_{ag} - R_{ac} = \xi \cdot m \cdot a_{res} \quad [7.22]$$

Donde:

F_T es el esfuerzo tractor en (N).

R_{ar} , R_{ag} y R_{ac} son las resistencias en horizontal y línea recta, gravitatoria, en curva y de inercia, respectivamente, medidas en (N).

ξ es el coeficiente de masas rotativas, de valor 1,07.

Es muy similar a la anterior ecuación [7.16], con la salvedad que en la presente se tiene en cuenta el esfuerzo tractor y no la fuerza de frenado. De nuevo en ésta, R_{ag} y R_{ac} se suponen nulas. Despejando de [7.22] el valor de a_{res} , se obtiene la tabla 7.16.

Tabla 7.16. Valor de la aceleración residual según velocidad.

Velocidad (km/h)	F_T (N)	R_{ar} (N)	Aceleración residual, a_{res} (m/s ²)
0	300000	19200	0,233
20	300000	22092	0,231
40	300000	30420	0,224
60	300000	44184	0,213
80	243020	63384	0,149
100	194380	88020	0,088
120	162020	118092	0,036
140	138850	153600	-0,012
160	121510	194540	-0,061

Cabe observar que la aceleración residual guarda un valor positivo hasta una velocidad de 120 (km/h), lo cual quiere decir que hasta esa velocidad (se recuerda que la máxima son 100), la locomotora podría traccionar su convoy de 1035 (t) sin problemas.

7.1.12. Masa máxima limitada por la fuerza de los enganches

Los enganches son los puntos que más sufren en una composición ferroviaria, ya que es en ellos donde recae la responsabilidad de la tracción, sobre todo en el que une la parte remolcada de la composición con la tractora, es decir, el enganche entre locomotora y vagones. Pueden llegar a transmitir en torno a 850 (kN), al que hay que

aplicar el correspondiente factor de seguridad. De este modo, mediante la ecuación [7.23], se calcula la carga en toneladas que se puede remolcar, en función de la velocidad y de la rampa.

$$C_{enganche} = \frac{36 \cdot 10^3}{r + (i + 1)} \quad [7.23]$$

Donde:

r es la resistencia específica al avance del material remolcado, (daN/t).

i es la rampa en milésimas, (mm/m).

Para el caso del tren estudiado, la carga máxima queda referida en la siguiente tabla 7.17.

Tabla 7.17. Carga máxima limitada por los enganches.

Rampa (mm/m)	Velocidad (km/h)	r (daN/t)	$C_{enganche}$ (t)
5	50	2,8125	4085,10
10			2606,33
15			1913,62
20			1511,81
25			1249,45
30			1064,69

Haciendo una comparativa con la tabla 7.13., puede comprobarse que la fuerza de arrastre que puede proporcionar el enganche es superior a la que puede traccionar la propia locomotora según su motorización, por lo que para este caso no supone un problema la resistencia de las uniones entre vehículos.

7.1.13. Características de los frenos de disco

En el presente apartado se van a calcular las fuerzas y momentos que se generan en los discos de freno de la locomotora, atendiendo a si se trata de frenos nuevos (con desgaste variable) o ya se encuentran desgastados (desgaste constante).

Es por ello que el primer paso consiste en tener una referencia dimensional de las pastillas instaladas en la locomotora, cuyas dimensiones son las que aparecen reflejadas en la figura 7.3. de la página siguiente.

Seguidamente, se procederá a calcular la fuerza normal, la fuerza total de rozamiento y el par de frenada para ambos casos (freno nuevo y viejo).

Para el caso de freno nuevo, se considerará la hipótesis de presión constante, mientras que para el caso del freno viejo o desgastado se tomará la consideración que aparece en la ecuación [7.24].

$$p \cdot r = p_a \cdot R_i \quad [7.24]$$

Donde:

p y r son una presión y un radio, respectivamente.

p_a es una presión calculada con una expresión específica.

R_i es el radio interior de la zapata.

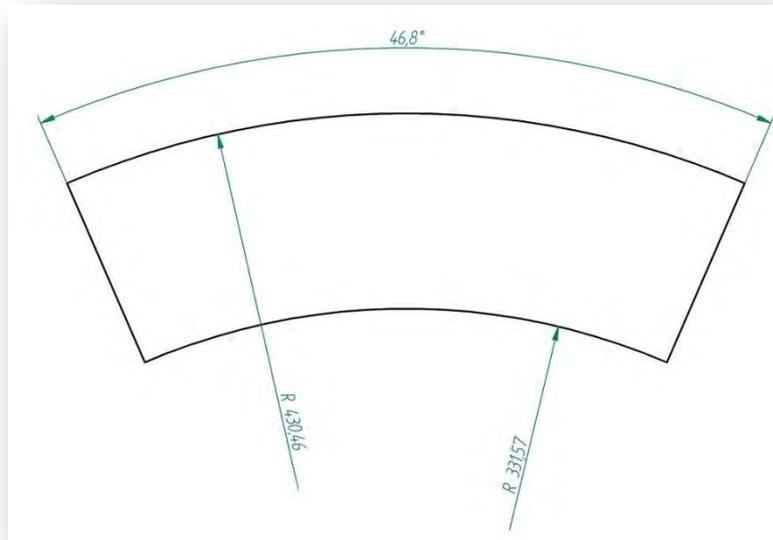


Figura 7.3. Esquema de las pastillas de freno con sus dimensiones.

La presión que se ejerce en el pistón es la presión de la tubería de freno, de valor 5 (kg/cm²).

Freno nuevo (p = cte):

Fuerza de accionamiento sobre cada pastilla:

$$T = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot P_h \quad [7.25]$$

Donde:

d es el diámetro del bombín en (m).

P_h es la presión que se ejerce en (Pa).

Tabla 7.18. Fuerza de accionamiento del freno de disco.

<i>d</i> (m)	<i>P_h</i> (Pa)	<i>T</i> (N)
0,150	490500	8667,85

Presión en la pastilla:

$$p = \frac{T}{S_{PASTILLA}} = \frac{T}{\frac{\alpha \cdot (R_e^2 - R_i^2)}{2}} \quad [7.26]$$

Donde:

α es el ángulo que abarca la pastilla (rad).

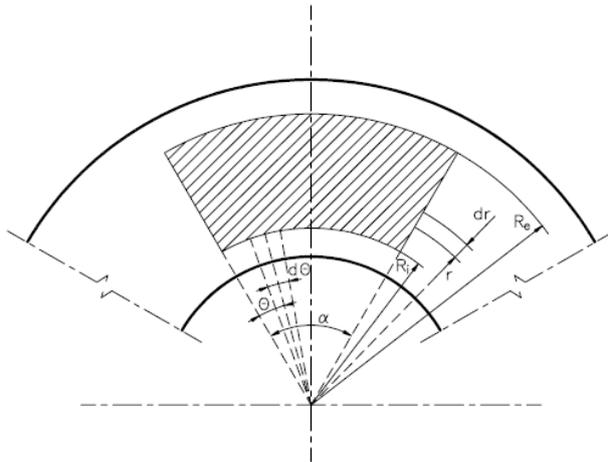
R_e y *R_i* son los radios exterior e interior de la pastilla (m).

Tabla 7.19. Presión en la pastilla de freno.

<i>R_e</i> (m)	<i>R_i</i> (m)	α (rad)	<i>p</i> (Pa)
0,43046	0,33157	0,8168	281644,46

Fuerza normal:

Es la fuerza que se ejerce perpendicularmente a la superficie de la pastilla de freno. Coincide con la fuerza de accionamiento sobre cada pastilla, según [7.30]:



$$dF_n = p \cdot dS = p \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.27]$$

$$F_n = \int_0^\alpha \int_{R_i}^{R_e} p \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.28]$$

$$F_n = \frac{1}{2} \cdot p \cdot \alpha \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad [7.29]$$

$$F_n = T \quad [7.30]$$

Figura 7.4. Parámetros de la pastilla de freno.

Fuerza total de rozamiento:

Es la fuerza tangencial que ejerce la pastilla sobre el disco, que se calcula como se indica en la ecuación [7.31] y posteriores:

$$dF_t = \mu \cdot p \cdot dS = \mu \cdot p \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.31]$$

$$F_t = \int_0^\alpha \int_{R_i}^{R_e} \mu \cdot p \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.32]$$

$$F_t = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot p \cdot \alpha \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad [7.33]$$

Suponiendo que el rozamiento entre pastilla y disco tiene un coeficiente de valor 0,3, la fuerza total de rozamiento es $F_T = 2600,25 \text{ (N)}$.

Par de frenada:

Indica cuál es el valor del momento que se genera en el instante de aplicar el freno:

$$dN = r \cdot dF_t = \mu \cdot p \cdot r^2 \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.34]$$

$$N = \int_0^\alpha \int_{R_i}^{R_e} \mu \cdot p \cdot r^2 \cdot dr \cdot d\theta \quad [7.35]$$

$$\text{Una superficie} \Rightarrow N = \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot p \cdot \alpha \cdot (R_e^3 - R_i^3) \quad [7.36]$$

$$\text{Dos superficies} \Rightarrow N = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot p \cdot \alpha \cdot (R_e^3 - R_i^3) \quad [7.37]$$

Por consiguiente, utilizando la ecuación [7.37], se consigue un par total de frenada de valor $N = 1992,67 \text{ (N}\cdot\text{m)}$.

Freno viejo ($p \neq \text{cte}$):

Fuerza normal:

De nuevo, utilizando las ecuaciones [7.27] y [7.28], y realizando el cambio apuntado en la expresión [7.24], se obtiene la ecuación [7.38].

$$F_n = p_a \cdot \alpha \cdot R_i \cdot (R_e - R_i) \quad [7.38]$$

Para hallar el valor de F_n habrá que recurrir al siguiente apartado.

Obtención de p_a :

Para obtener el parámetro p_a al que se hace referencia en la ecuación [7.24], se procede a utilizar las expresiones [7.25] y [7.38], de tal manera que de ellas se despeje el valor requerido.

$$p_a = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot P_h}{4 \cdot \alpha \cdot R_i \cdot (R_e - R_i)} \quad [7.39]$$

El valor de p_a es finalmente de 323644,38 (Pa), por lo que vuelve a cumplirse la igualdad [7.30].

Fuerza total de rozamiento:

Haciendo uso de las ecuaciones [7.31] y [7.32], junto con [7.24], se llega a la expresión [7.40].

$$F_t = \mu \cdot p_a \cdot \alpha \cdot R_i \cdot (R_e - R_i) \quad [7.40]$$

Su valor equivale a $F_n \cdot \mu$, y es de $F_T = 2600,35 \text{ (N)}$.

Par de frenada:

Por último, usando las expresiones [7.34] y [7.35] de nuevo, se obtendrá la [7.42] haciendo uso previamente de la condición [7.24].

$$\text{Una superficie} \Rightarrow N = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot p_a \cdot \alpha \cdot R_i \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad [7.41]$$

$$\text{Dos superficies} \Rightarrow N = \mu \cdot p_a \cdot \alpha \cdot R_i \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad [7.42]$$

Su solución da como resultado un momento de valor $N = 1981,55 \text{ (N}\cdot\text{m)}$.

Como conclusión de este apartado puede determinarse que mientras las fuerzas totales de las pastillas son prácticamente iguales nuevas o viejas, el par de frenada resultante cuando éstas se encuentran desgastadas es ligeramente inferior al que proporciona cuando están recién puestas.

7.1.14. Fuerzas generadas en la reductora

Las dos ruedas dentadas que forman la reductora de la locomotora S-253 son dos engranajes de dentado recto que son capaces de transmitir los 1350 (kW) de potencia del motor eléctrico al eje. En el punto de unión de ambos se generan una serie de fuerzas y pares que se procederán a calcular a continuación:

Tabla 7.20. Parámetros necesarios para el cálculo de esfuerzos en la reductora.

Parámetro	Valor
Potencia máxima a transmitir	1350 (kW)
Relación de transmisión	5,2272
Velocidad de giro del piñón	12194,32 (rpm) ó 3,54 (rad/s)
Velocidad de giro de la corona	2332,86 (rpm) ó 0,68 (rad/s)
Radio primitivo del piñón	82,3 (mm)
Radio primitivo de la corona	441,61(mm)

La fuerza tangencial que se ejerce se calcula mediante la expresión [7.43].

$$F_t = \frac{W}{\omega \cdot r} \quad [7.43]$$

El par será como muestra la ecuación [7.44].

$$T = r \cdot F_t \quad [7.44]$$

La fuerza radial se expresa como sigue:

$$F_r = \text{tag}(\alpha) \cdot F_t \quad [7.45]$$

Y la fuerza total, será unión de sus componentes tangencial y radial:

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} \quad [7.46]$$

A partir de todas las expresiones anteriores se calculan los valores que aparecen reflejados en la tabla 7.21. El valor del ángulo de contacto α es 5° .

Tabla 7.21. Esfuerzos en cada una de las dos ruedas dentadas.

	Piñón	Corona
Fuerza tangencial (kN)	4633,73	4495,58
Fuerza radial (kN)	405,40	393,31
Fuerza total (kN)	4651,43	4512,75
Par (N·m)	381355,93	1985294,12

7.1.15. Suspensiones primaria y secundaria

En este apartado se van a presentar las características de los principales elementos que conforman estos dos tipos de suspensiones, que son los resortes helicoidales.

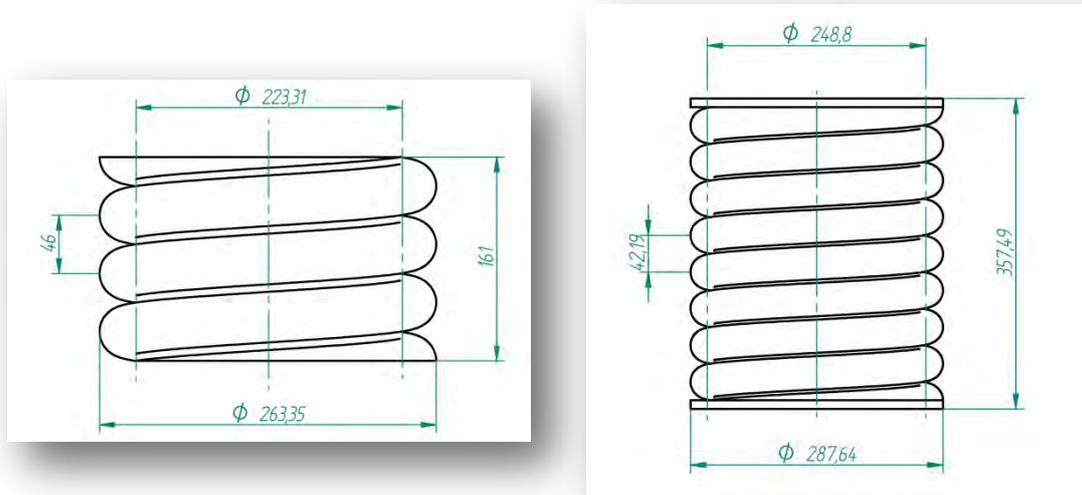


Figura 7.5. Esquemas de ambos resortes con longitud instalada.

Para realizar los cálculos, se utilizará la siguiente batería de ecuaciones que se expone en la tabla 7.22.:

Tabla 7.22. Parámetros y magnitudes de los dos resortes.

Magnitud	Expresión	Resorte suspensión primaria	Resorte suspensión secundaria
Diámetro medio de espira	D	223,31 (mm)	248,80 (mm)
Diámetro de hilo	d	40 (mm)	38,37 (mm)
Índice de curvatura	$C = D/d$	5,583	6,484
Constante de Wahl	$K_W = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C}$	1,274	1,232
Carga axial	F	40260,24 (N)	67443,75 (N)
Tensión cortante máxima del muelle	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{8 \cdot F \cdot D \cdot K_W}{\pi \cdot d^3}$	455,74 (MPa)	931,89 (MPa)
Número de espiras útiles	N	3	7
Número total de espiras	$N_T = N + 1,65^{0,15}$	4	8
Deformación bajo carga F	$\Delta y = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot N}{G \cdot d^4}$	52,54 (mm)	335,45 (mm)
Longitud libre	L_0	213,54 (mm)	692,94 (mm)
Longitud bajo carga	$L = L_0 - \Delta y$	161 (mm)	357,49 (mm)
Rigidez	$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot N}$	766291,83 (N/m)	201056,46 (N/m)

7.1.16. Estudio aerodinámico en 2D

Los estudios aerodinámicos representan una parte esencial en el desarrollo de un producto que tiene como objetivo el transporte, ya sea de personas o de mercancías, siendo cierto que en el ámbito de pasajeros es mucho más relevante, ya que los actuales trenes de Alta Velocidad tienen que encontrar un fino equilibrio entre un menor rozamiento del aire y un menor peso con unos estándares de seguridad cada vez más exigentes y un peso adherente capaz de poder hacer frenar el tren con celeridad. No obstante, la eficiencia energética también es un aspecto importante en las mercancías, y lo que es más relevante hoy en día, la seguridad ante incendios, que como recogen las últimas normativas UNE, -a saber, la UNE-EN 45545 principalmente-, son un punto básico a la hora de dictar homologaciones, y que también pueden estudiarse y preverse mediante modelos informáticos de flujos de aire y humos.

Es por ello que en el presente informe no se quiere pasar por alto la importancia de los estudios aerodinámicos, para lo cual se va a exponer un sencillo análisis en dos dimensiones de cómo el aire afectará a la locomotora cuando ésta circule por la vía. No se pretende pues, ser estrictamente riguroso, puesto que el mejor análisis contando ya con un modelo 3D de la locomotora es precisamente en tres dimensiones. El problema que inmediatamente surge de esta idea es la necesidad imperiosa de un ordenador con gran capacidad de cálculo y muchas horas de iteraciones, lo que convierte en inviable, para un trabajo como el presente, tal grado de detalle.

Para realizar el análisis, se ha escogido el *software* informático *ANSYS Fluent 14.0*, una herramienta que, de forma bastante intuitiva, ayuda a generar modelos de comportamiento del aire, -o flujos-, alrededor del elemento a estudiar. Con la serie de parámetros que se presentan a continuación (tabla 7.23.), se ha procedido al estudio:

Tabla 7.23. Características y parámetros tenidos en cuenta en el análisis aerodinámico.

Densidad del aire	1,225 (kg/m ³)
Velocidad del aire	100 (km/h) ó 27,77 (m/s)
Presión atmosférica	100000 (Pa)
Temperatura del aire	288,16 (K)
Viscosidad del aire	1,7894·10 ⁻⁵ (kg/m·s)

Para lograr un estudio adecuado, se ha simplificado el aspecto de la locomotora, reduciéndola a su contorno exterior, destacándose la forma de los testeros, los aparatos de aire acondicionado y las dos alturas de su techo central (ver figura 7.6.)

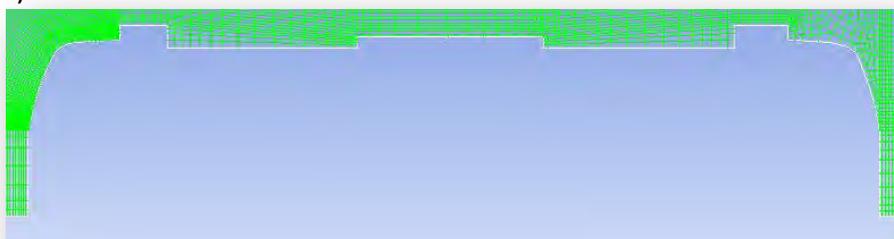


Figura 7.6. Contorno utilizado en el análisis.

Después se ha creado una malla lo más definida posible; es decir, siendo más cerrada en los puntos más interesantes, como el testero que va en cabeza.

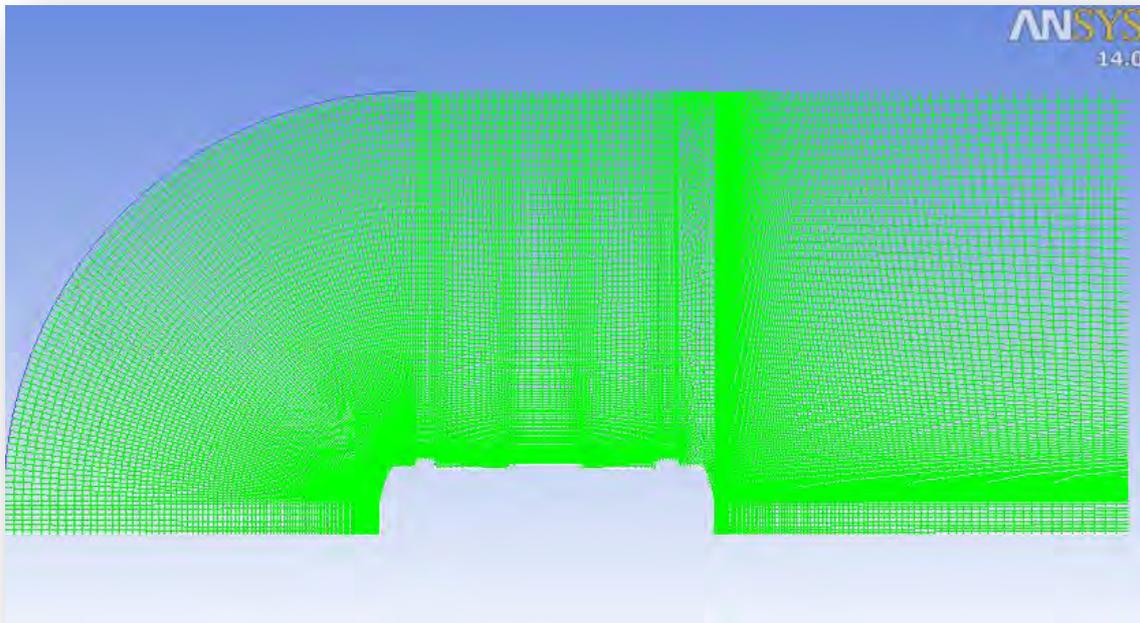


Figura 7.7. Malla utilizada.

El parámetro que se desea obtener se corresponde con el mapa de velocidades que envuelve la locomotora, que informa acerca de cómo se comporta el aire y cuál es la influencia de la geometría básica del vehículo ferroviario.

A continuación, se ha ejecutado el cálculo con 10000 iteraciones (ver figuras 7.8. y 7.9.). Se recuerda que la velocidad del aire es de 100 (km/h), ya que el simulador mueve la masa de aire en vez de mover la locomotora. Esta velocidad se corresponde con la máxima admisible en el remolque de casi todos los trenes de mercancías.

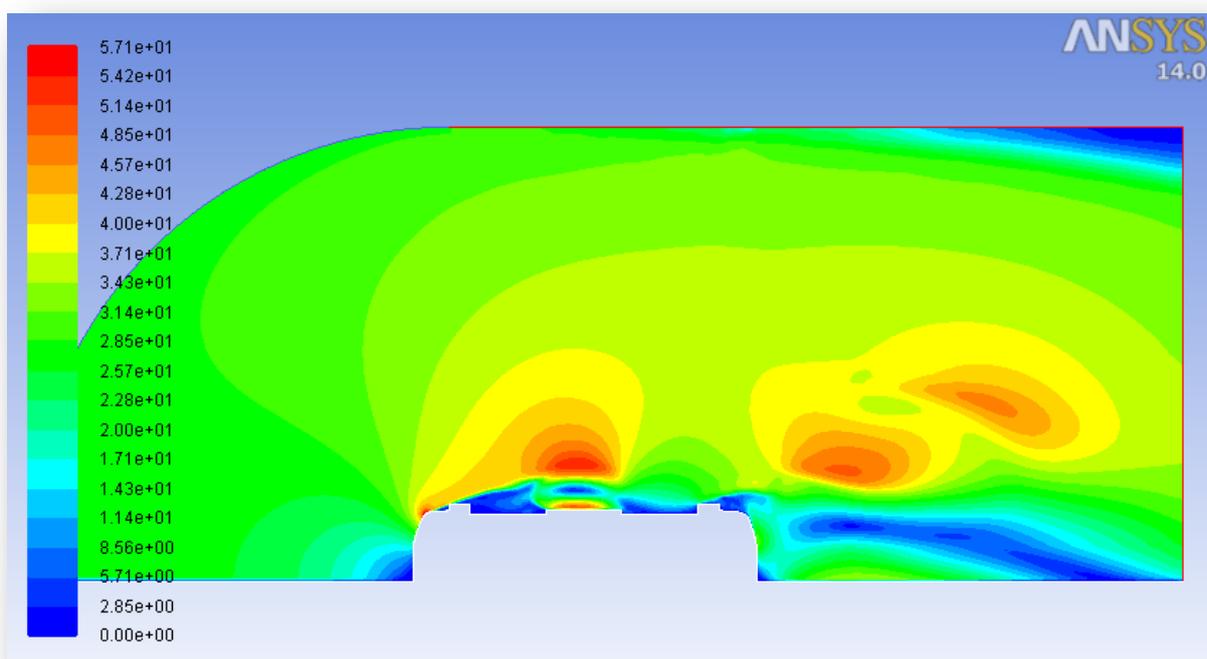


Figura 7.8. Mapa de colores que indica las fluctuaciones de velocidad del aire.

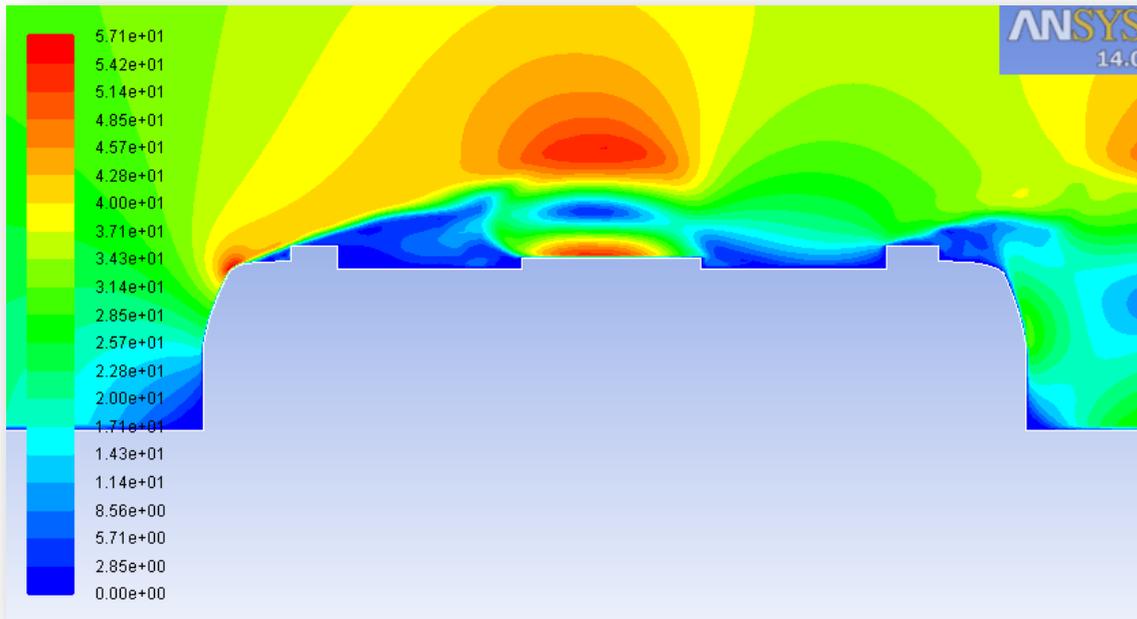


Figura 7.9. Detalle ampliado del contorno de la locomotora.

Como puede observarse por el índice de color, los mayores problemas de atasco del aire se producen en la zona de los topes del testero de cabeza (el aire se frena) y en la zona de los aparatos de aire acondicionado, que rompen la suavidad de las líneas de la caja y desprenden la capa límite. A su vez, aunque no aparecen reflejados, los pantógrafos también crean sus correspondientes problemas aerodinámicos, siendo el que se levanta para contactar con la catenaria el que mayores turbulencias crea.

En cuanto a la aceleración del aire de los contornos, puede percibirse un incremento del 80% de la velocidad respecto a la que se encuentra antes de entrar la masa de aire en contacto con el tren, pasando de 100 a 180 (km/h). Este dato resulta igualmente interesante, ya que esa masa de aire proyectada a tal velocidad influye en las vibraciones que se generan en los cables de la catenaria, que un buen diseño de la misma puede minimizar mediante la utilización de las típicas péndolas, por ejemplo. A su vez, el aire que se desplaza por los laterales de la locomotora (que no se reflejan en las imágenes) suponen un peligro en el momento en que el tren entra en una estación y recorre los andenes sin detenerse, ya que la seguridad de los viajeros que esperan otros trenes puede verse comprometida.

Por último, sirva decir que el estudio del flujo de aire alrededor del tren es también de interés en el caso del cruce de trenes y en el de circulación en túneles, donde el momento de la entrada por la boca del mismo supone un cambio en la presión. Una combinación de ambas resulta un buen marco de estudio, en el que pueden darse diferentes circunstancias: cruce de trenes mercantes, automotor regional y mercante, de Alta Velocidad y regional, etc.

7.1.17. Comprobación del gálibo ferroviario

Como se ha descrito en el capítulo 3 de conceptos ferroviarios, el gálibo ferroviario es el máximo área transversal que un vehículo puede tener para poder ser autorizado para circular por un determinado trazado. La infraestructura que rodea a la vía, que se compone de los postes de catenaria, túneles, puentes, marquesinas de estación, andenes, talleres, etc. debe respetar dichas medidas que cada país adopta, que en el caso actual de España las determina el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, ADIF.

El gálibo puede subdividirse en cinco tipos, a saber:

- *Gálibo estático o de construcción del material*: es el contorno máximo de un vehículo ferroviario estacionado en una vía recta y nivelada, con su peso correctamente distribuido, la suspensión reglada y con el diámetro nominal de ruedas.
- *Gálibo de ocupación estático*: es el área transversal que ocupa un vehículo circulando en curva, a una determinada velocidad y con una cierta aceleración no compensada, lo que produce un desplazamiento lateral de éste que es función del radio de curva, la distancia respecto al pivote de giro del *bogie* donde se mida el área, el huelgo entre las pestañas y los carriles y la rigidez de la suspensión.
- *Gálibo cinemático o de referencia*: es el que define una administración ferroviaria y a partir del cual se calculan los distintos gálibos siguiendo la normativa de la UIC.
- *Gálibo de ocupación cinemático*: tiene en cuenta las dimensiones del gálibo de ocupación estático y le añade los desplazamientos producidos por exceso o insuficiencia de peralte mayores de 50 (mm).
- *Gálibo de obstáculos*: es la distancia a la cual deben situarse de la vía la señalización u otros equipos.
- *Gálibo límite de obstáculos*: se utiliza en caso de circulaciones excepcionales por la red de ciertos vehículos.

La importancia del gálibo se ha destacado recientemente de nuevo cuando en la primera mitad del año 2014 la empresa francesa *Alstom* y la multinacional *Bombardier* entregaron sus nuevos automotores eléctricos *Régiolis* y *Régio 2N*, respectivamente, para servicios regionales a la *SNCF*, (que los numeró como las series Z-83500 y Z-55500/56500), que comprobó un fallo en el diseño de los mismos, ya que éstos eran demasiados anchos. Al parecer, la operadora facilitó datos antiguos de gálibo a los fabricantes, por lo que se han visto obligados a recortar el tamaño de los andenes para dar cabida a los nuevos trenes.

Por consiguiente, para el caso de la locomotora diseñada, se va a proceder a realizar un estudio que permita determinar si el diseño realizado se ajusta o no al gálibo cinemático establecido por *RENFE* y por el que hoy vela *ADIF* para el caso de vía de ancho ibérico de 1668 (mm).

En la página siguiente se adjunta un esquema en la figura 7.10. de las máximas medidas que dicho gálibo permite.

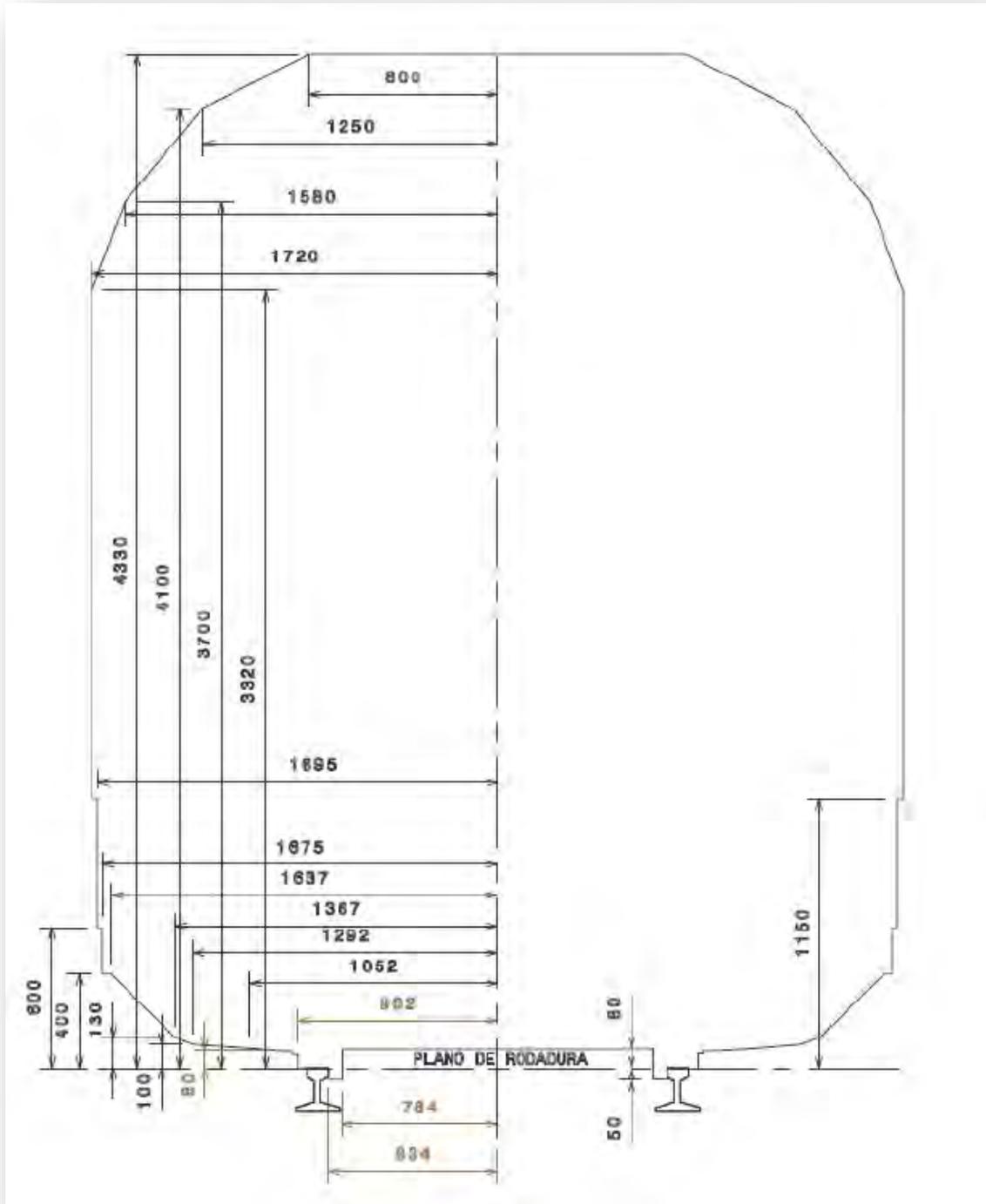


Figura 7.10. Gálbo cinemático RENFE para vía de ancho nacional.

A partir de esta figura 7.10. y con la ayuda de un plano acotado del testero de la locomotora (ver figura 7.11. de la página siguiente) se va a dictaminar la conformidad del diseño. Para relacionar debidamente los márgenes de distancia que aparecen entre la norma y el perfil de la máquina, se adjunta la tabla 7.24., en la que obedeciendo a las alturas marcadas en la figura 7.10., se calcula el huelgo entre ambas dimensiones.

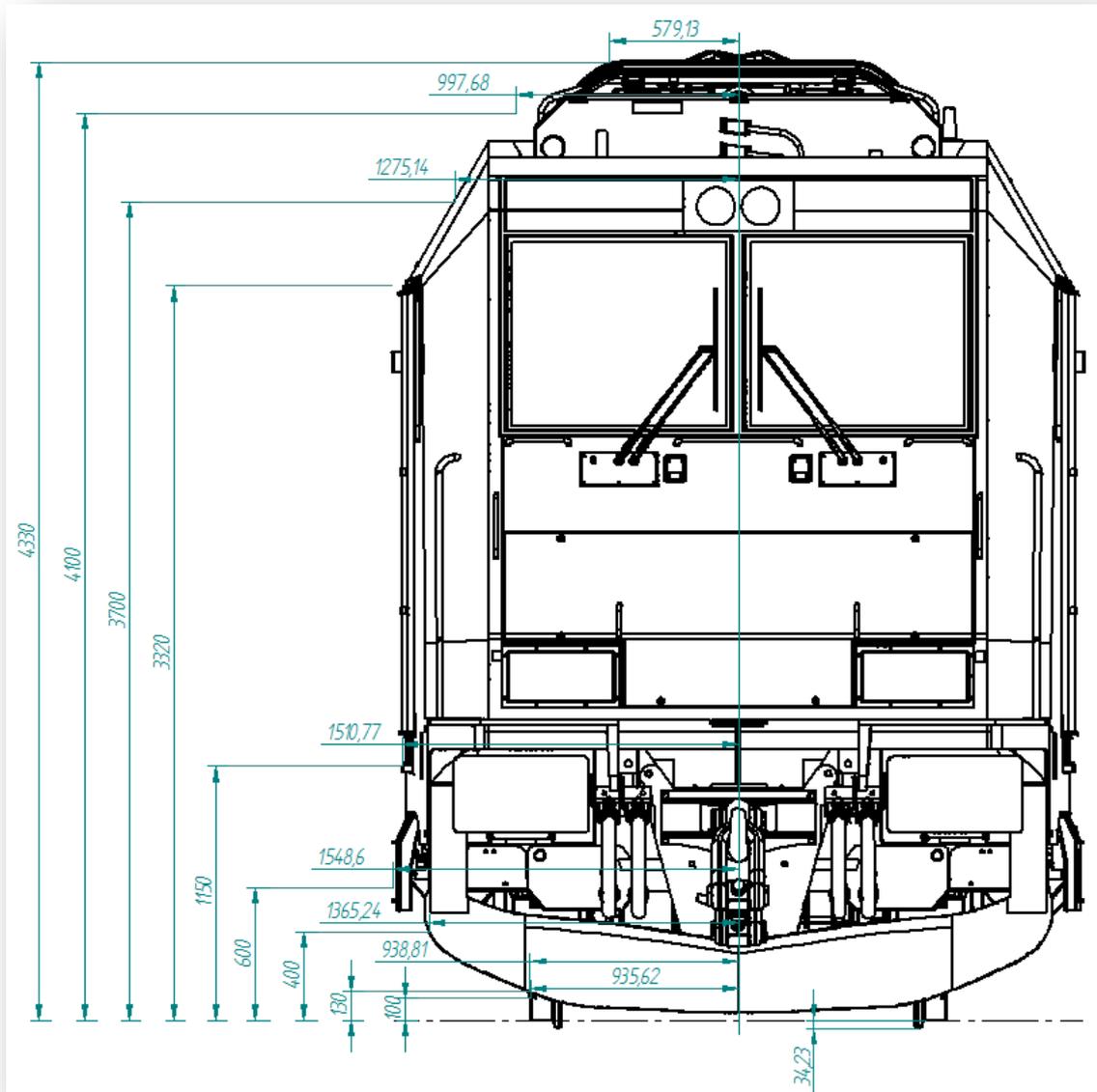


Figura 7.11. Dimensiones de las distintas anchuras vistas desde el testero.

Y a continuación se presenta la citada tabla comparativa:

Tabla 7.24. Comparativa entre el gálibo máximo y el diseñado.

Altura de la medida (mm)	Valor según norma (mm)	Valor diseñado (mm)	Diferencia/margen (mm)
100	1052	935,62	116,38
130	1292	938,81	353,19
400	1367	1365,24	1,76
600	1637	1548,60	88,40
1150	1695	1510,77	184,23
3320	1720	1554,51	165,49
3700	1580	1275,14	304,86
4100	1250	997,68	252,32
4330	800	579,13	220,87

Capítulo 8.

Homologación

8.1. Normativa vigente para homologación

En la sociedad actual ningún producto del tipo que fuere puede ser fabricado y vendido sin pasar una serie de controles y verificar un conjunto de especificaciones que aseguren la conformidad expresadas por las leyes de cada país. En la Unión Europea se aboga por la unificación de criterios mediante la creación de diferentes comités y comisiones que establecen reglamentos y directivas encaminadas a un único método de homologación, de tal forma que el producto homologado en un país puede ser vendido y utilizado en otro estando seguros de su validez.

En el ámbito ferroviario, existen una serie de normas que todo vehículo ferroviario debe cumplir. Pueden clasificarse en:

- **ETH:** se denomina así a cada una de las especificaciones técnicas necesarias para realizar la homologación de cualquier vehículo ferroviario, y dependerán del tipo de vehículo en cuestión que se trate de verificar; es decir, existen unas ETH para vehículos autopropulsados, para locomotoras, para coches y vagones, entre otros. Según la Orden FOM/233/2006, de 31 de enero, por la cual se regula la homologación del material rodante así como de sus centros de mantenimiento y de las cuantías de las tasas de certificación del material, define a las ETH como:
"El conjunto de normas técnicas, requisitos y condiciones que, en materia de seguridad, fiabilidad, compatibilidad técnica, salubridad, protección del medioambiente y, en su caso, interoperabilidad, debe cumplir todo vehículo ferroviario para poder obtener las autorizaciones de puesta en servicio y de circulación".
- **ETI:** son cada una de las especificaciones que permiten la interoperabilidad. El cumplimiento de las mismas queda expresado dentro de las ETH junto con su correspondiente relación con ellas.
- **Norma ISO:** las normas ISO determinan los procedimientos a realizar en cada uno de los subapartados en que se descomponen las normativas generales para cada tipo de vehículo.
- **Norma UNE:** elaboradas por AENOR, contribuyen junto con las normas ISO y las ETI a completar los reglamentos de homologación.
- **Norma UIC:** son elaboradas por la *Union Internationale des Chemins de Fer*, por lo que nacen de un órgano exclusivamente dedicado al ámbito ferroviario.

En España, el órgano encargado de velar por el cumplimiento de toda la normativa de homologación es el Ministerio de Industria, si bien es el Ministerio de Fomento el encargado en este caso por tratarse del ámbito ferroviario, que compete, junto con los demás medios de transporte, a este órgano. Mediante el Boletín Oficial del Estado se expone toda la normativa requerida para llevar a cabo el proceso de homologación.

Para el caso de la locomotora S-253, el catálogo de normativas aparece reflejado en el texto cuyos datos se expresan en la tabla 8.1., que integra únicamente las necesidades para material rodante tractor.

Tabla 8.1. Datos del BOE referente a homologación de locomotoras.

Boletín Oficial del Estado (BOE)	
Número de boletín	195
Fecha	Jueves, 13 de agosto de 2009
Sección	III
A partir de la página	68971
Resolución	13440

Dicha resolución 13440, tiene por título *Resolución de 10 de julio de 2009, de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, por la que se aprueba la «Especificación Técnica de Homologación de Material Rodante Ferroviario: Locomotoras»* y según el mismo documento, se entiende por locomotora "el vehículo ferroviario que, por medio de tracción térmica o eléctrica, es capaz de desplazarse por sí mismo y cuya principal función es remolcar a otros vehículos ferroviarios". (Art.º 3.2.a de la Orden FOM 233/2006).

Los requisitos esenciales que debe cumplir el vehículo ferroviario se clasifican en cinco grandes grupos generales (que según la Directiva Europea 2008/57/CE, pueden aplicarse con carácter general al sistema ferroviario convencional o de alta velocidad o de manera específica a cada componente o equipo), dentro de los cuales habrá que cumplir, a su vez, una serie de reglas y normas que también aparecen reflejadas en el mismo documento del BOE. Estos cinco requisitos son:

- Seguridad.
- Fiabilidad y disponibilidad.
- Salud.
- Protección del medio ambiente.
- Compatibilidad técnica.

En el anexo E del referido documento, aparece una importante tabla resumen que según su ámbito de aplicación que el mismo texto señala, se centra en la explicación de "la evaluación de la conformidad y de la idoneidad para el uso de los vehículos ferroviarios completos." Así mismo, señala también que "los requisitos del vehículo que deben evaluarse en las distintas fases de diseño, instalación y servicio aparecen marcados con un aspa (X) en el cuadro E.1. En este cuadro se ofrece asimismo la lista de especificaciones (normas) y referencias de otros documentos que recogen los detalles técnicos del procedimiento de evaluación." Por tanto, muestra todos los puntos que deben evaluarse, junto con el identificador de la normativa que hacen posible dicho análisis y si está requerido o no el examen de dichos requisitos en las fases de diseño, de ensayos en prototipos o en la de producción. En el Anexo 13.5 del presente informe puede comprobarse dicha tabla.

8.2. Normas para verificar la homologación

Con objeto de tener una visión más cercana de todo el proceso de verificación de la normativa que anteriormente se ha presentado de forma general, se van a seleccionar tres normas UNE que ejemplifiquen el proceso de cálculo de esfuerzos mecánicos que se requieren para ciertos componentes de la locomotora diseñada, amén de que en ensayos reales haya que realizar catas del material de las mismas mediante el uso de probetas descritas en las normas o de pruebas en bancos de ensayo. De este modo, se van a realizar los cálculos que se dictaminen para las siguientes piezas, que deben cumplir las normas junto con las que aparecen relacionadas en la tabla 8.2.:

Tabla 8.2. Componentes a ensayar y normativa necesaria.

Componente	Norma UNE
Eje motor	UNE-EN 13104+A2
Testero	UNE-EN 12663-1
Ruedas	UNE-EN 13979-1: 2006+A2

8.3. Aplicación de las normas de homologación

Como se ha descrito, se procederán a realizar los cálculos de esfuerzos para las pruebas sobre los componentes diseñados, y en ciertos de ellos se realizará un estudio por Elementos Finitos, por lo que se requerirá el uso de un *software* que permita realizar estudios de resistencia de materiales. Dicho programa informático seleccionado será *Abaqus*, que permite obtener resultados satisfactorios mediante la exportación de los desarrollos 3D en *Solid Edge*. Introduciendo los datos referentes al material utilizado en la fabricación real de los componentes y describiendo adecuadamente las fuerzas, *Abaqus* mostrará un mapa de cuáles son las tensiones y deformaciones máximas en las piezas, pudiéndose determinar su falta o no de validez.

A continuación se pasa a describir la parte de la norma que resulta de interés, junto con las ecuaciones y esquemas necesarios para su comprensión. De dichas ecuaciones o tablas se obtendrán los valores de las fuerzas y momentos, junto con los gráficos que especifican los puntos de aplicación.

8.3.1. UNE-EN 13104+A2

Esta norma, cuya versión es de abril de 2013, tiene como objeto y aplicación, según su propio título: *Ejes montados y bogies. Ejes motores. Método de diseño*. Es una traducción de la Norma Europea EN 13104:2009+A2:2012 y ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 25 *Aplicaciones ferroviarias* cuya secretaría desempeña CETREN.

El documento muestra una imagen en la que puede comprobarse el sistema de referencia utilizado a lo largo de la norma, que puede verse en la figura 8.1.

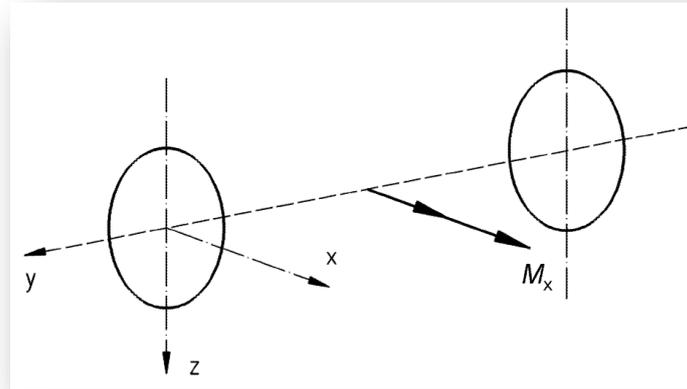


Figura 8.1. Sistema de referencia para la norma UNE-EN 13104. El momento M_x corresponde al momento en tracción.

A su vez, se muestra un esquema, (figura 8.2.) que permite conocer los puntos de aplicación, direcciones y sentidos de las fuerzas que hay que considerar en el análisis del eje (para hallar, a su vez, los valores de los momentos), así como de las ecuaciones necesarias para hallar el módulo de las mismas (tabla 8.3.).

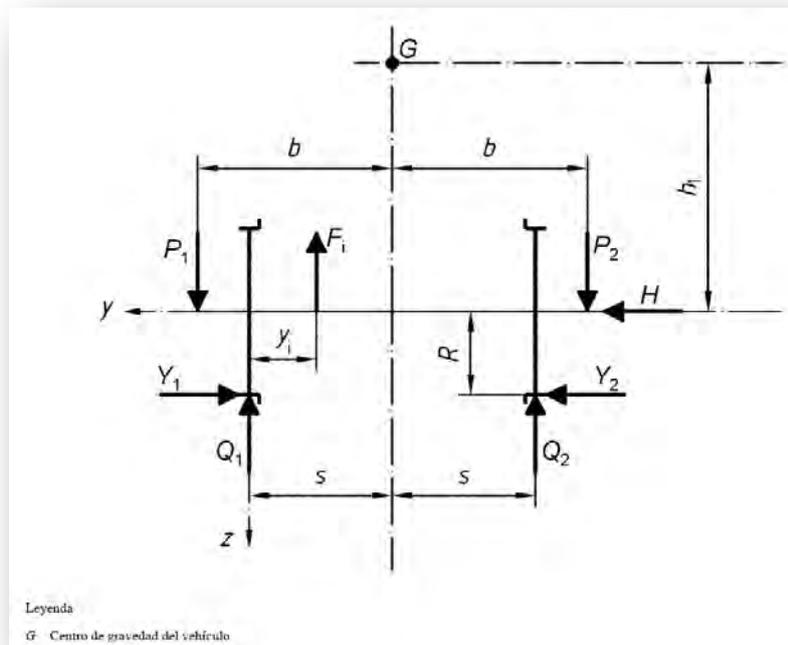


Figura 8.2. Esquema de las fuerzas aplicables al eje.

Tabla 8.3. Expresiones para determinar el valor de las fuerzas.

Para todos los ejes definidos en el campo de aplicación de esta norma	$P_1 = (0,625 + 0,0875 h_1/b)m_1g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875 h_1/b)m_1g$ $Y_1 = 0,35 m_1g$ $Y_2 = 0,175 m_1g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175 m_1g$
Para todos los ejes	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i y_i]$

Donde:

m_1 es la masa en las manguetas por eje, (kg).

g es la aceleración de la gravedad, $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$.

h_1 es la altura por encima de la línea central del eje del centro de gravedad, (mm).

b es la semidistancia entre los puntos de aplicación de las fuerzas verticales, (mm).

s es la semidistancia entre los círculos de rodadura de las ruedas, (mm).

R es el radio nominal del círculo de rodadura de la rueda, (mm).

y_i es la distancia entre el círculo de rodadura de la rueda y la fuerza F_i , (mm).

En la siguiente tabla 8.4., se muestran los valores geométricos tomados sobre el diseño necesarios para realizar los cálculos, junto con los resultados de las ecuaciones de la tabla 8.3.

Tabla 8.4. Valores geométricos y de las fuerzas de la tabla 8.3.

$m_1 = 21800 \text{ (kg)}$	$s = 834 \text{ (mm)}$
$h_1 = 1750 \text{ (mm)}$	$R = 625 \text{ (mm)}$
$b = 1116,50 \text{ (mm)}$	$y_i = 434,27 \text{ (mm)}$
$P_1 = 162991,30 \text{ (N)}$	
$P_2 = 104331,19 \text{ (N)}$	
$Y_1 = 74850,30 \text{ (N)}$	
$Y_2 = 37425,15 \text{ (N)}$	
$H = 37425,15 \text{ (N)}$	
$Q_1 = 185622,56 \text{ (N)}$	
$Q_2 = 76845,45 \text{ (N)}$	

A continuación se van a calcular los esfuerzos en las distintas secciones del eje a partir de los valores de la tabla 8.4., (se realiza el cálculo en cada lado del eje para tomar el más desfavorable).

Momentos generados en la tracción (sólo en el eje x):

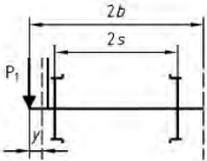
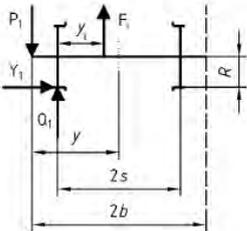
Zona del eje	M_x^a
Entre el plano de carga y el plano de rodadura	$M_x = P_1 y$ 
la sección Entre los planos de rodadura	$M_x = P_1 y - Q_1 (y - b + s) + Y_1 R - \sum_i F_i (y - b + s - y_i)$  <p>F_i: fuerza(s) situada(s) a la izquierda de la sección considerada</p>

Tabla 8.5. Momentos de tracción según del eje.

Y su valor queda tal y como se indica en la tabla 8.6.:

Tabla 8.6. Valores de los momentos en tracción en el eje x.

Entre el plano de carga y el de rodadura	$M_x = 14152,53 \text{ (N}\cdot\text{m)}$
Entre los planos de rodadura	$M_x = 79681,07 \text{ (N}\cdot\text{m)}$

Momentos generados en el frenado:

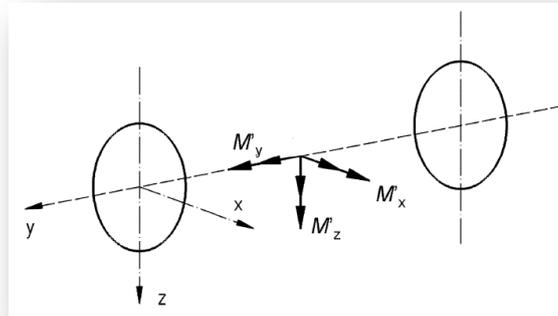


Figura 8.3. Esquema de momentos en el frenado.

Se seleccionarán las ecuaciones según el tipo de freno que monte la locomotora. En el presente caso, son discos de freno montados sobre la propia rueda:

Tabla 8.7. Momentos en el frenado según el tipo de freno.

Componentes M'_x, M'_z, M'_y	Modalidad de frenado utilizada				
	Dos frenos de disco calados sobre el eje			Dos frenos de disco montados sobre el cubo de la rueda ^f	
	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre el plano de rodadura y el disco	Entre los discos	Entre el plano de carga y el plano de rodadura	Entre los planos de rodadura
M'_x	$M'_x = F_f \Gamma y$ b	$M'_x = F_f \Gamma (b - s + y)$ B		$M'_x = F_f \Gamma y$ b	$M'_x = F_f \Gamma (b - s + y)$ b
M'_z	$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$ b	$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} (b - s)$ B		$M'_z = F_f \Gamma \frac{R_b}{R} y$ b	$M'_z = F_f \Gamma (b - s) \frac{R_b}{R}$ b
M'_y	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e	$M'_y = 0$	$M'_y = 0,3 P'R$ d, e

En la tabla 8.7. aparecen dos variables nuevas, que son:

R_b , radio de frenado, en (mm).

F_f es la fuerza de frenado entre pastilla y disco, en (N).

Γ es el coeficiente de fricción entre las pastillas y el disco, de valor 0,35.

P' es la parte de P frenado por cualquier sistema mecánico, en (N).

P es la mitad de la fuerza vertical por cada eje sobre el carril, en (N).

Los valores que se obtienen son los que aparecen en la tabla 8.8.

Tabla 8.8. Valores de los momentos en frenado.

	M'_x (N·m)	M'_y (N·m)	M'_z (N·m)
Entre el plano de carga y el de rodadura	79,03	0,00	1,64
Entre los planos de rodadura	257,11	975,13	5,35

Efectos debidos a la curvatura y geometría de la rueda:

Cuando el eje no se encuentra frenado, el momento M'_y se ve incrementado con un valor de $0,2 \cdot P \cdot R$; es decir, $M'_y = 13335,47$ (N·m).

Momento resultante:

Finalmente, el momento total se obtiene según la expresión [8.1].

$$MR = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2} \quad [8.1]$$

Donde:

$$MX = M_x + \sum M'_x \quad [8.2]$$

$$MY = \sum M'_y \quad [8.3]$$

$$MZ = \sum M'_z \quad [8.4]$$

Por consiguiente, el valor del momento resultante es el indicado en la siguiente tabla 8.9.

Tabla 8.9. Valor del momento resultante dependiendo de la zona de aplicación en el eje.

	MR (N·m)
Entre el plano de carga y el de rodadura	14231,56
Entre los planos de rodadura	81209,03

Esfuerzos en las distintas secciones del eje:

Por último, resta calcular el valor de las tensiones según se indica en las ecuaciones [8.5] y [8.6] de la página siguiente.

En la superficie exterior del eje: $\sigma = \frac{K \cdot 32 \cdot MR \cdot d}{\pi(d^4 - d'^4)}$ [8.5]

En la superficie interior del eje (hueco): $\sigma = \frac{K \cdot 32 \cdot MR \cdot d'}{\pi(d^4 - d'^4)}$ [8.6]

Donde:

K es el factor de concentración de esfuerzos.

d es el diámetro exterior de la sección analizada.

d' es el diámetro interior de la sección analizada.

Para hallar el valor del coeficiente de concentración de esfuerzos, se recurre al diagrama de la figura 8.4., si bien puede determinarse también mediante la aplicación de las ecuaciones que aparecen en la misma imagen.

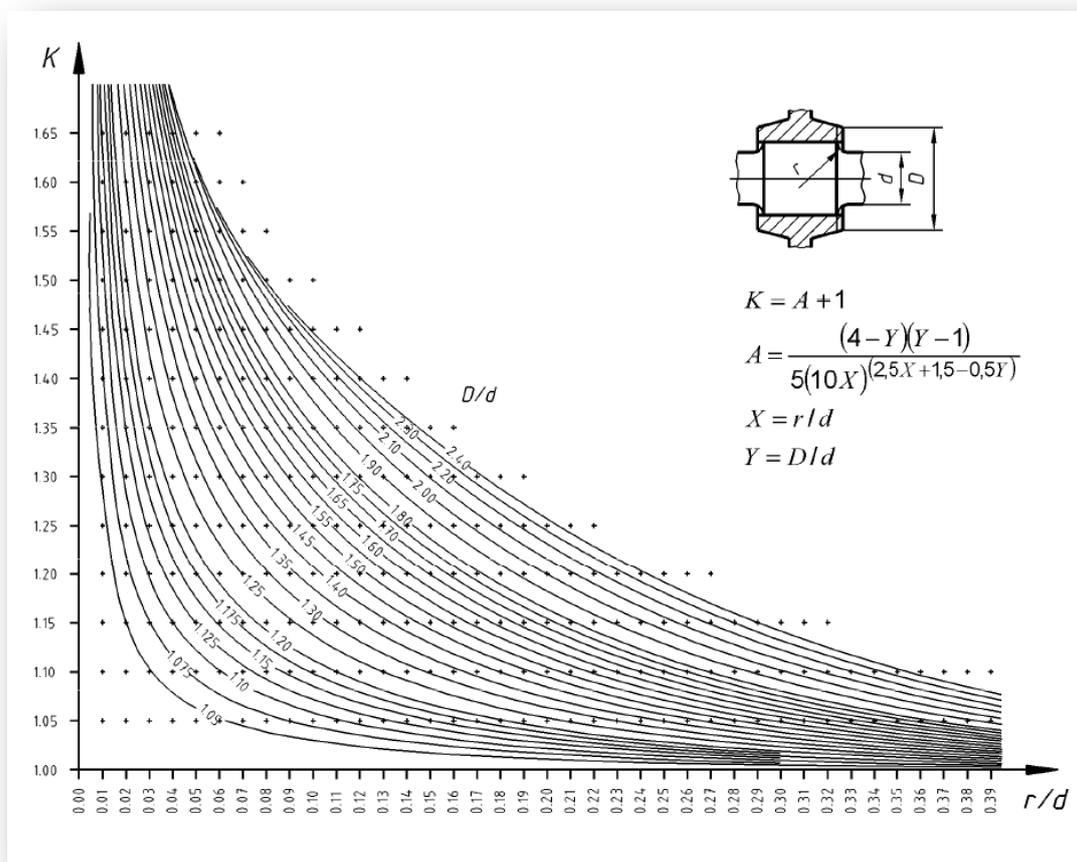


Figura 8.4. Diagrama y ecuaciones para el cálculo del factor K .

Dado que el factor K depende de la sección del eje estudiada, se determinarán cinco zonas que se identifican en la figura 8.5.:

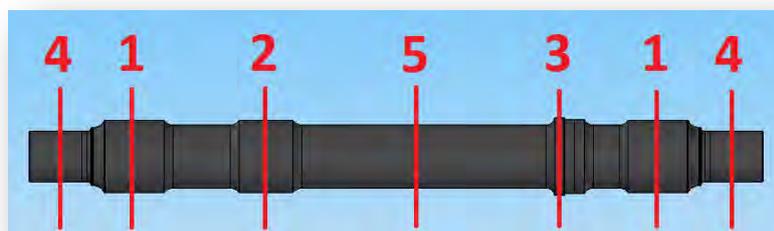


Figura 8.5. Secciones de calado del eje.

En la tabla 8.10. se refleja el cálculo de dicho factor K :

Tabla 8.10. Valor del coeficiente K para cada sección del eje.

	Sección 1	Sección 2	Sección 3
X	0,172	0,166	0,147
Y	1,555	1,630	1,577
A	0,145	0,170	0,184
Coeficiente K	1,145	1,170	1,184

Finalmente, los valores máximos de tensión dependiendo de la sección y del punto de estudio son los reflejados a continuación:

Tabla 8.11. Valores de tensión en cada sección del eje.

	σ (MPa)				
	Sección 1 ϕ 236 (mm)	Sección 2 ϕ 238 (mm)	Sección 3 ϕ 240 (mm)	Sección 4 ϕ 163,4 (mm)	Sección 5 ϕ 206 (mm)
Superficie exterior	73,61	73,28	72,28	36,56	98,20
Superficie interior	28,07	27,71	27,10	20,13	42,90

Para verificar si los valores de la tabla 8.11. son correctos, la norma indica los esfuerzos máximos permitidos para el acero EA1N tanto en el caso de ejes macizos como de ejes huecos; éstos últimos tienen una lógica mayor restricción. Así pues, se dictamina que 110 (MPa) debe ser la máxima tensión en la superficie externa, mientras que en el hueco no debe sobrepasar los 80 (MPa), si bien hay que aplicar un coeficiente de seguridad de valor 1,5, que restringe los máximos hasta lo que indica la tabla 8.12.

Tabla 8.12. Valores máximos de tensión que especifica la norma.

Utilización prevista del eje	$\{A2\}$ Coeficiente de seguridad S^a	$\{A2\}$ Zona 1 ^b $\{\leftarrow A2\}$ N/mm ²	$\{A2\}$ Zona 2 ^c $\{\leftarrow A2\}$ N/mm ²	$\{A2\}$ Zona 3 ^d $\{\leftarrow A2\}$ N/mm ²	$\{A2\}$ Zona 4 ^e $\{\leftarrow A2\}$ N/mm ²
Eje motor con puente motor o piñón calado	1,5	133	73	63	53
Otros casos	1,3	154	85	72	62

$\{A2\}$ ^a Valor mínimo, salvo que existan mediciones que demuestren que se conocen cargas más precisas que las definan en esta norma, con una reglas de mantenimiento que garanticen la calidad de la vía, entonces podría utilizarse un coeficiente de seguridad S inferior, se se acuerda entre el diseñador y el operador ferroviario. No obstante, el valor del coeficiente de seguridad S no debe ser inferior a 1,2. $\{\leftarrow A2\}$

^b Zona 1: cuerpo del eje, zonas de apoyo de cojinetes, fondos de acanaladuras y curvas de transición.

^c Zona 2: todas las zonas de calado, excepto manguetas y zonas de calado de rodamiento.

^d Zona 3: mangueta (debajo del rodamiento).

^e Zona 4: hueco.

Como puede comprobarse, los valores más próximos se hallan en las zonas de calado del engranaje y las ruedas (secciones 1 y 2 en la figura 8.5.). A pesar de que se encuentran en el límite establecido, el estudio determina la validez del diseño. Será conveniente, pues, centrar la atención en las paradas por mantenimiento en esas

zonas de calado que serán más propicias a acumular tensiones y a la aparición de posibles grietas.

8.3.2. UNE-EN 12663-1

Esta norma, cuya versión es de septiembre de 2011 con corrección de julio de 2012, tiene como objeto y aplicación, según su propio título: *Requisitos estructurales de las cajas de los vehículos ferroviarios. Parte 1: locomotoras y material rodante de viajeros (y método alternativo para vagones de mercancías)*. Es una traducción de la Norma Europea EN 12663-1:2010 y ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 25 *Aplicaciones ferroviarias* cuya secretaría desempeña CETREN.

Este apartado tiene como objetivo el estudio las fuerzas que pueden llegar a actuar en el testero de la locomotora, de tal modo que se verifique un grado de seguridad aceptable para el personal de conducción en caso de impacto. Es por ello que se requerirá el uso del apartado 6.2.3. de esta norma, referida a las fuerzas de compresión en los testeros del vehículo.

No obstante, en la actualidad es muy común el hecho de reemplazar partes que antaño se fabricaban en acero por otra serie de materiales de tipo compuesto (como se ha visto en el apartado 6.4.) por lo que resultará interesante realizar una comparativa entre el acero y este tipo de materiales. El *composite* que se examinará aparece en un dossier de Investigación Técnica de Vía Libre editado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles, cuyas características se detallan en la siguiente tabla 8.13.

Tabla 8.13. Características del *composite*.

Módulo de elasticidad, E	6,5 (GPa)
Coefficiente de Poisson, ν	0,37
Tensión de rotura, σ_{rotura}	90 (MPa)

Dichos datos han sido extraídos de las siguientes gráficas, que son resultado de un ensayo uniaxial terminado con la rotura del material.

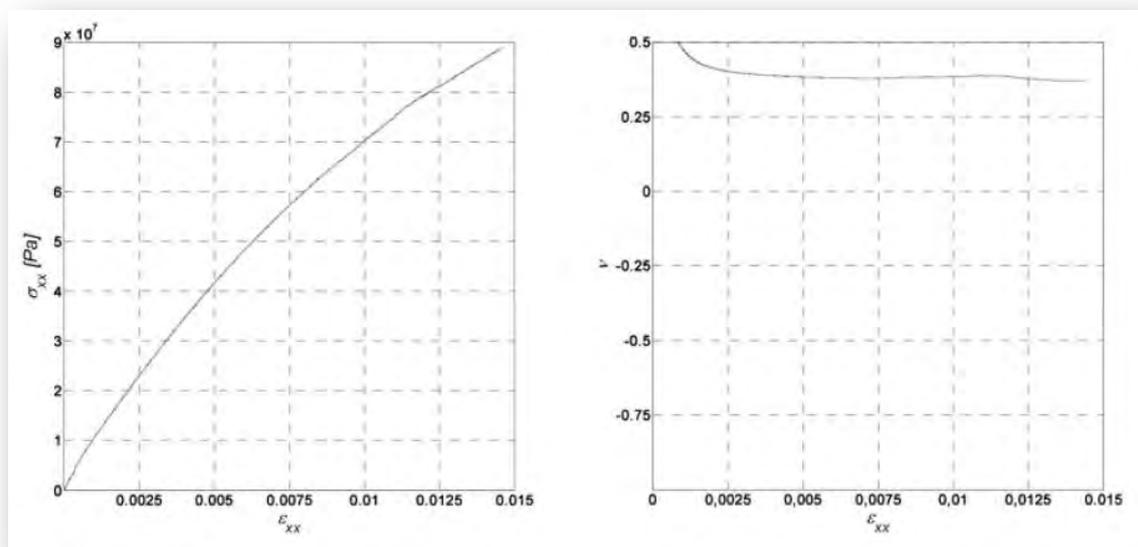


Figura 8.6. Curva tensión-deformación y curva coeficiente de Poisson-deformación.

El módulo de elasticidad o de *Young* se ha determinado en el informe según la expresión clásica para materiales compuestos:

$$E_{composite} = k \cdot V_{fibra} \cdot E_{fibra} + V_{matriz} \cdot E_{matriz} \quad [8.7]$$

Donde:

k es el factor de eficacia.

V_i es la relación de volumen de la fibra o de la matriz en el *composite*.

E_i es el módulo de Young de la fibra o de la matriz.

Y los valores de la ecuación se expresan en la siguiente tabla 8.14.

Tabla 8.14. Valor de los términos de la ecuación [8.7].

	Fibra	Matriz
E (GPa)	70	2
V	0,2	0,8
k	3/8	

El proceso de fabricación de este *composite* es manual, tanto para las fibras de vidrio que se distribuyen de forma aleatoria como para la resina de poliéster, por lo que se ha dado en llamar *Hand Lay-Up*.

Volviendo de nuevo a la norma 12663-1, las fuerzas que en ella se dictaminan que debe soportar el testero de un vehículo ferroviario se expresan en las tablas 8.15. y 8.16., que difieren en el punto de aplicación, de tal modo que en el primer caso esa fuerza se ejerce a 150 (mm) por encima del nivel del suelo del vehículo y la segunda se ejerce sobre el larguero que atraviesa de lado a lado la cabina por debajo del nivel de las ventanas.

Tabla 8.15. Fuerza aplicable al testero a 150 (mm) por encima del nivel del suelo.

Locomotoras	Material rodante de viajeros					Vagones de mercancías	
Categoría L	Categoría P-I	Categoría P-II	Categoría P-III	Categoría P-IV	Categoría P-V	Categoría F-I	Categoría F-II
400 ^a	400	400	–	–	–	–	–

^a Sólo aplicable para cabinas de extremidad.

Tabla 8.16. Fuerza aplicable al testero a lo largo del larguero bajo las ventanas.

Locomotoras	Material rodante de viajeros					Vagones de mercancías	
Categoría L	Categoría P-I	Categoría P-II	Categoría P-III	Categoría P-IV	Categoría P-V	Categoría F-I	Categoría F-II
300 ^{a b}	300 ^b	300 ^b	300 ^b	–	–	–	–

^a Sólo aplicable para cabinas de extremidad.
^b En la cabina de conducción, esta carga se debe distribuir a lo largo de la parte inferior del parabrisas.

En primer lugar se presenta el caso del testero fabricado en acero, para lo cual se introduce su diseño en el *software* de Elementos Finitos *Abaqus*. El diseño de esta pieza se ha simplificado convenientemente a fin de evitar problemas de mallado. Se ha restringido el movimiento de los cuatro lados de esta parte de la locomotora mediante un *Encastre*, haciendo referencia a su unión rígida con el resto de la carrocería.

Los resultados obtenidos para el caso de la fuerza aplicada a 150 (mm) sobre la superficie del suelo son los que aparecen en la figura 8.7.

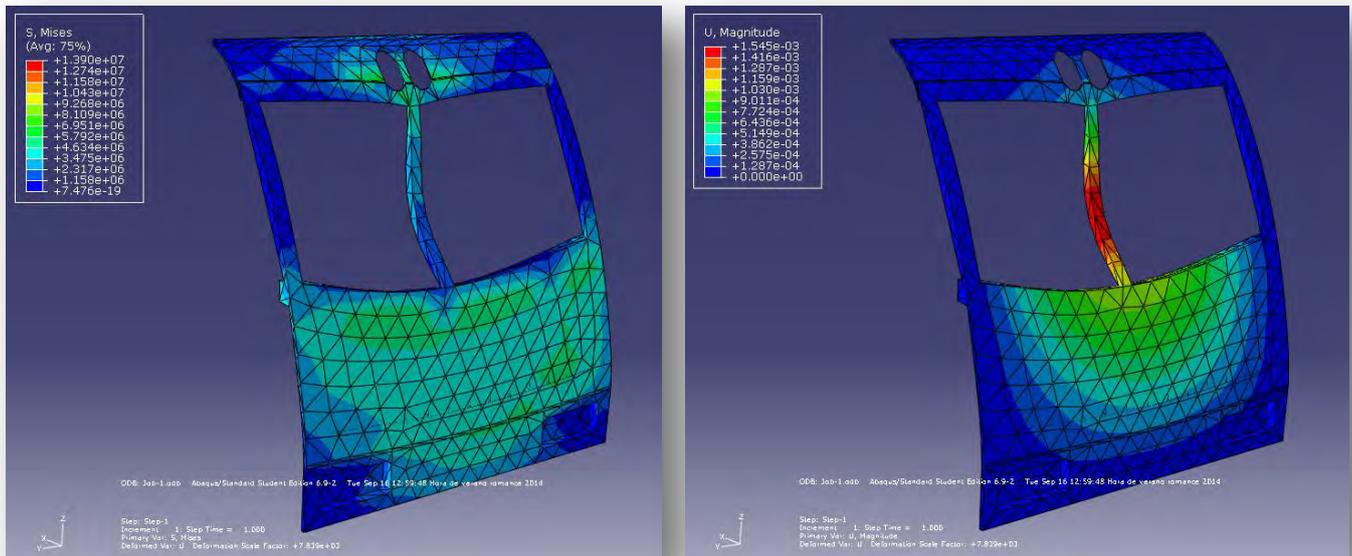


Figura 8.7. Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza a 150 (mm) sobre el nivel del suelo, material acero.

Como cabe esperar, la deformación más acusada aparece en el refuerzo central que separa en dos el parabrisas, pese a lo cual tan sólo sufre una deformación de 1,5 milímetros. Las tensiones que se generan para este caso según Von Mises ascienden a 13,9 (MPa), muy por debajo aún del límite elástico del material. La norma define una serie de cumplimientos para analizar los resultados:

La utilización del material (U), debe tener un valor inferior o igual a 1; pero para hallar el valor de la utilización, es necesario calcularlo haciendo referencia al límite elástico según la ecuación [8.8].

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_1}{R} \leq 1 \quad [8.8]$$

Donde:

σ_c es la tensión calculada en (MPa).

R es el límite elástico del material en (MPa).

S_1 es el factor de seguridad para el límite elástico, de valor 1,15.

De la ecuación [8.8] se sabe que el valor de R es de 379,3 (MPa) y σ_c tiene un valor, según el estudio virtual, de 13,9 (MPa); por lo que la utilización del material es 0,042.

En la página siguiente, se proceden a calcular las tensiones y deformaciones en el caso de la fuerza aplicada en el larguero bajo el parabrisas.

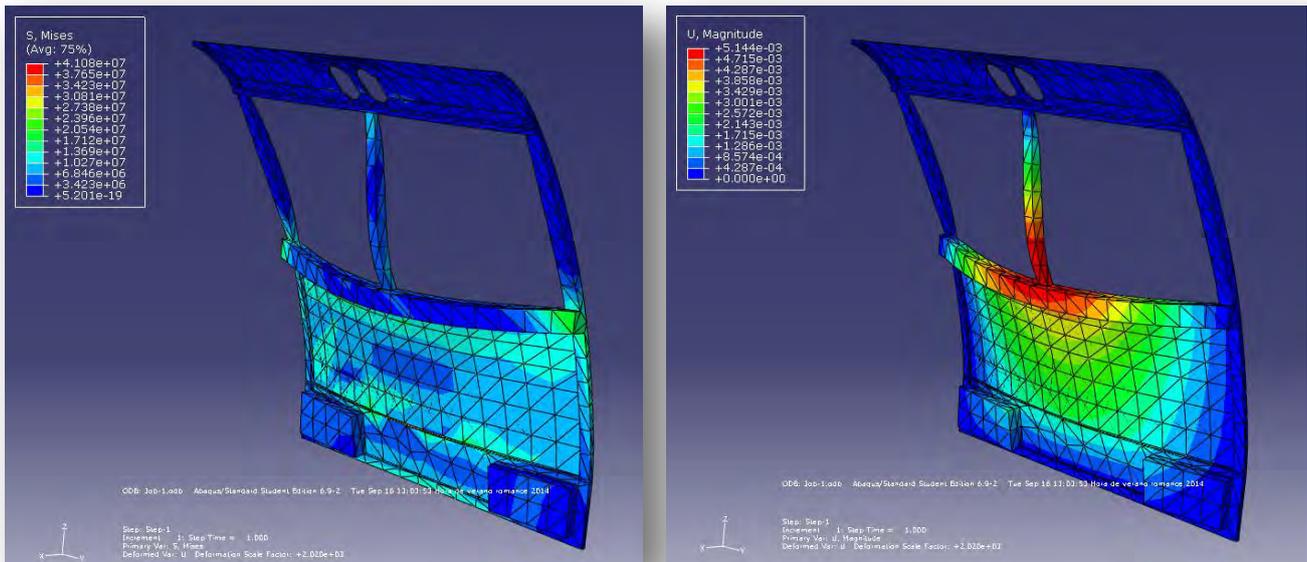


Figura 8.8. Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza en el larguero, material acero.

En este caso la máxima tensión a la que debe enfrentarse esta parte frontal de la locomotora asciende a 41,08 (MPa) con una deformación de poco más de 5 milímetros. El larguero, de $7,88 \cdot 10^{-3}$ (m) de sección, recibe y absorbe la mayoría de los esfuerzos junto con el pilar central del parabrisas.

De nuevo, haciendo uso de la ecuación [8.8], se obtiene que el valor de la utilización es de 0,125, muy por debajo de su valor límite, 1.

A continuación, se estudiará el caso del testero fabricado con *composite* de fibra de vidrio y matriz de resina de poliéster. Obviamente, las partes fundamentales que forman el esqueleto o estructura de la locomotora, como los largueros o perfiles de la caja, se siguen fabricando en acero resistente a los impactos. En el caso del frontal, las piezas reemplazadas por material compuesto son las señaladas en la figura 8.9.

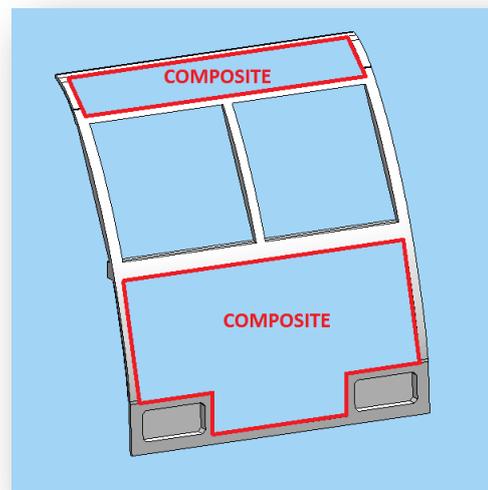


Figura 8.9. Zonas del testero reemplazadas por *composite*.

Procediendo al análisis de la misma forma que para el caso del acero, los resultados que arroja esta combinación de materiales son bastante interesantes, tal y como puede comprobarse en las figuras 8.10. y 8.11. de la siguiente página.

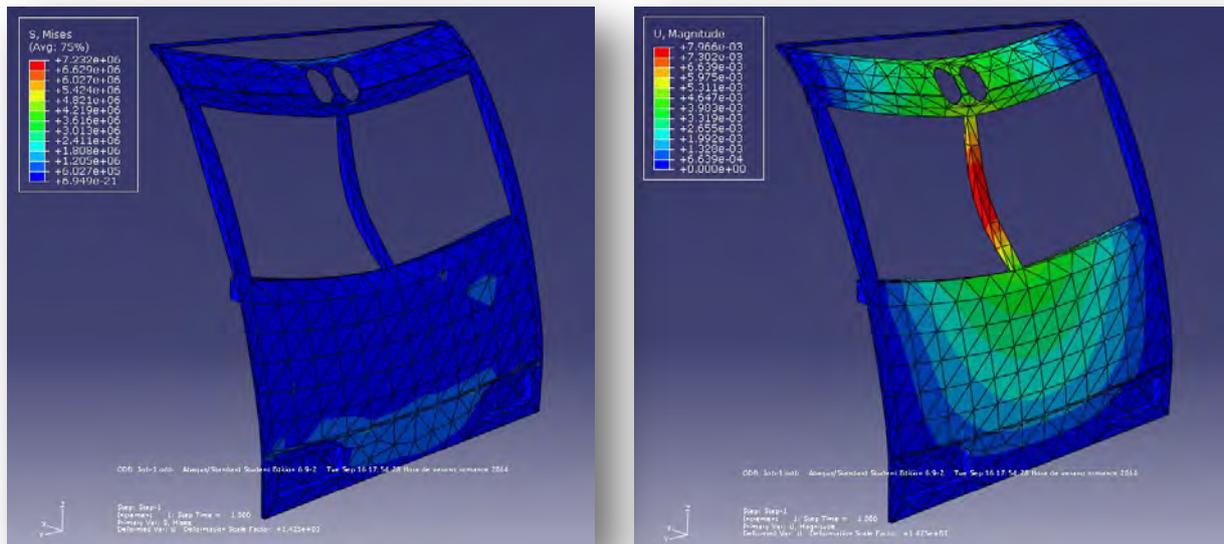


Figura 8.10. Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza a 150 (mm) sobre el nivel del suelo, material *composite*.

Las máximas tensiones que se observan en el *composite* son de 7,23 (MPa), pero sin embargo los desplazamientos que sufre el pilar central son en este caso mayores, de hasta un total de 7,9 milímetros.

En el caso de la fuerza en el larguero, los resultados son los expresados en la figura 8.11.

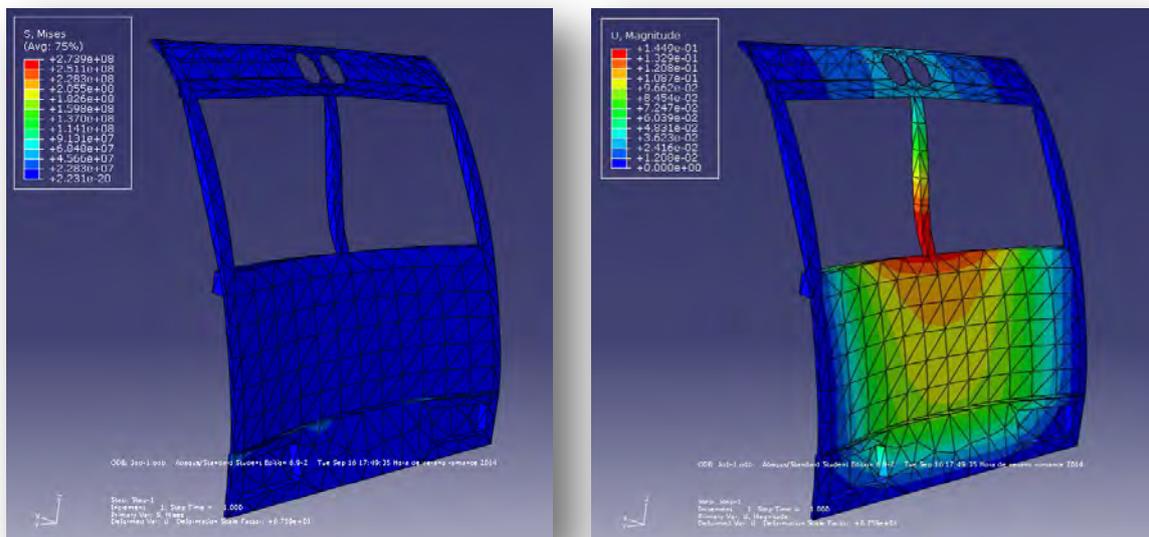


Figura 8.11. Tensión de Von Mises y desplazamientos para el caso de la fuerza en el larguero, material *composite*.

Este estudio revela una tensión máxima de 273,9 (MPa), muy superior a la observada en el caso del testero construido con acero, debido a su lógica menor integridad estructural. Las deformaciones ahora se disparan hasta algo más de 14 milímetros.

Por consiguiente, puede determinarse que el testero fabricado con material compuesto y refuerzos de acero tiende a aguantar menos (aunque dependiendo del punto de aplicación de la fuerza se observará una mayor o menor desviación respecto del acero); pero sin embargo, sigue suponiendo un buen sistema para realizar partes

no vitales de la locomotora, entendiéndose por ello aquéllas superficies que no deban responder ante grandes esfuerzos estructurales o que supongan una parte importante dentro de la estructura de la caja del vehículo.

8.3.3. UNE-EN 13979-1: 2006+A2

Esta norma, cuya versión es de noviembre de 2011, tiene como objeto y aplicación, según su propio título: *Ejes montados y bogies. Ruedas monobloque. Procedimiento de aprobación técnica. Parte 1: Ruedas forjadas y laminadas*. Es una traducción de la Norma Europea EN 13979-1:2003+A2:2011 y ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 25 *Aplicaciones ferroviarias* cuya secretaria desempeña CETREN.

Dentro del apartado de *Evaluación del comportamiento mecánico*, esta norma contempla la utilización directa del método de los Elementos Finitos a través de un programa informático. Para ello se plantean tres casos de carga que coinciden con posibles situaciones reales que hay que analizar y cuyas fuerzas expresadas a continuación en la tabla 8.17. se ejercen en los puntos que indica la figura 8.12.

Tabla 8.17. Expresiones de las fuerzas en la rueda dependiendo de la situación.

Caso	Situación	Fuerzas
1	Vía recta (eje centrado)	$F_z = 1,25 P$ $F_{y1} = 0$
2	Curva (pestaña presionando el carril)	$F_z = 1,25 P$ $F_{y2} = 0,6 P$ para ejes no guiados $F_{y2} = 0,7 P$ para ejes guiados
3	Paso por puntos y cruces (pestaña presionada por el interior)	$F_z = 1,25 P$ $F_{y3} = 0,36 P$ para ejes no guiados $F_{y3} = 0,42 P$ para ejes guiados

Donde P es la mitad de la fuerza vertical por eje sobre el carril, (N).

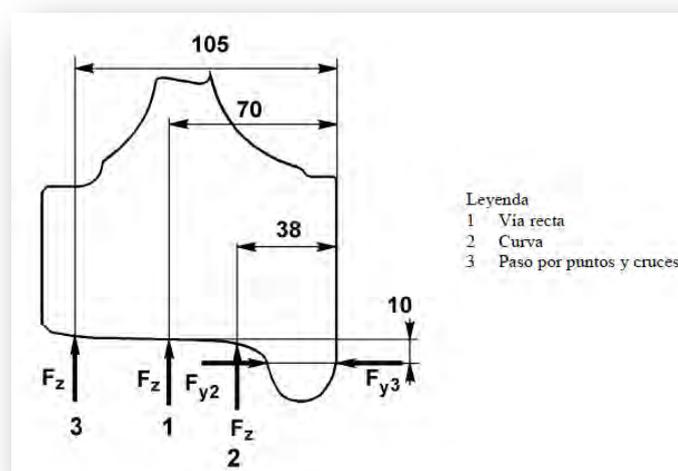


Figura 8.12. Esquema de aplicación de las fuerzas en la rueda.

Las fuerzas que hay que aplicar en las ruedas de la locomotora 253 se corresponden al caso del eje no guiado (entiéndase por eje guiado el sistema que utilizan los remolques *Talgo*) y tienen los valores siguientes:

Tabla 8.18. Valor de las fuerzas en la rueda para reproducir el ensayo.

Caso	Fuerzas (N)
1	$F_z = 133354,68$ $F_{y1} = 0$
2	$F_z = 133354,68$ $F_{y2} = 64010,25$
3	$F_z = 133354,68$ $F_{y3} = 38406,15$

La geometría a utilizar, -la rueda-, que ha sido almacenada en un archivo que permita el intercambio entre el programa de diseño, *Solid Edge*, y el de cálculo, *Abaqus CAE*, se ha simplificado y seccionado, de tal manera que se ha eliminado alguna geometría superflua y se ha obtenido la mitad inferior de la pieza (la zona que estaría en contacto con el carril) con objeto de simplificar el ensayo, no obteniéndose con ello cambios relevantes en el resultado.

8.3.2.1. Caso 1: vía recta

Conforme a lo expresado en la figura 8.12., en el *step Load* de *Abaqus* se introduce una sola fuerza (F_z) del valor señalado, como indica la figura 8.13. La

restricción de movimiento es un empotramiento en la superficie de calado del eje.

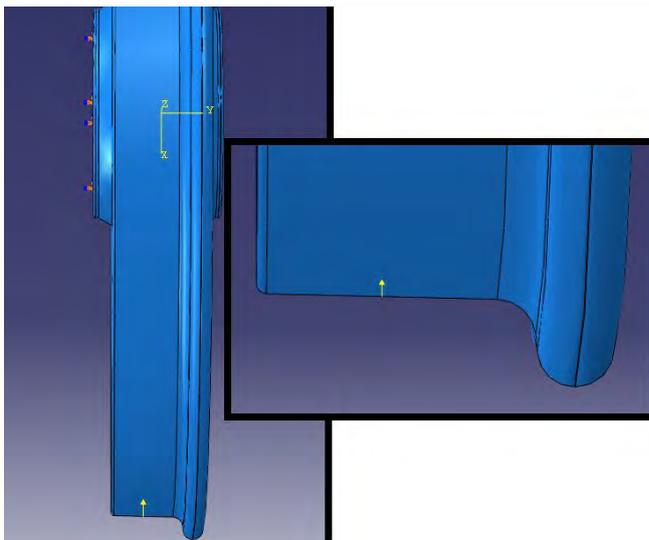


Figura 8.13. Punto de aplicación de la fuerza F_z .

Una vez mallada la pieza según las posibilidades que ofrece el programa, se obtienen los resultados de las tensiones principales máximas y mínimas, tal y como muestra la figura 8.14.

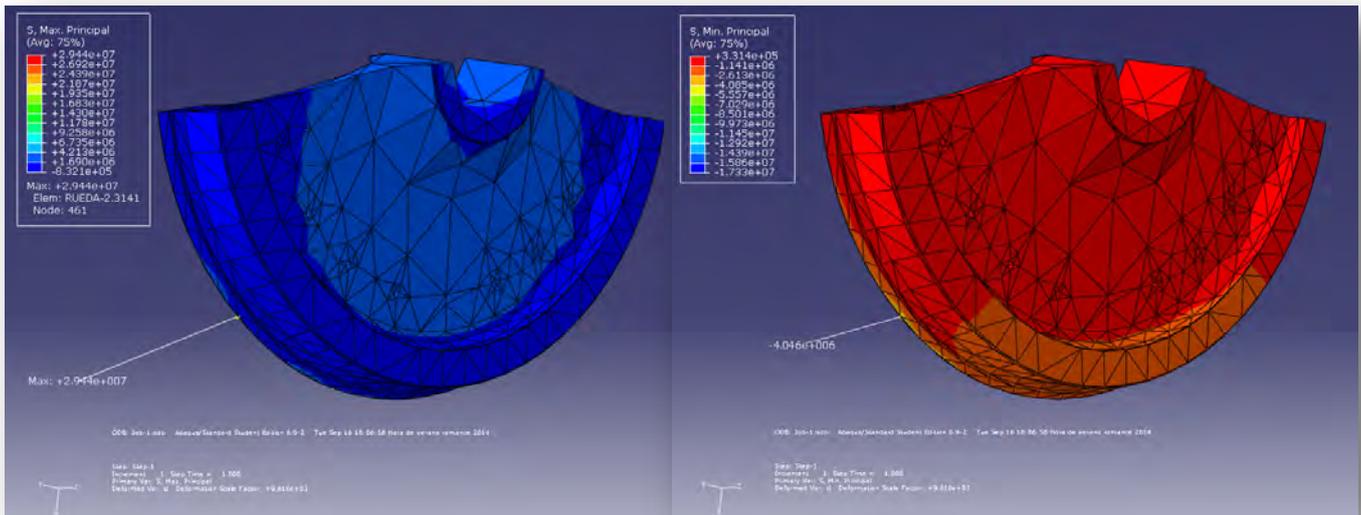


Figura 8.14. Tensión principal máxima y mínima para el caso 1.

Con los valores obtenidos, se proceden a calcular la diferencia de tensiones principales máxima y mínima (expresión [8.9]), cuyo valor según esta norma no debe exceder los 360 (MPa) para los casos de ruedas con membrana mecanizada, como es la pieza que se presenta.

$$\Delta\sigma = \sigma_{m\acute{a}x.} - \sigma_{m\acute{i}n.} \leq 360 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad [8.9]$$

Su resultado es 33,486 (MPa), por lo que no ofrece ningún tipo de problema.

8.3.2.2. Caso 2: curva

En este segundo caso, la distribución de fuerzas es la mostrada en la figura 8.15. El empotramiento se conserva de la anterior situación.

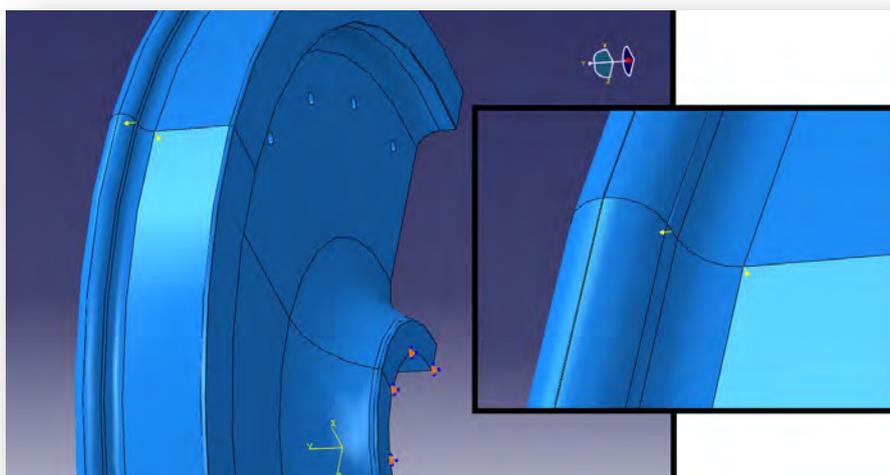


Figura 8.15. Puntos de aplicación de las fuerzas para el caso 2.

De igual manera que en el anterior caso, se muestran los resultados de la aplicación de estas fuerzas en la imagen 8.16.

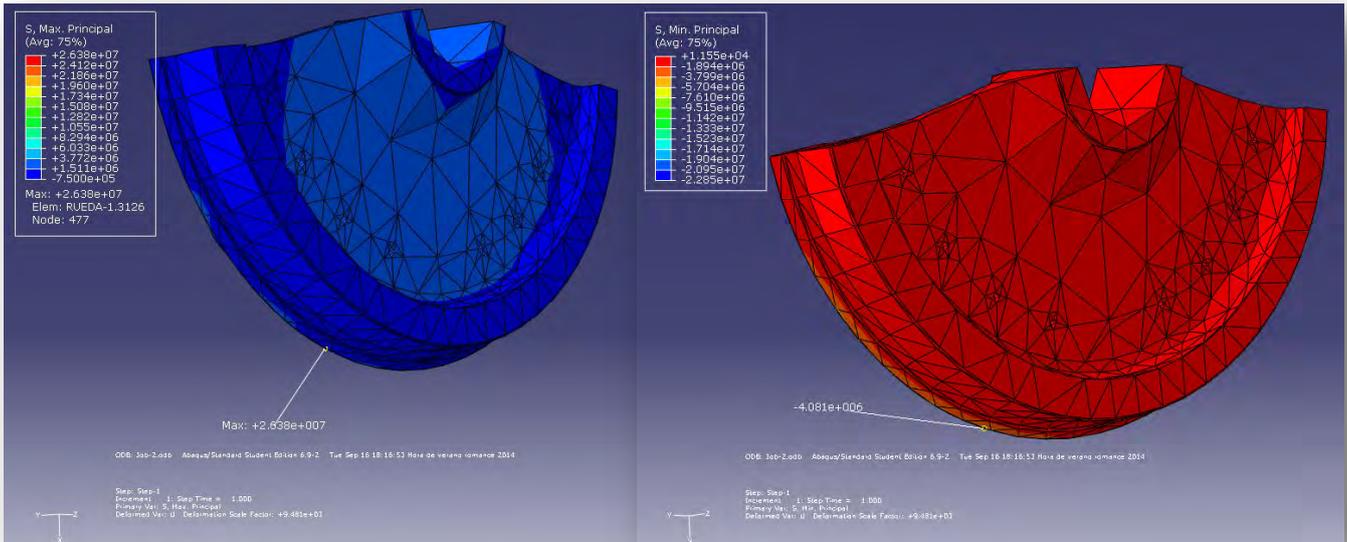


Figura 8.16. Tensión principal máxima y mínima para el caso 2.

De nuevo, procediendo como en el anterior apartado, se toma la diferencia de ambos valores para corroborarlo: $26,38 \text{ (MPa)} - (-4,081) \text{ (MPa)} = 30,461 \text{ (MPa)}$, por lo que de nuevo se verifica la validez de la rueda sin ningún tipo de problema, puesto de la diferencia queda aún muy lejos de los 360 (MPa).

8.3.2.3. Caso 3: paso por puntos y cruces

La última aplicación de fuerzas que la norma propone estudia el efecto que puede llegar a experimentar el eje montado cuando, debido a su movimiento de lazo, dicho eje no se encuentre centrado y obligue a las ruedas a rozar la parte interna de sus pestañas con los carriles que conforman, por ejemplo, los espadines de los cambios de agujas. La figura 8.17. muestra los puntos de aplicación en el programa *Abaqus*.

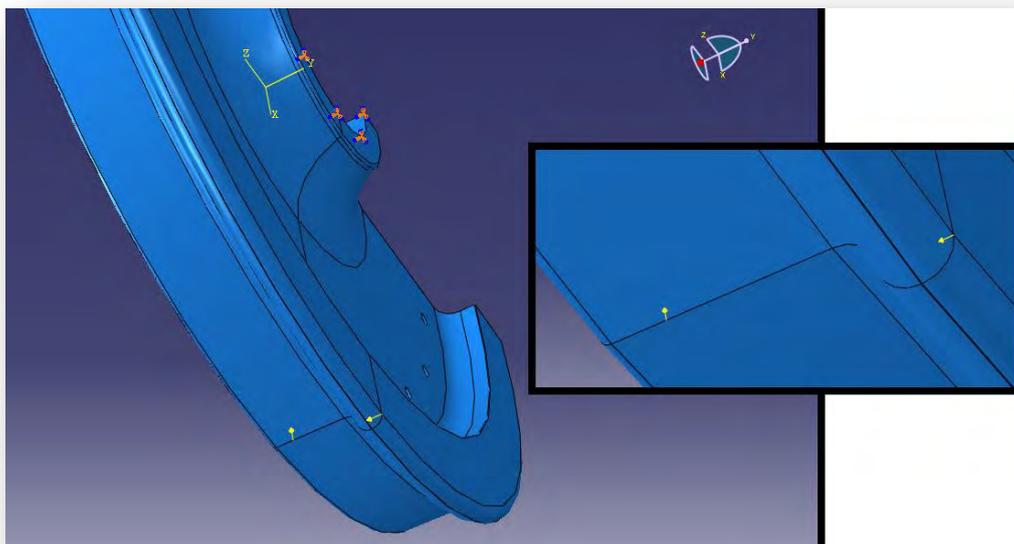


Figura 8.17. Puntos de aplicación de las fuerzas para el caso 3.

Análogamente a los casos anteriores, el resultado de las tensiones principales es el que se indica en la figura 8.18.

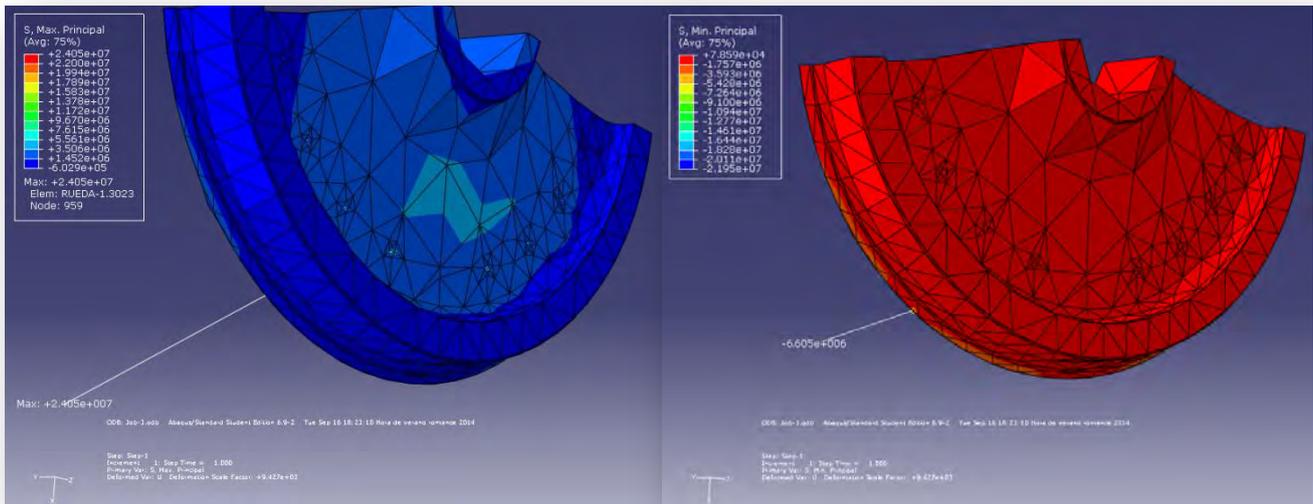


Figura 8.18. Tensión principal máxima y mínima para el caso 3.

Por última vez, se toma la diferencia de ambos valores para verificar su validez: $24,05 \text{ (MPa)} - (-6,605) \text{ (MPa)} = 30,655 \text{ (MPa)}$, que ratifica por tercera vez el cumplimiento de la especificación expresada en la norma.

La homologación vigente obliga, según se ha comprobado a lo largo de este apartado, al cumplimiento de una serie de parámetros y de esfuerzos mínimos que la estructura o las diferentes partes de un vehículo ferroviario deben soportar. Toda esta normativa está elaborada a través de entidades que certifican y validan los métodos de prueba que exigen, de tal forma que todos los países de la Unión Europea pueden servirse de ellos para homologar su material ferroviario conforme a unas mismas reglas. No obstante, la experiencia demuestra que muchas veces la normativa puede llegar a quedar corta en algunos aspectos, puesto que ésta no permite prever consecuencias a muy largo plazo, por ejemplo, en relación con la aparición de grietas en las zonas de calado tras una vida de servicio. La metodología de fabricación antigua se servía de las propiedades térmicas del metal para conseguir ajustar las ruedas en los ejes mediante la dilatación de los alojamientos por calor. Sin embargo, este proceso puede variar las propiedades del acero en esas zonas tan determinantes para el buen funcionamiento del tren, por lo que se modificó este punto, pasándose a realizar un calado a presión, lo que obliga a ejercer una fuerza enorme para conseguir igual resultado. Después de este proceso se debe analizar la posible aparición de fisuras y determinar la validez o no del producto resultante. Es este tipo de hechos los que hacen que en la actualidad la normativa sea revisada de forma periódica y se realicen investigaciones detalladas de distintos aspectos que puedan llevar a mejorar notablemente la estadística de fallos o roturas.

Por otro lado, no sólo existen las normativas a nivel mecánico o eléctrico dentro de un vehículo ferroviario, ya que cada vez cobran más importancia y rigurosidad (como ya se ha mencionado en el apartado 7.1.16.) las normativas referentes a fuego y humos, puesto que su severo cumplimiento puede ayudar a salvar vidas cuando un accidente sucede en lugares tan inesperados como túneles o lugares de difícil acceso para los equipos de emergencia.

Capítulo 9.

Trabajos futuros

9.1. Introducción

Resulta necesario al finalizar este documento presentar una serie de propuestas de trabajo en línea a lo ya expuesto en páginas anteriores, de tal manera que sirvan de motivación para proseguir ampliando conocimientos. Así pues, teniendo en cuenta que la principal de acción que se ha venido persiguiendo es la de la creación de un modelo 3D de la locomotora 253 de Renfe, se propone seguir en esta dirección a la hora de realizar estudios posteriores.

9.2. A partir del desarrollo 3D propuesto

Se ha señalado en anteriores capítulos la importancia y la necesidad de realizar estudios aerodinámicos mucho más exhaustivos del que se ha presentado en este trabajo, puesto que son una de las bases en el diseño de formas tanto para el ferrocarril como para otros medios de transporte. En línea con ello, se propone como un interesante punto de partida la fabricación a escala de la propia locomotora diseñada, con objeto de poder realizar un estudio aerodinámico en túnel de viento. Esto podría lograrse mediante la utilización de la tecnología de las impresoras 3D, habiendo realizado previamente un estudio minucioso acerca de cómo simplificar el modelo real para adecuarlo al nivel de detalle alcanzable a una escala que bien podría ser una de las utilizadas en los trenes de maqueta, como la *H0* (1:87).

Otro de los puntos que resultan interesantes y que viene a colación de la fabricación real a escala, es la de realizar un estudio de la utilización de los materiales compuestos como sustitutivos del metal en aquellas piezas que no sean de alta responsabilidad. Es decir, se propone la construcción de un modelo a escala (por ejemplo de 5 pulgadas) para el que se utilicen estos materiales en ciertos puntos de la locomotora, para posteriormente analizar distintos aspectos, como puedan ser la normativa anti-incendios (UNE-EN 45545) mediante ensayos destructivos en túnel de viento para monitorizar la progresión del humo y de las llamas, la resistencia ante impactos de distinto grado o cómo solucionar el problema que genera la utilización en grandes cantidades de estos materiales a la hora de evaluar la relación entre el peso del vehículo y su capacidad de tracción.

Estas dos líneas de trabajo anteriores pueden, así mismo, realizarse de forma virtual mediante un *software* similar a los ya utilizados, si bien se necesita de una potencia de cálculo y de tiempos considerables para poder efectuar un estudio lo más minucioso y correctamente hecho, además de tener que considerarse las necesarias validaciones entre el modelo virtual y el modelo real que requieren tanto las empresas que puedan servirse de estos estudios como las propias normativas.

Finalmente, queda por proponer como último punto para emprender un estudio futuro la utilización de imanes permanentes como sustitución de las reductoras tradicionales compuestas de ruedas dentadas. Aunque pueda parecer a simple vista algo más que inusual, lo cierto es que ya existen ciertos estudios (algunos en concreto, desarrollados en la propia Universidad Carlos III de Madrid) acerca de

esta innovadora tecnología, que podría suponer un cambio radical al modo en que hoy en día se entiende un tren de engranajes. El sistema consiste en dos ruedas formadas por imanes. A un imán con polo positivo le sigue otro con polo negativo hasta completar la circunferencia de la rueda. Su funcionamiento es el mismo que una reductora normal. En la figura 9.1. puede observarse un esquema.

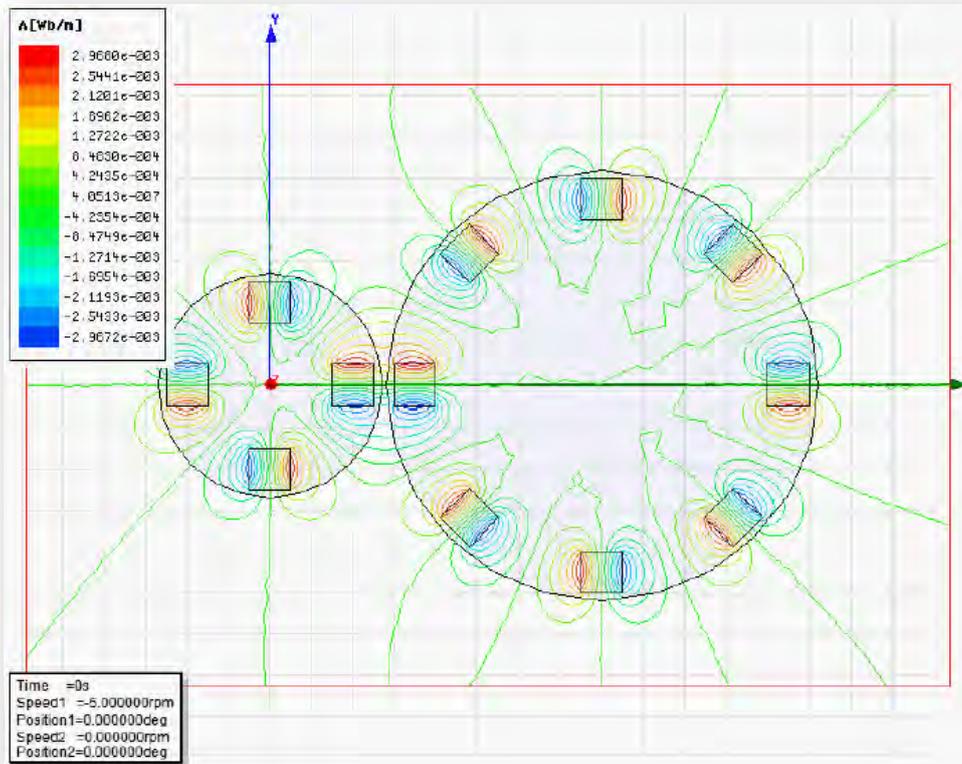


Figura 9.1. Líneas de campo generadas en un par de engranajes formado por imanes permanentes.

Las ventajas son:

- No necesita lubricación.
- Admite un diseño más flexible al evitarse el contacto físico.
- No existe peligro de rotura de dientes.
- Pueden absorber funcionamientos incorrectos del motor eléctrico.
- Se pueden "saltar un diente" sin problema.

Sus inconvenientes aún no están muy claros, aunque su mayor flaqueza reside en que la fuerza máxima desarrollable es aquella que esté justo por debajo de la necesaria para hacer que dos "dientes" salten y las ruedas comiencen a girar locas. Sin embargo, si la fuerza de atracción entre imanes sobrepasa los límites admisibles según el uso que vaya a tener el vehículo ferroviario en que vayan a ser instalados, no debería existir mayor problema. Lo cierto es que en la actualidad ya se han propuesto realizar estudios prácticos para verificar las bondades del sistema en una locomotora de Renfe. Es por ello que se pretendía enfatizar esta línea de investigación que parece que va vislumbrando la luz, junto con otra muy similar que propone la sustitución de cojinetes tradicionales y rodamientos por cojinetes sin fricción a partir del uso de imanes como los ya descritos. Este estudio lleva el nombre de Proyecto *MAGDRIVE*.

Capítulo 10.

Conclusiones

10.1. Conclusión final

El transporte ferroviario es mucho más que un simple tren que circula por unas vías. Aspectos como la seguridad, la homologación o la interoperabilidad entre redes de distintos países están hoy a la orden del día. Es por ello que tanto el diseño de un vehículo ferroviario como de la infraestructura por la que circula deben estar sometidos a una cantidad enorme de reglamentaciones y normativas que, lejos de poner trabas a la hora de ponerlos en funcionamiento, obedecen a una serie de estándares cada vez más estrictos de seguridad, fiabilidad y respeto por el medio ambiente.

Por una parte, -en referencia a los primeros puntos de este documento-, es que como se ha aprendido, no siempre se han tomado las decisiones más correctas a la hora de acometer la construcción de líneas o trazados, siendo muchas veces fruto de intereses económicos pasajeros o de decisiones poco meditadas, que han visto reflejado en el futuro la poca consistencia de los argumentos que una vez se dieron. Es por ello, en alusión al tráfico de mercancías, (aunque bien podría incluirse aquí también el de viajeros) que España siempre se ha encontrado en desventaja frente al resto de países del entorno, amén de sus circunstancias por su ubicación geográfica. Sin embargo, en la actualidad, el ferrocarril español está considerado como uno de los mejores del mundo, gracias a la cantidad de ingenieros y técnicos que han dedicado sus esfuerzos por colocar al tren en el punto en el que se merece. Hasta 1975, España era uno de los pocos reductos donde todavía era normal ver pasar trenes encabezados por grandes locomotoras de vapor como las míticas *Mikado*, las *Atómicas* o las *Confederación*, que por aquellos años, reemplazadas de sus primitivos cometidos por material más moderno, se veían relegadas a servicios secundarios, como trenes mercantes y ómnibus con interminables paradas. Y no obstante, en menos de treinta años, se veían avanzar por las vías los primeros trenes de Alta Velocidad y unos puntuales servicios de Cercanías, que comenzaban a vertebrar las grandes ciudades evitando los hasta entonces molestos e inevitables atascos de los extrarradios. Y no sólo el servicio de viajeros se veía recompensado por tanto esfuerzo: los trenes de contenedores ofrecían una buena competencia a la carretera, si bien como ya se sabe, los tiempos difíciles han hecho que la carretera, por sus competitivos precios y servicios, hayan vuelto a ganar terreno. Es por ello que seguir apostando por proyectos como los descritos en el capítulo 5 resultarán clave para la industria en el futuro, más si cabe porque los proyectos actuales se encaminan a una red ferroviaria que va mucho más allá de los límites estatales, haciendo que el transporte ferroviario logre redirigir los tráfico mercantes de toda Europa a través de sus líneas férreas. Se pretende, en definitiva, hacer realidad aquella frase que aparecía en el primer anuncio de Renfe Operadora: "*...sube a un tren que viene de muy lejos y va mucho más lejos todavía...*"

Por otra parte, ha resultado verdaderamente interesante adentrarse en los aspectos que depara el diseño gráfico, muchas veces sin más información que imágenes, fotografías o dibujos generales que si bien servían para hacerse una idea del

concepto, no mostraban la información necesaria para reducir los diseños al ámbito estrictamente mecánico. En este punto es donde la documentación, por poca que sea en diferentes medios, da como resultado un trabajo realista y que ofrece la posibilidad de crear un producto factible partiendo de cero. Junto con él, los cálculos realizados tanto para especificaciones técnicas como para homologación de la locomotora han puesto de relieve lo que se esconde detrás de un más o menos acertado diseño estético. Es entonces donde se reconoce en el ferrocarril un mundo mucho más extenso del que puede parecer a simple vista. Sin ir más lejos, las citadas pruebas de homologación hacen darse una idea de la cantidad de aspectos y focos de atención que hay que tener en cuenta en el momento en que se decide poner un tren en marcha, puesto que nada queda al azar y todo puede ser considerado objeto de regulación de cara a la seguridad no sólo del viajero, sino también de las propias mercancías o del medio ambiente. De hecho, este punto sigue siendo aún en la actualidad motivo de creación de proyectos de investigación encaminados a mejorar la vida en servicio de distintas partes esenciales del tren, y que seguramente desembocará en otros igualmente interesantes desde el punto de vista de mejorar lo que se conoce hasta la fecha en materia de homologación, que es directamente proporcional a la ya citada seguridad. Tristemente, pueden verse casos en los que a pesar de todas las prevenciones tomadas, siempre queda algún punto por tocar y que acaba propiciando situaciones inesperadas que terminan en graves accidentes; y es que es precisamente de estas catástrofes de donde se nutren abundantemente las normativas vigentes, puesto que, aunque fatales, aportan mucha más información que los experimentos que puedan llevarse a cabo en laboratorios o en simulaciones, ya sean reales o virtuales.

Por consiguiente, en el extenso mundo del ferrocarril aún quedan muchas cosas por hacer, por lo que este sector llama cada vez más la atención a un mayor número de empresas, instituciones y técnicos que se interesan por él, pues es con garantías uno de los medios de transporte del futuro que encaja a la perfección en ese acercamiento, aunque lento, de un desarrollo cien por cien sostenible.

Capítulo 11. ***Presupuesto***

11.1. Tiempos de trabajo

11.1.1. Documentación

- Documentación histórica 3 horas
- Documentación oficial 2 hora
- Documentación del diseño 6 horas
- Documentación específica ferroviaria 5 horas
- Documentación de homologación 4 horas

Total 20 horas

11.1.2. Diseño 3D y obtención de planos

- Diseño 3D en *Solid Edge* 480 horas
- Obtención de planos 90 horas

Total 570 horas

11.1.3. Cálculo y simulación

- Proceso de cálculo 20 horas
- Proceso de simulación (*Ansys Fluent* y *Abaqus CAE*) 18 horas

Total 38 horas

11.1.3. Redacción del informe

- Redacción del documento 30 horas

Total 30 horas

11.2. Precio de elaboración del proyecto

- Tiempo total 658 horas
- Precio de la hora (I.V.A. incluido) 15 €/hora

Total 9870 €

11.3. Precio tiempo tutorizado

- Tiempo total 50 horas
- Precio de la hora (I.V.A. incluido) 25 €/hora

Total 1250 €

11.4. Software utilizado

- *Solid Edge* (I.V.A. incluido): 6500 €/año; tiempo de utilización: 480 horas
 Total 356,16 €
- *Ansys Fluent* (I.V.A. incluido): 2500 €/año; tiempo de utilización: 25 horas
 Total 7,13 €
- *Abaqus* (I.V.A. incluido): 3000 €/año; tiempo de utilización: 42 horas
 Total 14,38 €
- *Microsoft Office* (I.V.A. incluido) 269 €

Total 646,67 €

11.5. Precio total

La suma de todos los anteriores apartados hacen que el presente proyecto se presupueste en un montante que asciende a ONCE MIL SETECIENTOS SESENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

Total # 11766,67 € #



Mario Mata García

Capítulo 12. **Referencias**

12.1. Bibliografía

- [1] *Revista Vía Libre*, nº 487. Págs. 107-114. Edita: Fundación de los Ferrocarriles Españoles; junio de 2005.
- [2] Vicente Díaz López, Ester Olmeda Santamaría, Antonio Gauchía Babé, Daniel García-Pozuelo Ramos, Beatriz López Boada, María Jesús López Boada, Julio Fuentes Losa; *Automóviles y Ferrocarriles*. Págs. 339-361. Edita: UNED; diciembre de 2012.
- [3] *RENFE, Trenes eléctricos de ayer y hoy*. Págs. 13-16, 25-29, 37-41, 49-53, 263-264, 378-382, 443-444, 462-466, 498-502, 510-514, 517-521, 853-857, 882-886. Edita: Ediciones Altaya; 2008.
- [4] Dr. D. Aitor Landaberea, gerente de I+D de CAF, Unidad de Rodajes; *Ponencia Euraxles Project: Minimizing the risk of fatigue failure of railways axles*; Segundo Foro Europeo del Tren de Rodadura; 17 de junio de 2014.
- [5] Dr. D. Efrén Díez Jiménez, Departamento de Ingeniería Mecánica UC3M; *Ponencia Lubrication-free drives*; Segundo Foro Europeo del Tren de Rodadura; 16 de junio de 2014.
- [6] *Libro blanco del transporte*. Edita: Comisión Europea; Bruselas, 26 de marzo de 2011.
- [7] *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte, PEIT*. Págs. 25-123. Edita: Ministerio de Fomento; noviembre de 2005.
- [8] *Boletín Oficial del Estado*, nº 195. Resolución 13440. Págs. 68971-69061; 13 de agosto de 2009.
- [9] *Norma UNE-EN 13104+A2*. Edita: AENOR; abril de 2013.
- [10] *Norma UNE-EN 13979-1: 2006+A2*. Edita: AENOR; noviembre de 2011.
- [11] *El lenguaje del transporte intermodal. Vocabulario ilustrado*. Págs. 1-18. Edita: Ministerio de Fomento.
- [12] *Declaración sobre la Red*. Capítulo 3: Descripción de la Red. Edita: ADIF; 2014.
- [13] *Declaración sobre la Red*. Anexo H: Mapas de la Red gestionada por ADIF. Edita: ADIF; 2014.
- [14] V. Linhart, M. Čipera, I. Černý, L. Čiperová; *The effect of ion nitriding and carbonitriding on fretting fatigue of steels*. Edita: WASET; 26 de abril de 2011.
- [15] Dr. Eva Schmincke (chair), Dr. Ralf Utermöhlen (AGIMUS), Dipl.-Ing. Jürgen Schmallenbach, (INUTEC); *Traxx 4 Environment. Environmental Product Declaration: Traxx P160 DE*. Págs. 4-7. Edita: Bombardier Transportation; septiembre de 2009.

- [16] Alberto García Álvarez, Juan Manuel Jiménez Aguilar, Iván Palacio Vijande, Luis Eduardo Mesa Santos, Rodolfo Ramos Melero, Álvaro O'Shea Pardo, Pilar Martín Cañizares; *Informe 2010: Observatorio del Ferrocarril en España*. Capítulo 3: Transporte de Mercancías. Edita: Fundación de los Ferrocarriles Españoles y Ministerio de Fomento; diciembre de 2011.
- [17] *Vía Libre Investigación Técnica: Estudio del comportamiento de materiales compuestos reforzados con fibra utilizados para el revestimiento de vehículos ferroviarios*. Edita: Fundación de los Ferrocarriles Españoles; julio de 2013.
- [18] *Manual de circulación. Mecanismos de freno*. Edita: RENFE; 1999.
- [19] http://www.adif.es/es_ES/comunicacion_y_prensa/fichas_de_actualidad/ficha_actualidad_00070.shtml/ Consulta: 20/05/2014.
- [20] http://www.adif.es/ca_ES/ocio_y_cultura/fichas_informativas/ficha_informativa_00043.shtml/ Consulta: 07/06/2014.
- [21] <http://www.listadotren.es/carac/fichadatos.php?id=4> Consulta: 17/07/2014.
- [22] http://www.vialibre-ffe.com/pdf/10415_pdf_02.pdf Consulta: 13/04/2014.
- [23] <http://historiastren.blogspot.com.es/2012/11/175-anos-de-historia-ferroviaria-en.html> Consulta: 20/04/2014.
- [24] <http://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2013/01/31/valenciano-aislo-espana-ancho-iberico/970796.html> Consulta: 25/04/2014.
- [25] http://www.grijalvo.com/Subercase/Informe_Subercase_modernizado.htm Consulta: 25/04/2014.
- [26] http://www.ferropedia.es/wiki/Mapas_de_ferrocarriles_de_Espa%C3%B1a_y_Portugal Consulta: 02/05/2014.
- [27] <http://www.jorges.arrakis.es/materialrenfe/serie289.html> Consulta: 02/06/2014
- [28] <http://mundo-ferroviario.es/index.php/component/content/article/16-renfe-operadora/locomotoras-electricas/6329-renfe-serie-250> Consulta: 04/06/2014
- [29] <http://samm2250.blogspot.com.es/2014/02/las-le-ma-nas-las-dos-cien-tas-cin-cuen.html> Consulta: 05/06/2014
- [30] <http://www.vferrer.net/el-transporte-de-ovinos-porcinos-pescados-gallinaceas-y-frutas-varias> Consulta: 30/05/2014
- [31] http://noticias.lainformacion.com/mundo/ascienden-a-16-los-muertos-en-la-explosion-de-un-tren-de-mercancias-en-viareggio_hmxTAwHPvJvUjRLlAnRAP4/ Consulta: 13/03/2014
- [32] <http://www.libertaddigital.com/mundo/el-eje-del-vagon-que-origino-la-explosion-en-italia-estaba-oxidado-1276363761/> Consulta: 13/03/2014
- [33] <http://www.saftec.com.ec/containers.pdf> Consulta: 04/06/2014

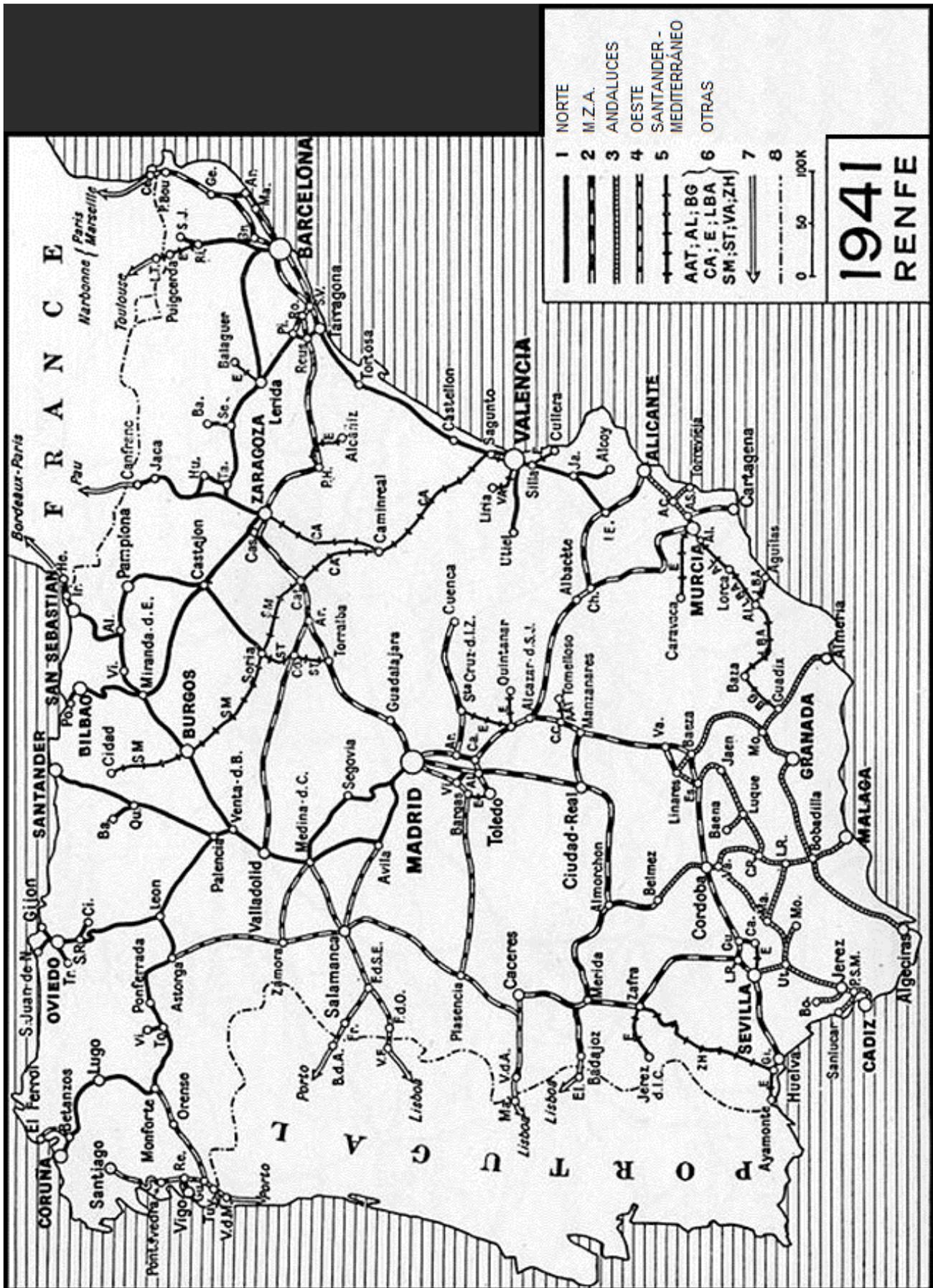
- [34] http://www.vialibre-ffe.com/pdf/06_MR_ANU09.pdf Consulta: 22/07/2014
- [35] <http://www.sindicatoferroviario.com/> Consulta: 10/08/2014
- [36] <http://www.cadenadesuministro.es/documentos/proyecto-de-implantacion-del-ancho-uic-en-el-corredor-ferroviario-mediterraneo/> Consulta: 10/06/2014
- [37] http://www.ferropedia.es/wiki/LAV_mixta_Barcelona_-_Figueres
Consulta: 27/06/2014
- [38] <http://www.forotrenes.com/foro/viewtopic.php?t=21016>
Consulta: 30/06/2014
- [39] <http://www.zukunft-mobilitaet.net/1400/konzepte/megaswing-das-eigene-intermodale-terminal/> Consulta: 05/07/2014
- [40] <http://www.skygreencargo.com/images/contenedores.pdf>
Consulta: 04/08/2014
- [41] Material de Cinemática y Dinámica de Máquinas.
- [42] Material de Diseño y Ensayo de Máquinas.

Capítulo 13.

Anexos

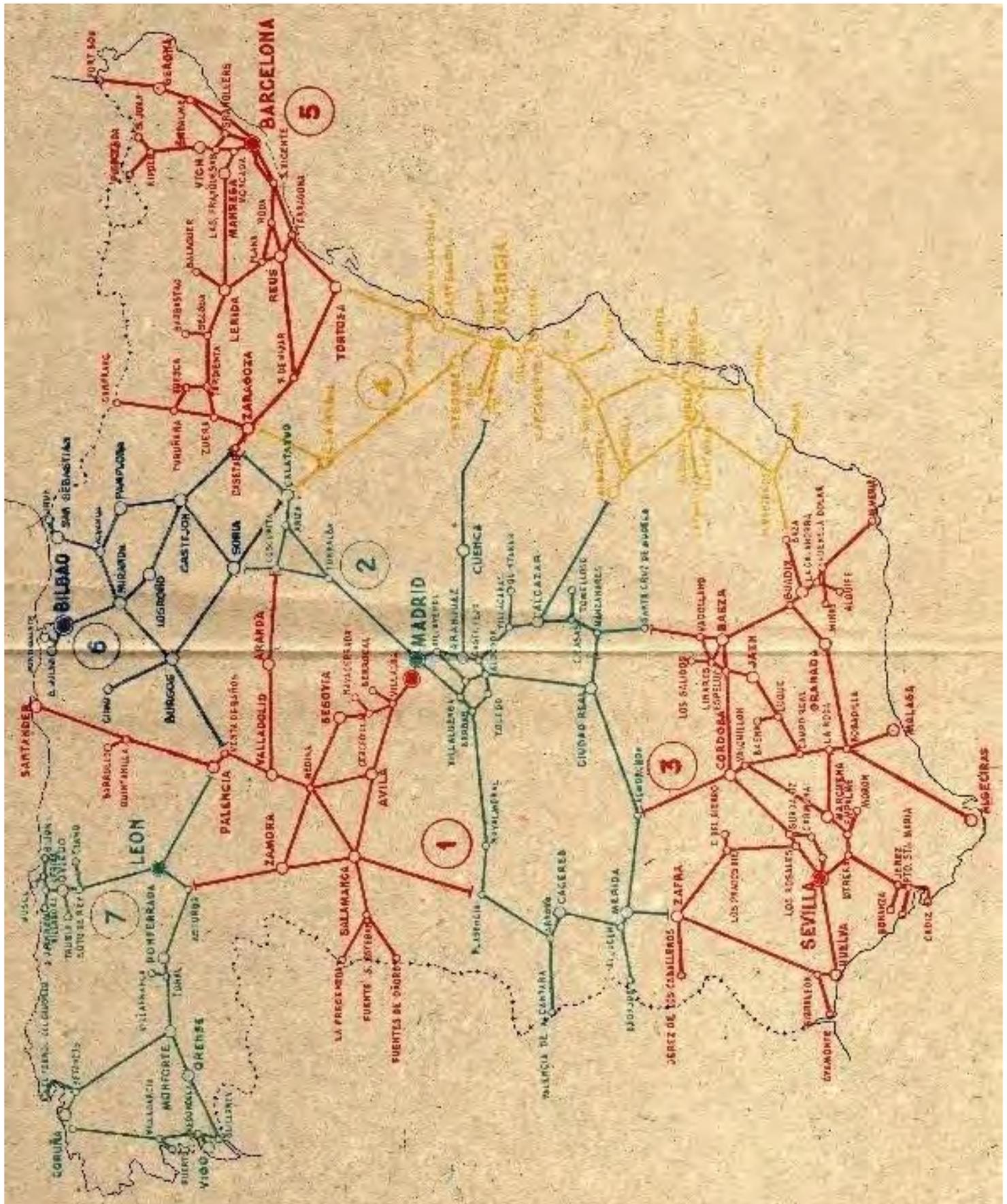
13.1. Mapa de las empresas ferroviarias antes de 1941

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_Nacional_de_los_Ferrocarriles_Españoles



13.2. Mapa de las zonas de RENFE

Fuente: <http://www.todocoleccion.net>

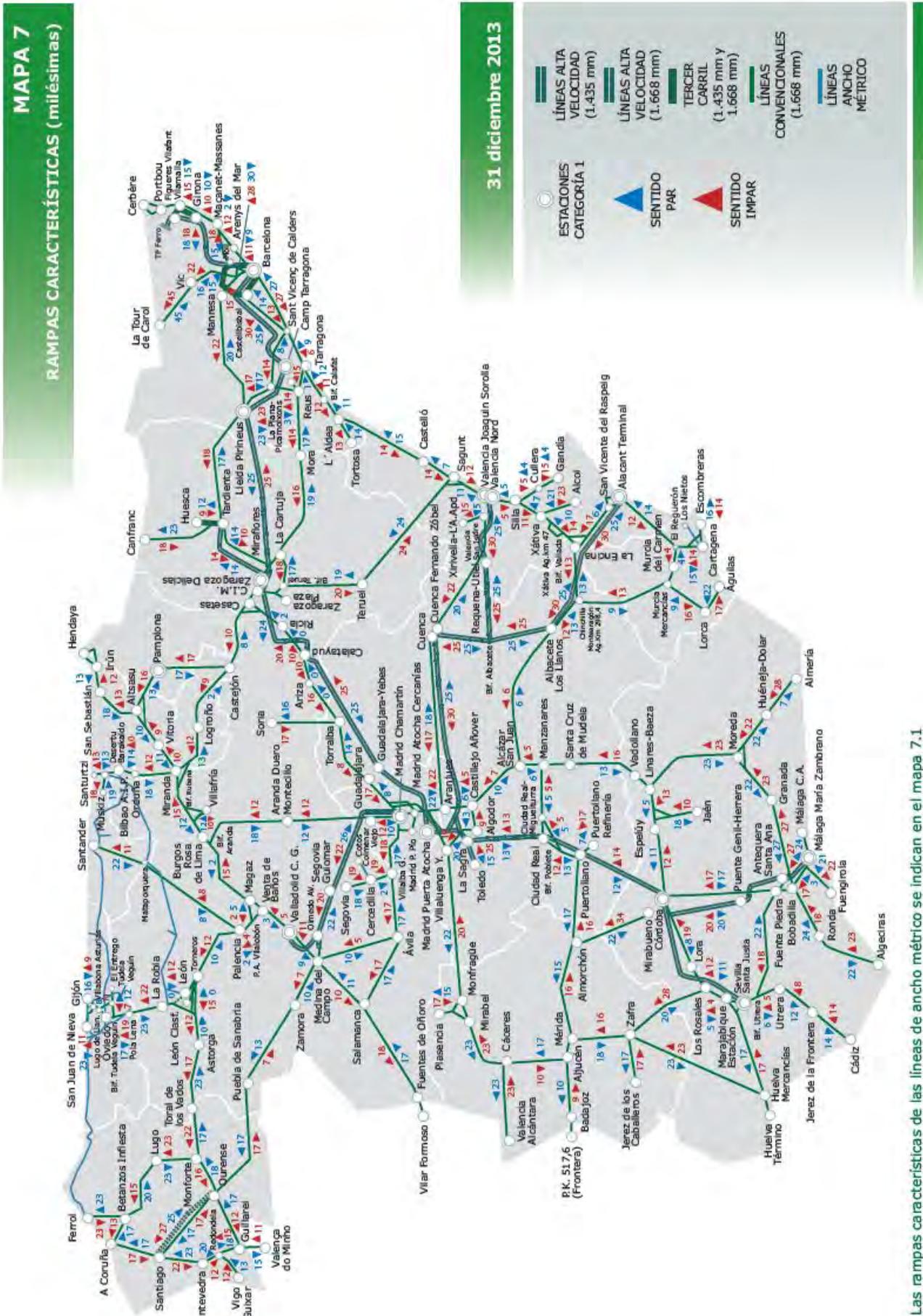


13.3. Mapa de la red ferroviaria con rampas y pendientes máximas

Fuente: ADIF

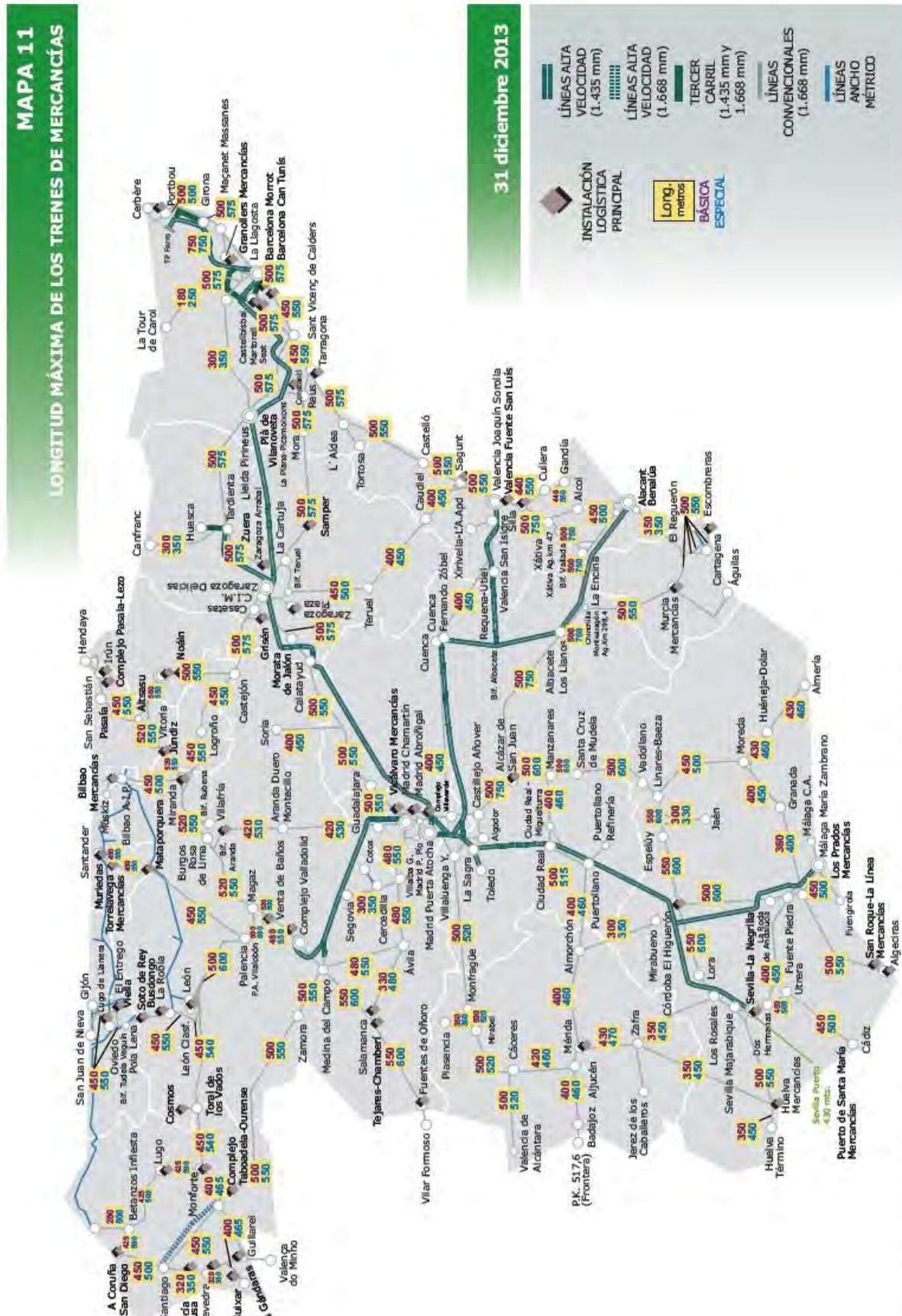


Anexos



13.4. Mapa de la red ferroviaria con longitudes máximas de trenes

Fuente: ADIF



La longitud máxima de los trenes de mercancías en las líneas de ancho métrico se indican en el mapa 11.1.

13.5. Cuadro de evaluación de los vehículos ferroviarios completos

Fuente: Boletín Oficial del Estado, nº 195 del jueves, 13 de agosto de 2009, pág. 69034

Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.1.1.1 Resistencia de la caja de los vehículos.	ETI MR AV UNE-EN 12663 UNE-EN 15085-5	X	X	X
4.1.1.2 Seguridad pasiva de las cajas de los vehículos.	UNE-EN 15227	X	n.a.	n.a.
4.1.1.3 Abrazaderas de seguridad.	UNE-EN 12663	X	n.a.	n.a.
4.1.1.4 Variaciones de presión en túneles.	ETI MR AV	X	X	n.a.
4.1.1.5 Seguridad contra incendios.	ETI MR AV UNE 23727 NF F 16-101 UNE-EN ISO 4589-1 UNE-EN ISO 4589-2 UNE-EN 1363-1 EN 50355 UIC 564-2 UIC 642	X	X	X
4.1.1.6 Dotación de útiles.	RGC ETI Túneles	X	n.a.	X
4.1.1.7 Otros cristales interiores.	UIC 564-1 UIC 651	X	n.a.	n.a.
4.1.2.1 Puertas exteriores de acceso a la cabina de conducción.	ETI MR AV UIC 558 UIC 646 UIC 651	X	X	n.a.
4.1.2.2 Aparatos de alarma.	UIC 541-5	X	X	X
4.1.2.3 Iluminación de emergencia.	ETI MR AV UNE-EN 13272 UNE 23035-1 UNE 23035-2	X	X	X
4.1.3.1 Configuración.	ETI MR AV UIC 651	X	n.a.	n.a.
4.1.3.2 Inscripciones y rótulos.	UIC 640 UIC 660	X	n.a.	X
4.1.4 Medidas de protección relativas a riesgos eléctricos para las personas.	ETI MR AV UNE-EN 50153 Anexo I	X	X	X
4.1.5.1 Efecto aerodinámico de la locomotora.	ETI MR AV	X	X	n.a.
4.1.5.2 Avisadores acústicos.	ETI MR AV	n.a.	X	X
4.1.5.2 Componente característico: Avisadores acústicos.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.1.6 Válvula o membrana de expansión de los transformadores.		X	n.a.	n.a.
4.1.7 Depósitos de aire comprimido para aplicaciones diferentes del frenado.	UNE-EN 286-3 UNE-EN 286-4 RD 1495/1991	X	n.a.	n.a.
4.2.1.1 Gálibo.	Instrucción Gálibos ETI MR AV	X	X	n.a.
4.2.1.2.1 Comportamiento dinámico del material.	UNE-EN 14363 Declaración sobre la Red	n.a.	X	n.a.

Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.2.1.2.2 Sistema de detección de inestabilidad.	ETI MR AV UNE-EN 14363	X	X	X
4.2.1.2.3 Aptitud para circular por curvas de radio reducido.		n.a.	X	n.a.
4.2.1.2.4 Seguridad de marcha. Circulación por curvas/contracurvas.	UIC 510-2 UIC 527-1 UIC 528 UIC 680	X	X	n.a.
4.2.1.2.5 Características geométricas de los ejes montados.	UNE-EN 13260 UIC 430-1 UIC 510-2 UIC 813	X	X	X
4.2.1.2.6 Franqueo de alabeos de vía.	UNE-EN 14363	X	X	n.a.
4.2.1.2.7 Protección quitapiedras de los ejes de cabeza.	UIC 615-1	X	n.a.	n.a.
4.2.1.2.8 Seguridad de marcha. Vientos transversales.	ETI MR AV	X	X	n.a.
4.2.1.2.9 Seguridad de marcha. Cruce en túneles.	UNE-EN 14067-3 UNE-EN 14067-5 ETI INF AV	X	n.a.	n.a.
4.2.1.3.1 Carga por eje.	ETI MR AV Declaración sobre la Red UNE-EN 50215	n.a.	X	X
4.2.1.3.2 Esfuerzos verticales estáticos.	UIC 510-2	X	n.a.	n.a.
4.2.1.3.3 Fuerzas transversales y verticales dinámicas.	UNE-EN 14363	n.a.	X	n.a.
4.2.1.3.4 Fuerzas longitudinales sobre la vía.		X	n.a.	n.a.
4.2.1.3.5 Engrasador de pestaña.		n.a.	X	X
4.2.1.4 Exigencias de los bogies. Concepción, fabricación y validación.	UNE-EN 13749 UNE-EN 15085-5	X	X	X
4.2.1.5.1 Ejes montados.	UNE-EN 13260 UIC 510-2 UIC 813	X	X	n.a.
4.2.1.5.2 Cuerpos de eje.	UNE-EN 13103 UNE-EN 13104 UNE-EN 13261	X	n.a.	n.a.
4.2.1.5.3 Componente Característico: Ruedas.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.1.5.4 Rodamientos.	UNE-EN 12080 UNE-EN 12082	X	X	n.a.
4.2.1.5.5 Grasa.	UNE-EN 12081 UNE-EN 12082	X	X	n.a.
4.2.1.5.6 Cuerpos de caja de grasa.	UNE-EN 12082	X	X	n.a.
4.2.1.5.7 Concepción, fabricación y validación de conjuntos de rodadura de ancho variable.	Anexo G	X	X	n.a.
4.2.1.6 Sistema de arenado.	ETI MR AV	X	X	X
4.2.2.1.1 Funcionamiento normal.	Declaración sobre la Red UNE-EN 50163 UNE-EN 50215	X	X	n.a.
4.2.2.1.2 Frenos de recuperación.	UNE-EN 50388	X	X	n.a.
4.2.2.1.3 Limitación de potencia.	UNE-EN 50388	X	X	n.a.
4.2.2.1.4 Factor de potencia.	UNE-EN 50388	X	X	n.a.
4.2.2.1.5 Interruptor principal y coordinación de la protección eléctrica con la infraestructura.	UNE-EN 60077-4 UNE-EN 50388	X	X	n.a.
4.2.2.1.6 Inmunidad a componente de continua en el suministro de corriente alterna.	ETI MR AV	X	n.a.	n.a.

Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.2.2.1.7 Paso de secciones de separación de fase.	ETI MR AV ETI ENE AV	X	X	n.a.
4.2.2.1.8 Paso de secciones de separación de sistema de alimentación.	ETI INF AV ETI MR AV UIC 811	X	X	n.a.
4.2.2.1.9 Saltos de tensión, interrupciones y cortocircuitos.	UNE-EN 50215	n.a.	X	n.a.
4.2.2.1.10 Sobretensiones generadas por el material rodante.	UNE-EN 50388	X	X	n.a.
4.2.2.2.1 Componente Característico: Pantógrafos: Concepción y validación.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.2.2.2 Pantógrafos Calidad de la captación pantógrafo/ catenaria.	ETI MR AV UNE-EN 50317 UNE-EN 50318 UNE-EN 50367	X	X	X
4.2.2.2.3 Pantógrafos: Dispositivo de seguridad.	UNE-EN 50206-1	X	X	n.a.
4.2.2.2.4 Pantógrafos: Sistema de accionamiento por el maquinista.	UNE-EN 50206-1	X	X	X
4.2.2.2.5 Pantógrafos: Espaciado entre pantógrafos elevados.	ETI MR AV ETI ENE AV UIC 794-1 UNE-EN 50317 UNE-EN 50318 UNE-EN 50367	X	X	n.a.
4.2.2.2.6 Pantógrafos: Fuerza de contacto estática.	ETI MR AV UNE-EN 50206-1 UNE-EN 50317 UNE-EN 50367	n.a.	X	X
4.2.2.3 Línea de tren.	UIC 550 UIC 552 UNE-EN 81287-1	X	X	n.a.
4.2.2.4 Ventilación de baterías.	UNE-EN 50272-2	X	n.a.	n.a.
4.2.3.1.1 ERTMS/ETCS.	ETI CMS AV ETI CMS Conv. 2008/386/CE Parte I: Funcionalidad Nacional del sistema ERTMS Equipo Embarcado Anejo 1: Descripción técnica de los paquetes y variables específicos de las Funciones Nacionales de ERTMS/ETCS	X	X	X
4.2.3.1.1 Componente Característico: ERTMS/ETCS.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.1.2 Otros sistemas distintos de ERTMS/ETCS.	ET ASFA Digital	X	X	X
4.2.3.1.2 Componente Característico: Otros sistemas distintos de ERTMS/ETCS.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.1.3 Sistemas de detección, supervisión y diagnóstico.	ETI MR AV	X	X	X
4.2.3.1.4 Registrador jurídico.	Anexo H	X	X	X
4.2.3.1.4 Componente Característico: Registrador jurídico.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.1.5 Registrador de voz.	Anexo H	X	X	X

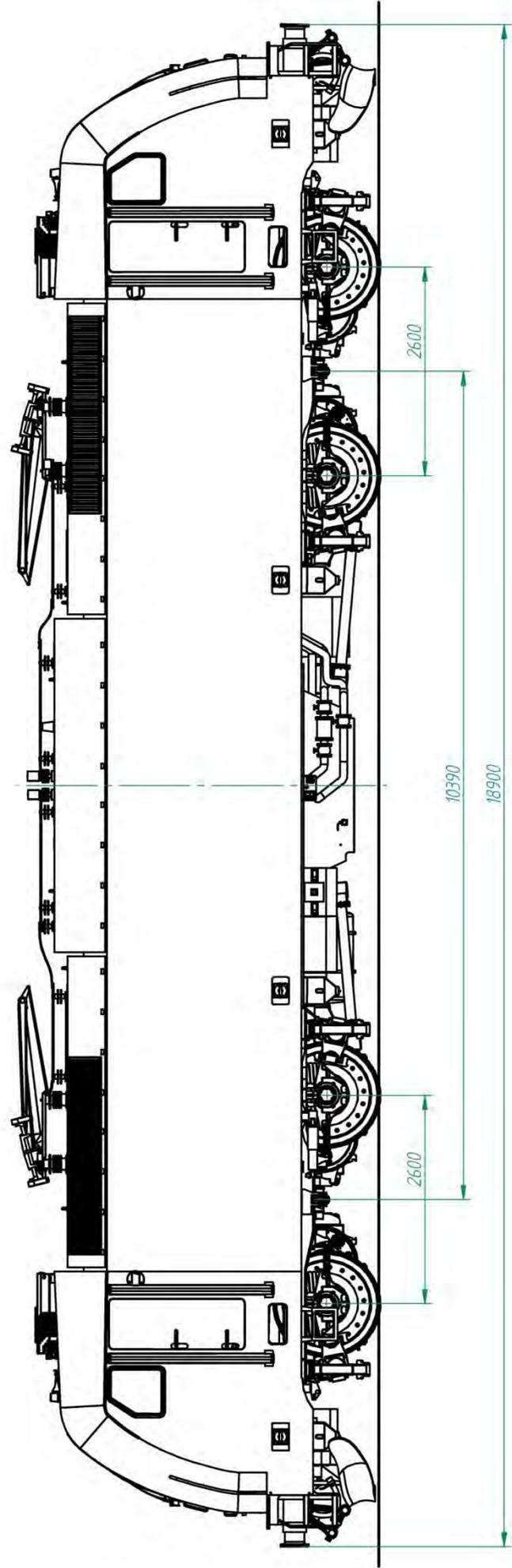
Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.2.3.1.5 Componente Característico: Registrador de voz.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.2 Comunicación por Radiotelefonía: Tren-Tierra y GSM-R.	UIC 751-1 UIC 751-2 UIC 751-3 ETI CMS AV ETI CMS Conv. 2008/386/CE Norma Radiotelefonía Digital GSM-R	X	X	X
Componente Característico: Tren-Tierra y/o GSM-R.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.2 Comunicación por Radiotelefonía: Tren-Tierra y GSM-R.				
4.2.3.3 Compatibilidad con los sistemas de Mando y Control. Perturbaciones.	Declaración sobre la Red UNE-EN 50121-3-1 UNE-EN 50121-3-2 UNE-EN 50238 ETI CMS AV ETI CMS Conv. ETI MR AV	X	X	n.a.
4.2.3.4.1 Ocupación de los circuitos de vía por el material rodante.	ETI MR AV	X	X	X
4.2.3.4.2 Corrientes armónicas.	ET CV ADIF Anexo K	X	X	X
4.2.3.5.1 Corrientes psfométricas.	UNE-EN 50121-3-1	X	X	n.a.
4.2.3.5.2 Sistema de megafonía.		X	X	X
4.2.3.6.1 Temperatura.	RGC	X	n.a.	n.a.
4.2.3.6.2 Cajas de grasa.		X	X	n.a.
4.2.3.6.3 Equipo embarcado.	UNE-EN 12082 ETI MR AV	X	X	X
4.2.3.7 Accionamiento de pedales y contadores de ejes.	UNE-EN 50238	X	X	n.a.
4.2.3.8 Dispositivo de vigilancia H. M.	UIC 641 UIC 651	X	X	X
4.2.3.9 Señalización de los extremos de la locomotora e iluminación exterior.	ETI MR AV UNE-EN 15153-1	X	X	X
Componente Característico: Luces		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.3.9 Señalización de los extremos de la locomotora e iluminación exterior.				
4.2.3.10 Marcas de identificación del material rodante.	UIC 438-3 UIC 545 UIC 552 UIC 640 UIC 660	X	n.a.	X
4.2.4.1 Equipos del puesto de conducción.		X	X	X
4.2.4.2 Ergonomía de la cabina.	UIC 643 UIC 651 ETI MR AV ETI MR-Ruido Conv. UNE-EN 13272	X	X	n.a.

Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.2.4.3 Visibilidad y protección del personal de la cabina.	UIC 651 UNE-EN 15152 ETI MR AV E/ECE/324/R43	X	n.a.	n.a.
Componente Característico: Parabrisas		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.4.3 Visibilidad y protección del personal de la cabina.				
4.2.4.4 Climatización de la cabina de conducción.	ETI MR AV	X	X	n.a.
4.2.5.1.1 Principio general de frenos de aire comprimido.	UIC 540-547 UNE-EN 286-3 UNE-EN 286-4 RD 1495/1991	X	X	X
4.2.5.1.2 Requerimientos del sistema de frenado.	ETI MR AV UIC 540-543 UIC 547	X	X	n.a.
4.2.5.1.3 Características mínimas de frenado.	ETI MR AV RGC UIC 544-1	X	X	X
4.2.5.1.4 Distancia de parada con freno de urgencia.	ETI MR AV RGC UIC 544-1	X	X	X
4.2.5.1.5 Límites de adherencia en frenado.	ETI MR AV UIC 544-1	X	n.a.	n.a.
4.2.5.1.6 Sistemas antideslizamiento y detectores de ejes bloqueados.	ETI MR AV UIC 541-05	X	X	n.a.
4.2.5.1.7 Sistemas de freno que actúan directamente sobre la vía.	UIC 541-06 ETI MR AV	X	X	n.a.
4.2.5.1.8 Dispositivo automático de recuperación del juego.		X	n.a.	n.a.
4.2.5.2.1 Prestaciones del freno de estacionamiento.	ETI MR AV UIC 544-1	X	X	n.a.
4.2.5.2.2 Comportamiento térmico de los frenos.		X	X	n.a.
4.2.6.1.1 Requerimientos de adherencia en tracción.	ETI MR AV	X	n.a.	n.a.
4.2.6.1.2 Enganches extremos. – Enganche tipo 10 – Enganche de socorro – Gancho de arrastre y tensor – Topes.	ETI MR AV UIC 430-2 UIC 520 UIC 521 UIC 522-2 UIC 526 (partes 1, 2 y 3) UIC 528 UIC 541-1 UIC 648	X X X X X	X X X X X	n.a. n.a. n.a. X X
4.2.6.1.2 Componente Característico: Enganches extremos. – Enganche tipo 10 – Enganche de socorro – Gancho de arrastre y tensor – Topes.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.6.2.1 Procedimiento de operación.	Verificación (independiente de la evaluación del material rodante) de la existencia de un procedimiento para recuperar el material rodante en dificultades.			
4.2.6.2.2 Acoplamientos y freno.	ETI MR AV UIC 520 UIC 540 UIC 541-1	X	X	n.a.

Requisitos que deben evaluarse	Referencia	Fases de diseño y desarrollo		Fase de producción
		Análisis del diseño	Ensayo de tipo	Ensayo de serie
4.2.6.2.2 Componente Característico: Acoplamientos y freno.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.2.6.2.3 Levante.	UIC 640 UIC 660	X	n.a.	n.a.
4.2.7 Condiciones ambientales.	UNE-EN 50125-1 UNE-EN 50155	X	X	n.a.
4.3.1 Ruido.	ETI MR AV ETI MR-Ruido Conv.	n.a.	X	n.a.
4.3.2 Perturbaciones electromagnéticas.	UNE-EN 50121-3-1	X	X	n.a.
4.3.3 Emisiones de gases y vertidos.	2002/88/CE 2004/26/CE	X	n.a.	n.a.
Componente Característico: Motores diesel.		Informe de validación (según Cuadro D.1)		
4.3.3 Emisiones de gases y vertidos.				
4.3.4 Materiales y productos prohibidos o sometidos a restricciones.	Reg. (CE) 987/2008 RD 1802/2008 UIC 345	X	n.a.	n.a.
4.3.5 Depósitos que contengan líquidos inflamables.	ETI MR AV	X	n.a.	n.a.
4.3.6 Exigencias para la protección del medio ambiente.	UIC 345	X	n.a.	n.a.
4.4.1 Documentación de mantenimiento.	Se verificará la existencia de la documentación de mantenimiento listada en este apartado, pero no su contenido.			
4.4.2 Plan de mantenimiento de un vehículo ferroviario.	El organismo de certificación verificará la existencia de un plan de mantenimiento que incluya los elementos definidos en este apartado.			
4.5. Estudio FDMS.	UNE-EN 50126	El estudio será validado por un evaluador independiente de seguridad.		

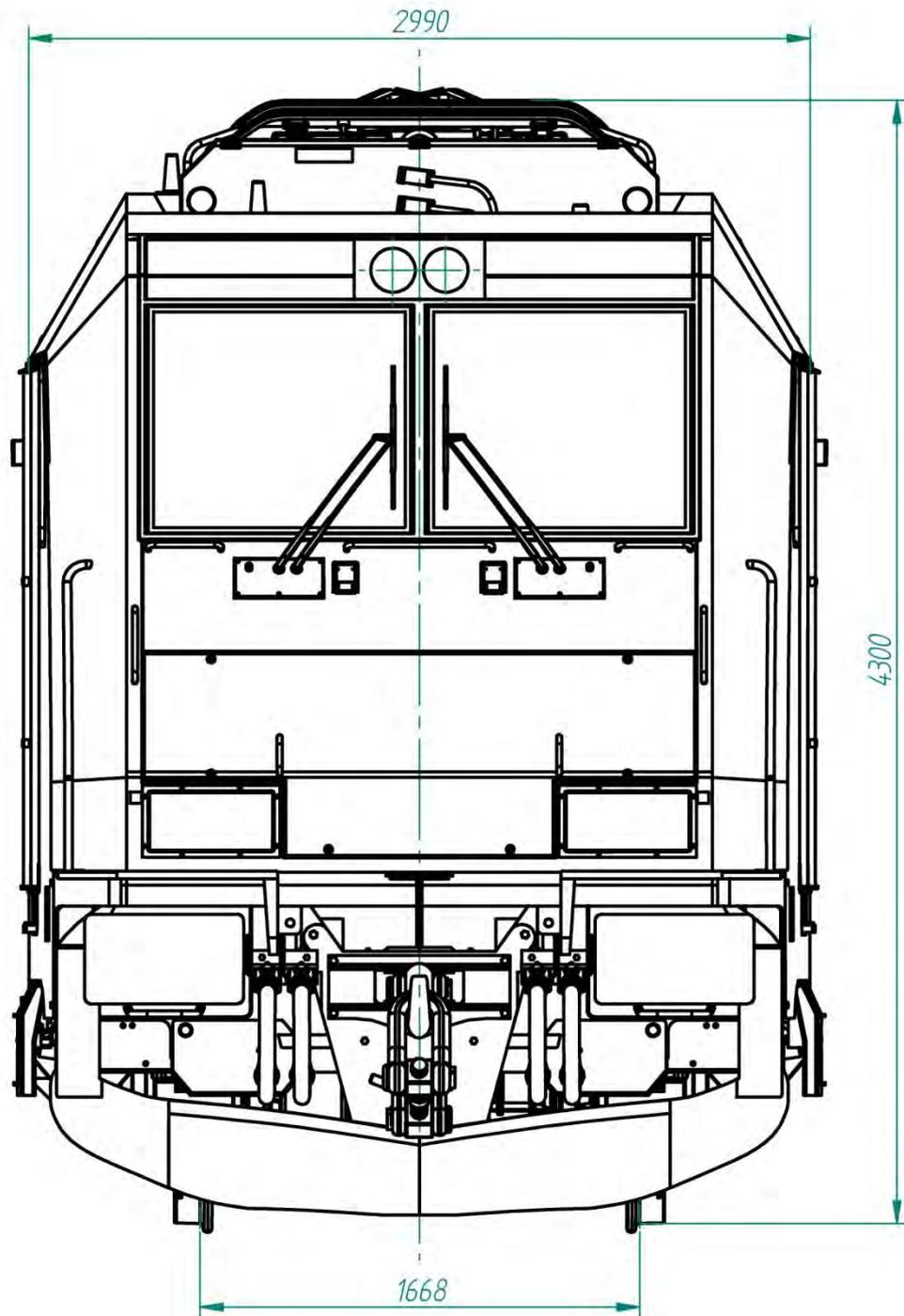
13.6. Planos de la locomotora S-253

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

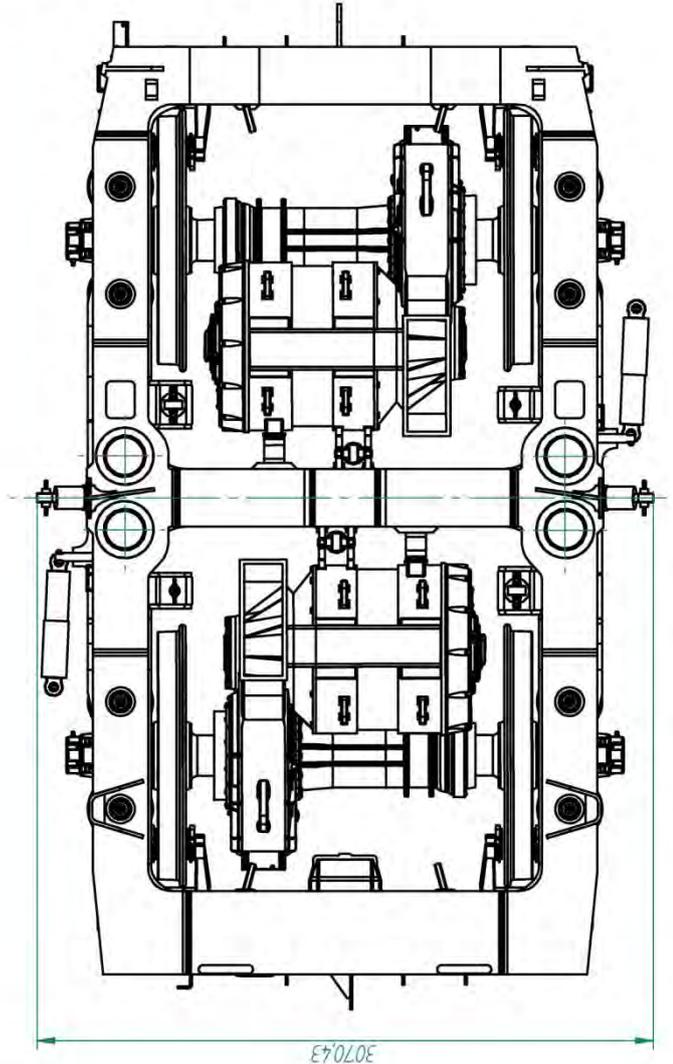
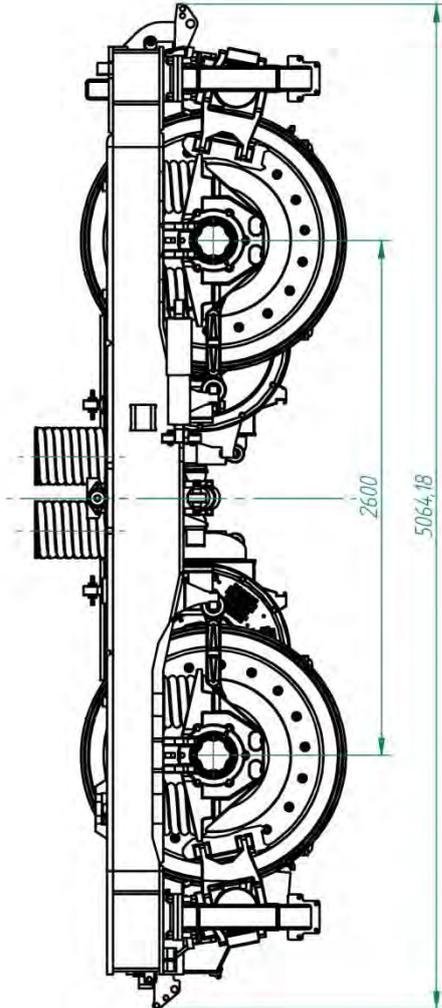
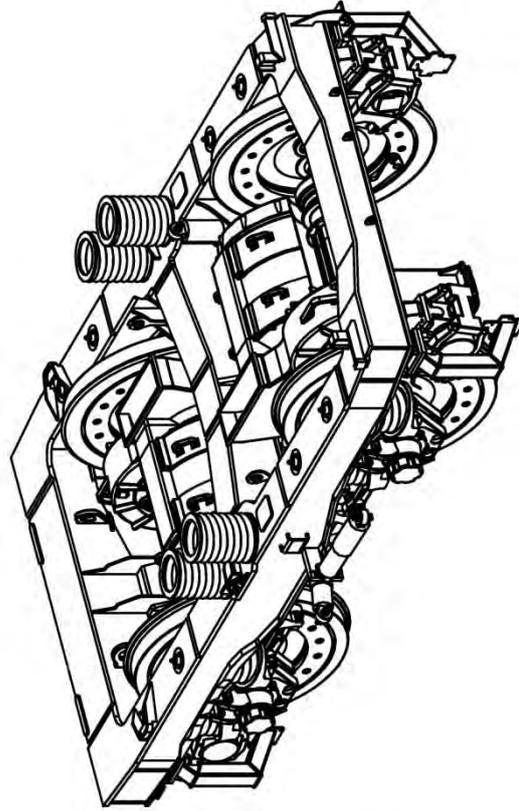
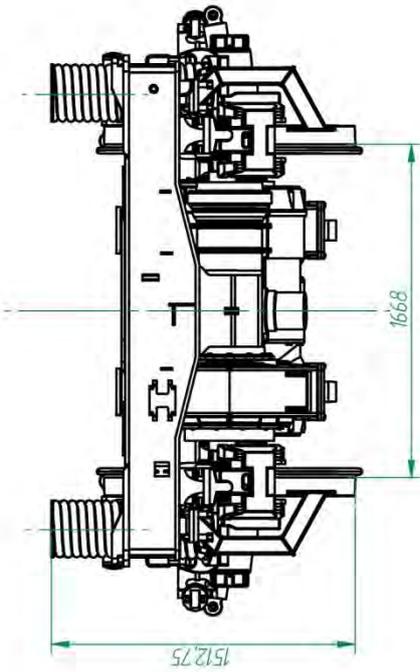


Nombre		Fecha
Dibujado		14/08/14
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros á ngulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		
Título: LATERAL DE LA LOCOMOTORA		Rev
Plano		
Archivo: Montaje		
Escala: 1 : 50		Hoja 1 de 1

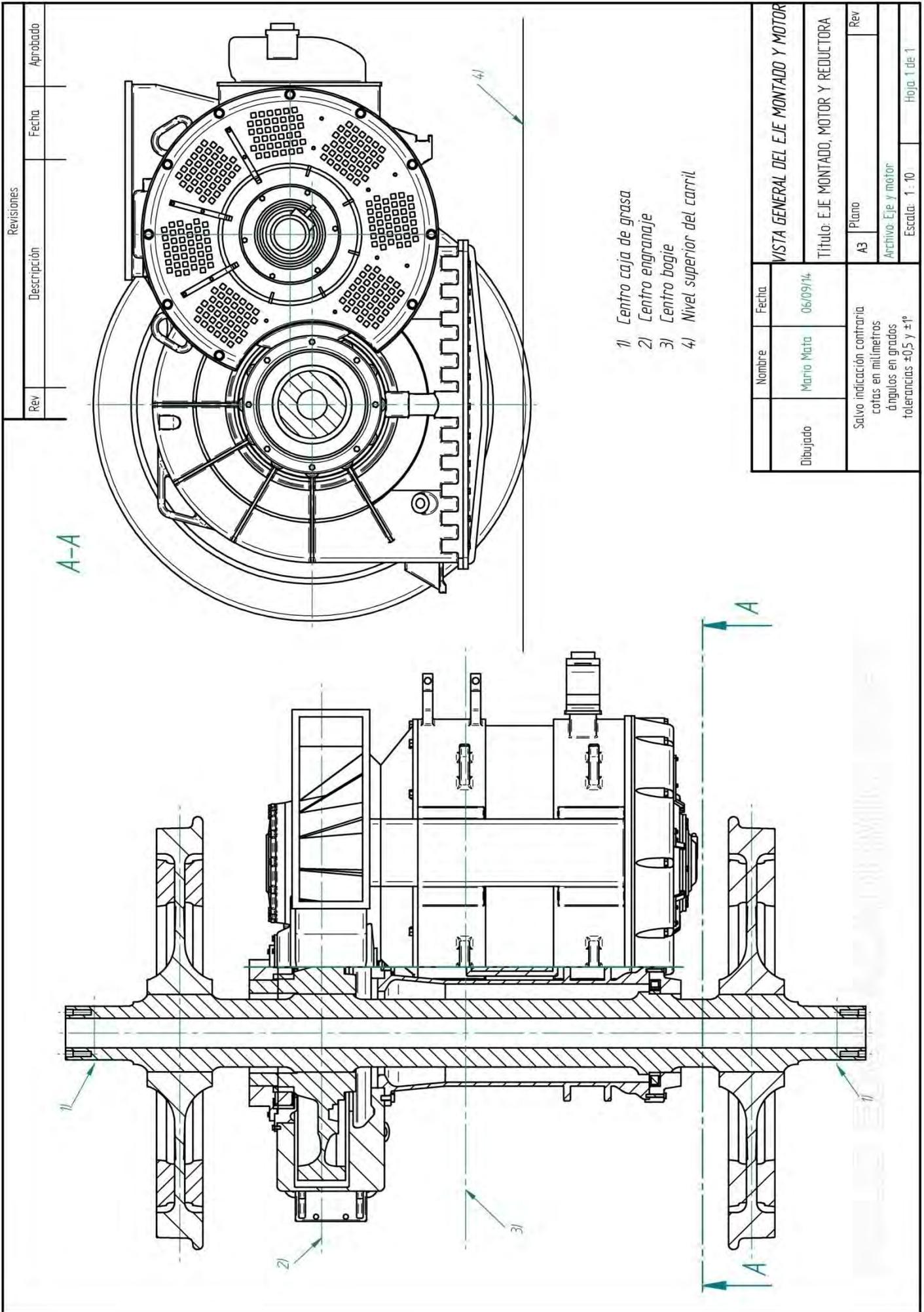
VISTA GENERAL LOCOMOTORA S-253



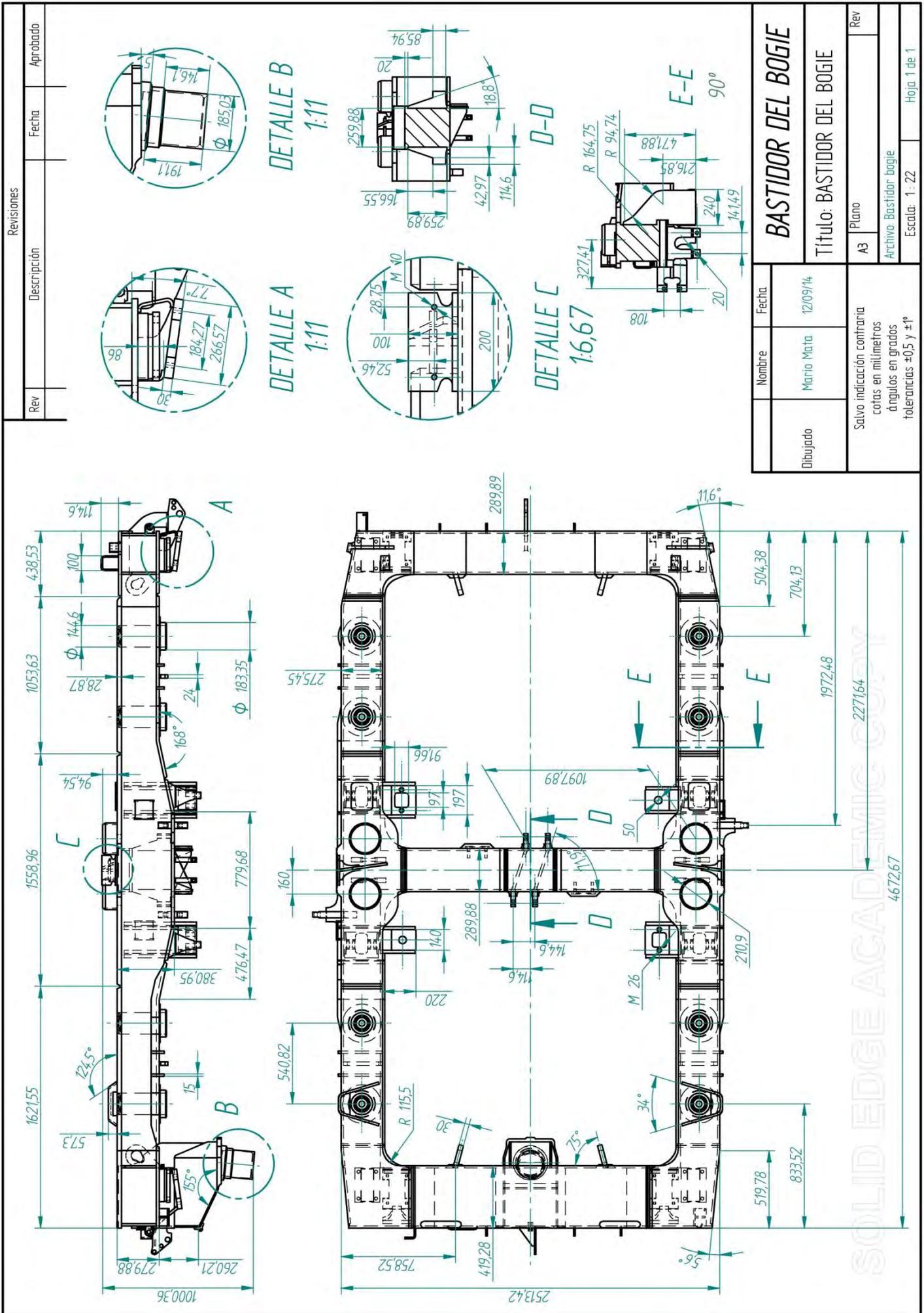
	Nombre	Fecha	<i>VISTA GENERAL LOCOMOTORA S-253</i>		
Dibujado	Mario Mata	02/08/14			Título: TESTERO
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Montaje final		

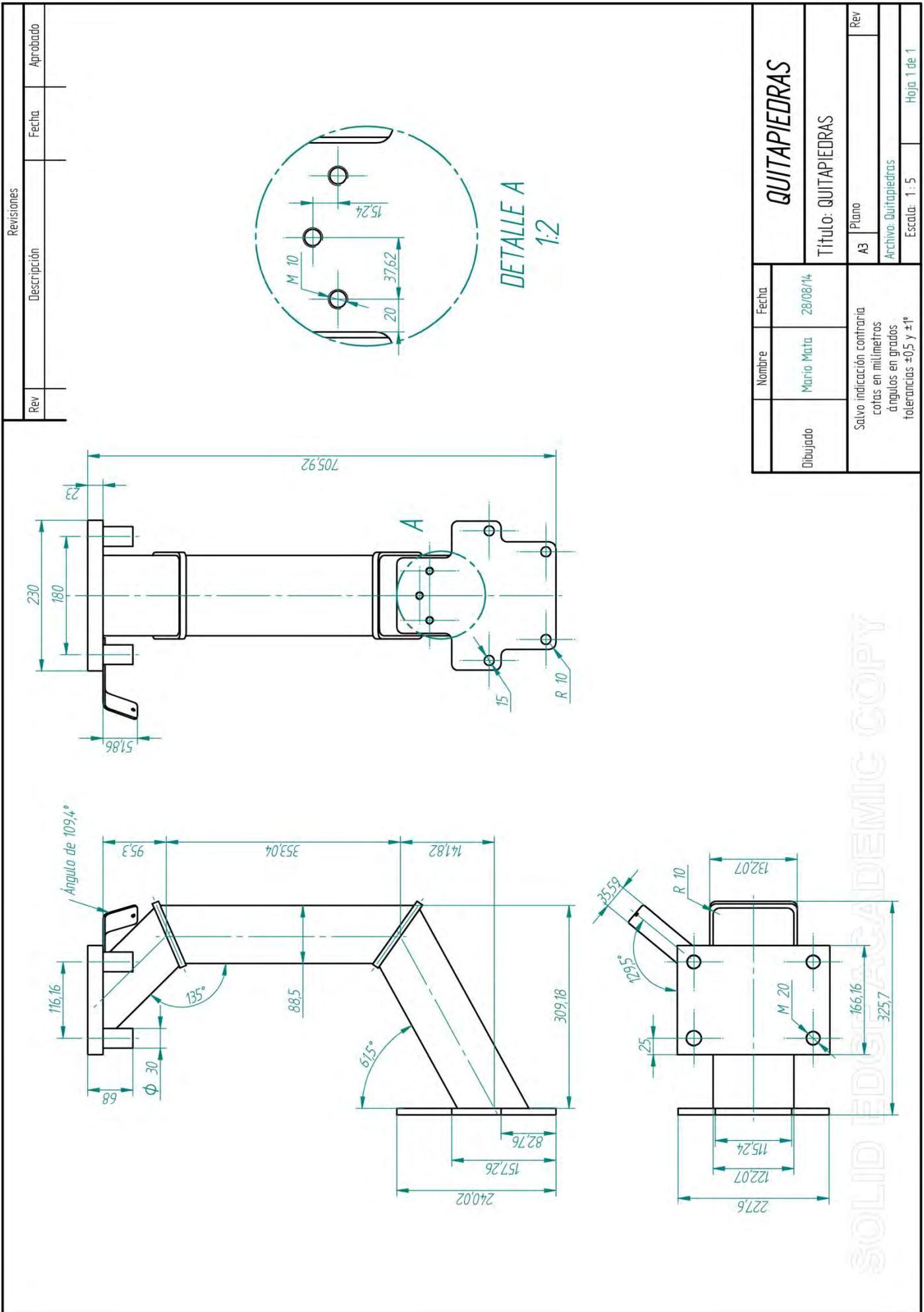


VISTA GENERAL DEL BOGIE Título: ALZADO, PERFIL Y PLANTA DEL BOGIE		Nombre	Fecha
		Dibujado	11/08/14
Rev A3 Plano		Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^{\circ}$	
Archivo: Montaje del bogie		Escala: 1 : 25 Hoja 1 de 1	



Rev	Revisión	Fecha	Aprobado
Dibujado	Nombre	Fecha	VISTA GENERAL DEL EJE MONTADO Y MOTOR
	Maria Marta	05/09/14	Título: EJE MONTADO, MOTOR Y REDUCTORA
	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$		Plano
			Rev
			Archivo-Eje y motor
			Escala: 1:10
			Hoja 1 de 1



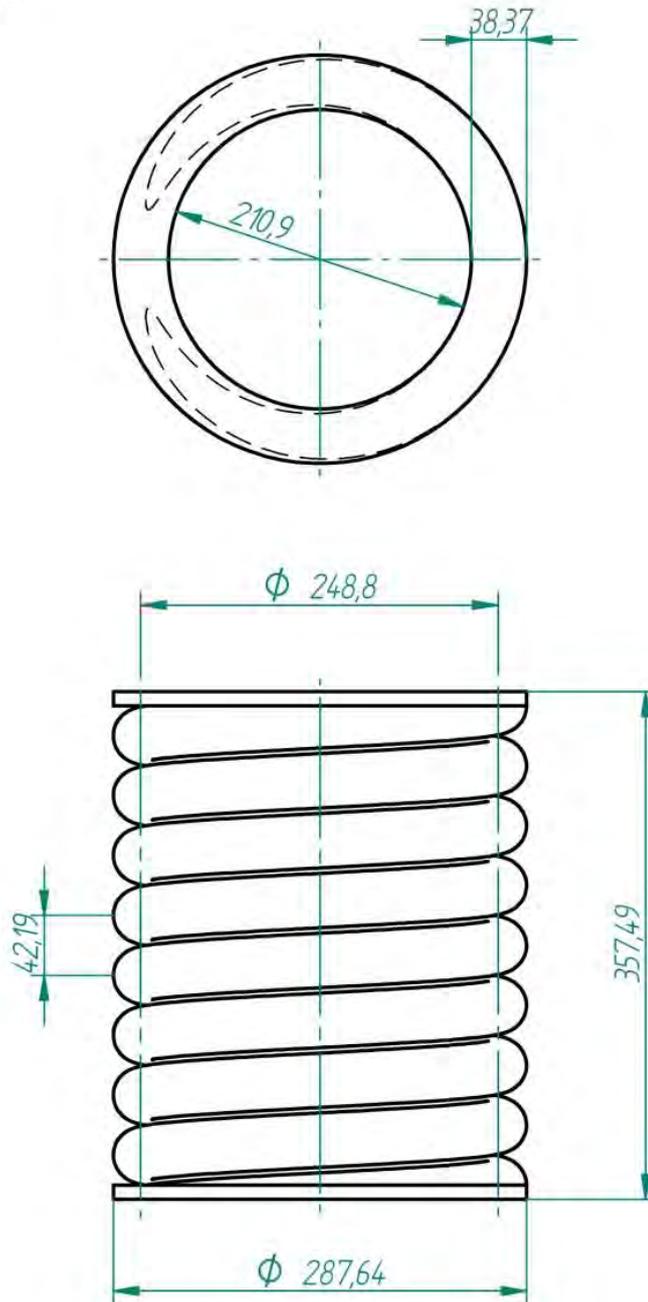


	QUITAPIEDRAS		
Dibujado	Nombre	Fecha	Rev
	Mario Mata	28/08/14	A3
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Título: QUITAPIEDRAS	
		Plano	Hoja 1 de 1
		Archivo: Quitapiedras	Escala: 1: 5

SOLID EDITOR ACADEMIC COPY

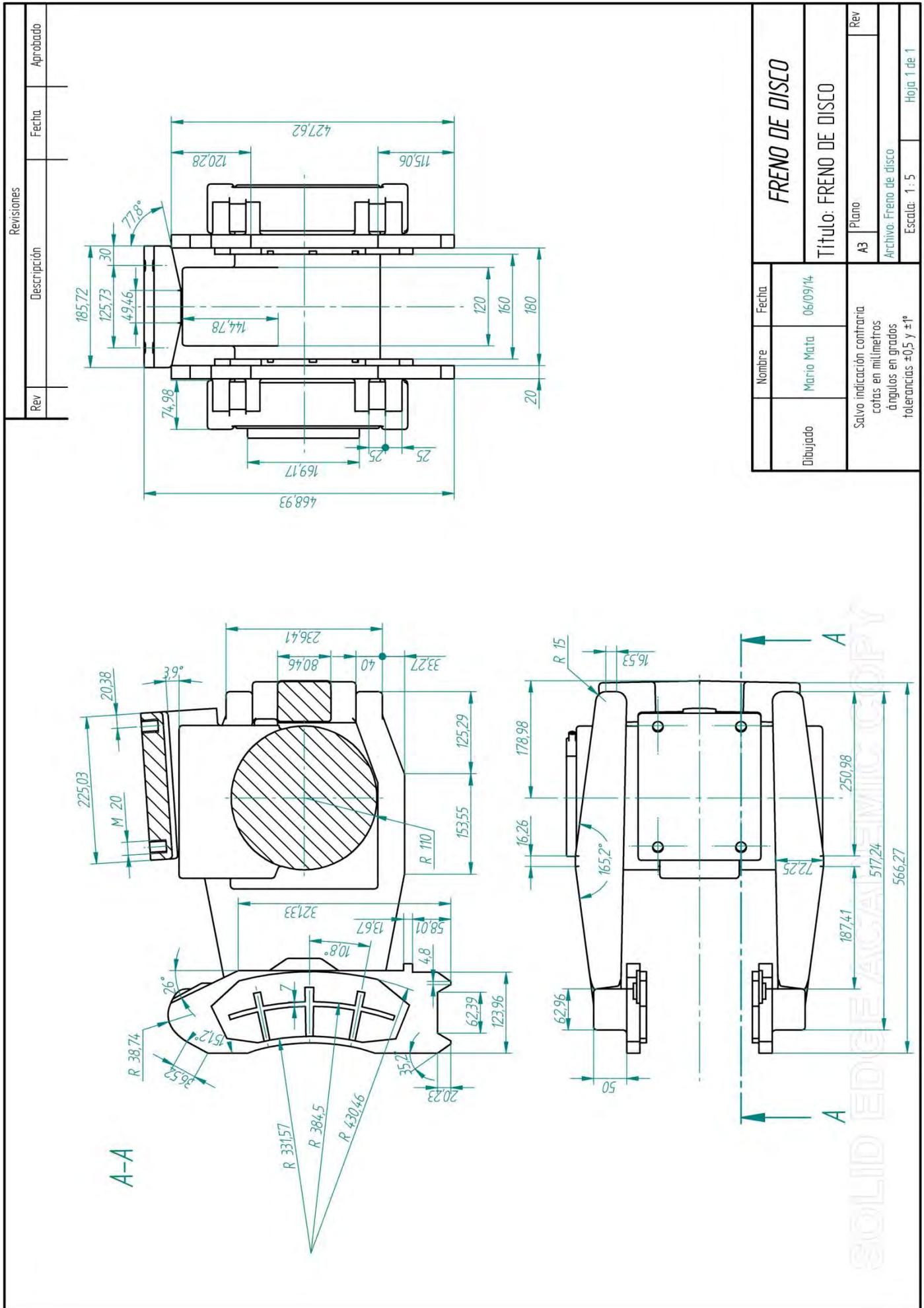
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Altura del resorte instalado

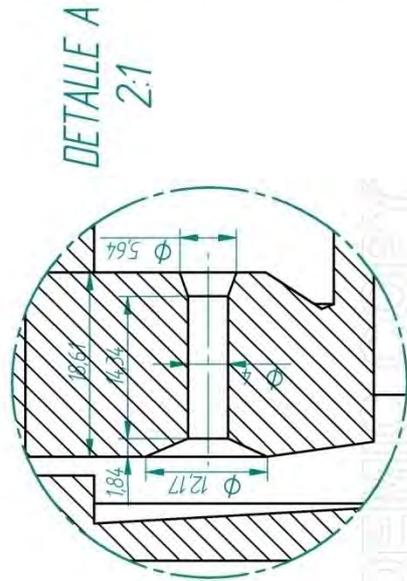
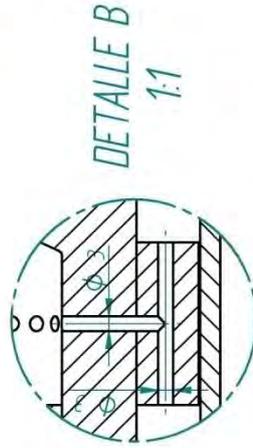
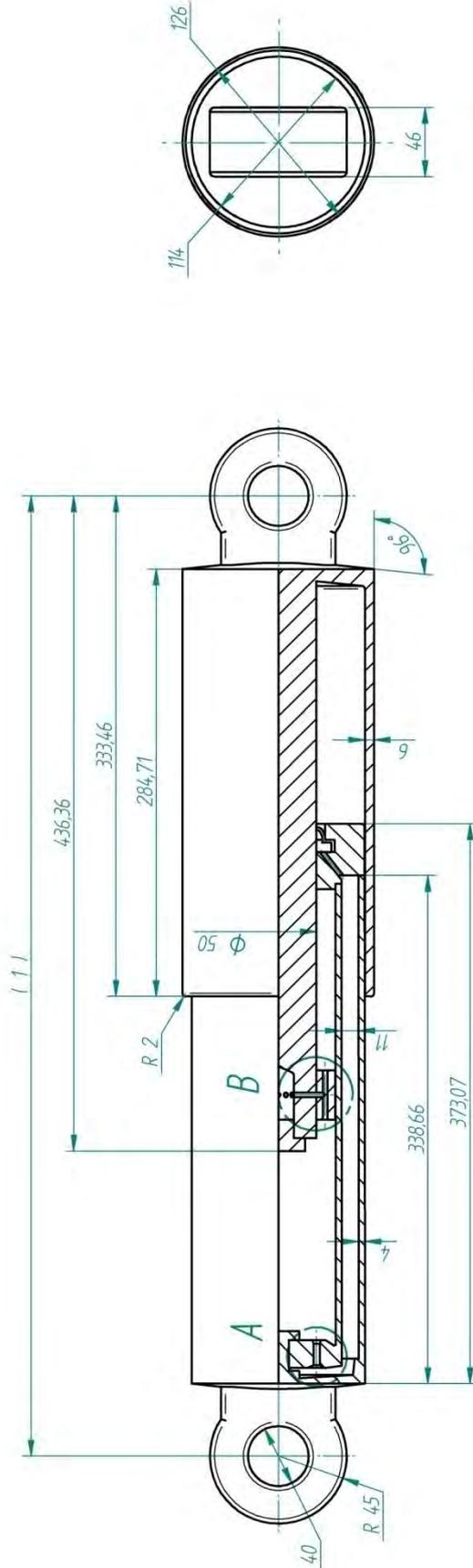


Resorte de 8 espiras con extremos refrentados

	Nombre	Fecha	SUSPENSIÓN SECUNDARIA		
Dibujado	Mario Mata	23/08/14			Título: RESORTE SUSPENSIÓN SECUNDARIA
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Archivo: Muelle suspensión secundaria		
			Escala: 1 : 5		Hoja 1 de 1



Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		



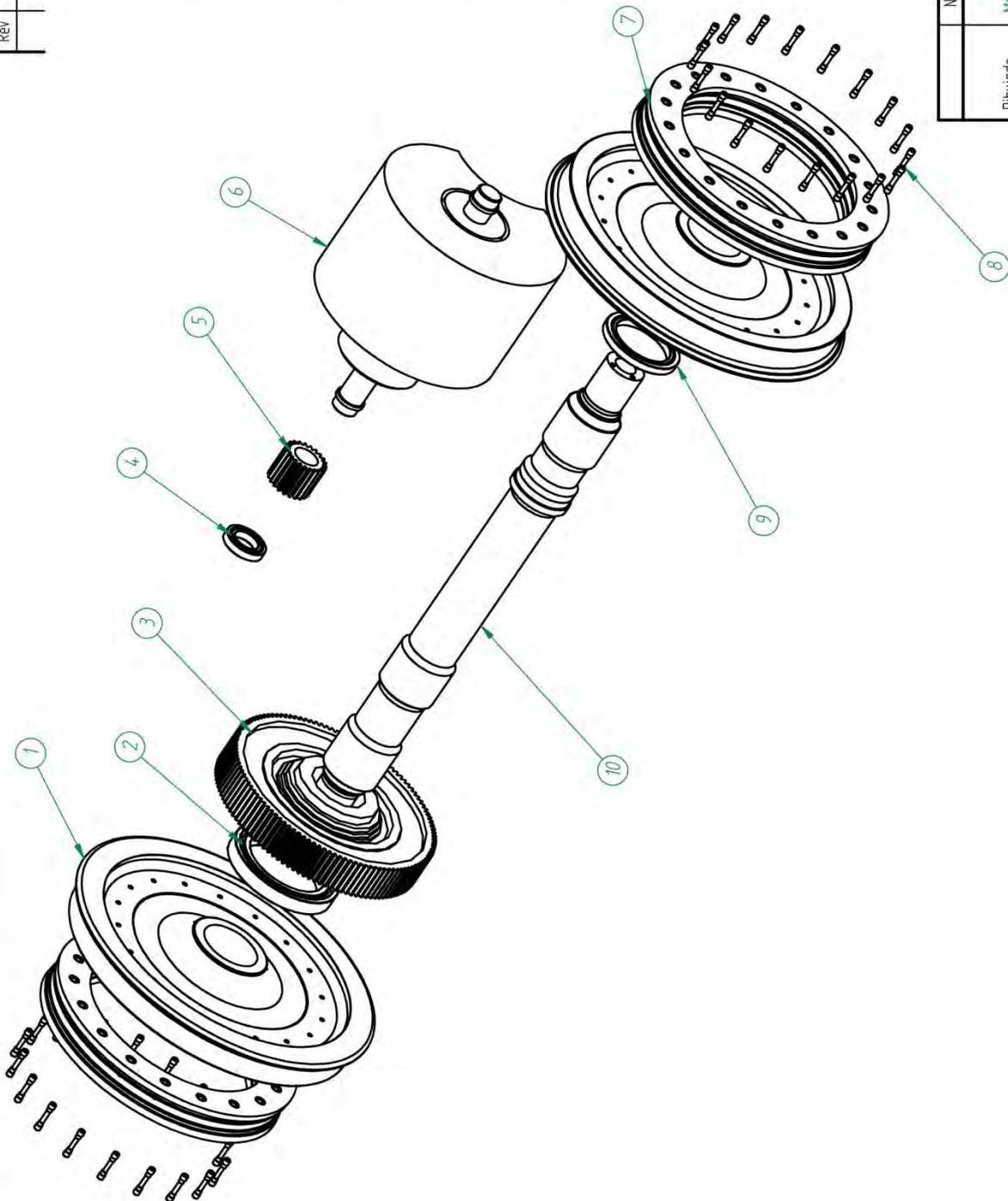
Nombre		Fecha
Dibujado	Maria Mata	28/08/14

Título: AMORTIGUADOR	
Rev	Plano
Archivo: Amortiguador	
Escala: 1 - 3	
Hoja 1 de 1	

(1) Longitud instalada de los amortiguadores:
 Longitudinal: 631,12 (mm)
 Vertical: 521,12 (mm)
 Transversal: 369,78 (mm) / 378,06 (mm)
 Sujeción motor: 378,06 (mm)

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

Número de elemento	Título	Cantidad
1	Rueda	2
2	Rodamiento E6566	1
3	Corona de la reductora	1
4	Rodamiento C3221	1
5	Piñón de la reductora	1
6	Motor eléctrico y eje matriz	1
7	Par de discos de freno	2
8	Pernos sujección discos de freno	36
9	Rodamiento C3348	1
10	Eje	1



Nombre		Fecha
Dibujado	Mario Mata	08/08/14

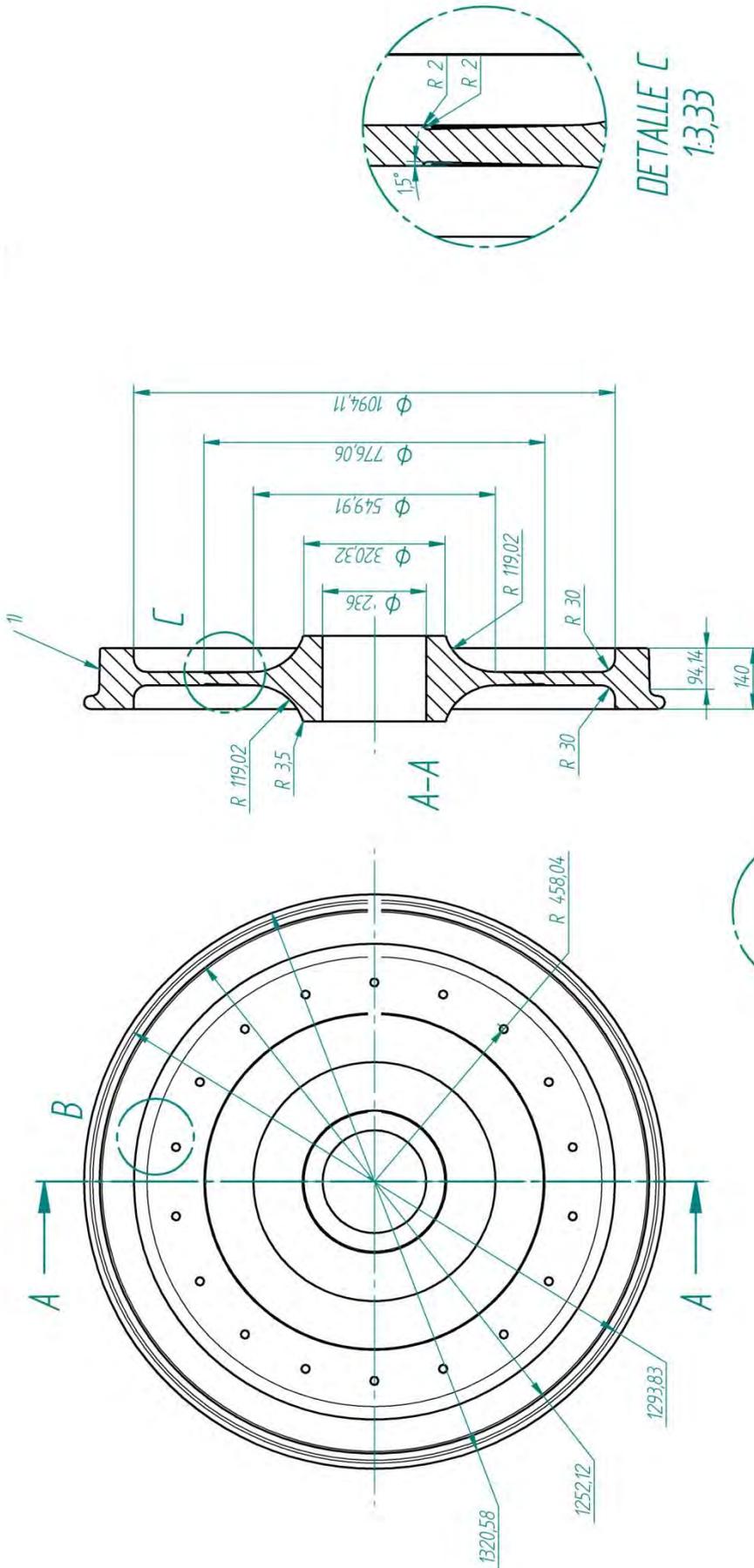
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
A3	Plano
Archivo: Eje montado	
Escala: 1: 16,67	
Hoja 1 de 1	

CONJUNTO EJE MONTADO Y MOTOR

Título: EXPLOSIONADO EJE MONTADO Y MOTOR

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

1) Perfil de rueda según EN 13175-S1002 / h28 / e32 / e32 / 6,7%

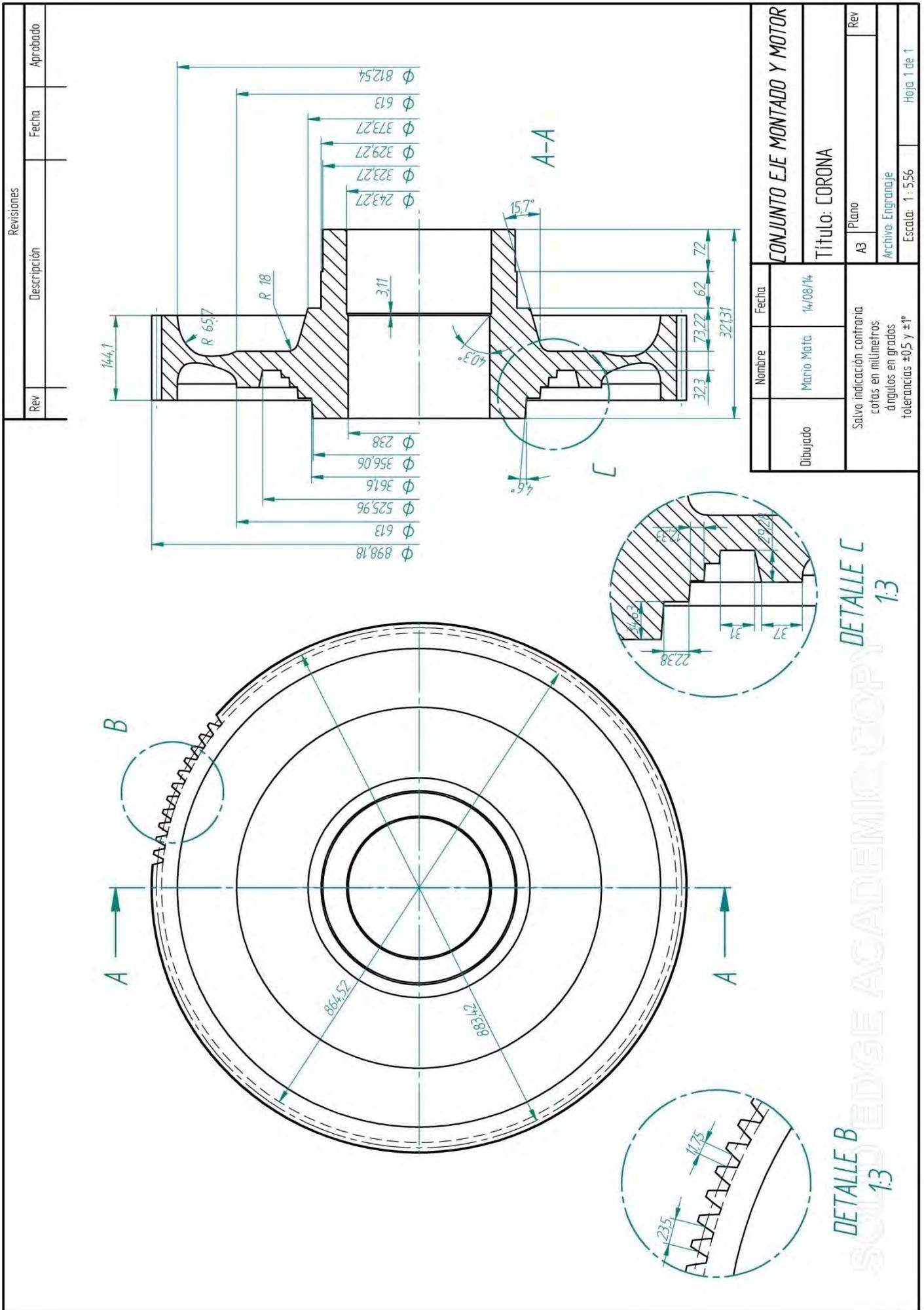


Nombre		Fecha
Mario	Mario Mata	06/08/14

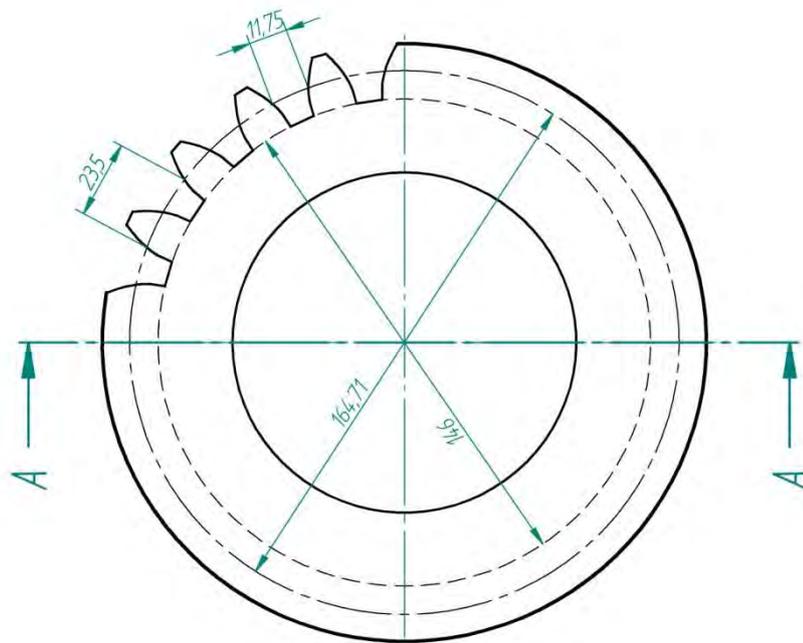
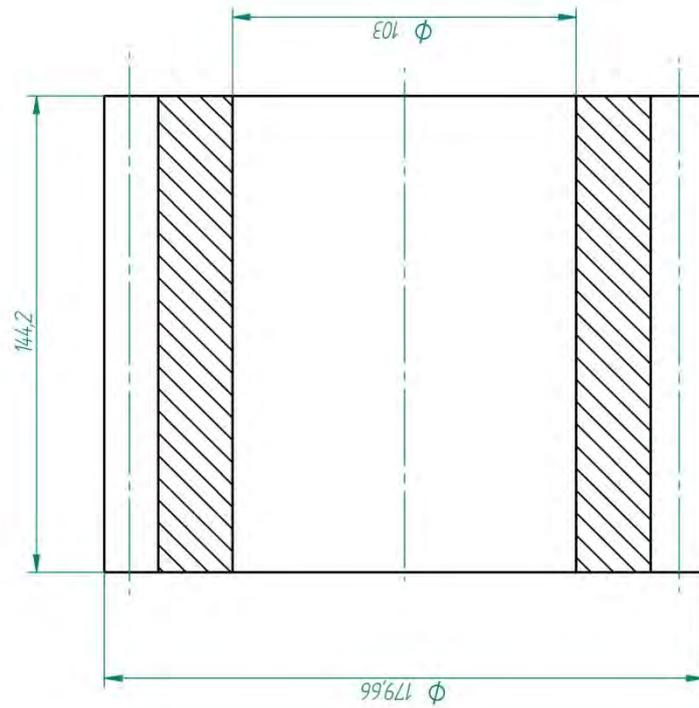
Dibujado		Título: RUEDA	
Salvo indicación contraria	Plano	Rev	
cotas en milímetros	Archivo: Rueda		
ángulos en grados	Escala: 1:10	Hoja: 1 de 1	
tolerancias ±0,5 y ±1°			

SOLID EDGE ACADEMIC 15 COPY

Los orificios que alojan los pernos de los discos de freno son pasantes.



Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

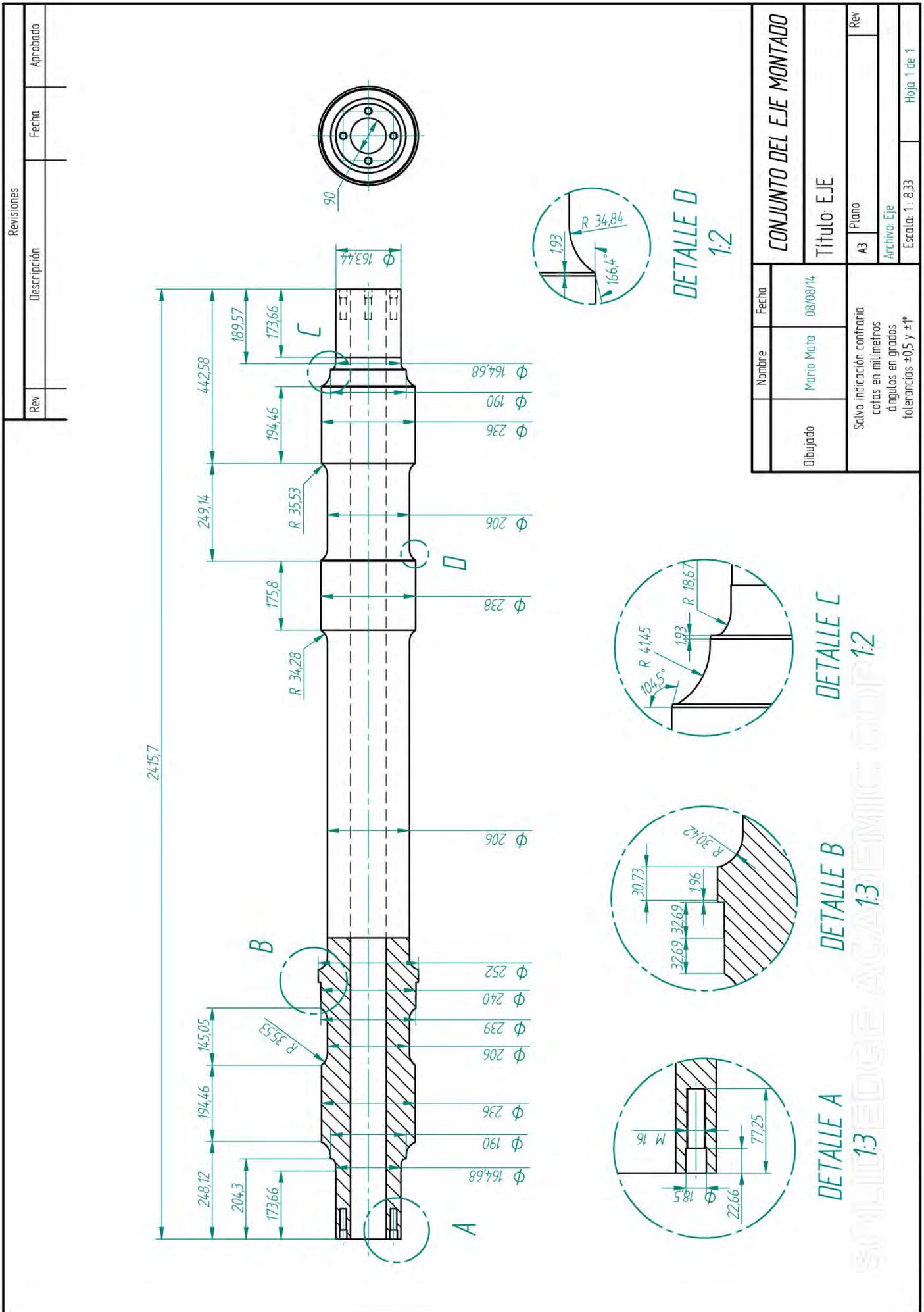


Nombre		Fecha
Mario Mata		14/08/14

Revisión		Rev
AB Plano		

Título: PIÑÓN	
Archivo: Piñón	
Escala: 1: 15	
Hoja: 1 de 1	

Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$
----------	---

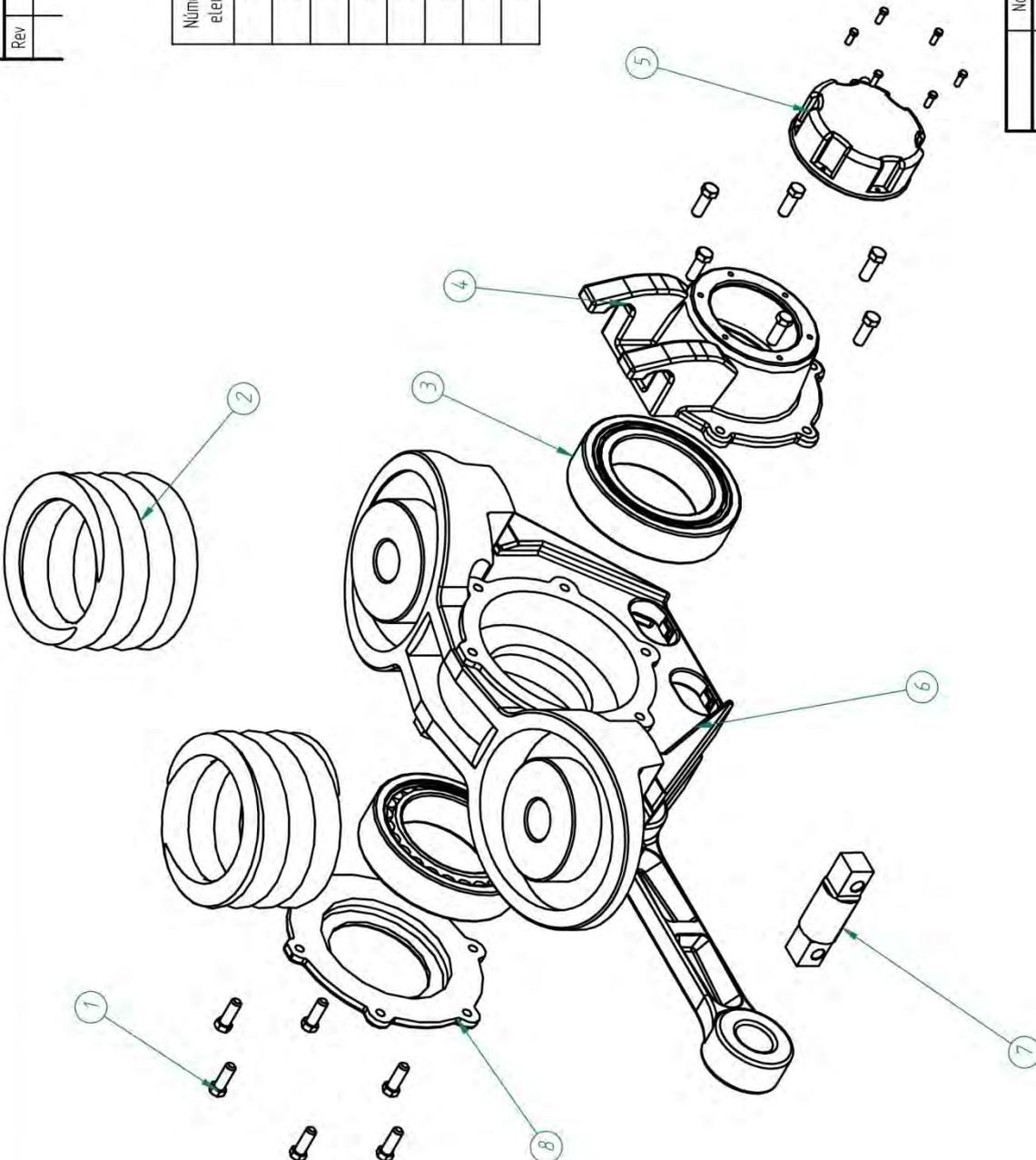


Nombre	Fecha	CONJUNTO DEL EJE MONTADO	
Dibujado	Mario Mata	Título: EJE	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Rev	Hoja 1 de 1
		A3	Plano
		Archivo: Eje	
		Escala: 1: 8,33	

DETALLE A DETALLE B DETALLE C DETALLE D
 1:3 1:3 1:2 1:2

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

Número de elemento	Título	Cantidad
1	Tornillo M15 45(mm)	12
2	Resorte suspensión primaria	2
3	Rodamiento L6233	2
4	Tapeta exterior caja de grasa	1
5	Tapa de tapeta exterior	1
6	Cuerpo de la caja de grasa	1
7	Pivote de giro	1
8	Tapeta interior caja de grasa	1



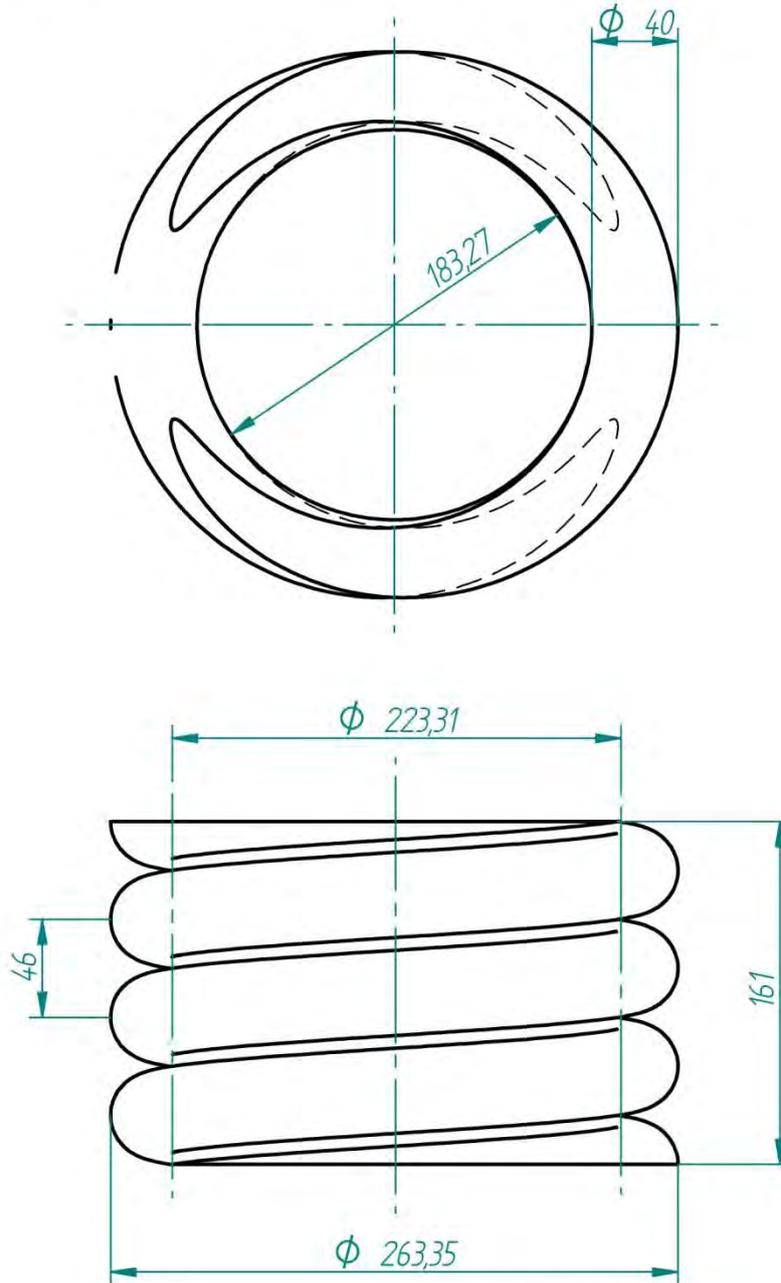
Nombre	Fecha
Mario Mata	08/08/14

CONJUNTO CAJA DE GRASA	
Título: EXPLOSIONADO CAJA DE GRASA	
Plano	Rev
A3	
Archivo: Caja de grasa	
Escala: 1 : 6,67	
Hoja: 1 de 1	

Salvo indicación contraria
 cotos en milímetros
 ángulos en grados
 tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^*$

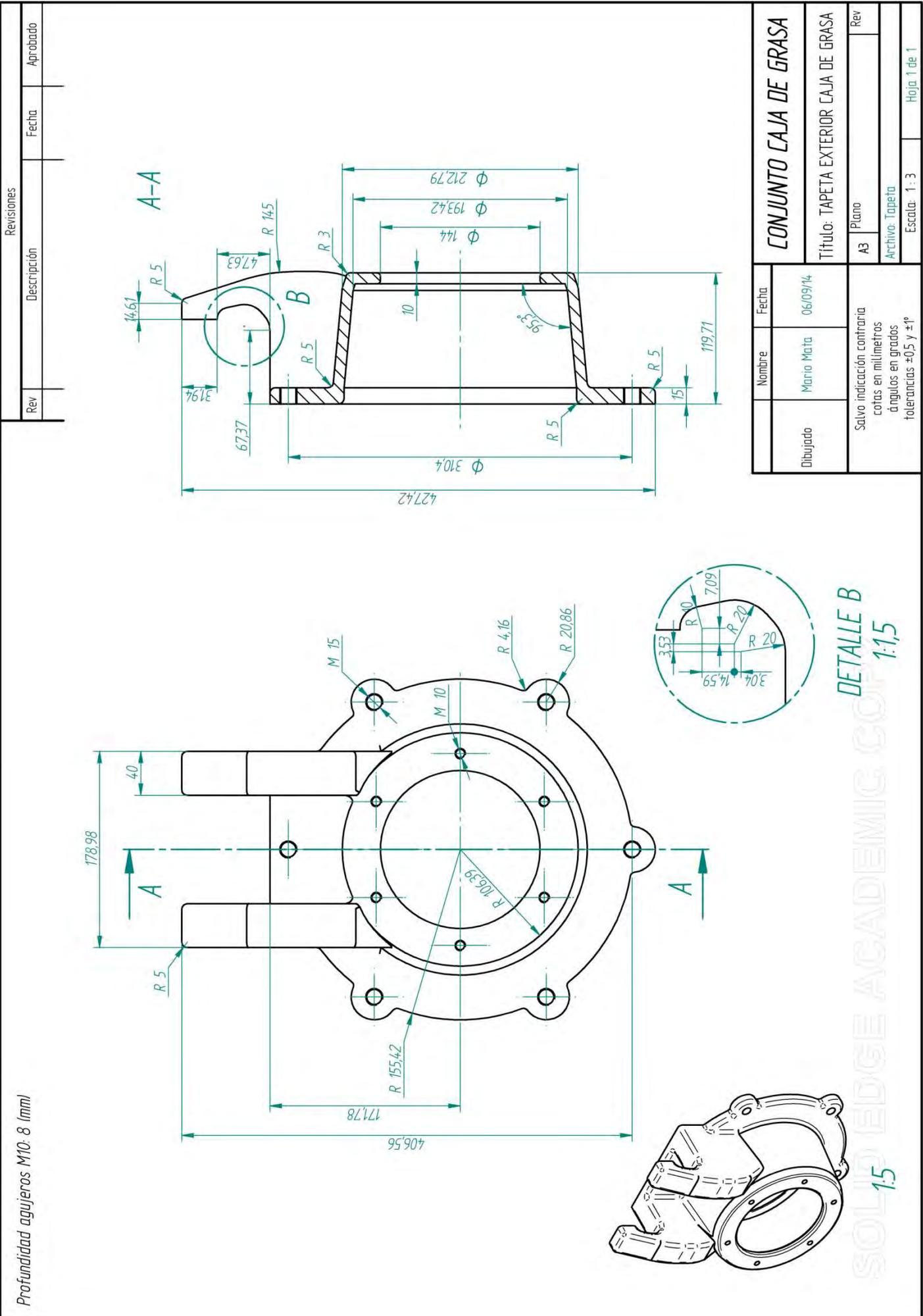
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Altura del resorte instalado



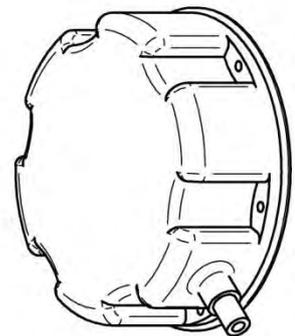
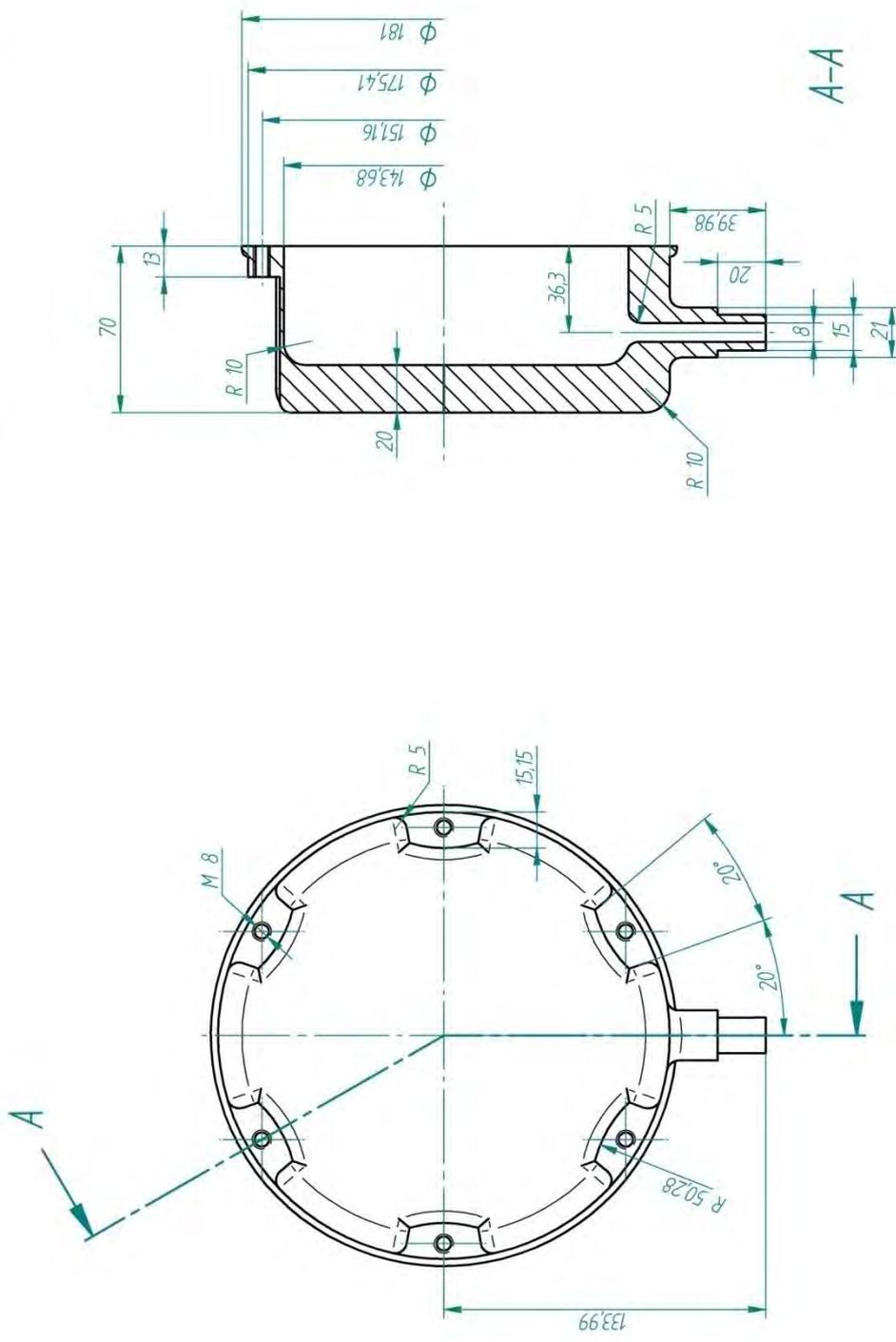
Resorte de 4 espiras con extremos refrentados

	Nombre	Fecha	CONJUNTO CAJA DE GRASA		
Dibujado	Mario Mata	08/08/14			Título: RESORTE SUSPENSIÓN PRIMARIA
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Archivo: Resorte suspensión primaria		
			Escala: 1 : 3,33	Hoja 1 de 1	



CONJUNTO CAJA DE GRASA	
Nombre	Fecha
Mario Mata	06/09/14
Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°
Plano	Rev
Archivo: Tapeta	
Escala: 1:3	Hoja: 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

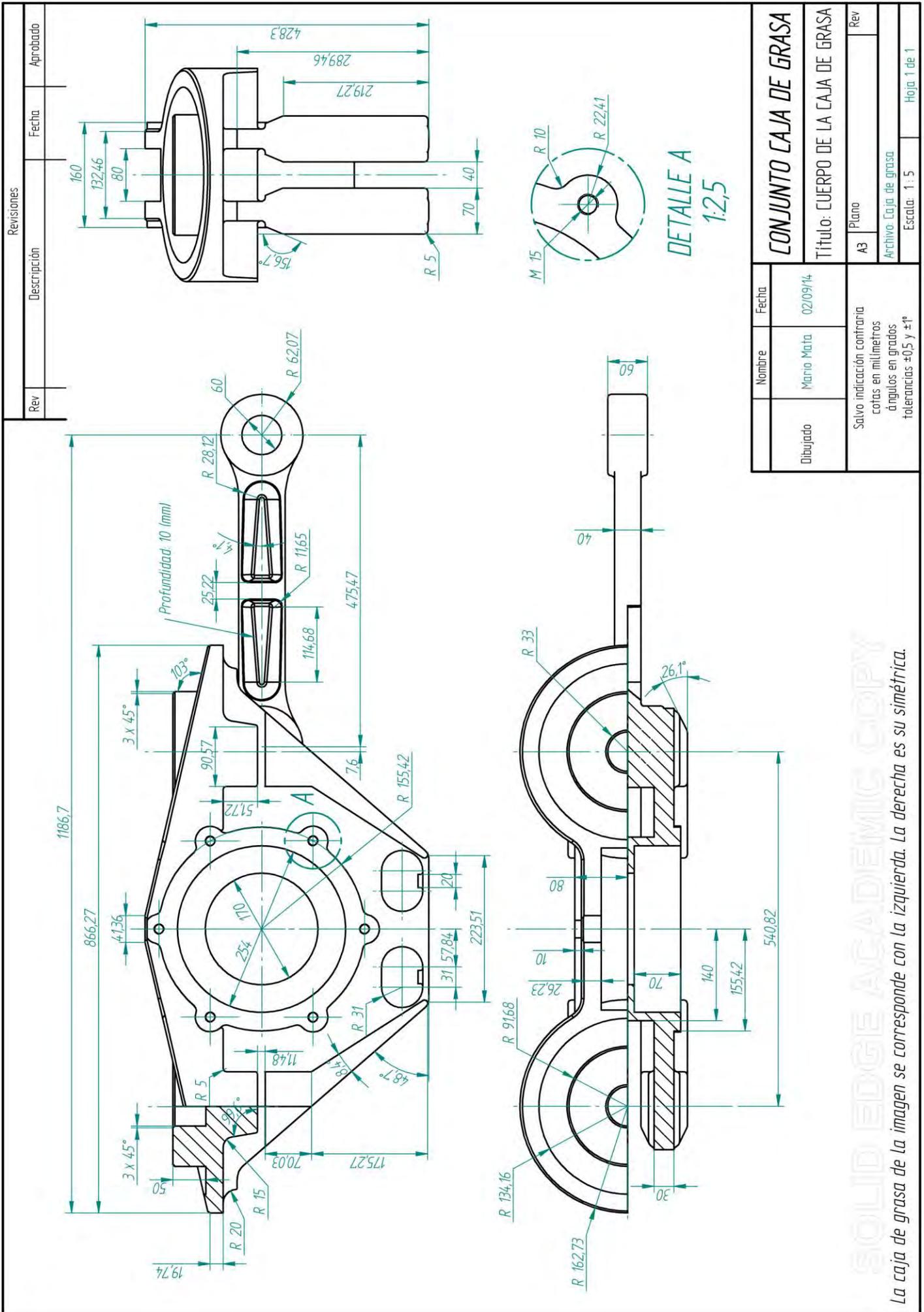


Nombre		Fecha
Mario Mata		06/09/14

Título: TAPA DE TAPETA EXTERIOR	
A3	Plano
Archivo: Tapa de la tapeta	
Escala: 1:2	
Hoja: 1 de 1	

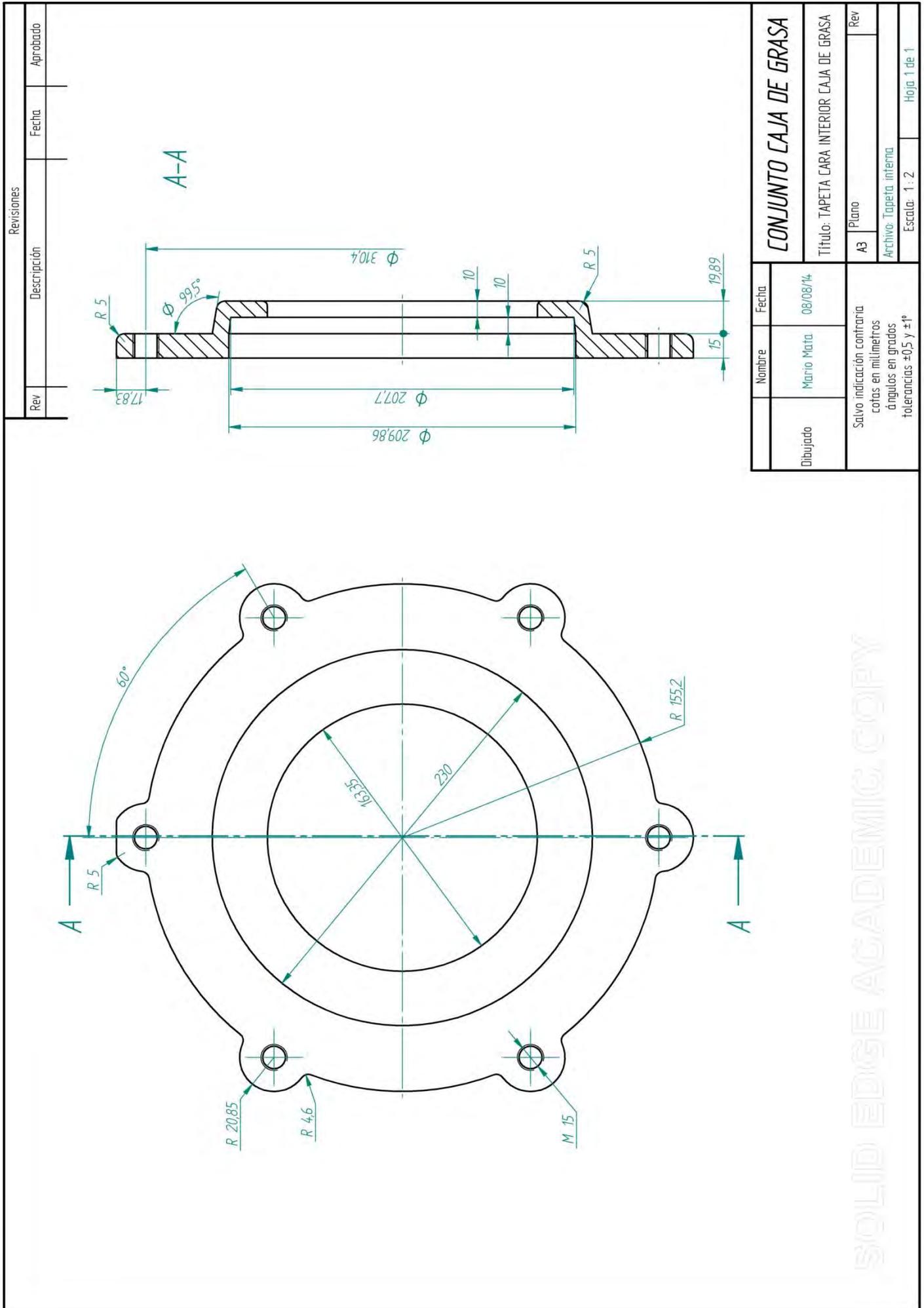
Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$
----------	---

SOL 13 EDGE ACADEMIC COPY



CONJUNTO CAJA DE GRASA	Nombre	Fecha	Rev
Título: CUERPO DE LA CAJA DE GRASA	Mario Mata	02/09/14	A3
Plano	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		
Archivo: Caja de grasa	Escala: 1:5		
Hoja 1 de 1			

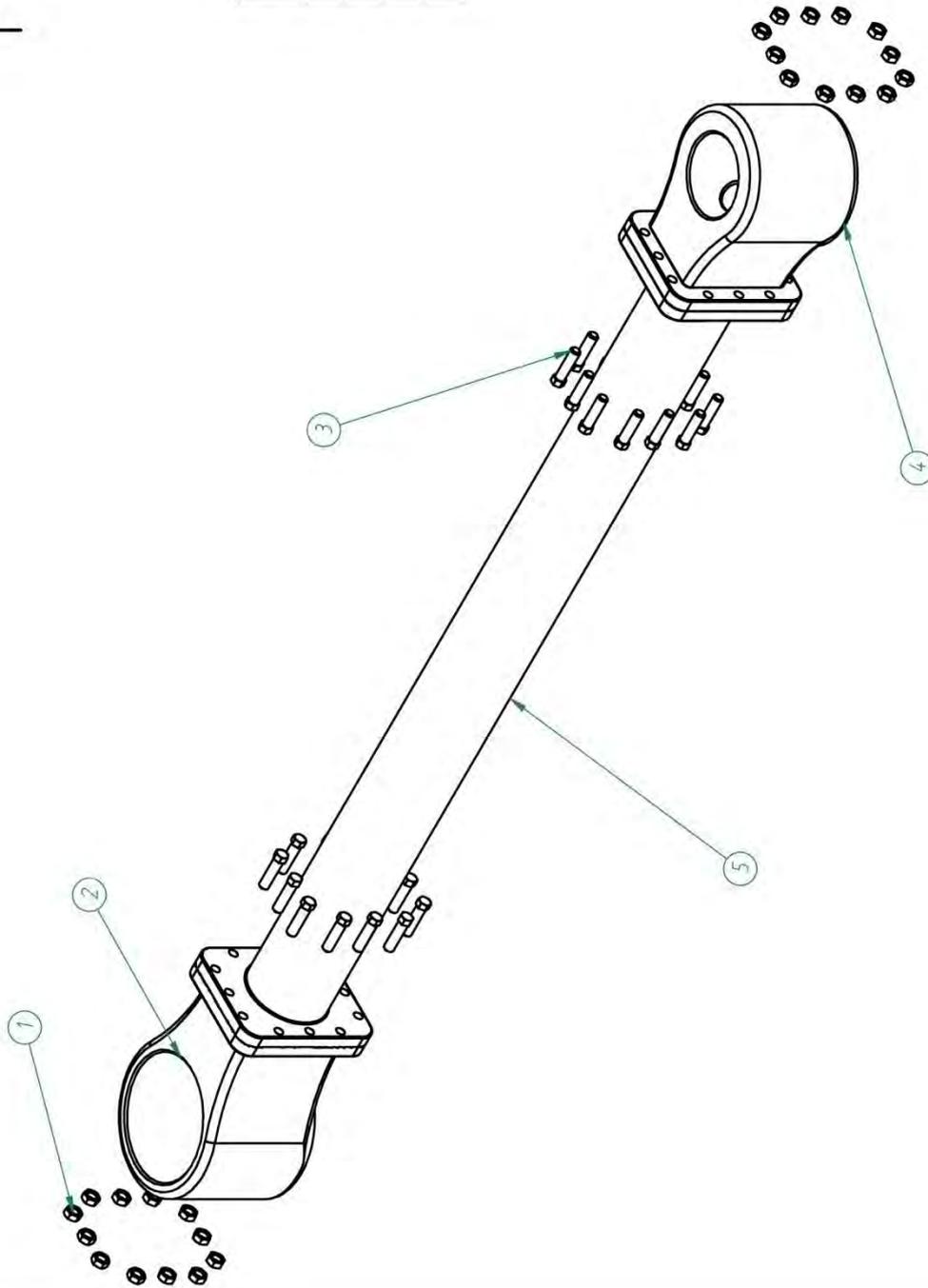
SOLID EDGE ACADEMIC COPY
 La caja de grasa de la imagen se corresponde con la izquierda. La derecha es su simétrica.



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev.	Descripción	Aprobado

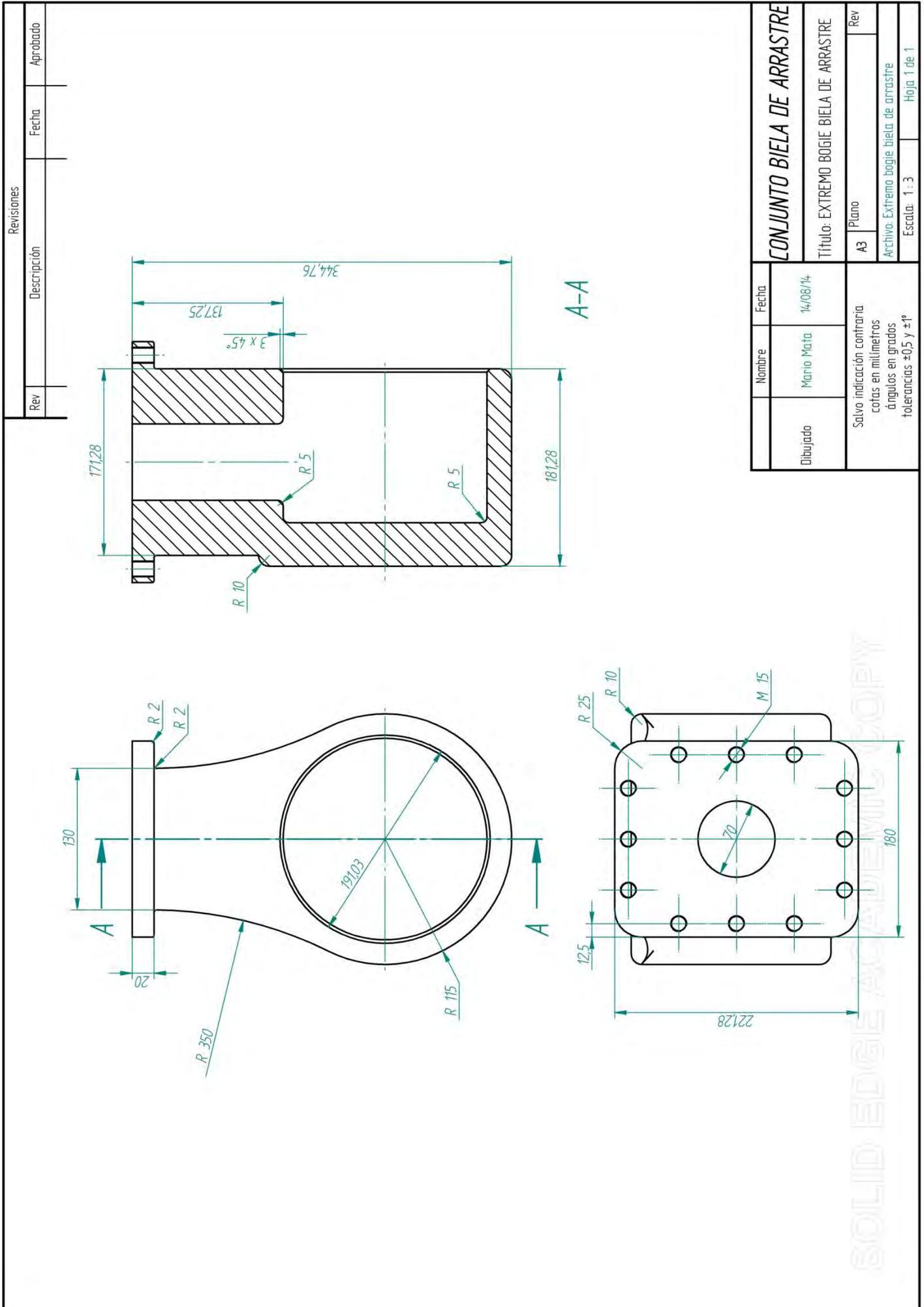
Número de elemento	Título	Cantidad
1	Tuerca M15	24
2 y 4	Extremo bogie / caja de la biela	1
3	Tornillo M15 55(mm)	24
5	Biela de arrastre	1



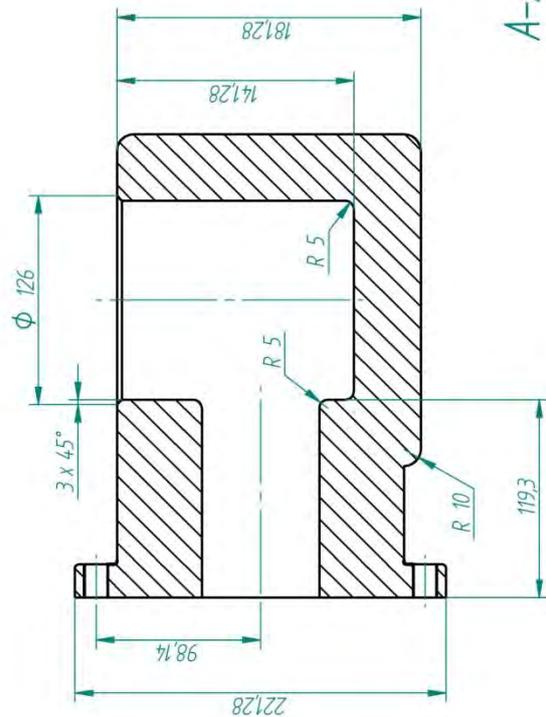
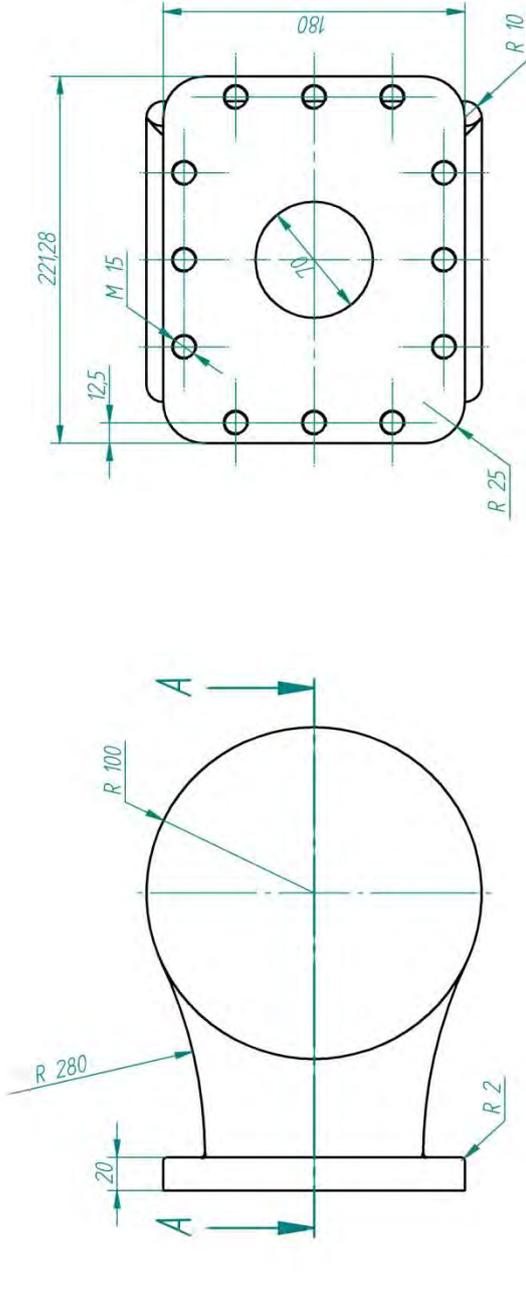
Nombre	Fecha
Mario Mata	14/08/14

CONJUNTO BIELA DE ARRASTRE	
Título: EXPLOSIONADO BIELA DE ARRASTRE	
AB	Rev
Plano	
Archivo: Biela arrastre montada	
Escala: 1:6,67	
Hoja: 1 de 1	

Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$
----------	---



Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

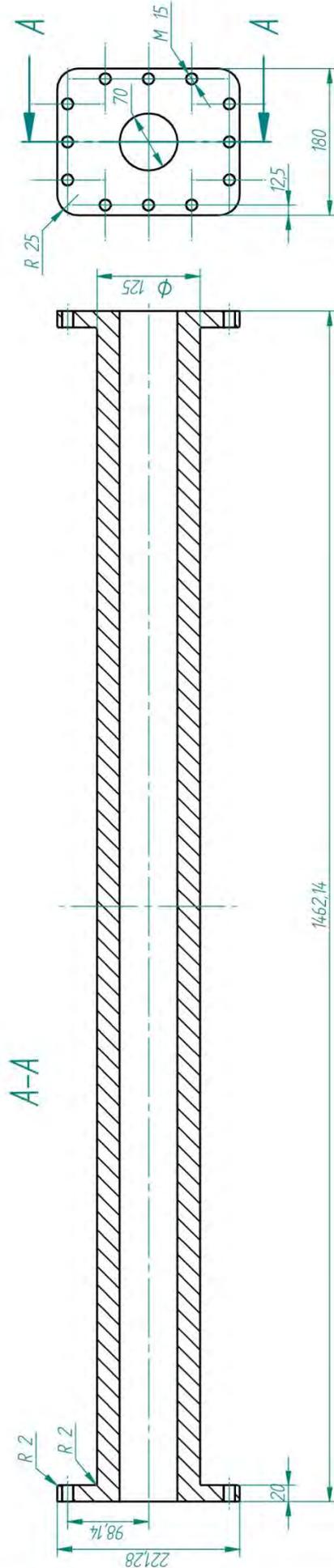


A-A

Nombre		Fecha
Dibujado		14/08/14
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		
Rev		Plano
Archivo: Extremo caja biela de arrastre Escala: 1:3 Hoja 1 de 1		
CONJUNTO BIELA DE ARRASTRE Título: EXTREMO CAJA BIELA DE ARRASTRE		

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

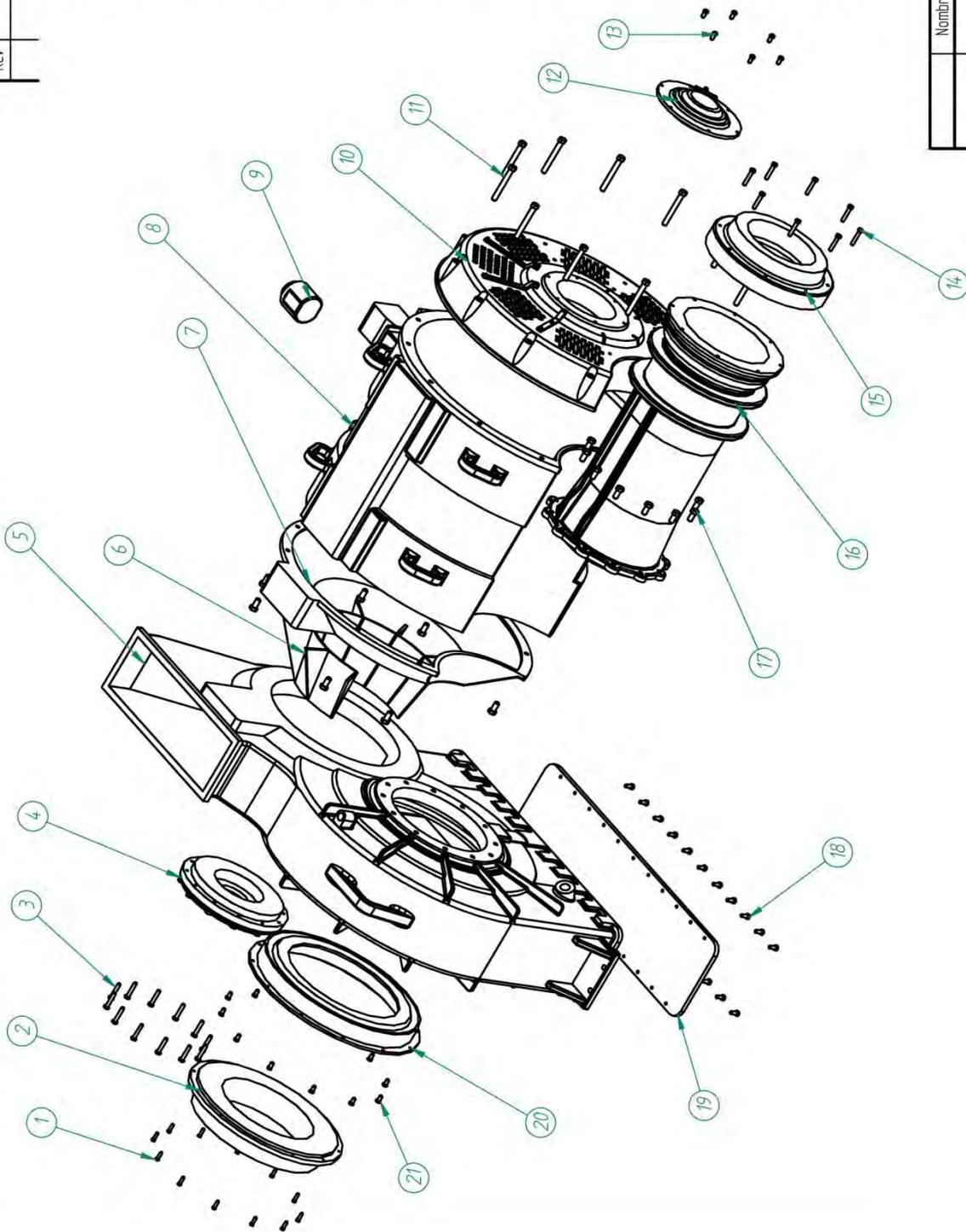


Nombre		Fecha	
Dibujado	Maria Mata	14/08/14	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$			
A3		Plano	
		Rev	
CONJUNTO DE BIELA DE ARRASTRE			
Título: BIELA DE ARRASTRE			
Archivo: Biela arrastre			
Escala: 1 : 5		Hoja 1 de 1	

WOLID EDIGE ACADEMIC COPY

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

Número de elemento	Título	Cantidad
1	Tornillo M8 25(mm)	12
2	Segunda junta carcaca-corona	1
3	Tornillo M10 53(mm)	12
4	Tapa acceso rodamiento piñón	1
5	Carcasa de la reductora	1
6	Aletas disipación calor	1
7	Pieza unión entre carcasas	1
8	Carcasa del motor	1
9	Anclaje carcasa-bastidor bogie	1
10	Tapa de la carcasa del motor	1
11	Tornillo M15 120(mm)	10
12	Tapeta de la tapa del motor	1
13	Tornillo M10 20(mm)	6
14	Tornillo M10 54(mm)	8
15	Extremo de la carcasa del eje	1
16	Carcasa del eje	1
17	Tornillo M15 30(mm)	21
18	Tornillo M10 25(mm)	22
19	Tapa inferior carcasa reductora	1
20	Primera junta carcaca-corona	1
21	Tornillo M10 18(mm)	12



Nombre	Fecha
Mario Mata	08/08/14

CONJUNTO CARCASA MOTOR

Título: EXPLOSIONADO CARCASA MOTOR

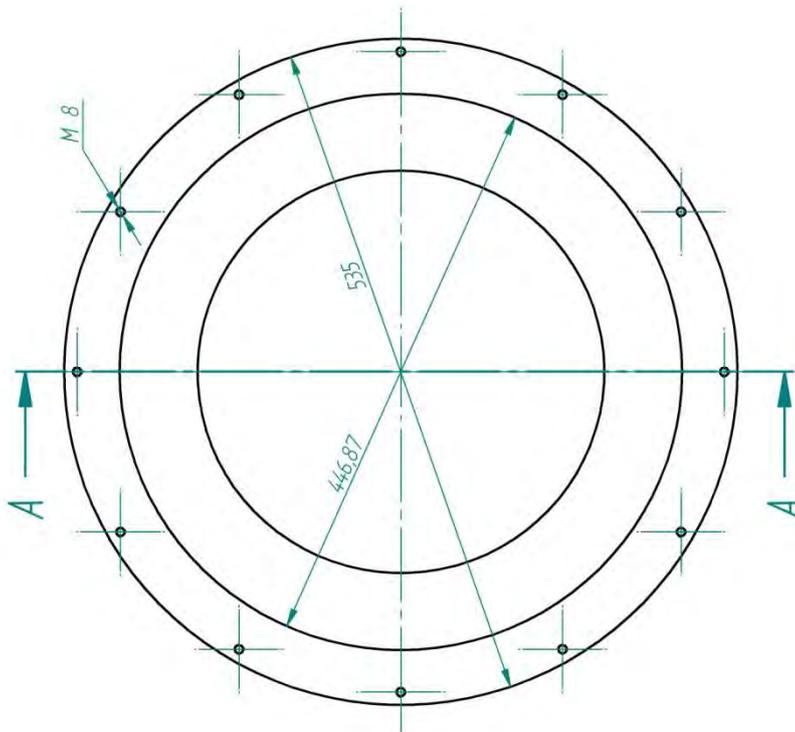
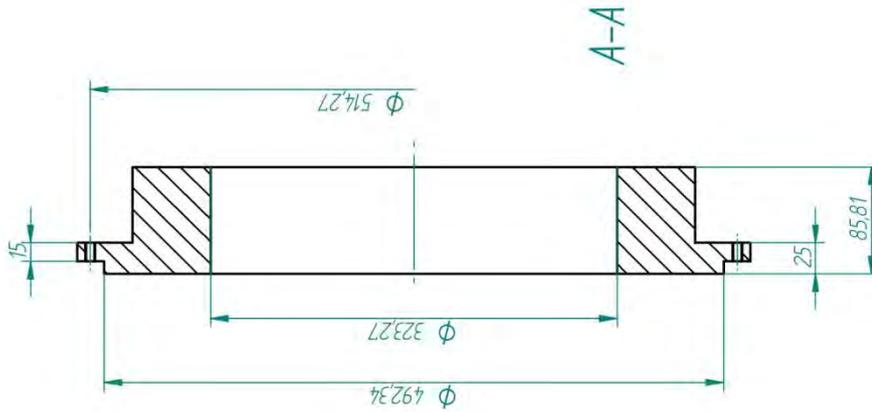
Rev	Plano
A3	

Archivo: Carcasa motor

Escala: 1: 13:33 Hoja 1 de 1

Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha



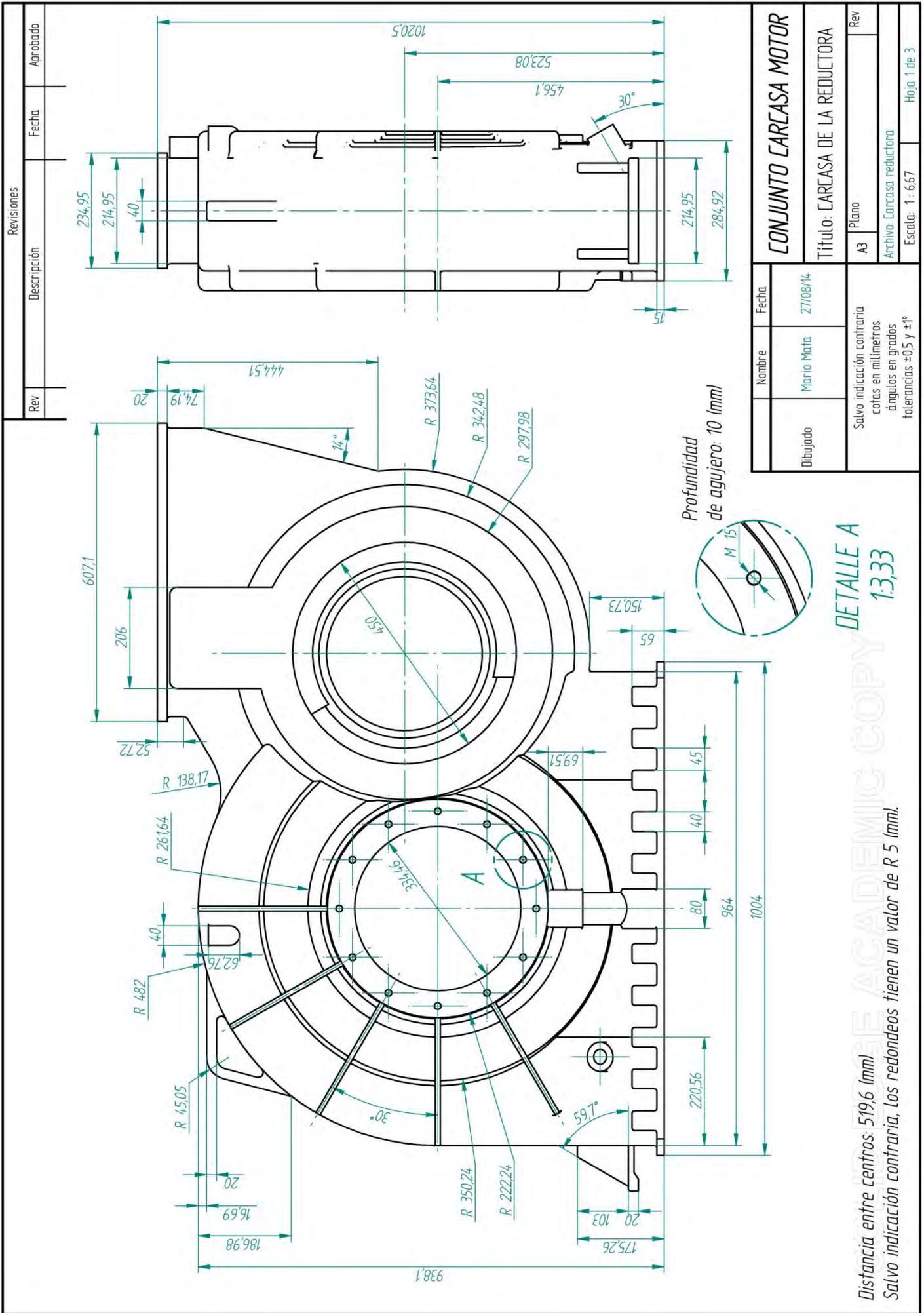
Nombre		Fecha
Mario Mata		08/08/14

Dibujado		Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°	

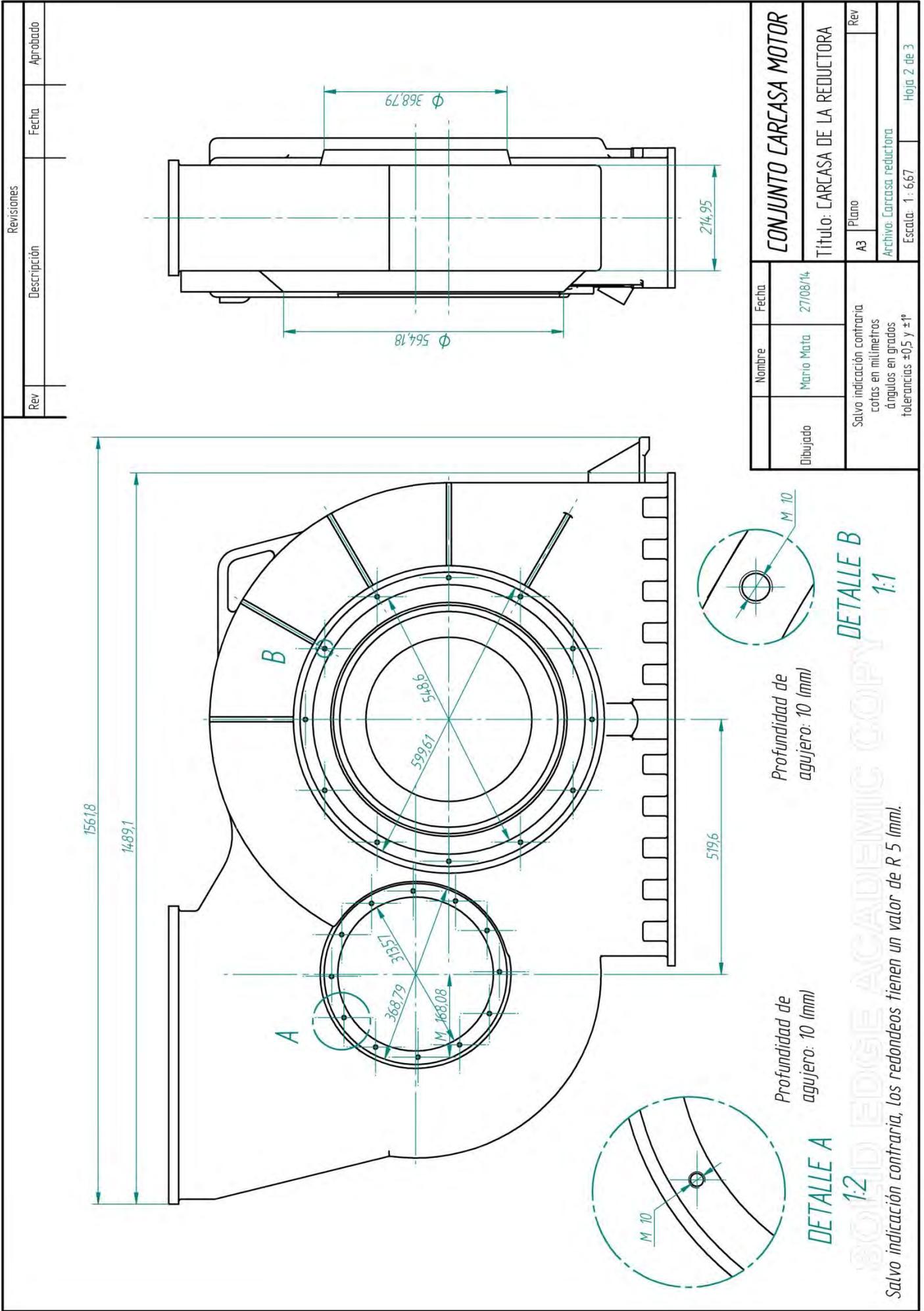
Título: SEGUNDA JUNTA CARCASA-CORONA	
Plano	Rev
A3	
Archivo: Junta 2	
Escala: 1:4	Hoja 1 de 1

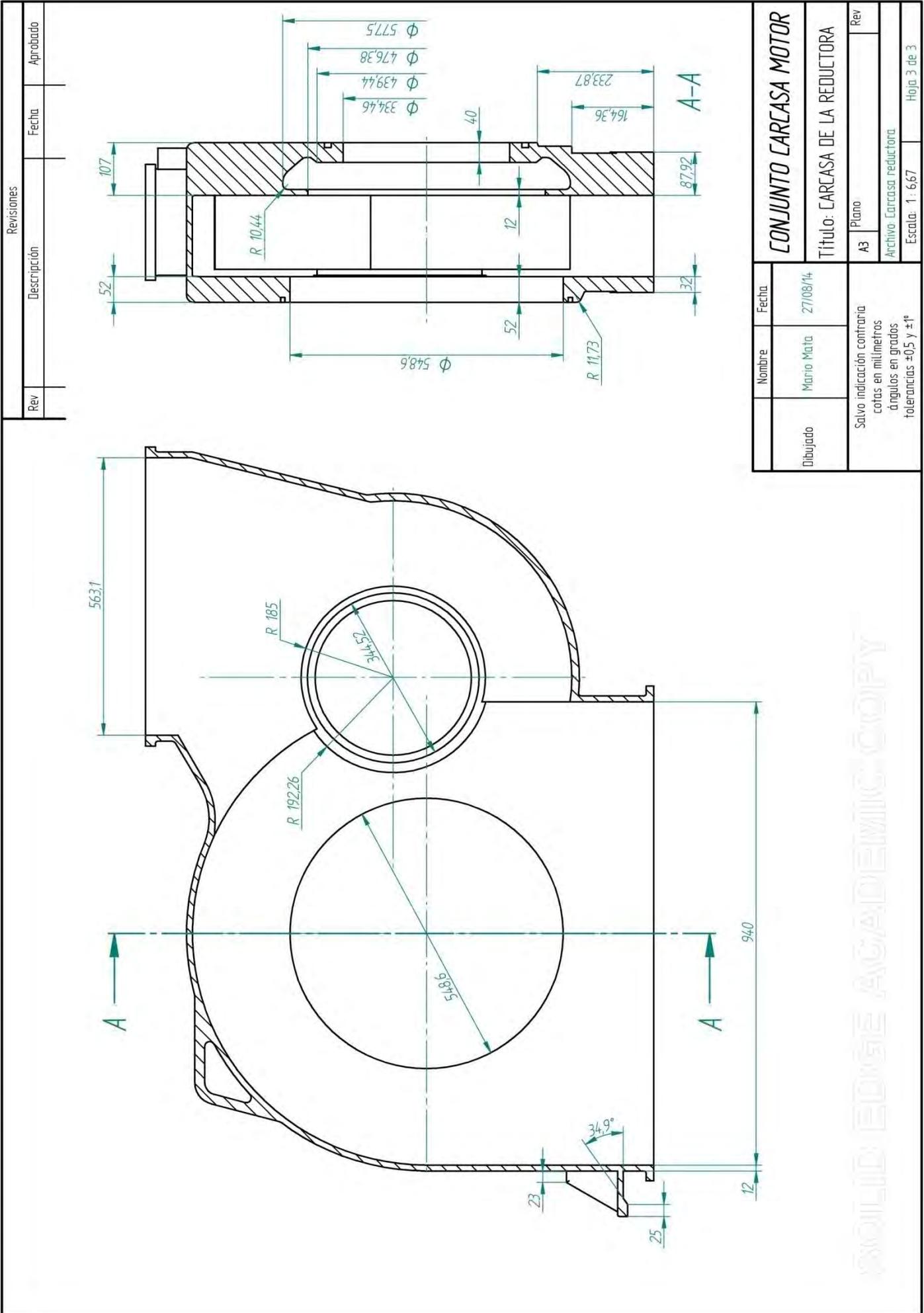
CONJUNTO CARCASA MOTOR

BOULDER ENGINE ARCHITECTURAL COPY

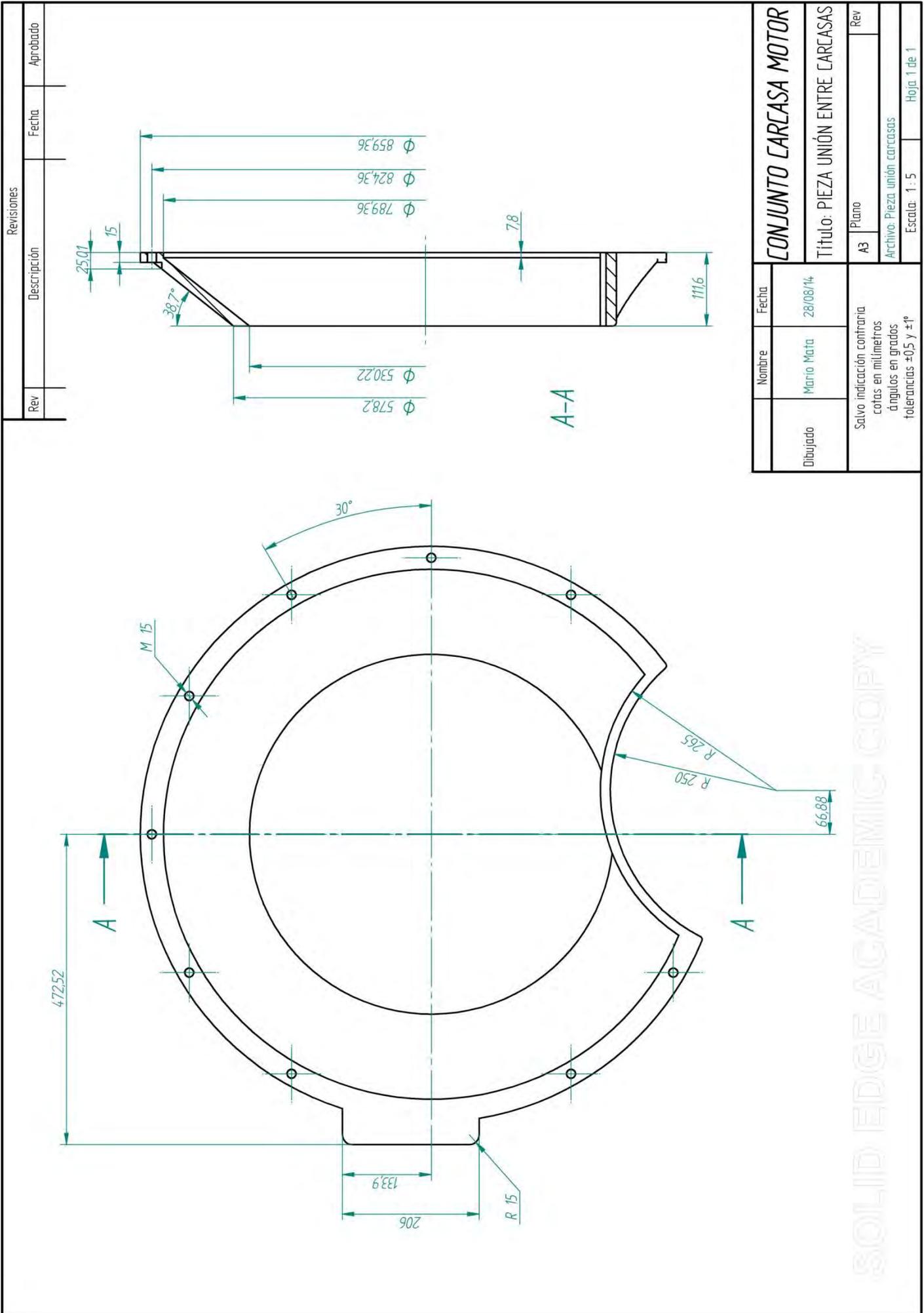


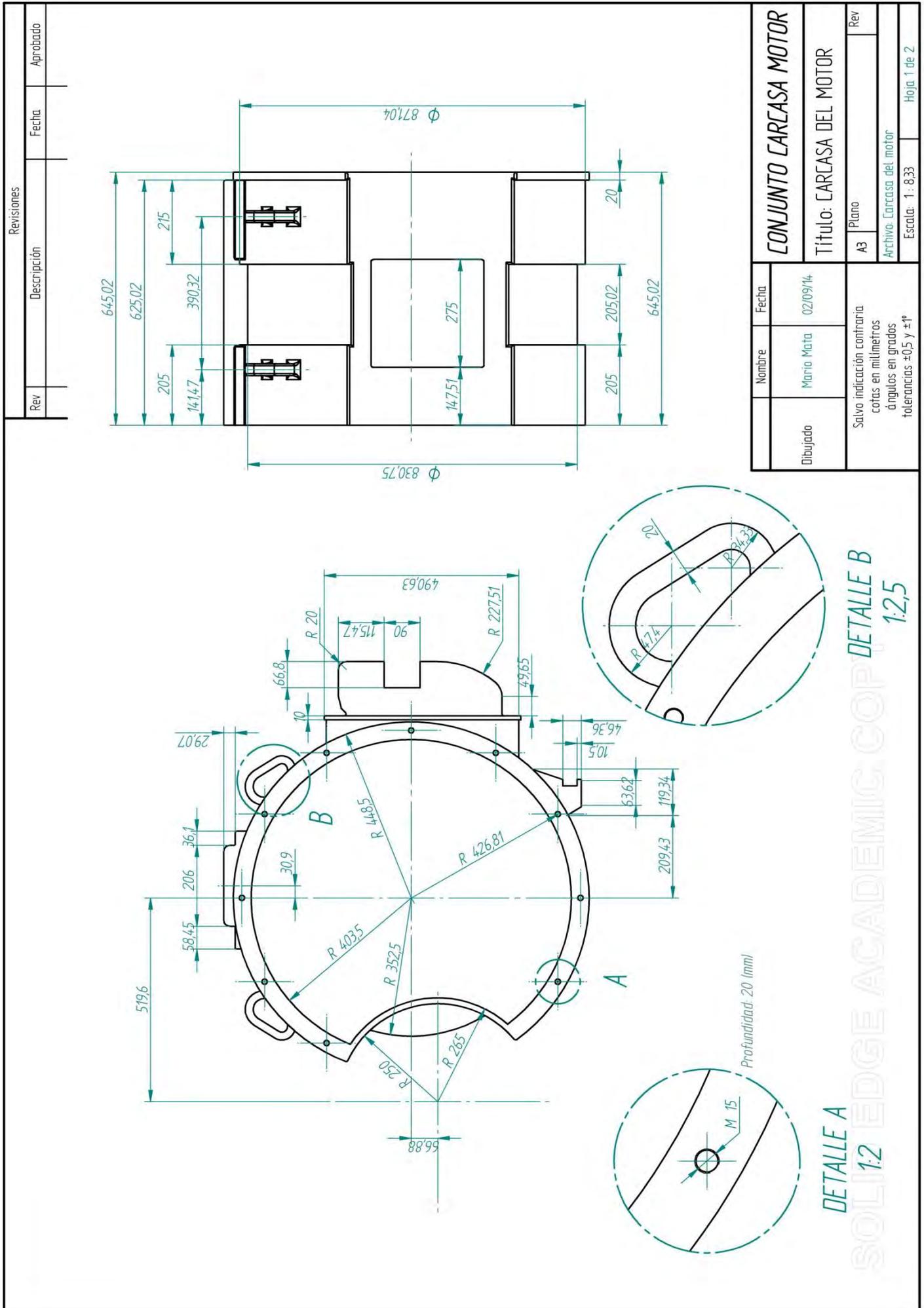
Nombre	Fecha	CONJUNTO CARCASA MOTOR	
Dibujado	Mario Mata	Título: CARCASA DE LA REDUCTORA	
	27/08/14	Plano	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Rev
		Archivo: Carcasa reductora	
		Escala: 1 : 667	Hoja: 1 de 3



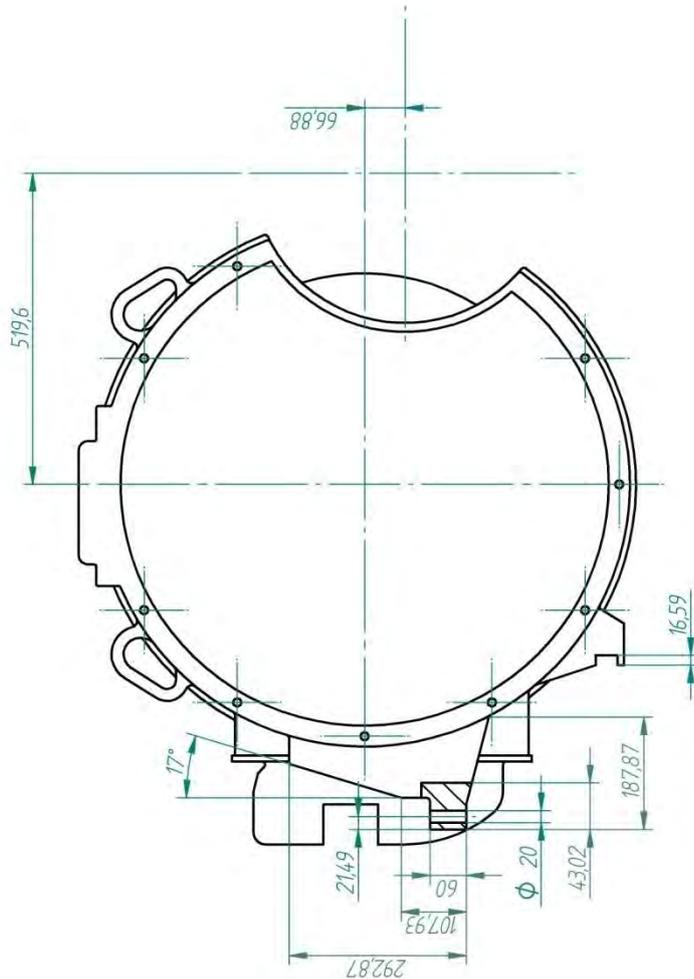
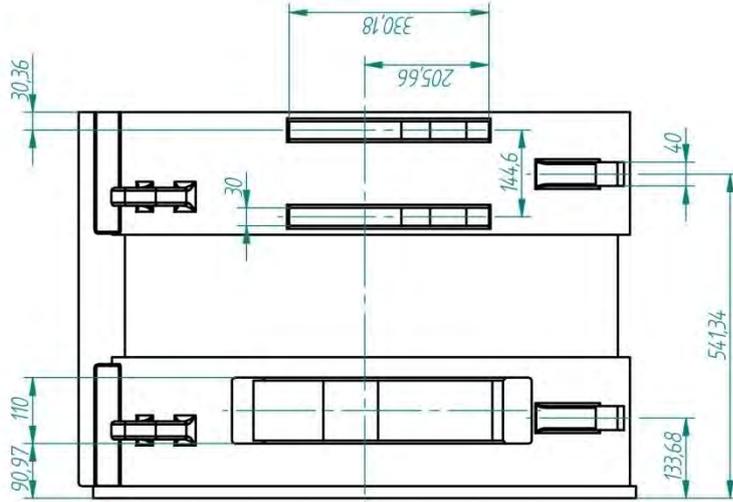


ORIGINAL: EDICIÓN ACADÉMICA: COPIA





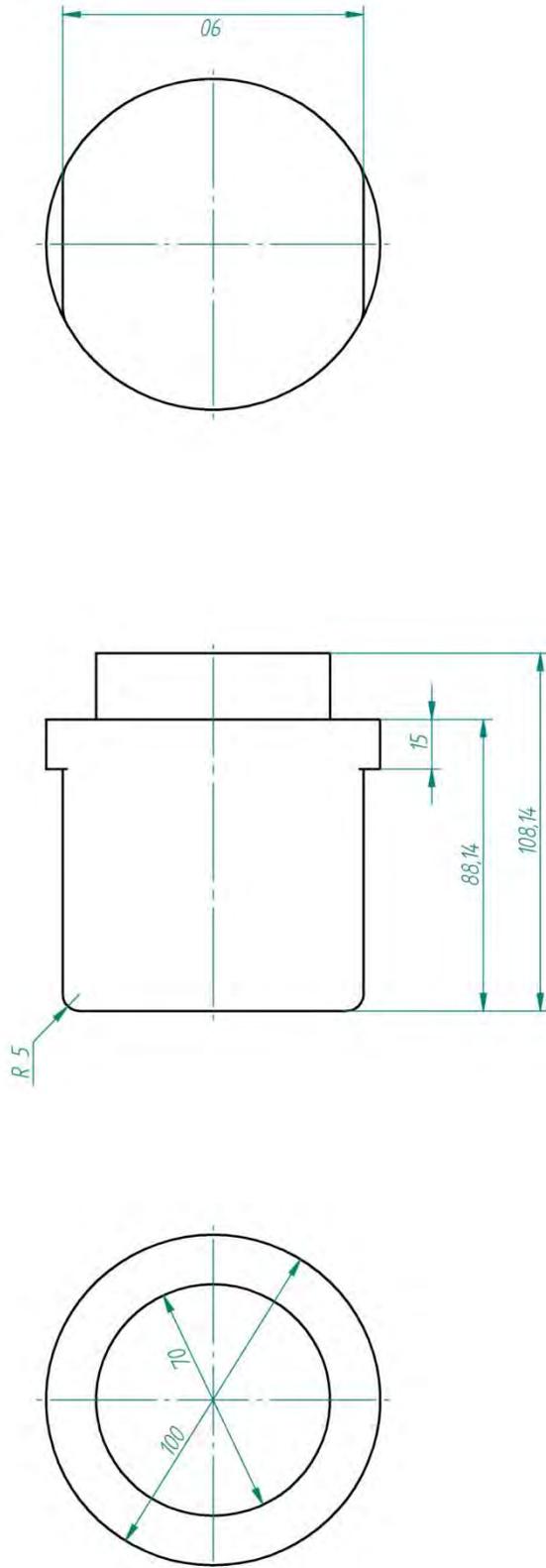
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CONJUNTO CARCASA MOTOR	
Título: CARCASA DEL MOTOR	
Nombre	Fecha
Mario Mata	02/09/14
Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$
Plano	Rev
A3	
Archivo: Carcasa del motor	
Escala: 1 : 8,33	Hoja: 2 de 2

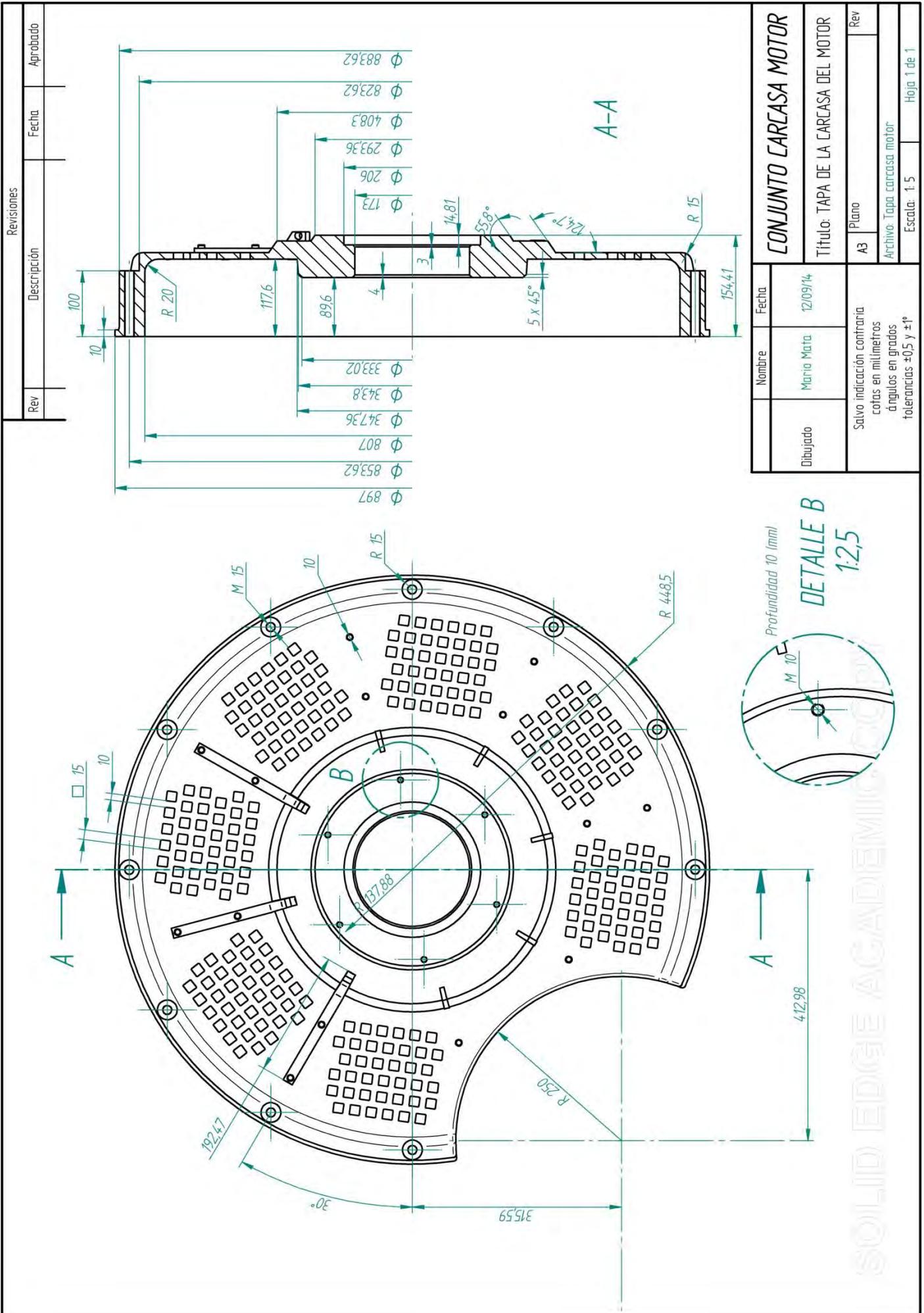
SOLIDWORKS CAD/CAE/CFD

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

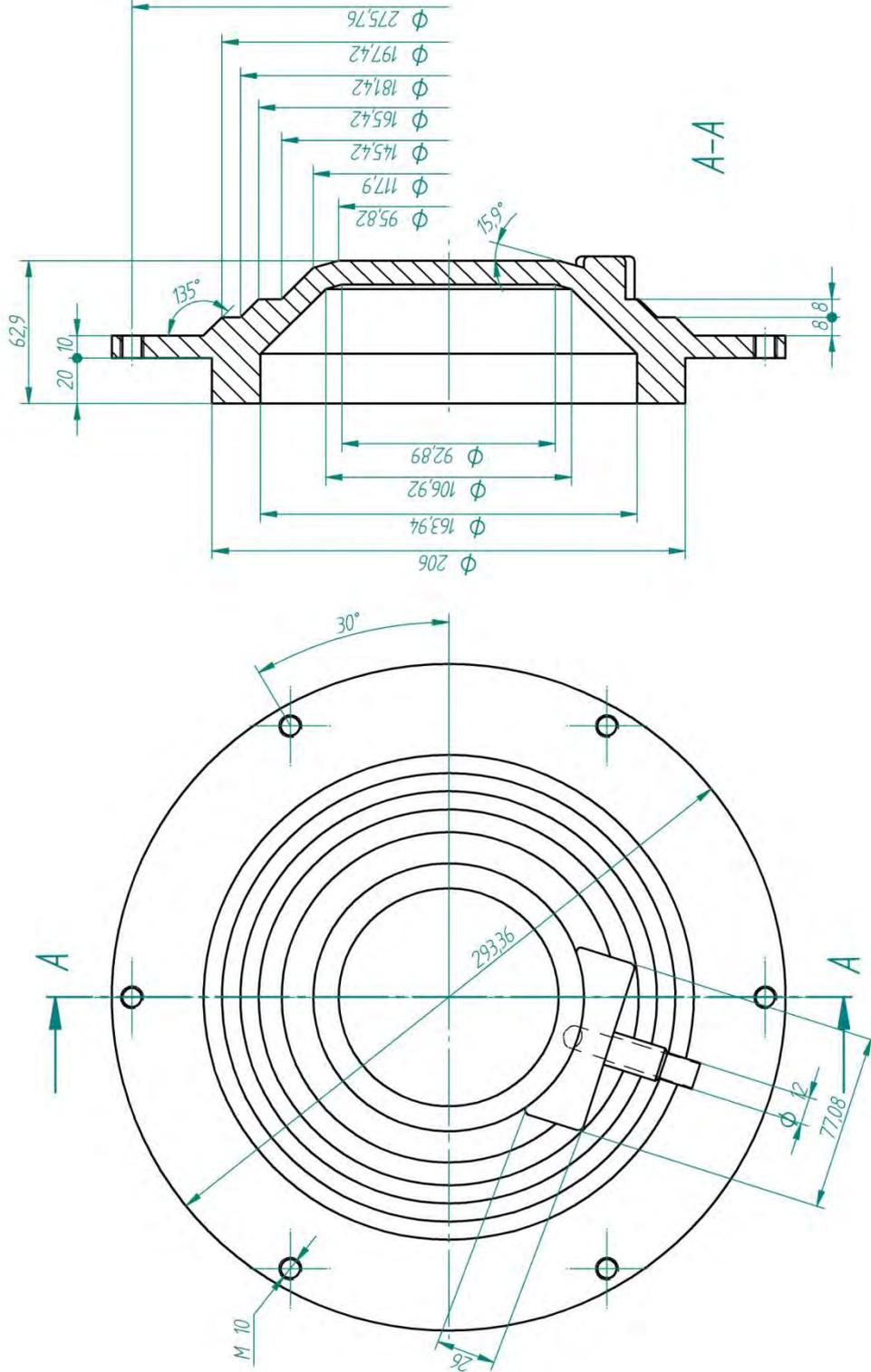


CONJUNTO CARCASA MOTOR	
Título: ANCLAJE CARCASA-BASTIDOR BOGIE	Rev
Plano	
A3	
Archivo: Anclaje	
Escala: 1 : 15	Hoja: 1 de 1
Nombre: Maria Mata	Fecha: 02/09/14
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°	
Dibujado	

SOLIDWORKS ACADEMIC COPY



Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		



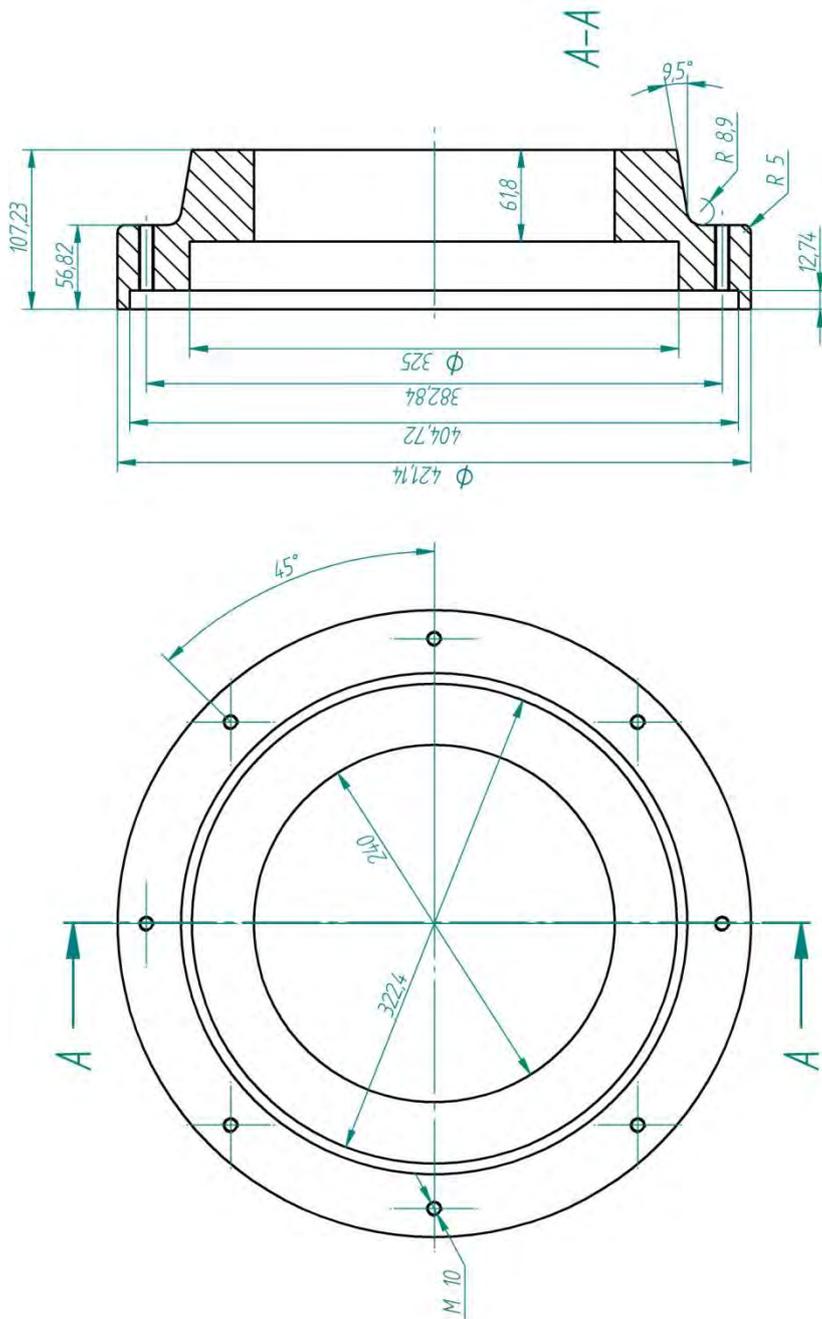
Nombre		Fecha
Dibujado		Mario Mata
Nombre		11/08/14

CONJUNTO CARCASA DEL MOTOR	
Título: TAPETA DE LA TAPA DE LA CARCASA MOTOR	
A3	Plano
Rev	
Archivo: tapeta de la tapa de la carcasa motor	
Escala: 1:2	
Hoja 1 de 1	

Salvo indicación contraria: cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°	
---	--

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		



Nombre		Fecha
Mario Marta		11/08/14

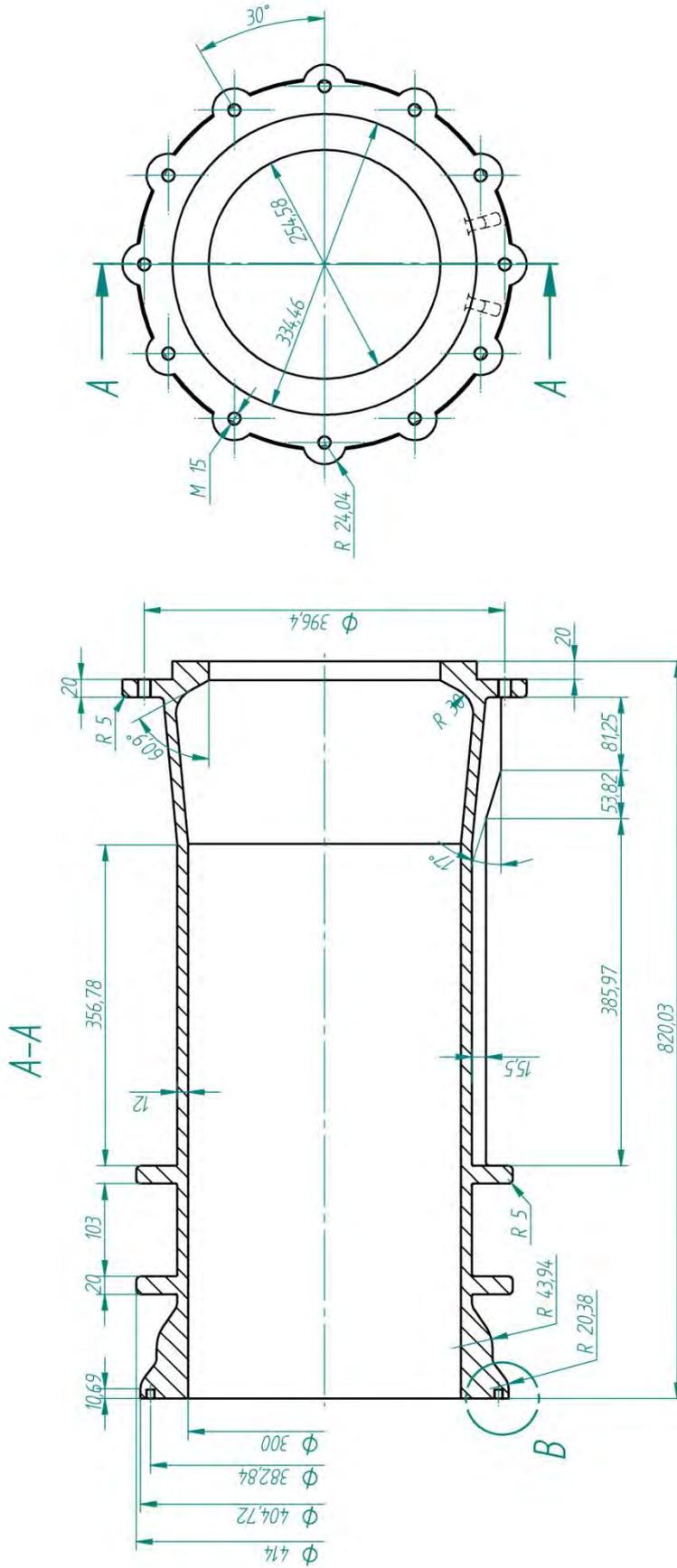
Dibujado		Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados Tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$
A3		Plano
Rev		Archivo: Tapa carcasa eje
Escala: 1 - 333		Hoja: 1 de 1

CONJUNTO CARCASA MOTOR

Título: EXTREMO CARCASA DEL EJE

SOLID: EDGE ACADEMIC CAPP

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

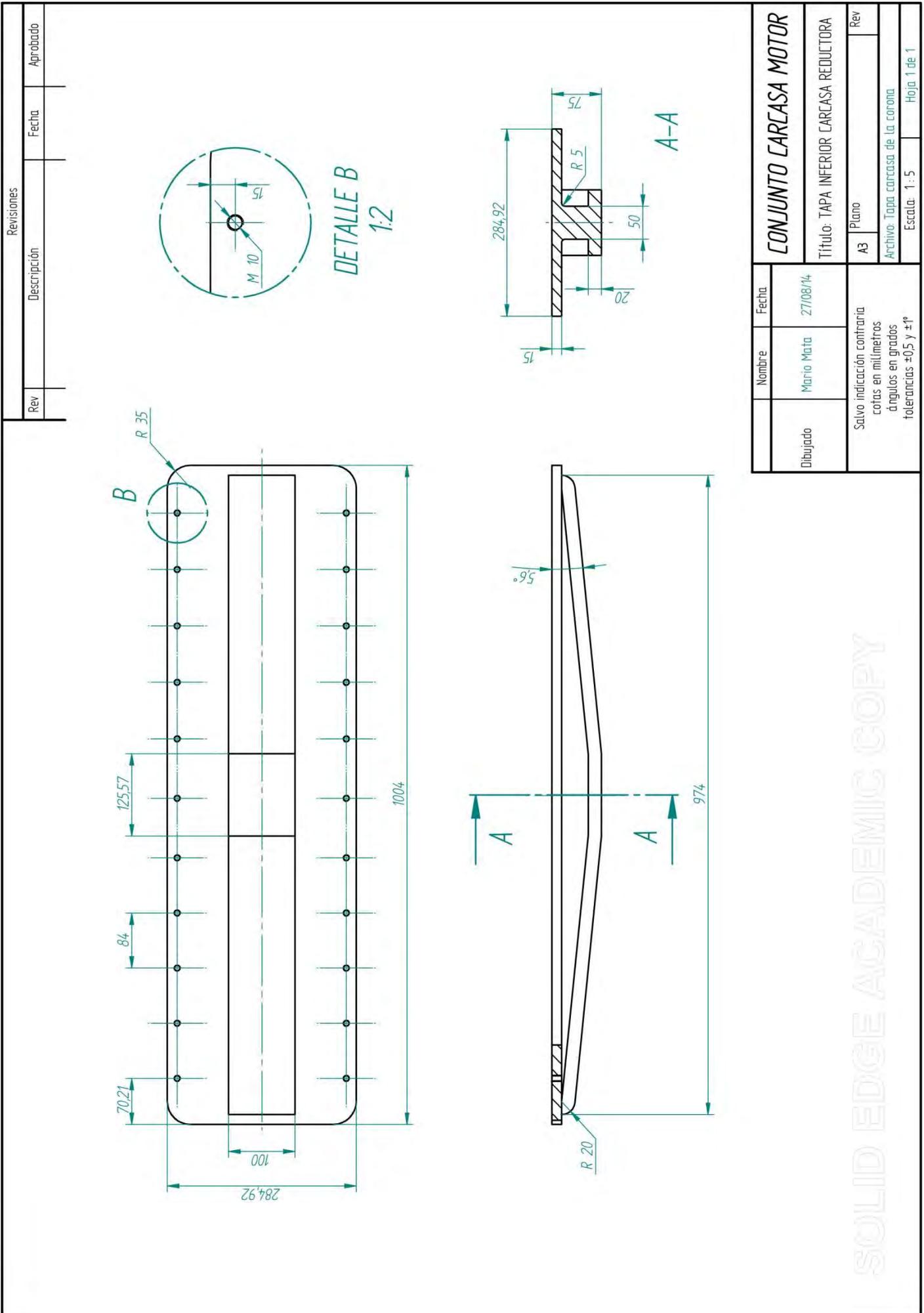


Nombre		Fecha
Dibujado		11/08/14
Nombre		Mario Mata
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$		
Rev		Plano
Título: CARCASA DEL EJE		
Archivo: Carcasa eje 1		
Escala:		1:5
Hoja: 1 de 1		

DETALLE B

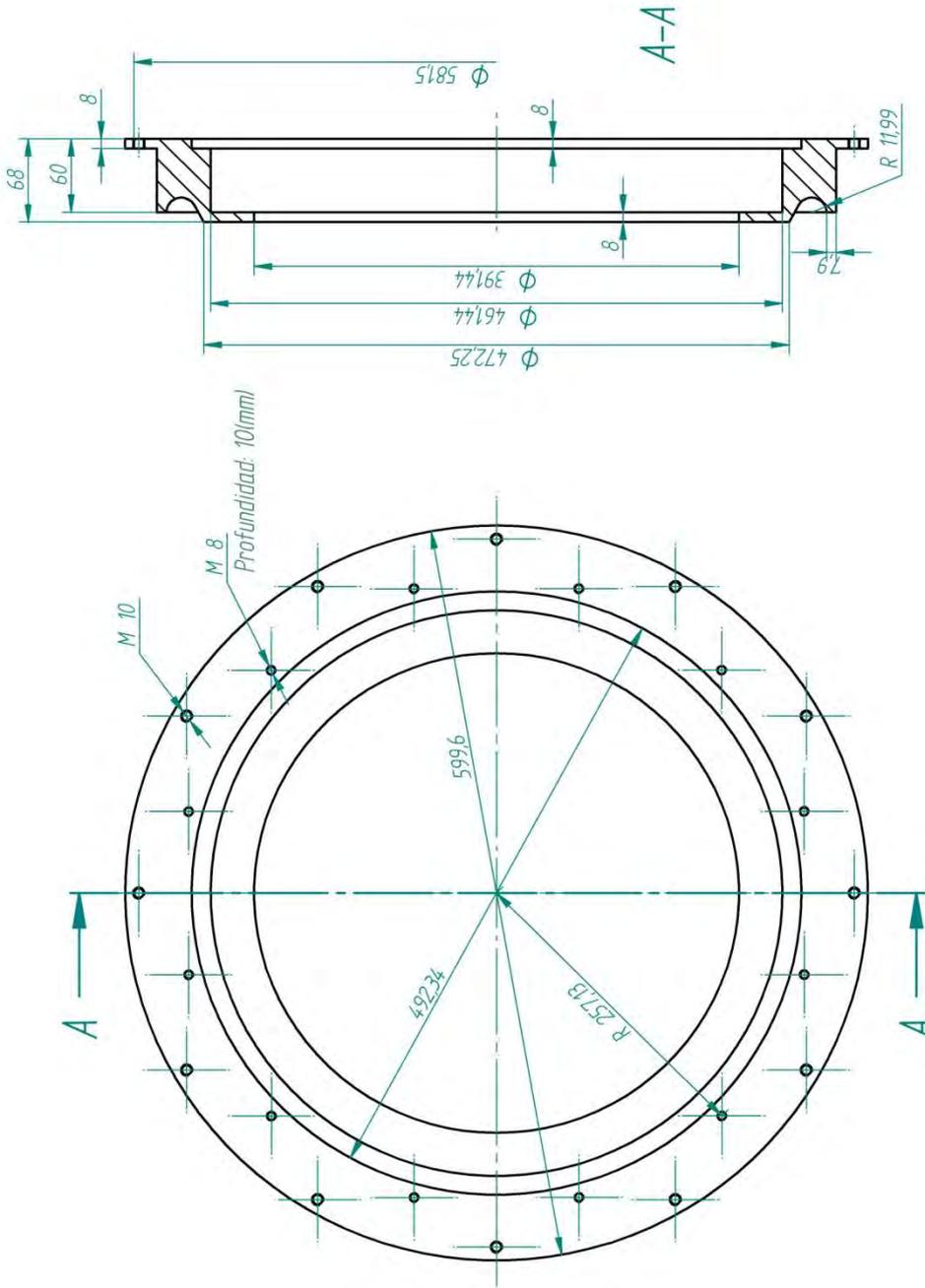
SOLID EDGE ACADEMIC C 1:2

1:10



CONJUNTO CARCASA MOTOR	
Nombre	Fecha
Mario Mata	27/08/14
Título: TAPA INFERIOR CARCASA REDUCTORA	
Dibujado	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	A3 Plano
	Archivo: Tapa carcasa de la corona
	Escala: 1:5
	Hoja: 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



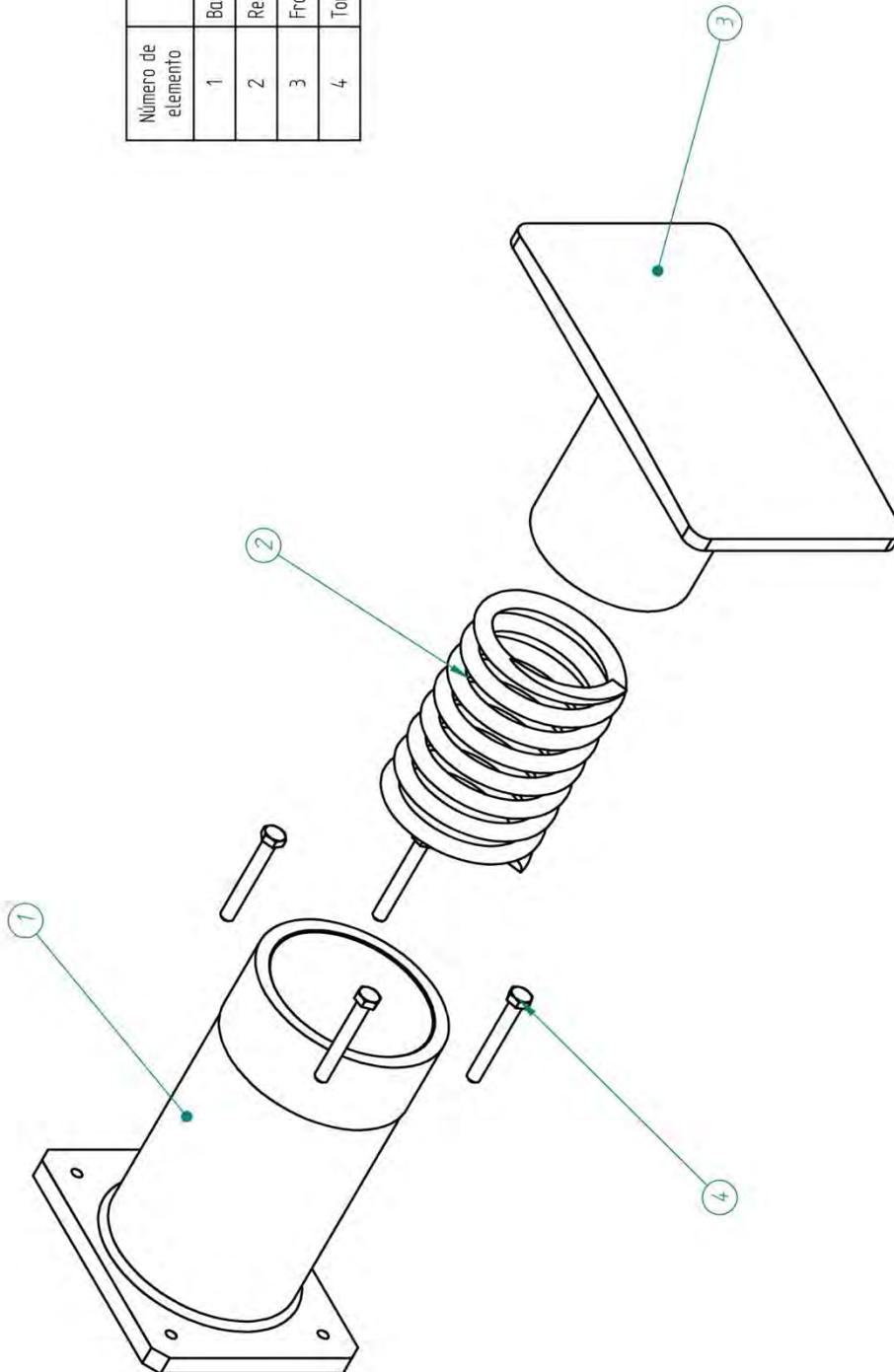
Nombre	Fecha
Mario Mata	08/08/14

CONJUNTO CARCASA MOTOR	
Título: PRIMERA JUNTA CARCASA-CORONA	
Plano	Rev
A3	
Archivo: Junta 1	
Escala: 1 : 4	
Hoja 1 de 1	

Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°
----------	--

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

Número de elemento	Título	Cantidad
1	Base del tope	1
2	Resorte helicoidal	1
3	Frontal del tope	1
4	Tornillo M20 150(mm)	4



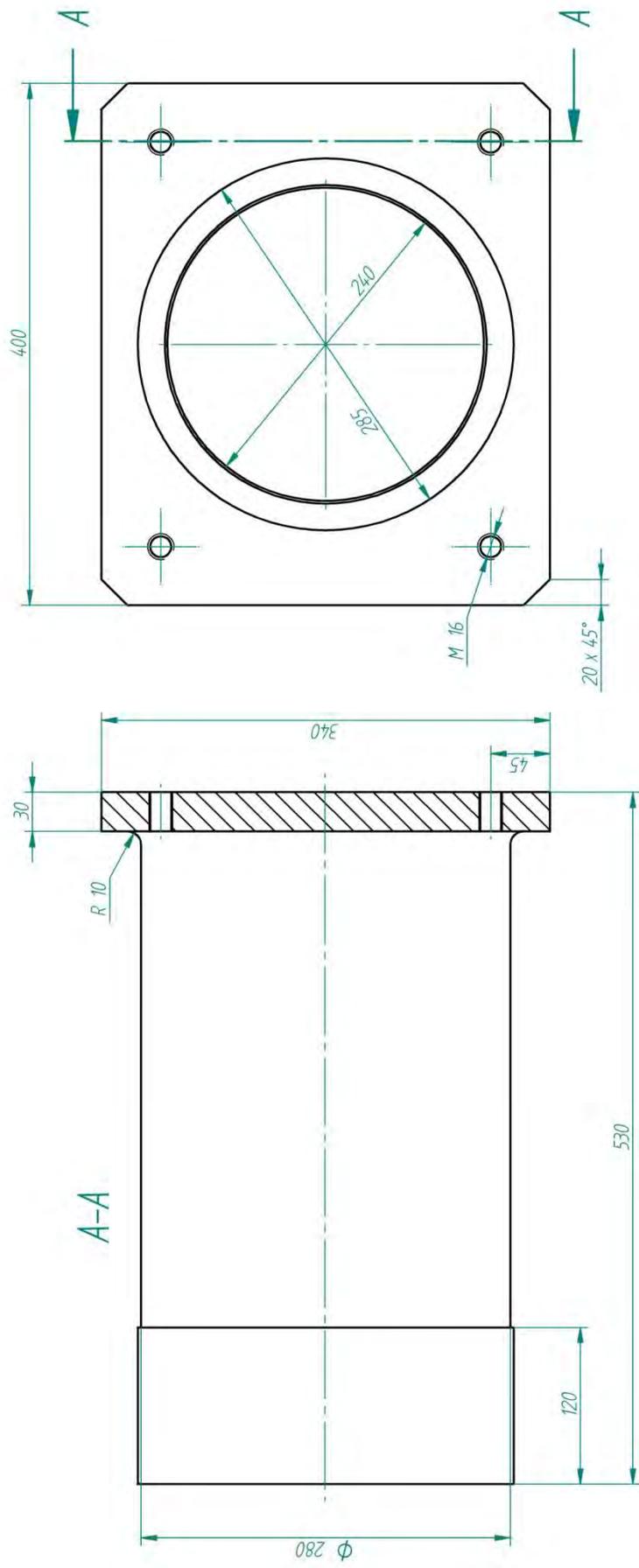
Nombre		Fecha
Dibujado		08/08/14
Nombre		Mario Mata
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		
Título		Plano
Rev		A3
Archivo: Tope montado		
Escala:		1: 6,67
Hoja		1 de 1

CONJUNTO DEL TOPE

Título: EXPLOSIONADO DEL TOPE

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

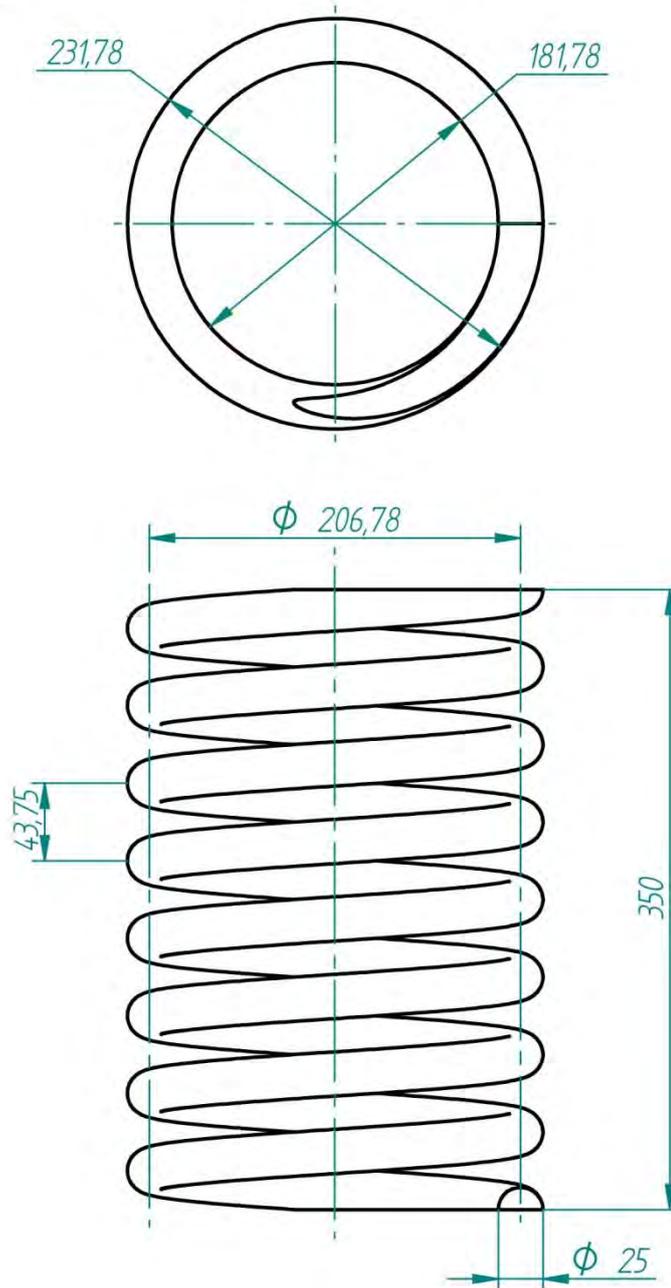


CONJUNTO DEL TOPE		Nombre	Fecha
Dibujado	Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	Maria Mata	07/08/14
Título: BASE DEL TOPE			
Rev	Plano		
	Archivo: Base tope		
	Escala: 1 : 333		
			Hoja: 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

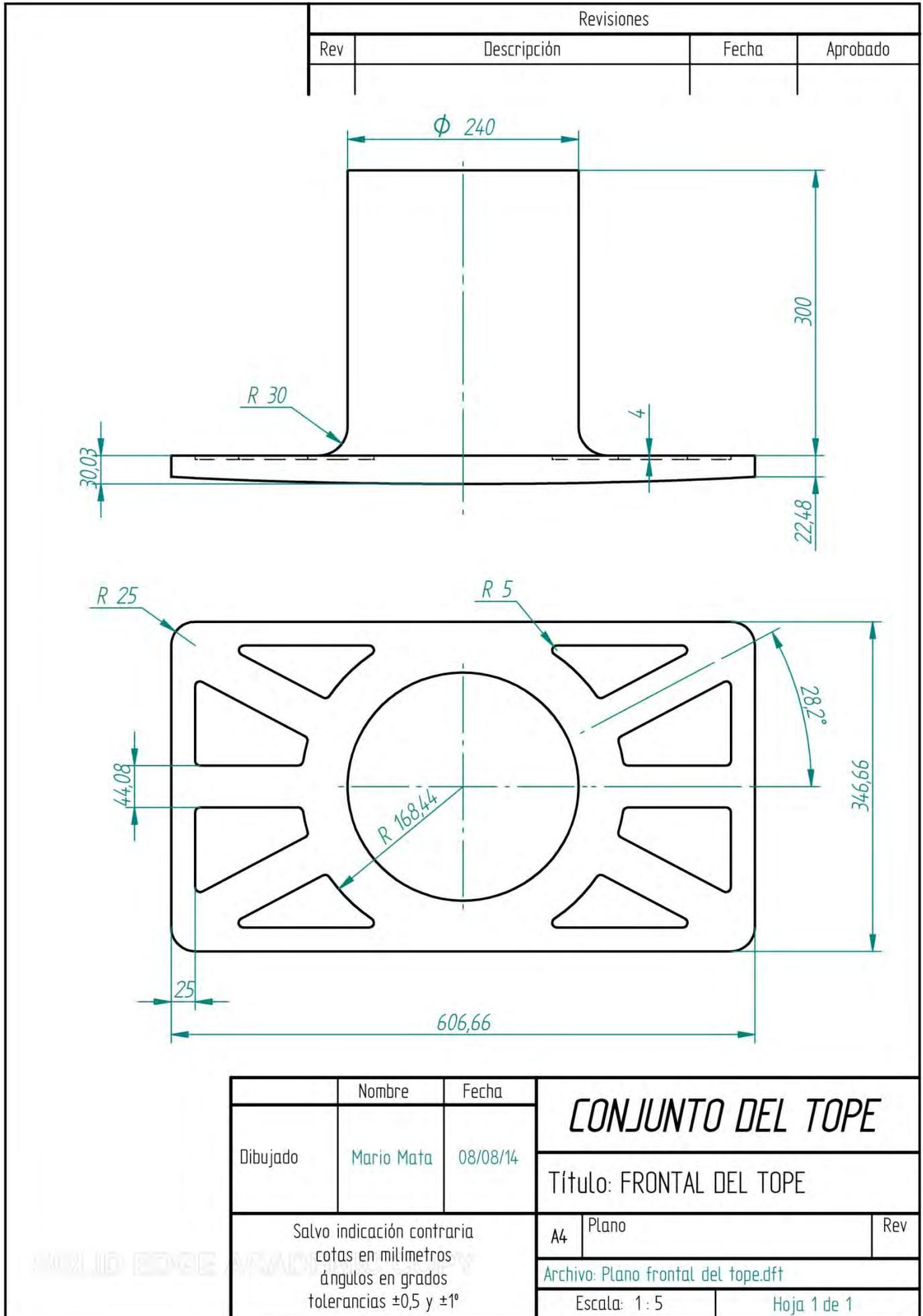
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Altura del resorte instalado



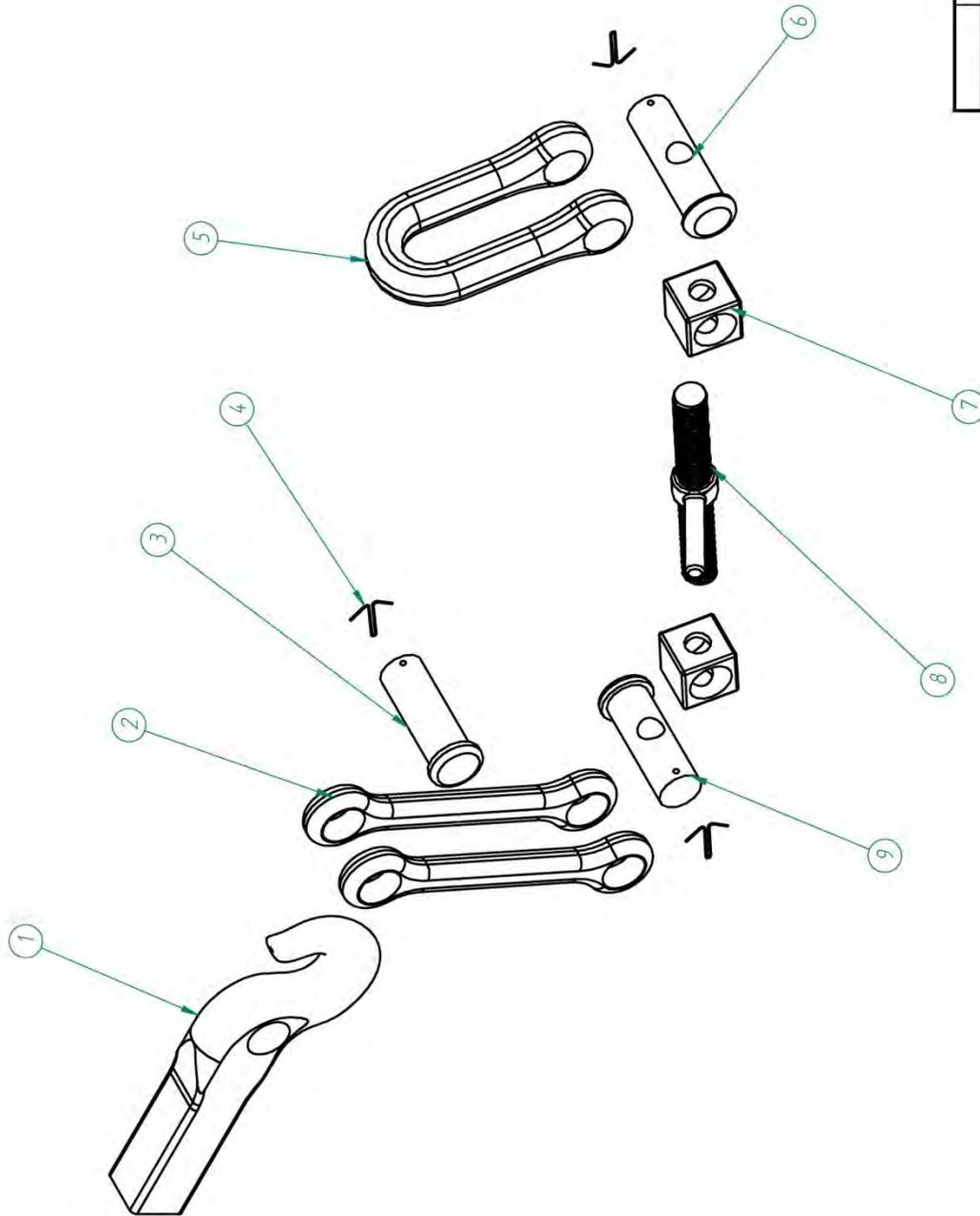
Resorte de 8 espiras con extremos refrentados

	Nombre	Fecha	CONJUNTO DEL TOPE		
Dibujado	Mario Mata	08/08/14			Título: RESORTE HELICOIDAL INTERIOR TOPE
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Archivo: Resorte tope		
			Escala: 1 : 4	Hoja 1 de 1	



Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

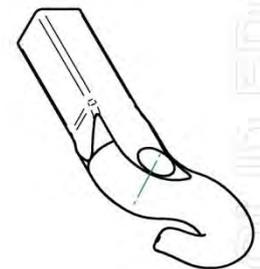
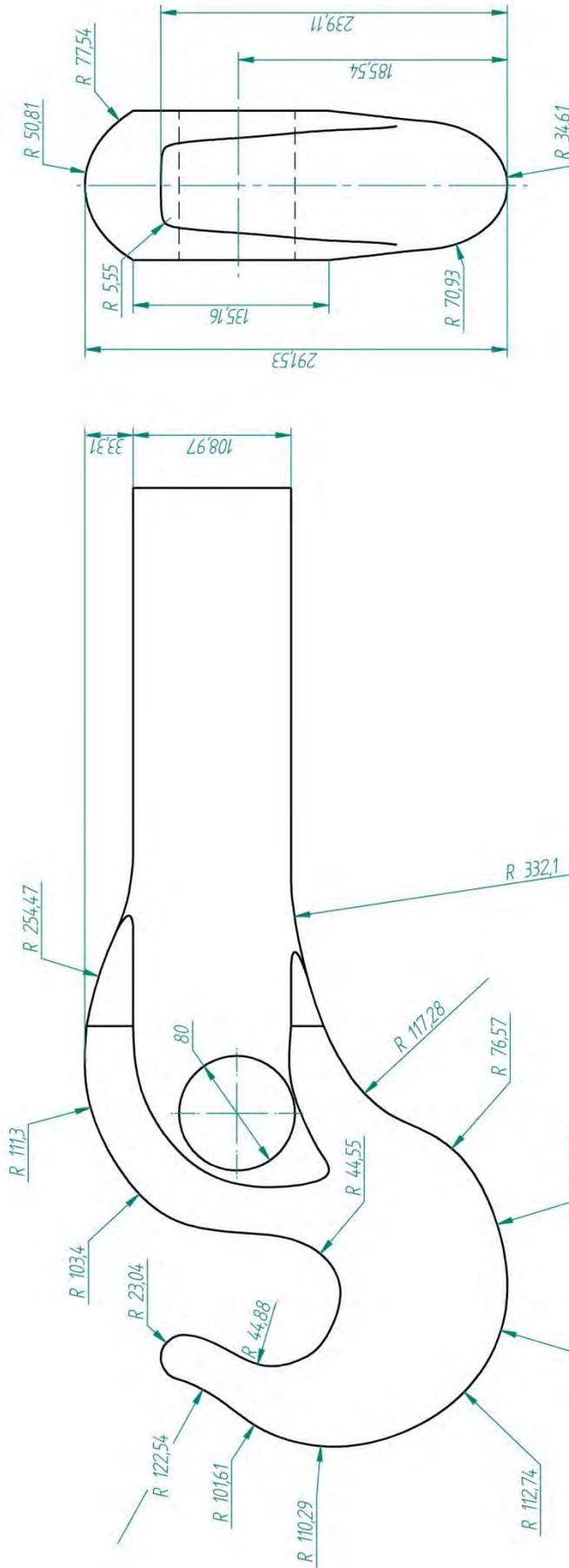
Número de elemento	Título	Cantidad
1	Gancho	1
2	Estabón del enganche	2
3	Perno	1
4	Horquilla de sujeción	3
5	Argolla del enganche	1
6	Segundo perno agujero roscado	1
7	Cubo del enganche de husillo	2
8	Tornillo para tensor	1
9	Perno con agujero roscado	1



CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO		
Nombre	Fecha	Rev
Dibujado	Mario Mata	21/08/14
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plano
Título: EXPLOSIONADO ENGANCHE DE HUSILLO		Archivo: Enganche de husillo
Escala: 1:8,33		Hoja: 1 de 1

FOTOLIBRO EDITORIAL TECNICA

Revisión		Descripción	Fecha	Aprobado
Rev				



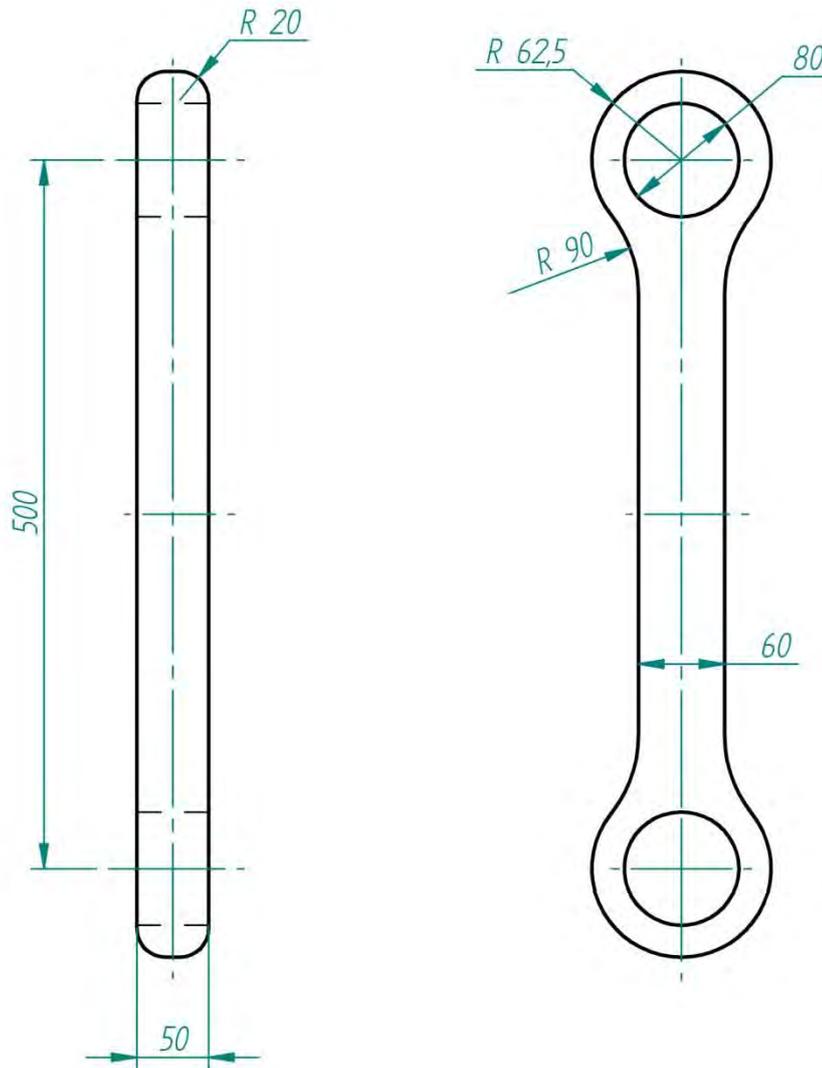
Nombre		Fecha
Dibujado		21/08/14
Nombre		Mario Mata

Título: GANCHO	
Rev	Plano
Archivo: Gancho del husillo	
Escala: 1:3	
Hoja 1 de 1	

Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	
---	--

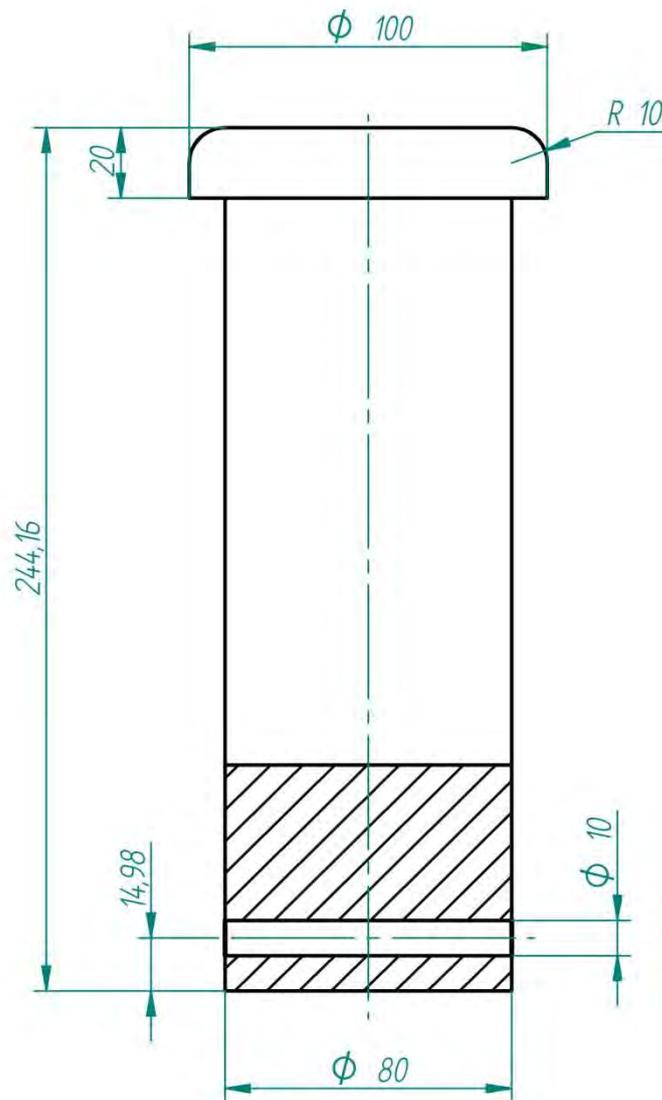
SOLID EDGE ALGADIMING COPY
 1:10

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



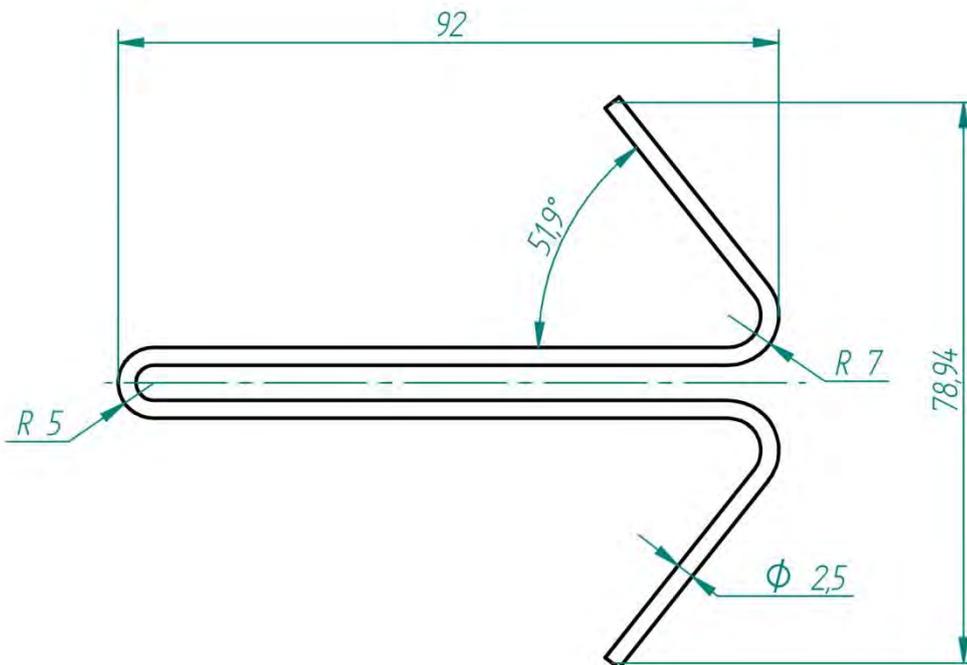
	Nombre	Fecha	CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO	
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: ESLABÓN DEL ENGANCHE	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
			Archivo: Eslabón	
			Escala: 1 : 5	Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



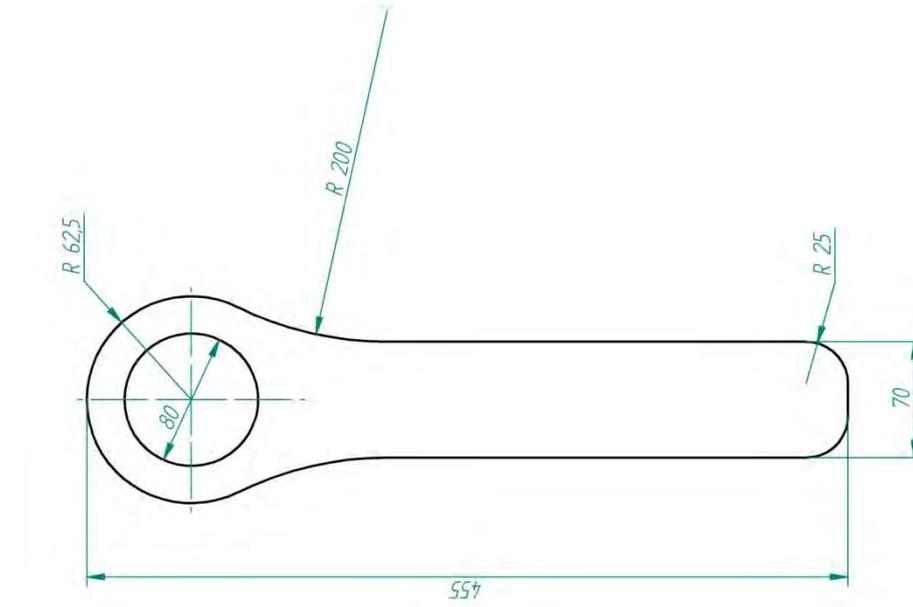
Nombre	Fecha	CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO	
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: PERNO
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4 Plano Rev
Escala: 1 : 2			Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



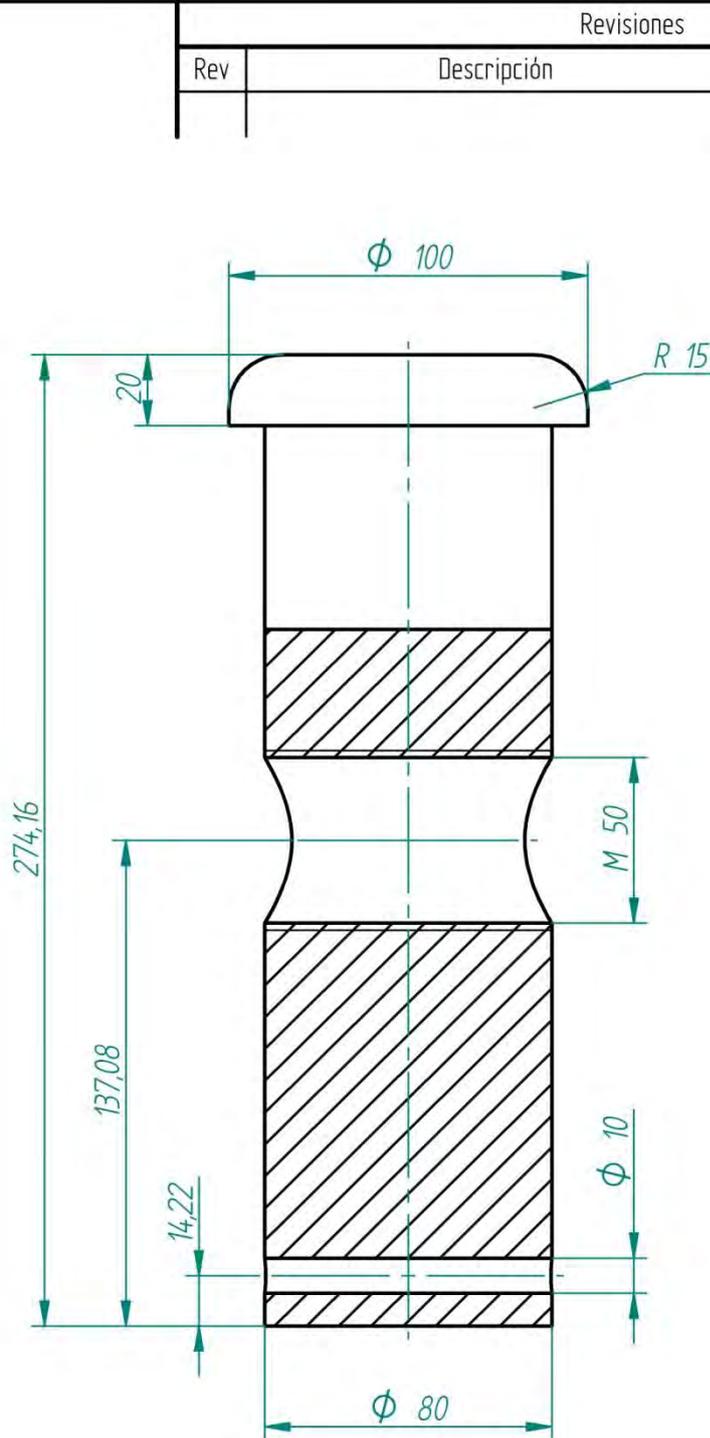
	Nombre	Fecha	<i>CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO</i>	
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: HORQUILLA DE SUJECCIÓN	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A4	Plano
			Rev	
Archivo: Horquilla enganche de husillo			Escala: 1 : 1	Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



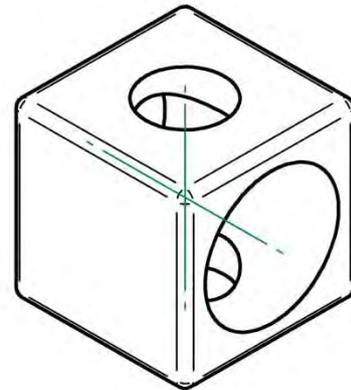
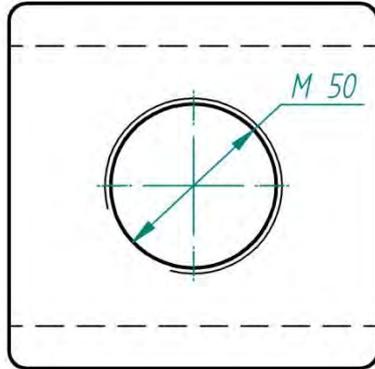
CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO	
Título: ARGOLLA DEL ENGANCHE	
Nombre	Fecha
Dibujado	Mano Mata
21/08/14	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	
Plano	Rev
Archivo: Argolla del enganche	
Escala: 1 : 3	Hoja 1 de 1

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

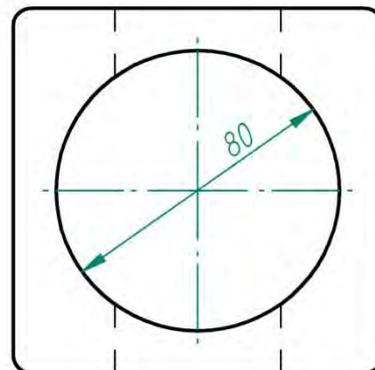
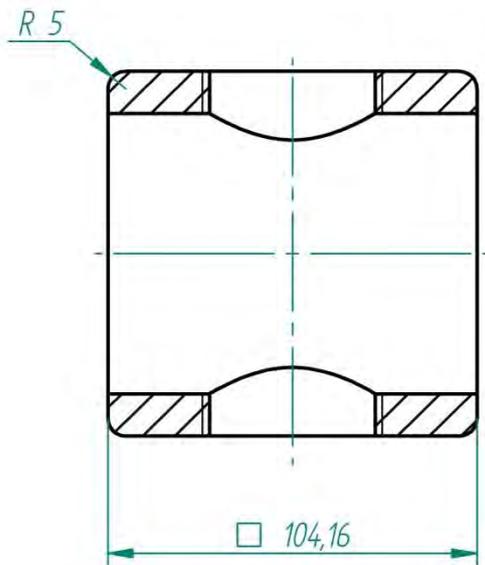


	Nombre	Fecha	CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO		
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: SEGUNDO PERNO CON AGUJERO ROSCADO		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	
					Rev
			Archivo: Perno con agujero roscado 2		
			Escala: 1 : 2	Hoja 1 de 1	

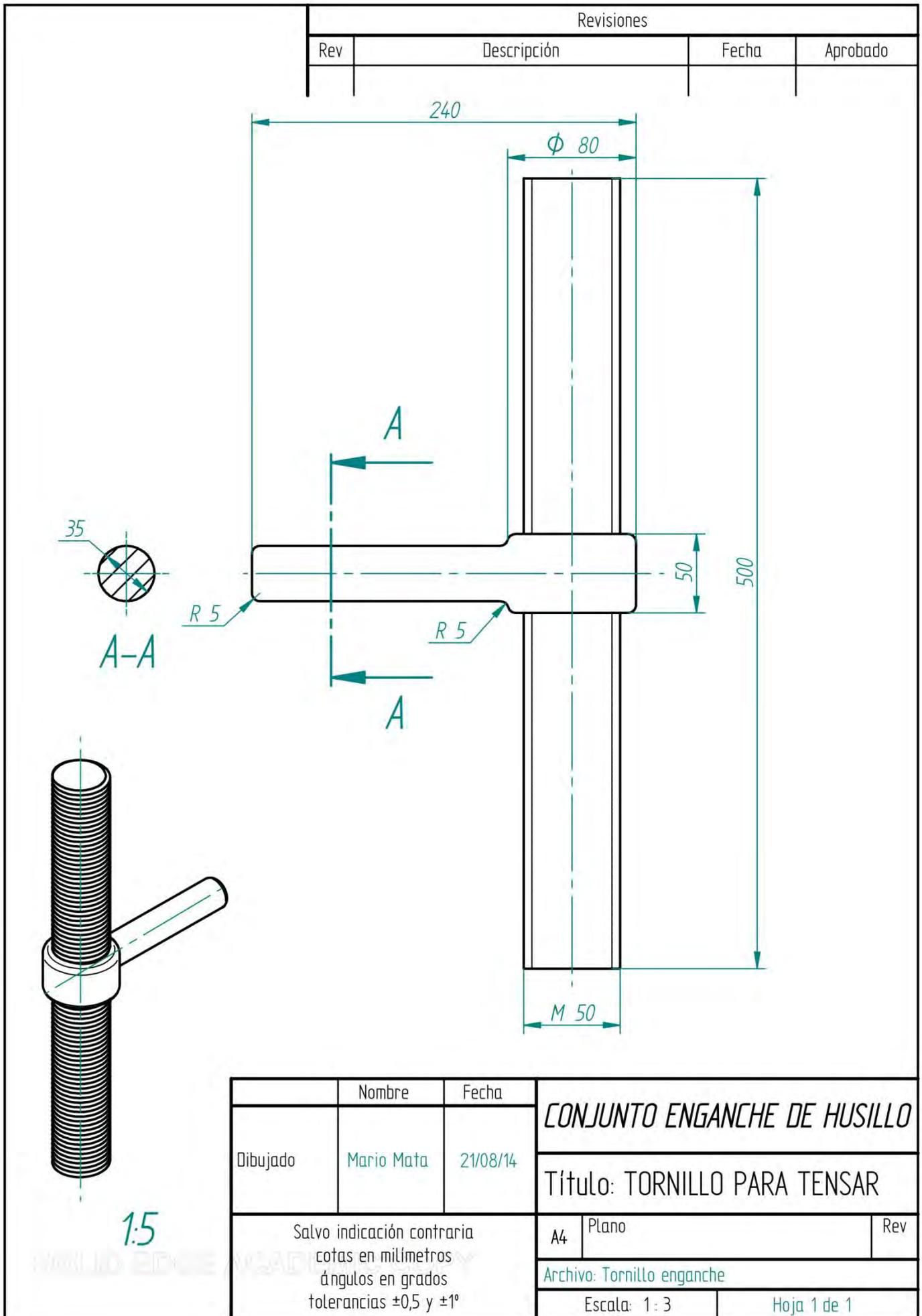
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

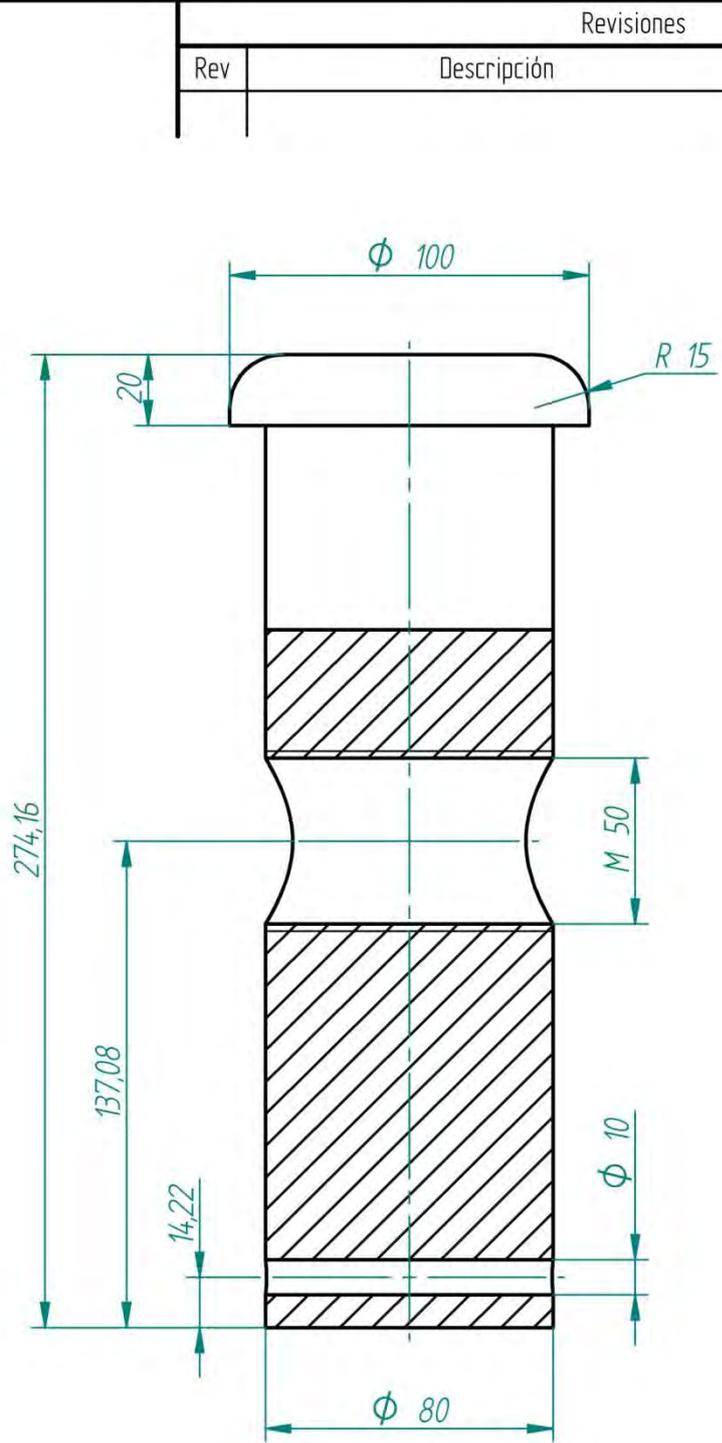


1:3



	Nombre	Fecha	CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO	
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: CUBO ENGANCHE HUSILLO	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
			Archivo: Cubo enganche de husillo	
			Escala: 1 : 2	Hoja 1 de 1



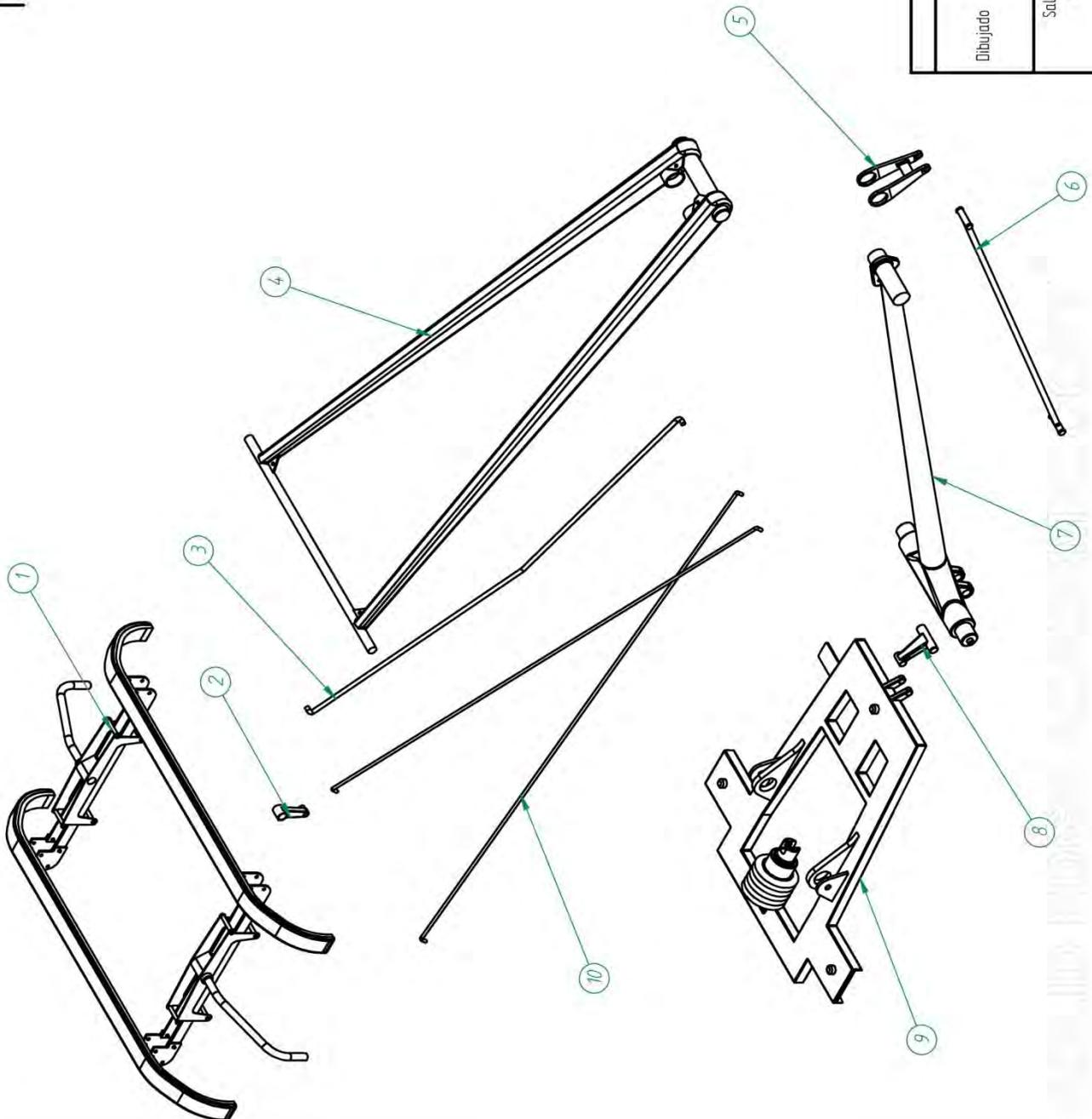


Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

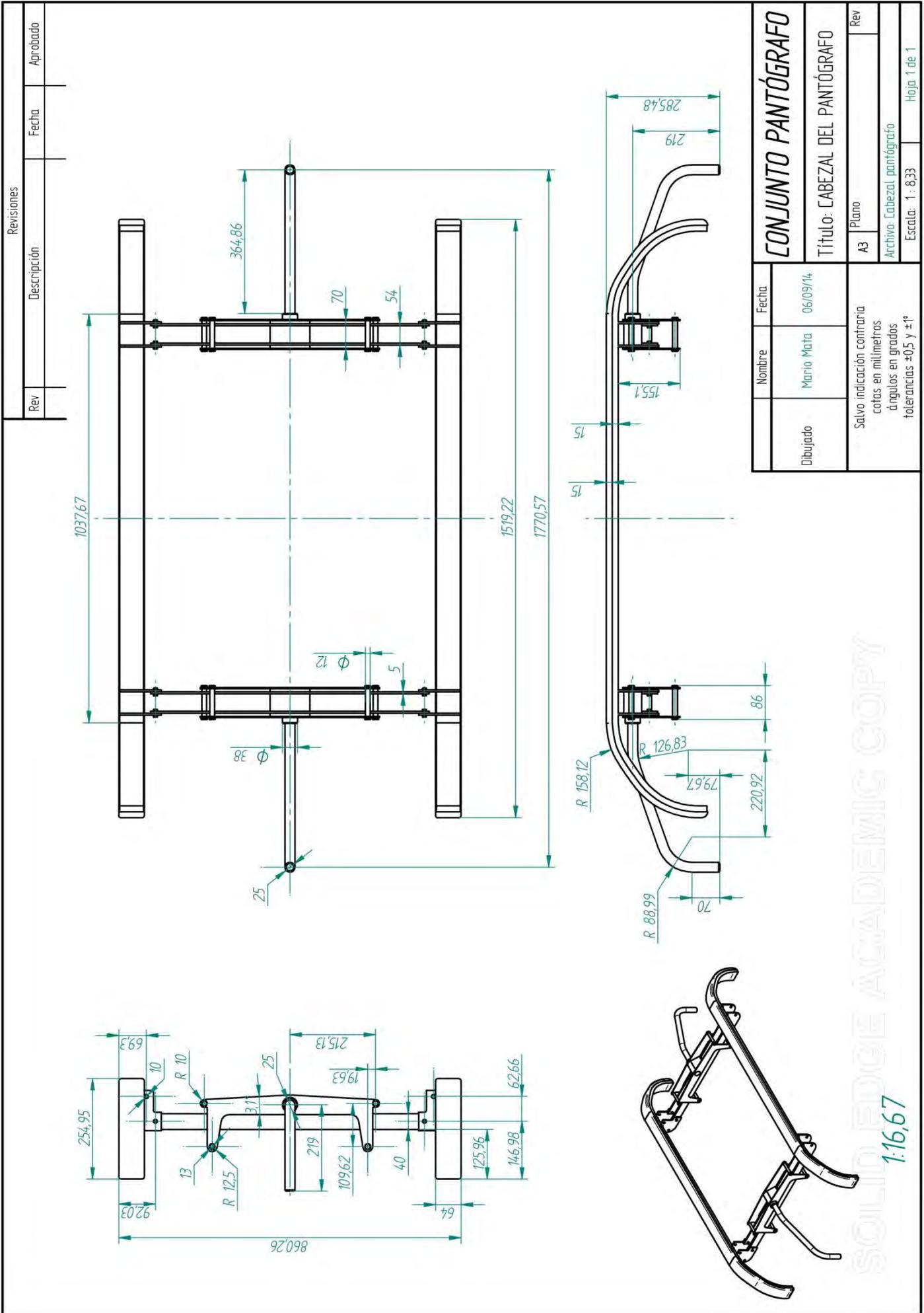
	Nombre	Fecha	CONJUNTO ENGANCHE DE HUSILLO	
Dibujado	Mario Mata	18/08/14	Título: SEGUNDO PERNO CON AGUJERO ROSCADO	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
			Rev	
Archivo: Perno con agujero roscado 2			Escala: 1 : 2	
			Hoja 1 de 1	

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

Número de elemento	Título	Cantidad
1	Cabezal del pantógrafo	1
2	Bisagra 1	1
3	Tensor brazo inferior-superior	1
4	Brazo superior	1
5	Bisagra 2	1
6	Tensor brazo inferior	1
7	Brazo inferior	1
8	Bisagra 3	1
9	Base	1
10	Tensor brazo superior	2

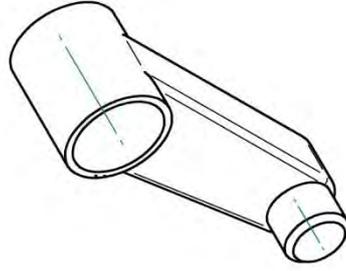
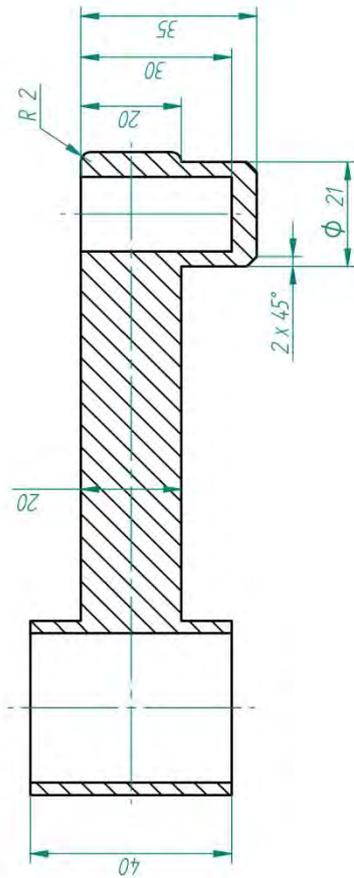


CONJUNTO PANTÓGRAFO	
Título: EXPLOSIONADO PANTÓGRAFO	
Nombre	Fecha
Maria Maía	28/08/14
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
Dibujado	Rev
	A3
Archivo: Pantógrafo	
Escala: 1 : 14,29	
Hoja: 1 de 1	

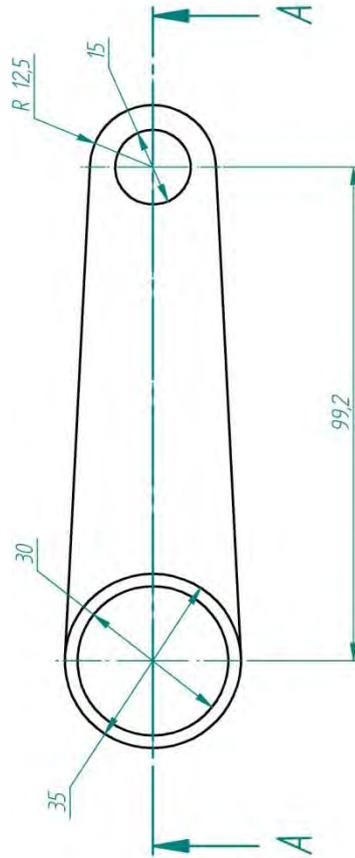


Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

A-A



1:15

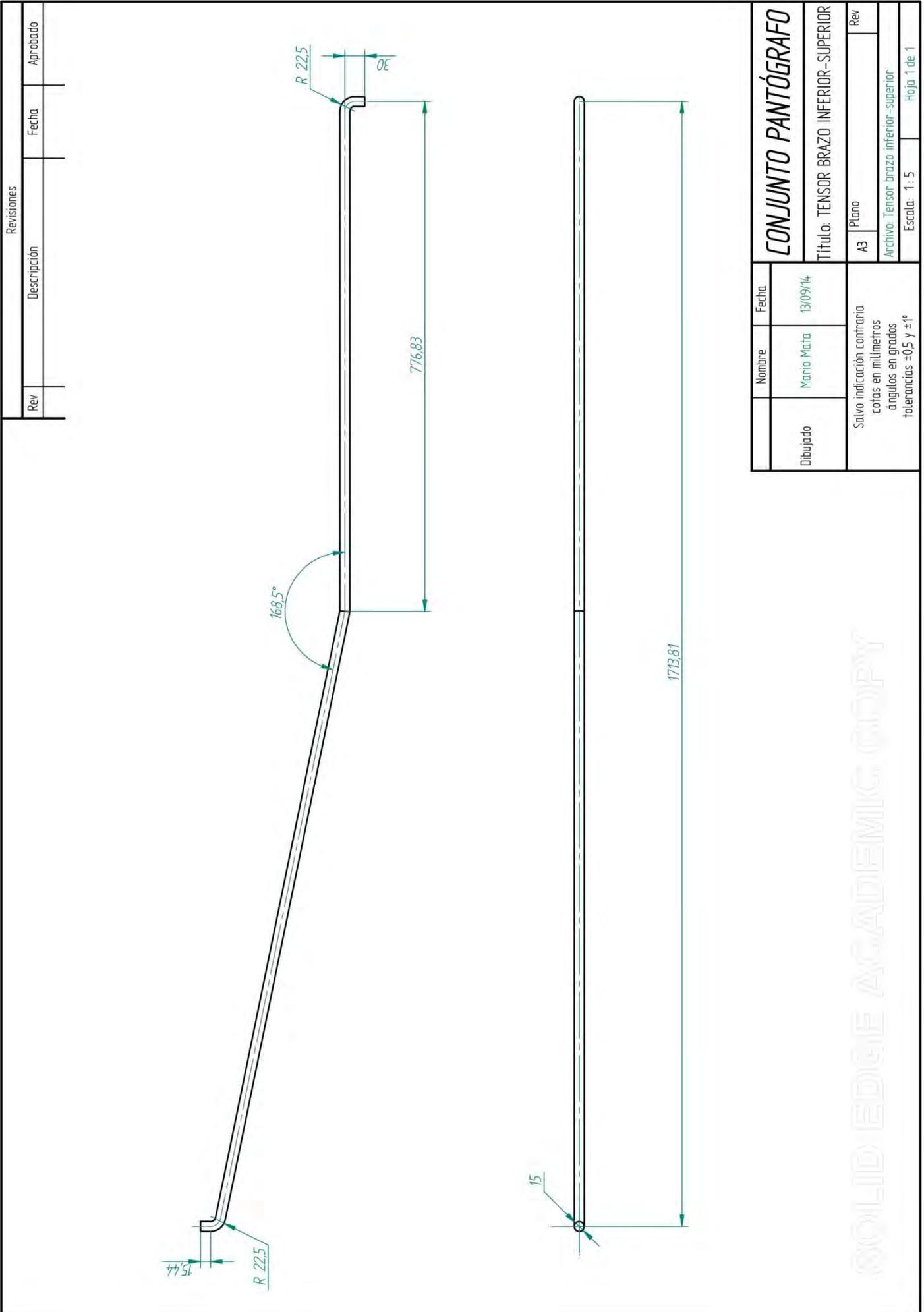


Nombre	Fecha
Mario Mata	13/09/14

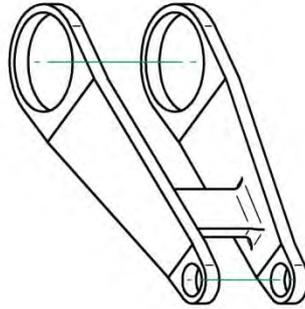
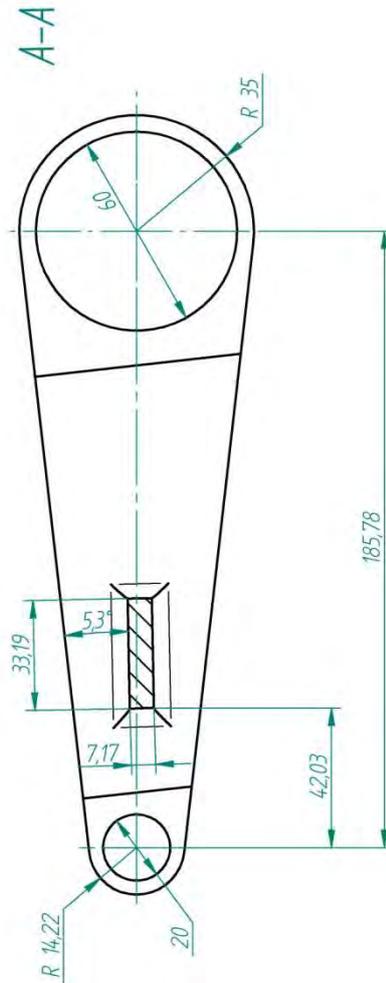
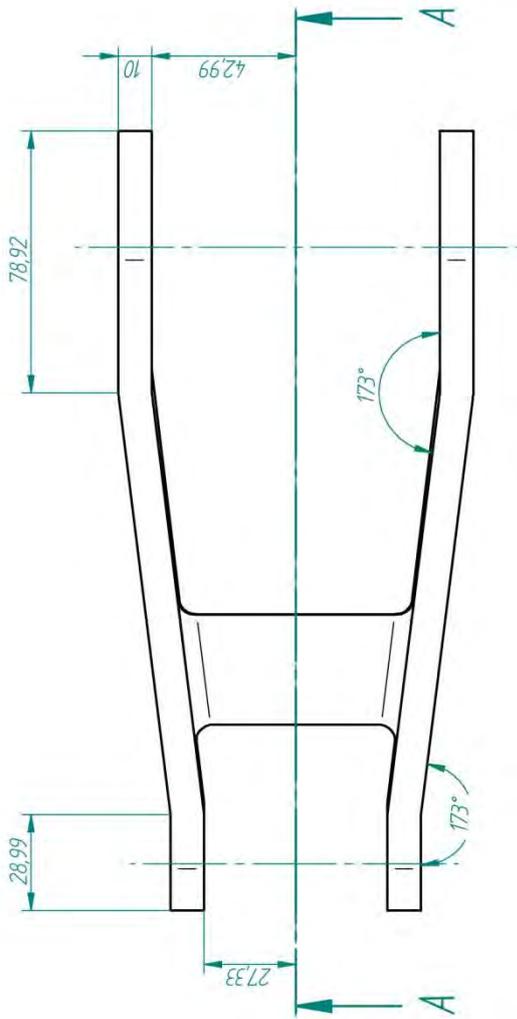
CONJUNTO PANTÓGRAFO	
Título: BISAGRA 1	
Plano	Rev
A3	
Archivo: Plano bisagra-1.dft	
Escala: 1:1	Hoja: 1 de 1

Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°
----------	--

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

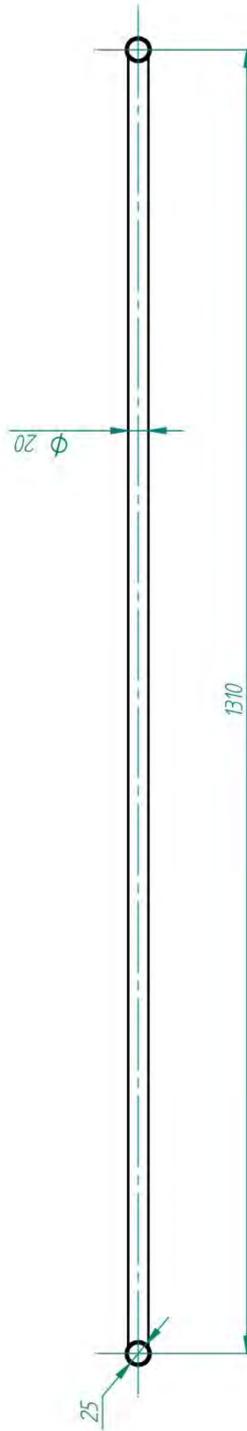
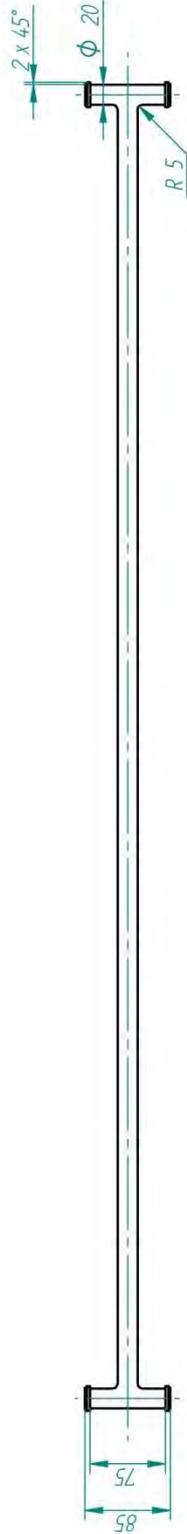


13

CONJUNTO PANTÓGRAFO	
Título: BISAGRA 2	
Nombre	Fecha
Mario Mata	13/09/14
Dibujado	Plano
Salvo indicación contraria cotas en milímetros á ngulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	
Rev	Hoja: 1 de 1
Archivo: Pieza bisagra	Escala: 1 : 15

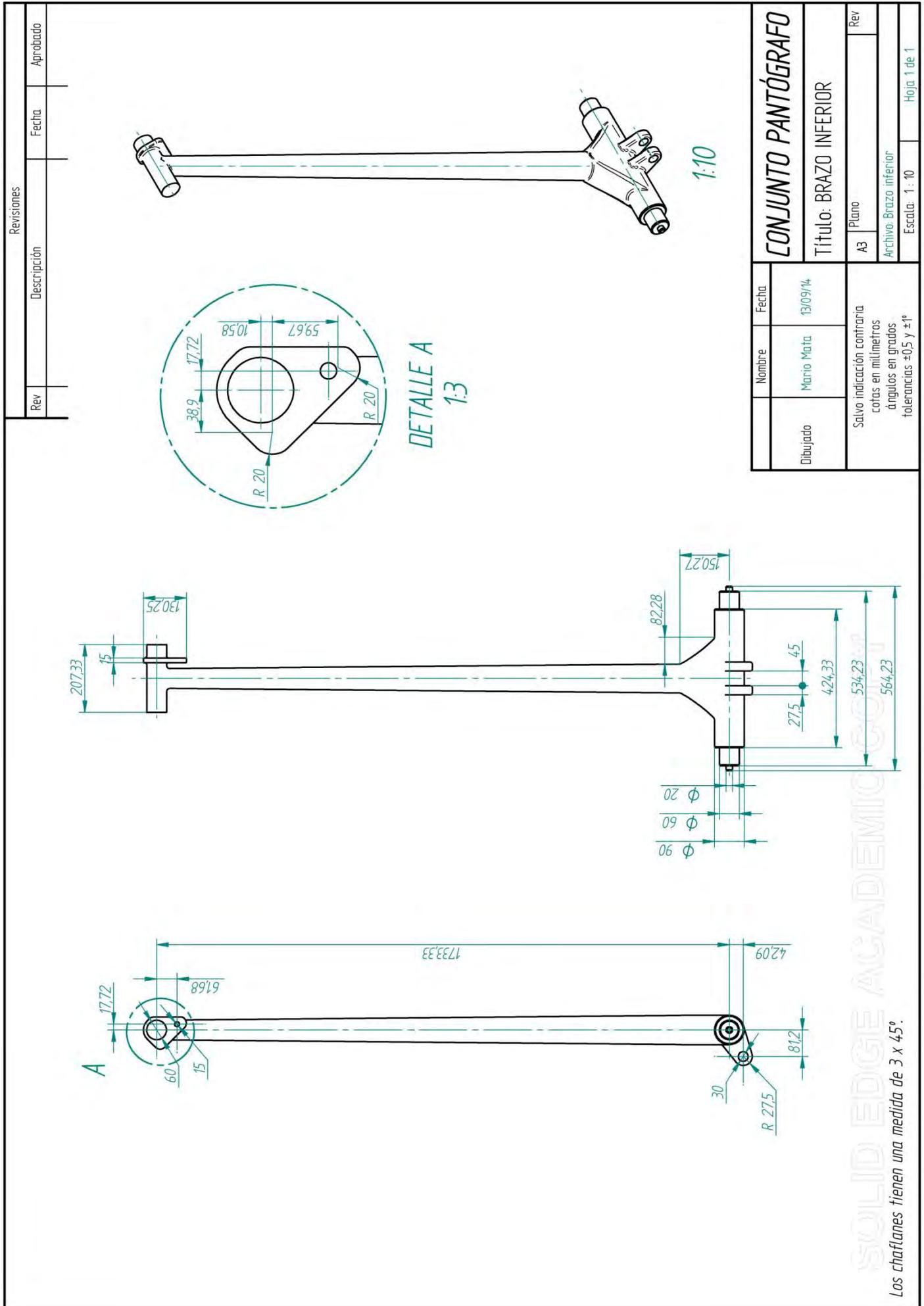
80LID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

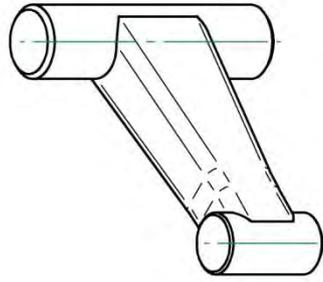
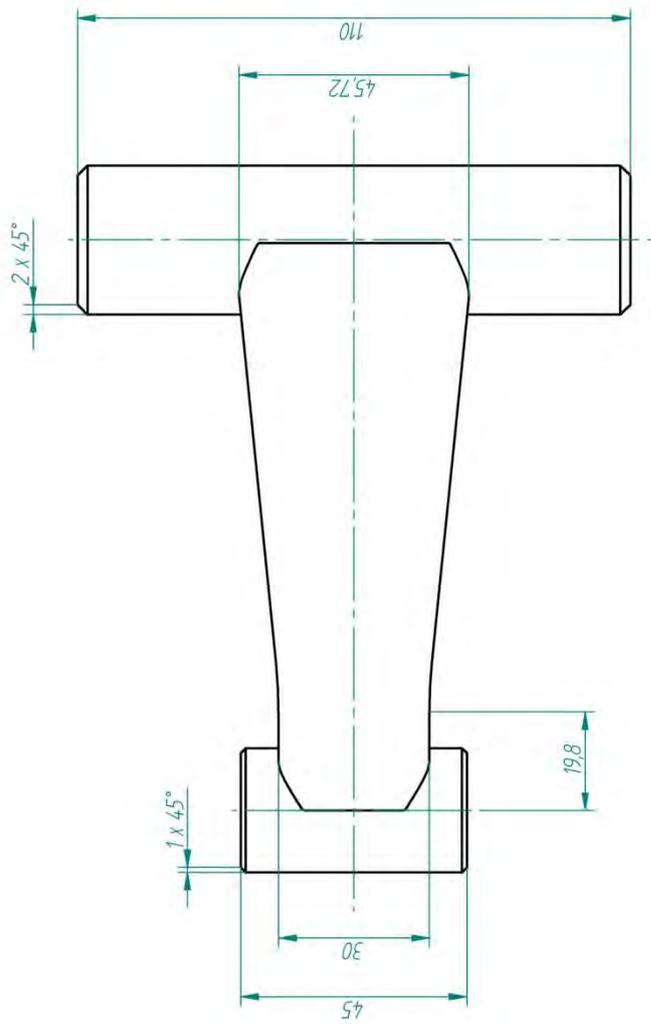


CONJUNTO PANTÓGRAFO		Nombre	Fecha
Título: TENSOR BRAZO INFERIOR		Mario Mata	13/09/14
A3	Plano	Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
Archivo: Tensor brazo inferior		Escala: 1:5	
Rev		Hoja: 1 de 1	

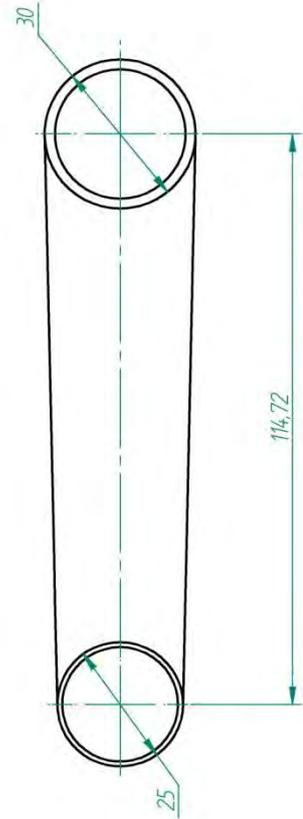
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

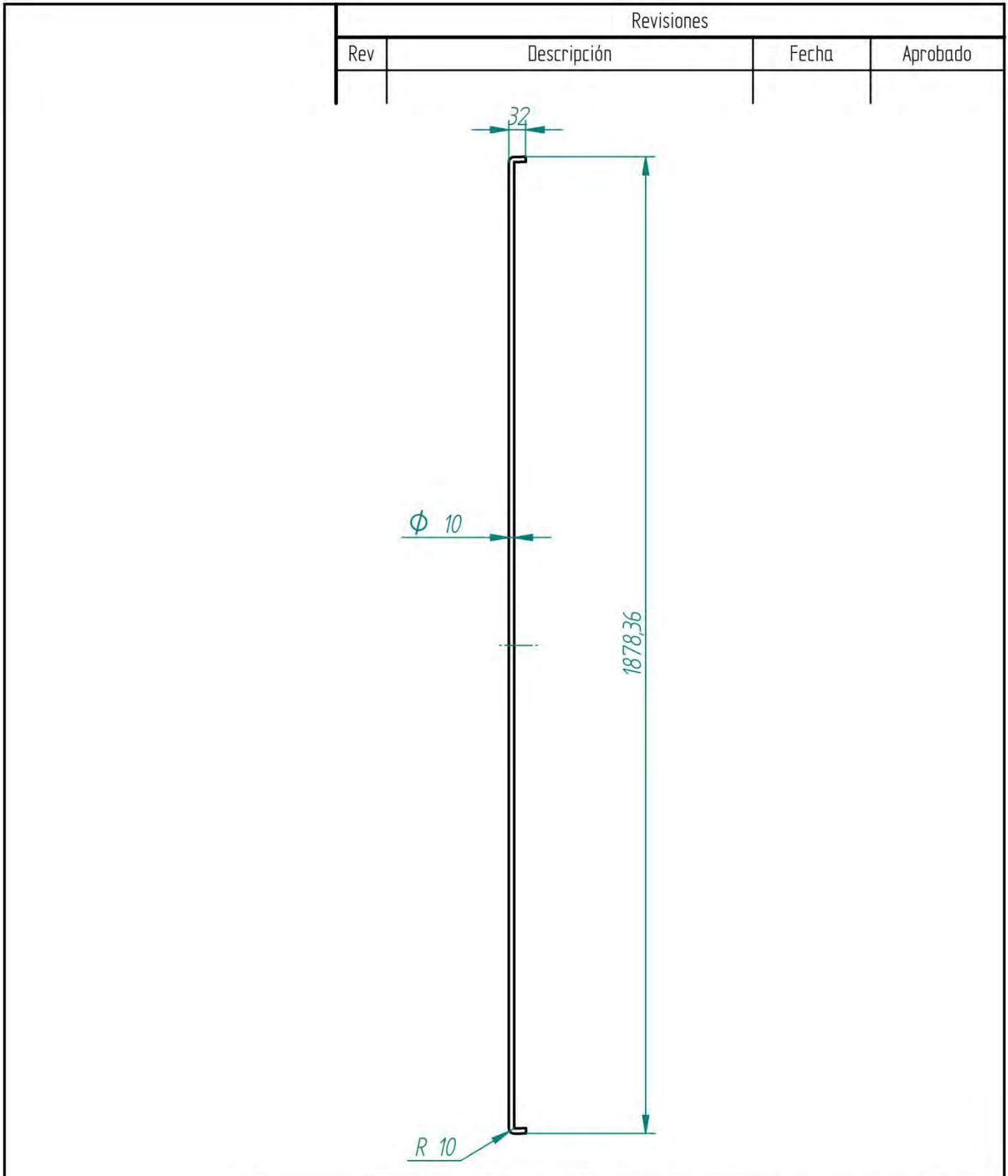


1:2



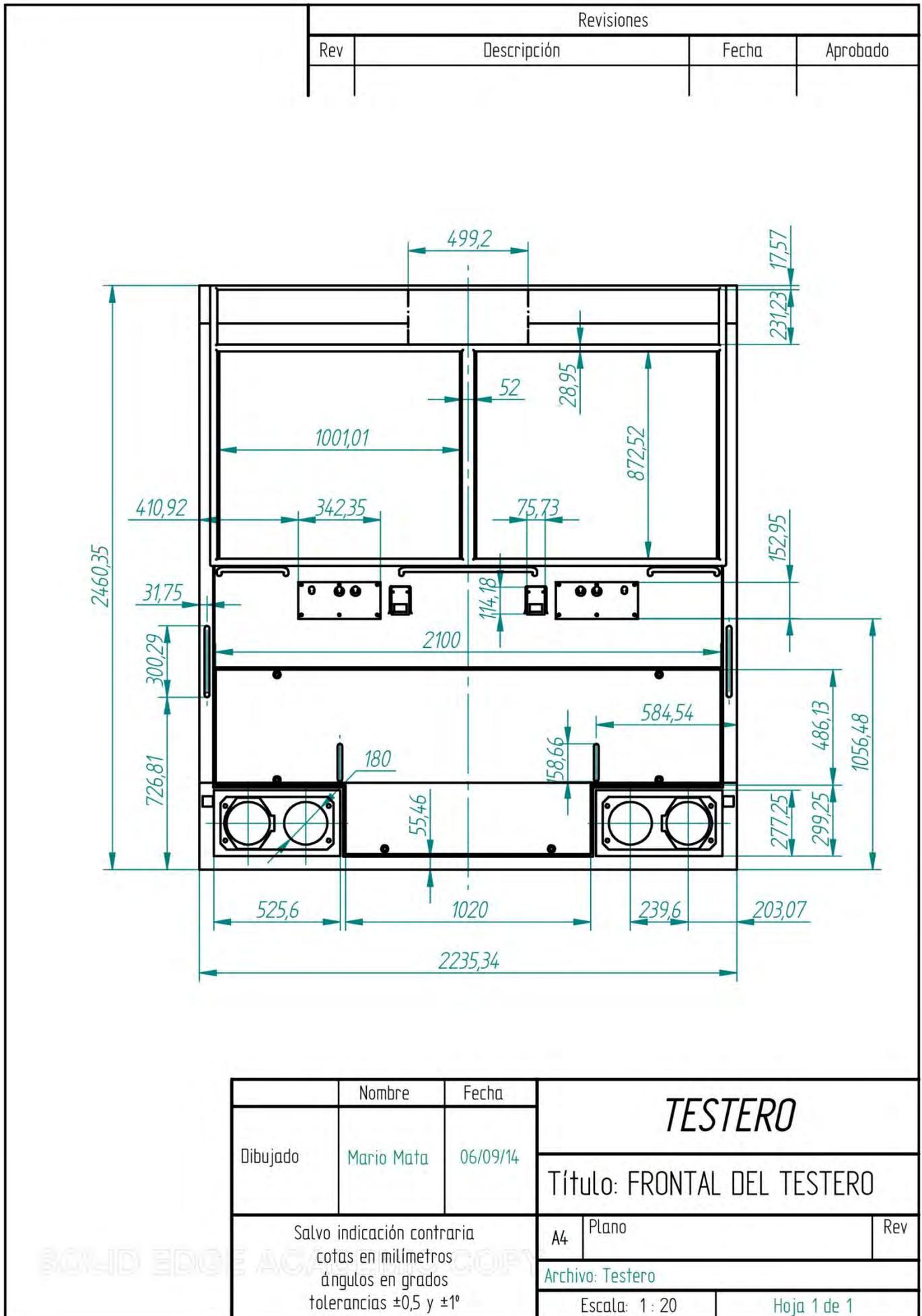
CONJUNTO PANTÓGRAFO	
Título: BISAGRA 3	
Nombre	Fecha
Mario Mata	13/09/14
Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros a ngulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$
Plano	Rev
A3	
Archivo: Bisagra-pistón	
Escala: 1: 1	Hoja: 1 de 1

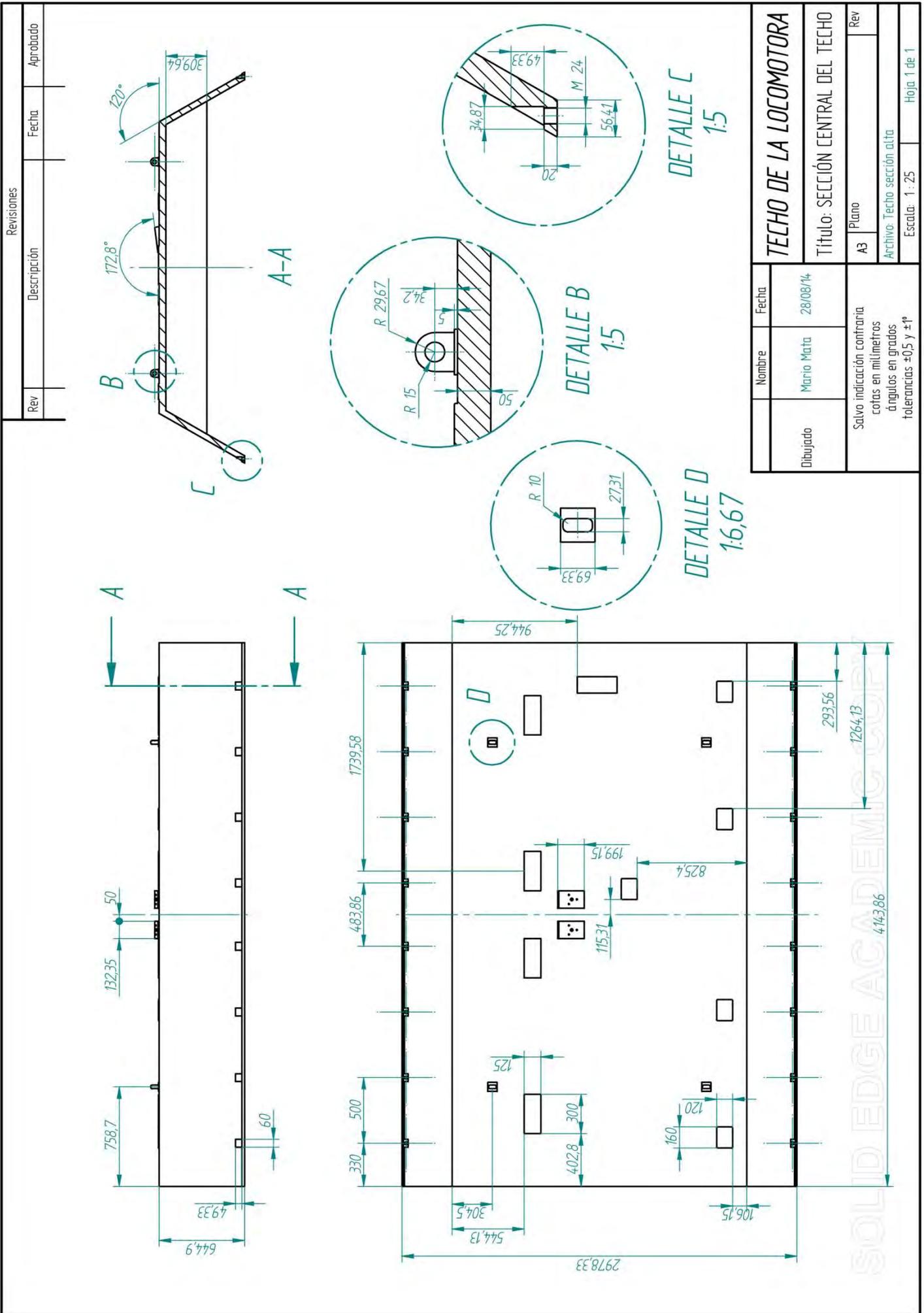
SOLID EDGE ACADEMIC (COPY)

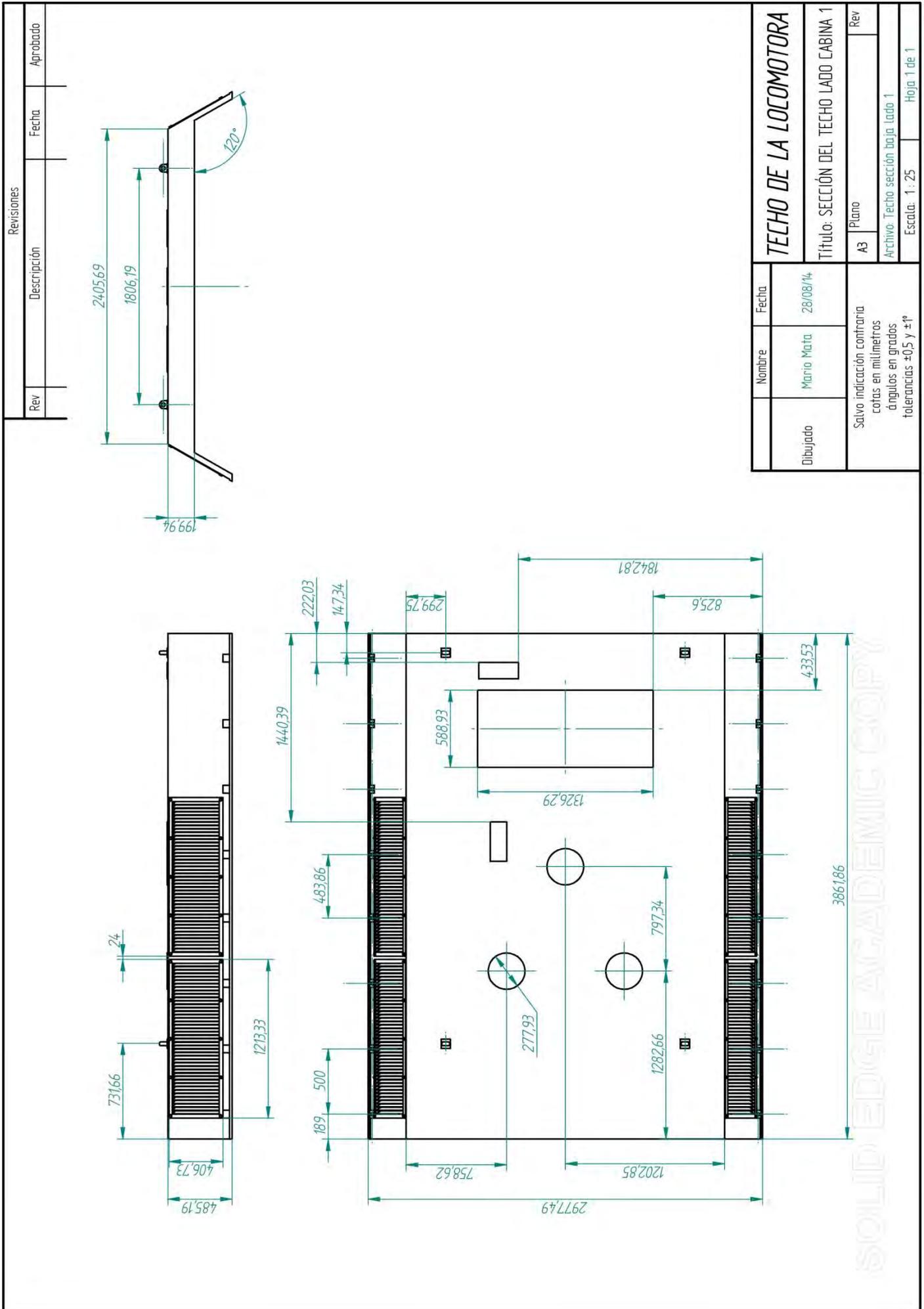


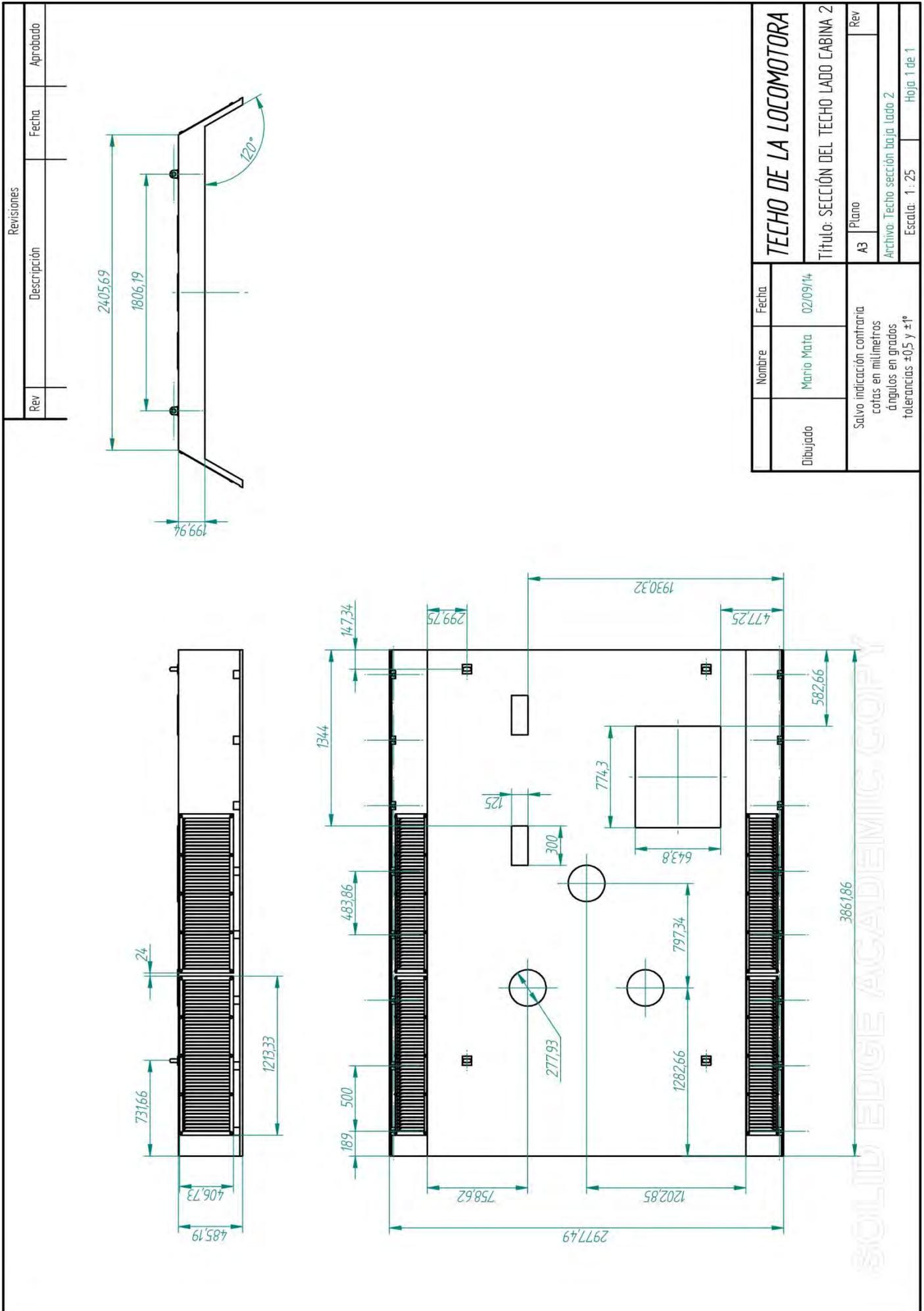
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

	Nombre	Fecha	CONJUNTO PANTÓGRAFO	
Dibujado	Mario Mata	13/09/14	Título: TENSOR BRAZO SUPERIOR	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
			Archivo: Tensor brazo superior	
				Rev
			Escala: 1 : 10	Hoja 1 de 1

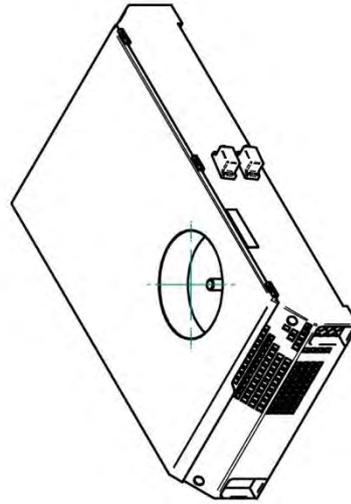
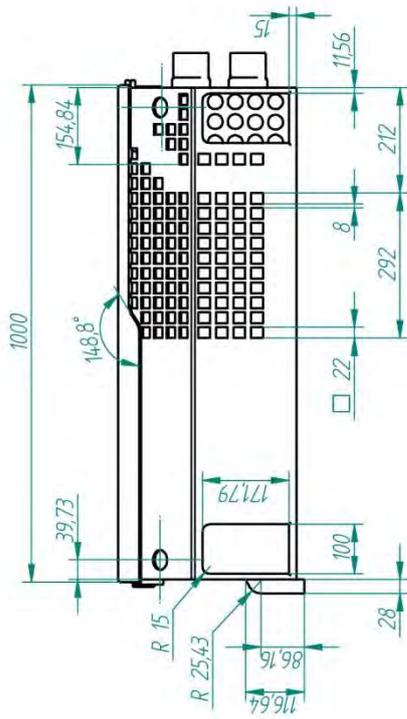




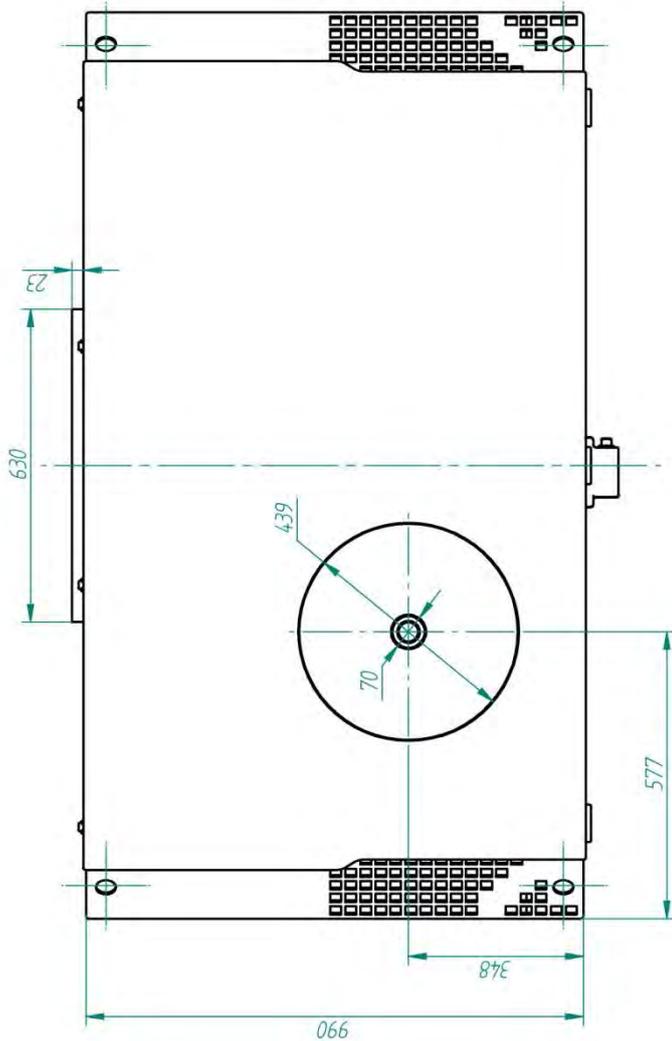
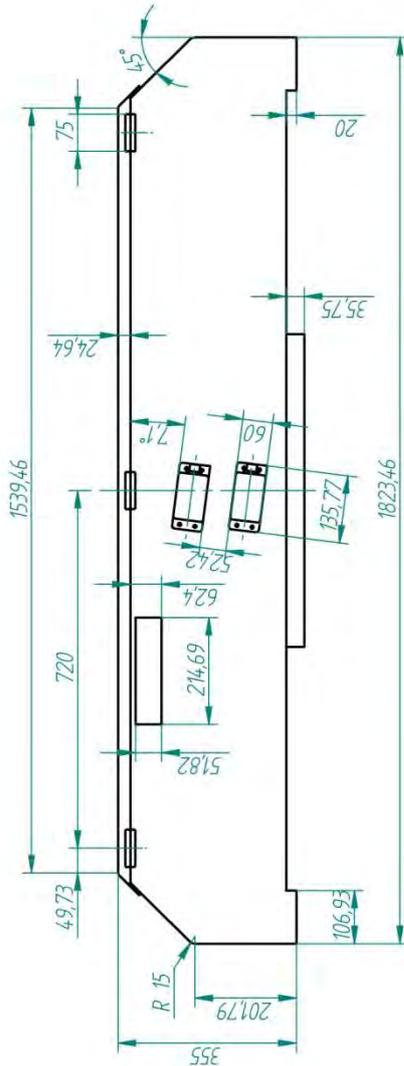




Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

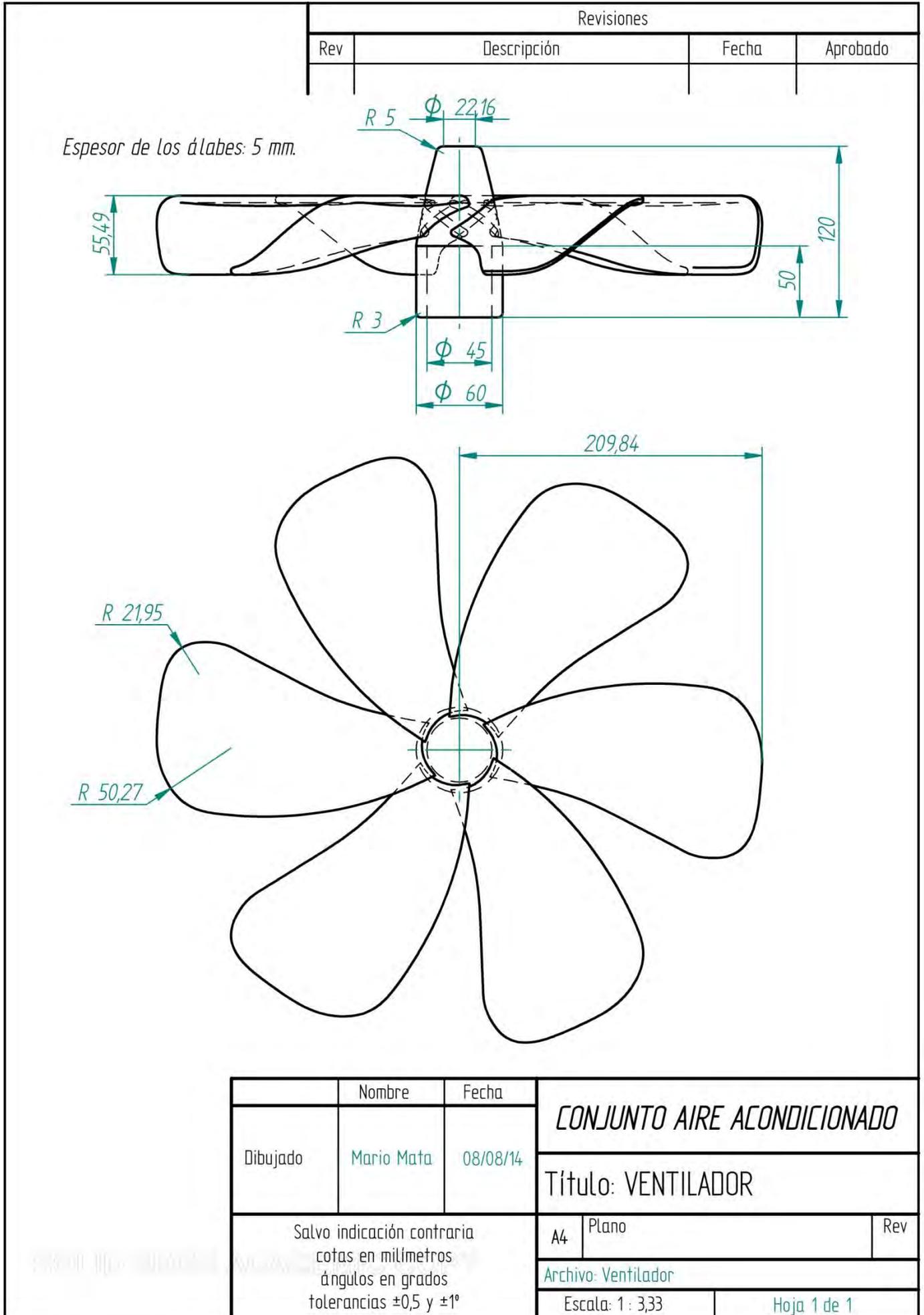


1:20

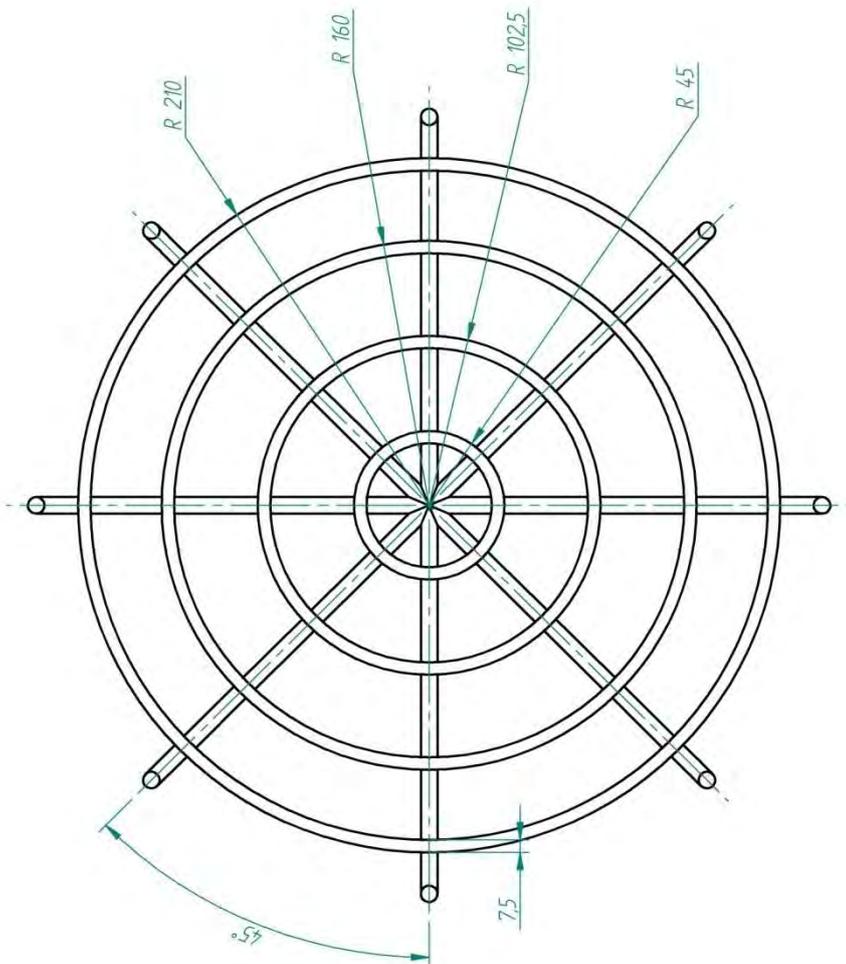
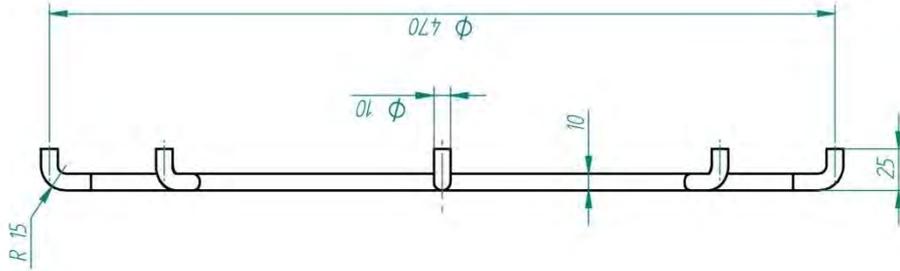


Dibujado	Nombre	Fecha	CONJUNTO AIRE ACONDICIONADO
	Mario Mata	04/09/14	Título: COMPRESOR AIRE ACONDICIONADO
	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Rev
			Plano
			Archivo: Aire acondicionado
			Escala: 1:10
			Hoja: 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

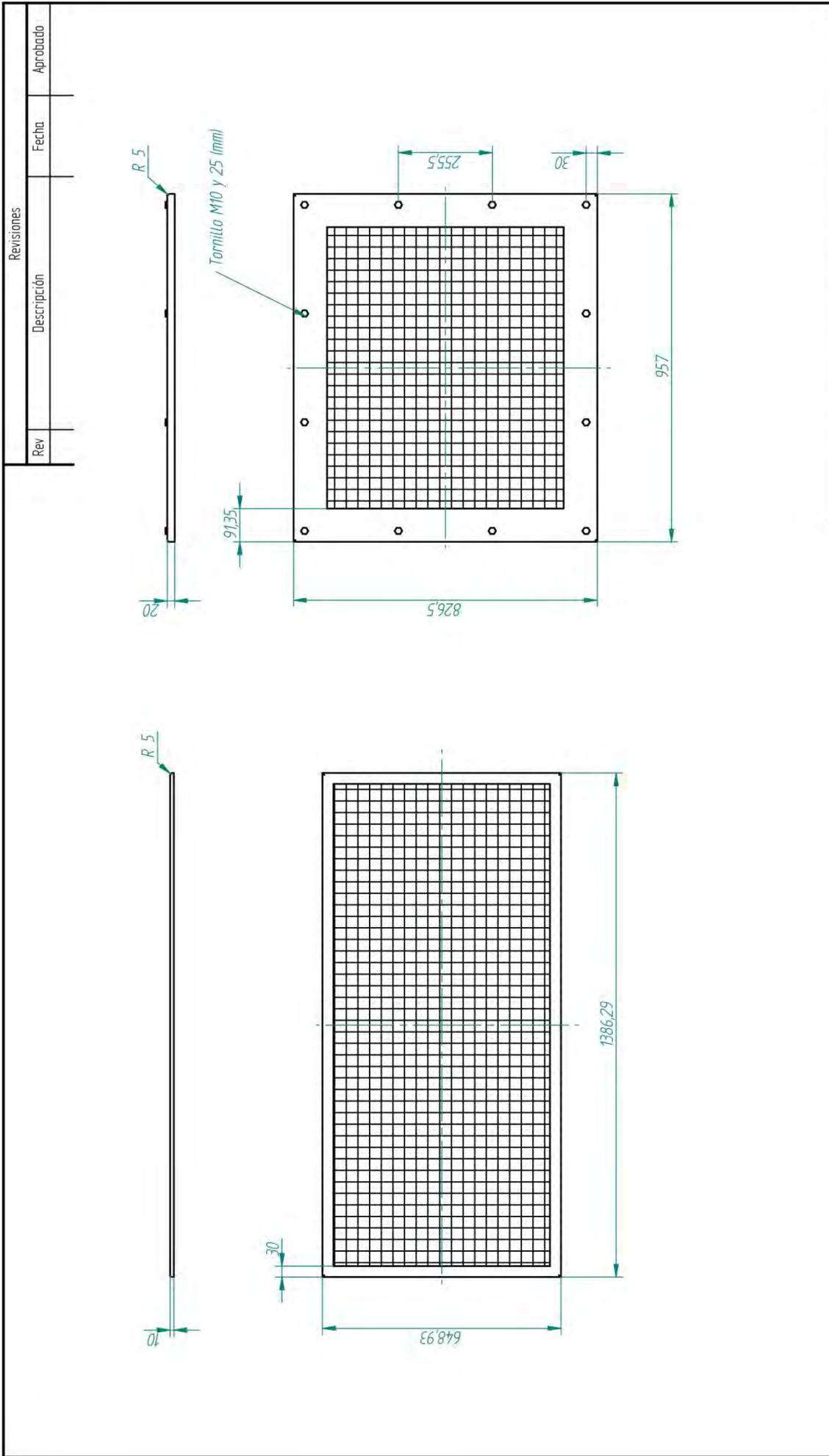


Nombre		Fecha
Dibujado		04/09/14
Nombre		Mario Mata

Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
---	--

CONJUNTO AIRE ACONDICIONADO	
Título: REJILLA DEL VENTILADOR DEL AVA	
A3	Plano
Archivo: Rejilla ventilador	
Escala: 1:3	
Hoja 1 de 1	

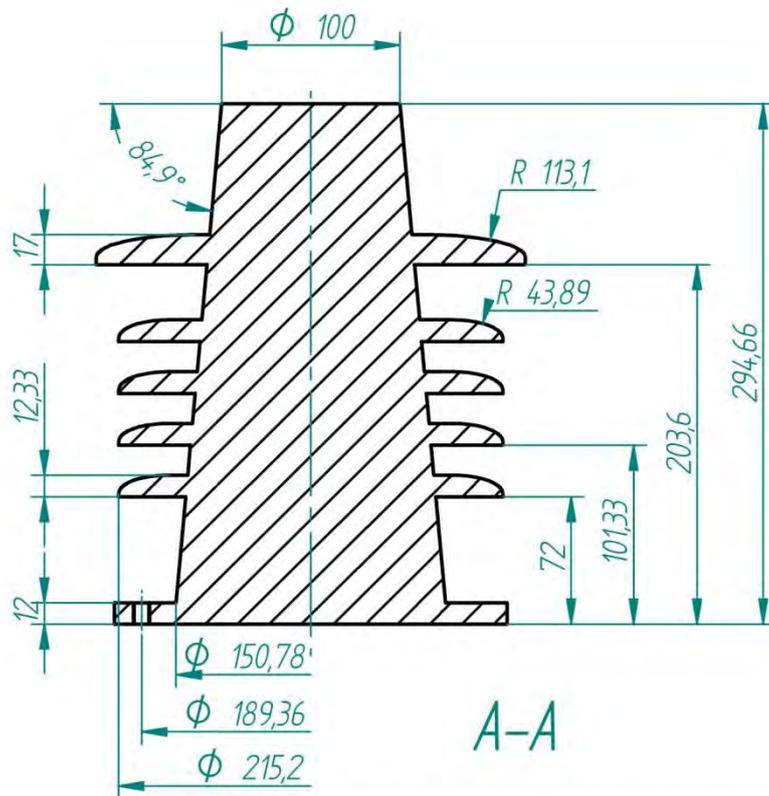
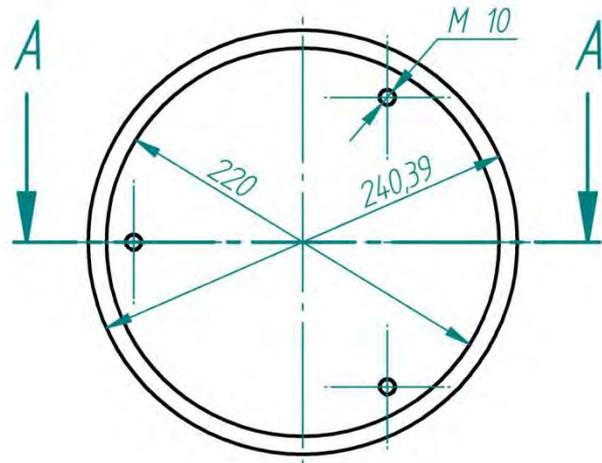
FOLIO DE LA ACADÉMICA COPY



Nombre	Fecha	REJILLAS DEL TECHO	
Dibujado	Mario Malta	28/08/14	
Salvo indicación contraria: cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Título: REJILLAS DEL TECHO	
		A3	Plano
		Rev	
		Archivo: Rejilla 1 y Rejilla 2	
		Escala: 1:10	Hoja: 1 de 1

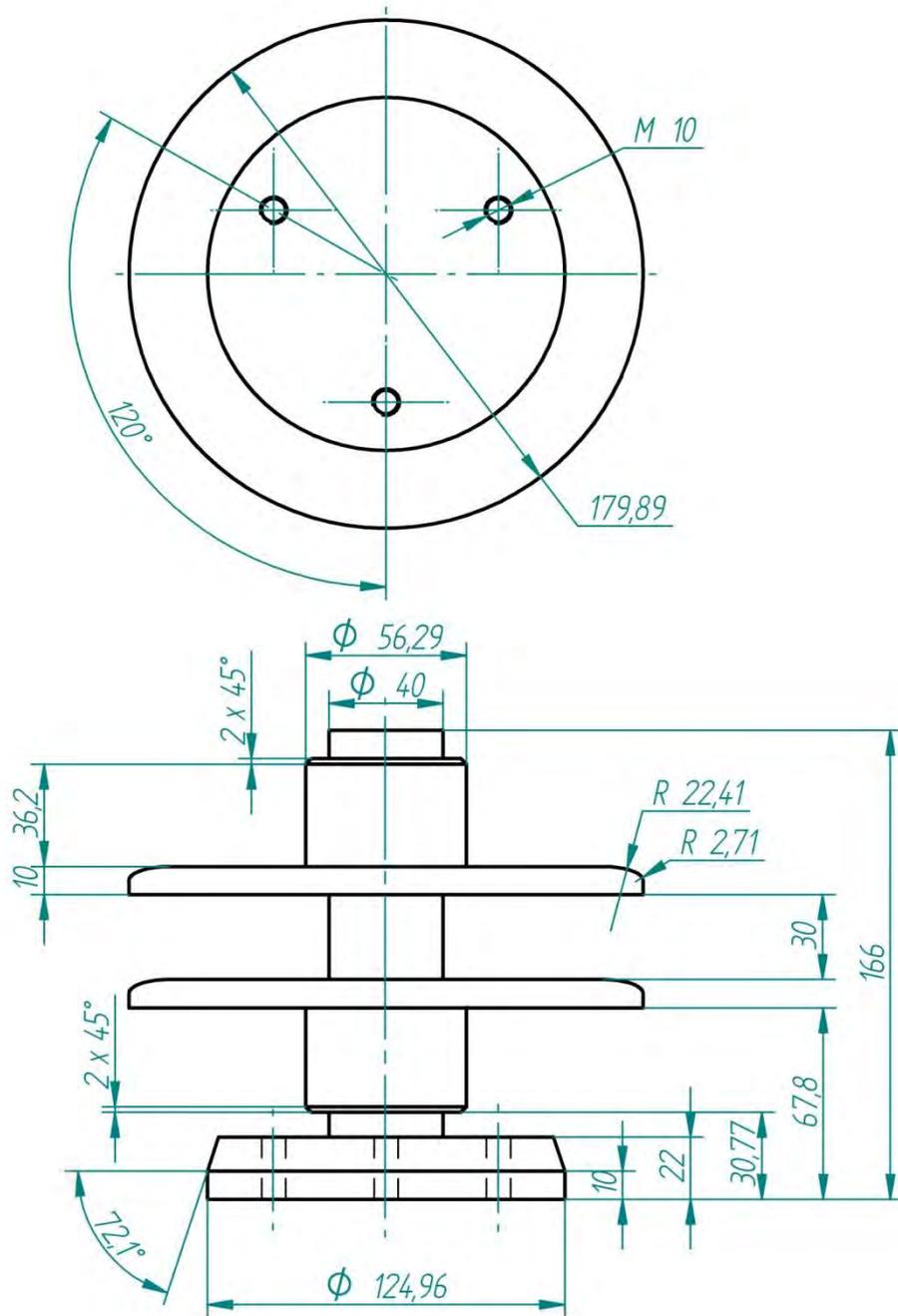
La rejilla de la izquierda se sitúa en el techo del lado de la cabina 1, mientras que la derecha se sitúa en el techo del lado de la cabina 2.

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	CONJUNTO DE AISLANTES	
Dibujado: Mario Mata	04/09/14	Título: AISLANTE DEL PANTÓGRAFO	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A4	Plano
		Archivo: Aislante pantógrafo	
		Escala: 1 : 4	Hoja 1 de 1

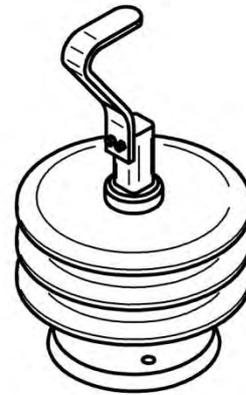
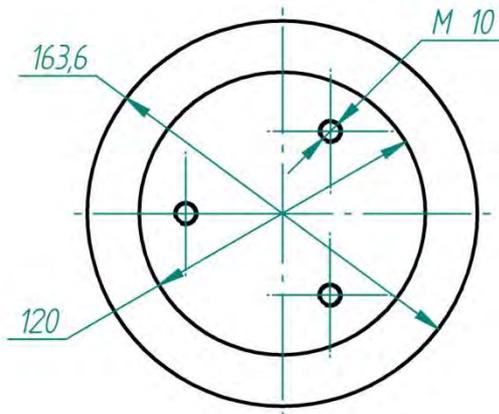
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



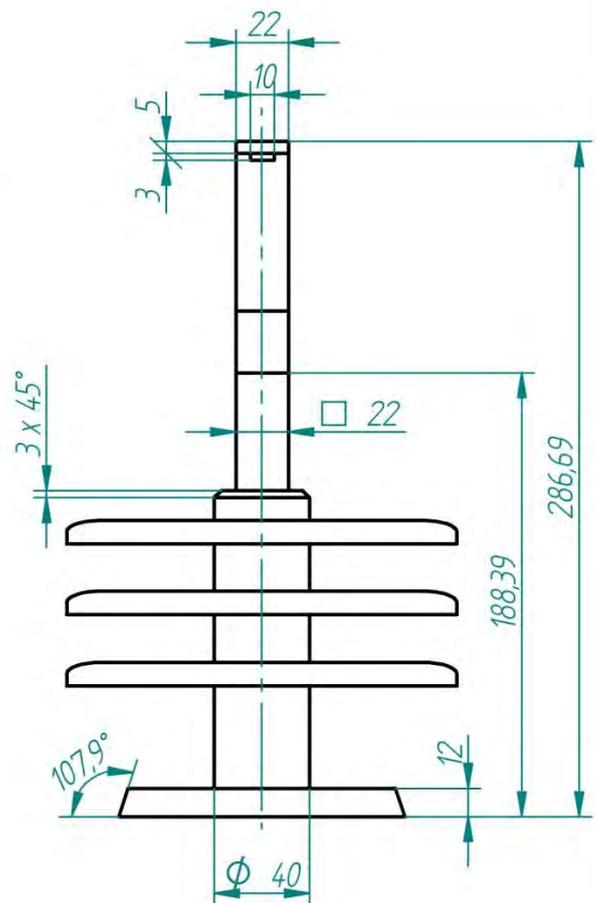
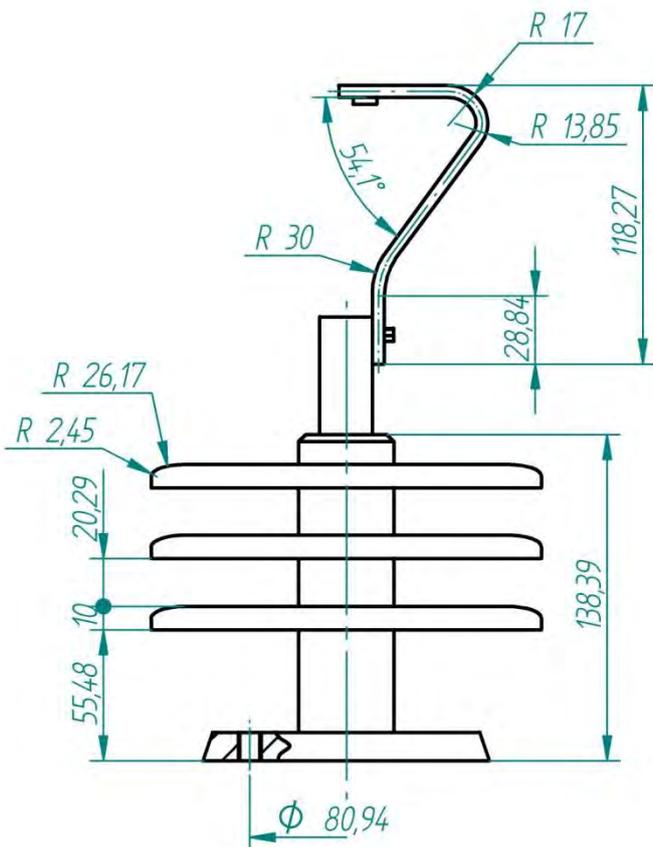
	Nombre	Fecha	CONJUNTO DE AISLANTES		
Dibujado	Mario Mata	06/08/14			Título: AISLANTE DEL CABLE DE ALTA TENSIÓN
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A4	Plano	Rev
			Archivo: Aislante del techo		
			Escala: 1 : 2,5		Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMY

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

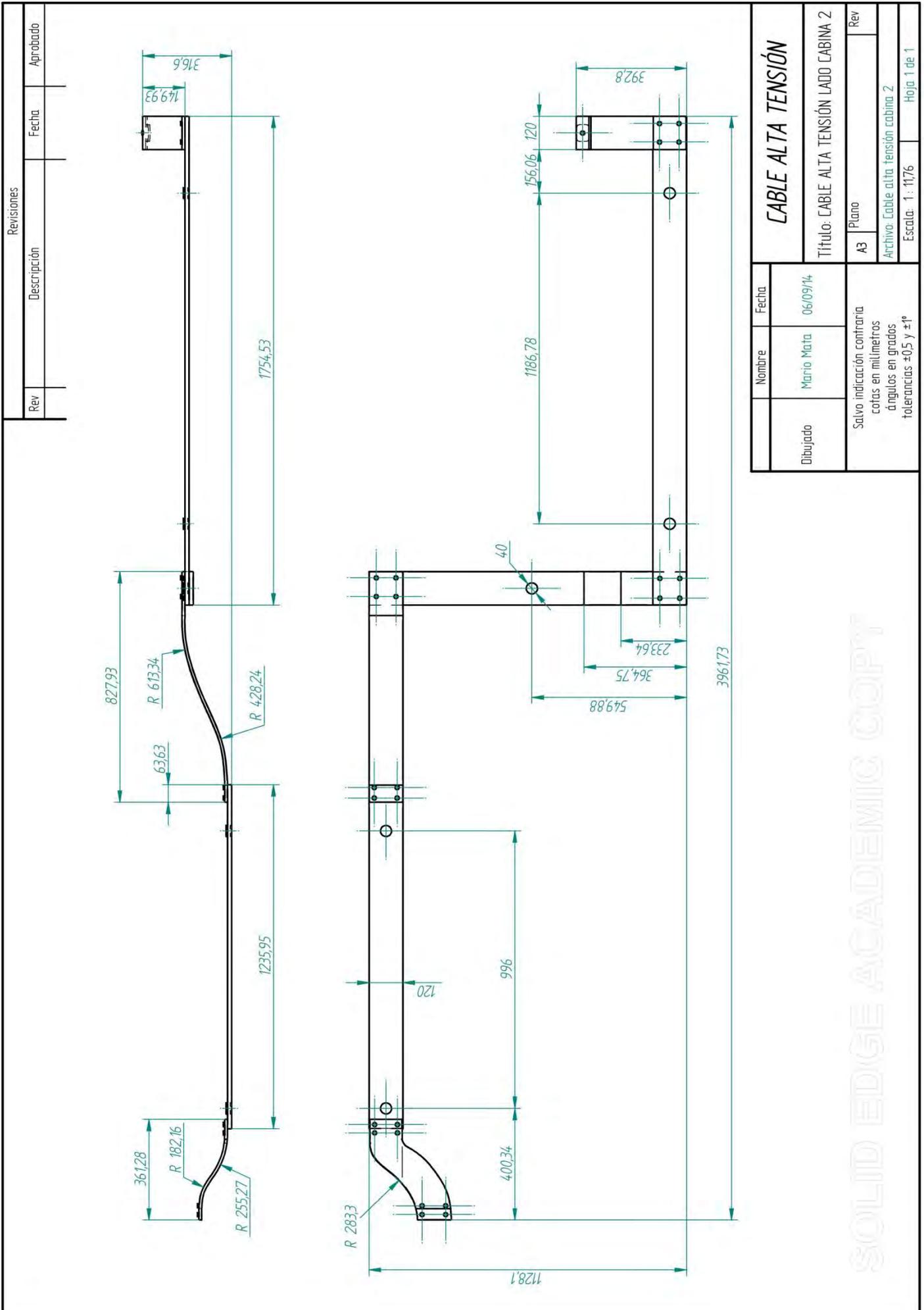


1:5

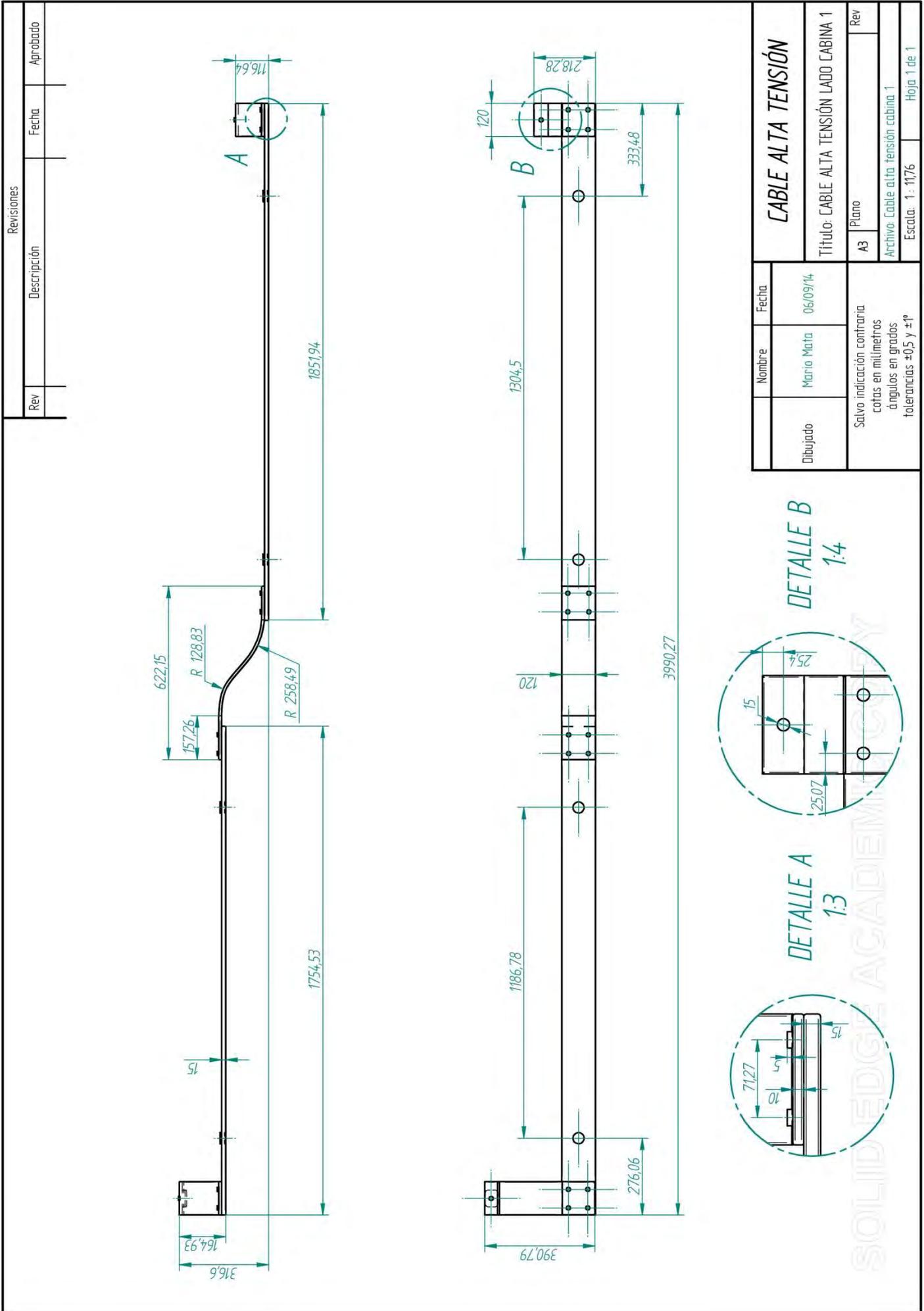


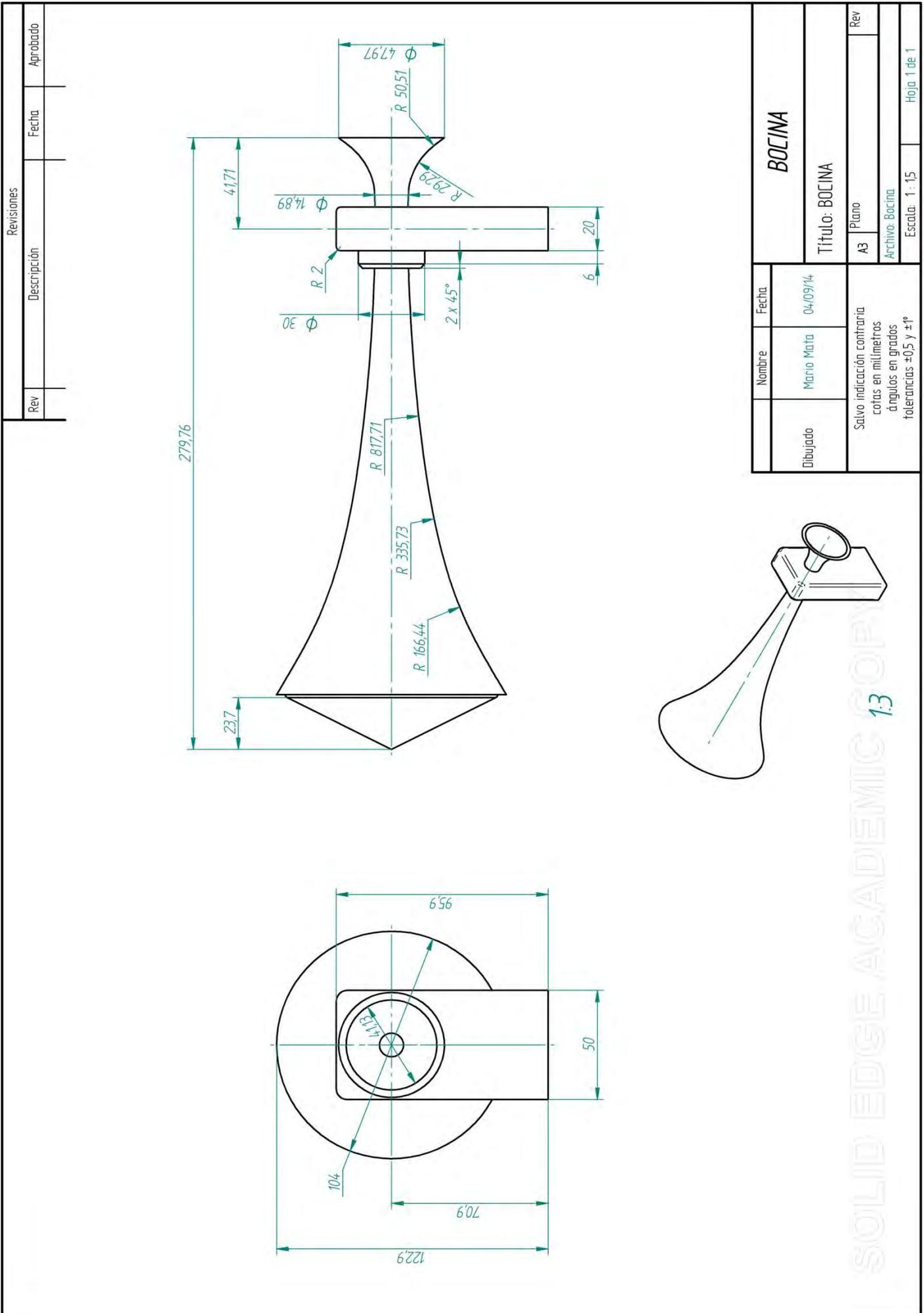
	Nombre	Fecha	CONJUNTO DE AISLANTES	
Dibujado	Mario Mata	04/09/14	Título: AISLANTE ENTRADA DE TOMA	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°			A4	Plano
			Archivo: Aislante entrada toma	
			Escala: 1:3	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE CAD

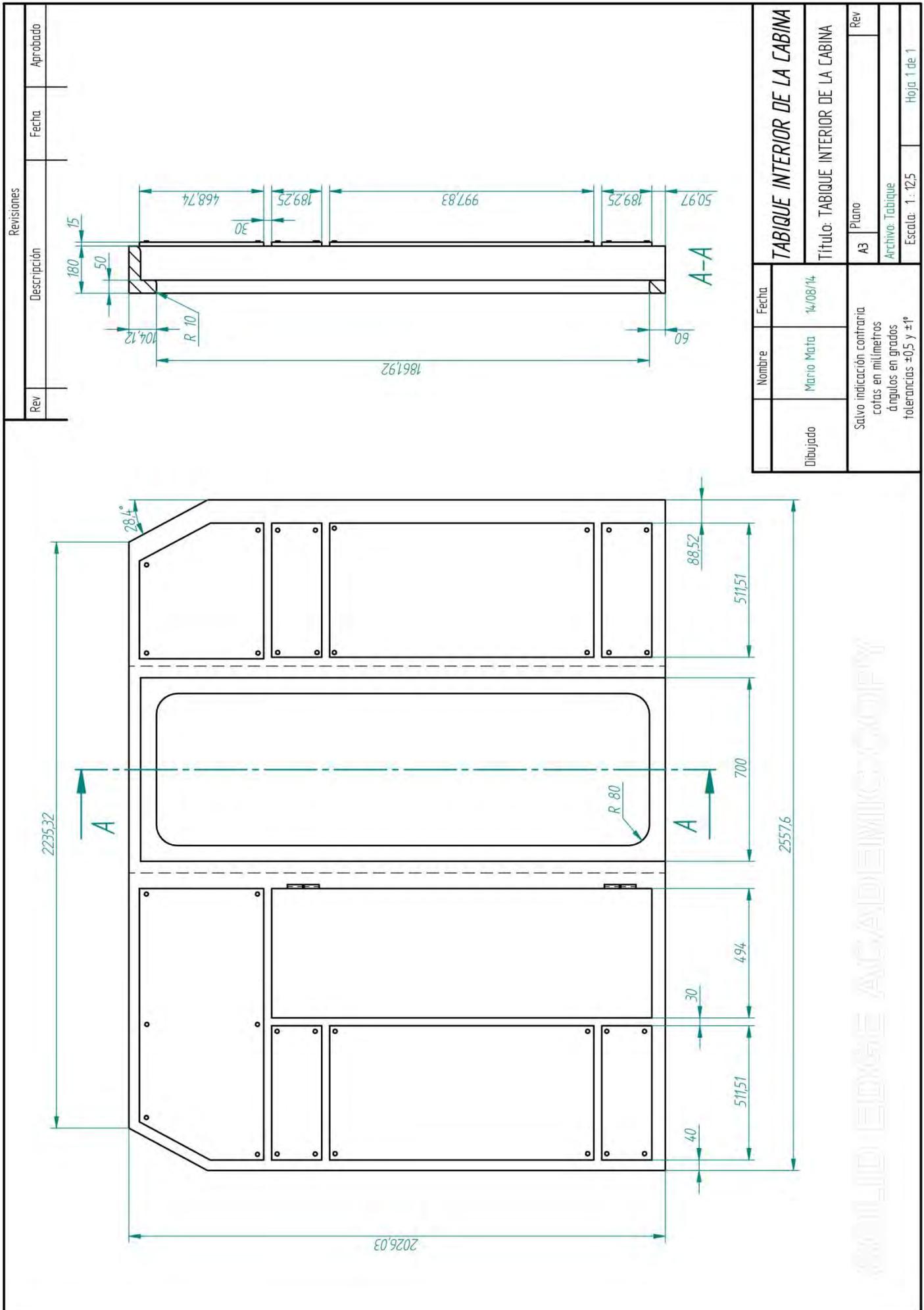


SOLID EDGE ACADEMIC COPY





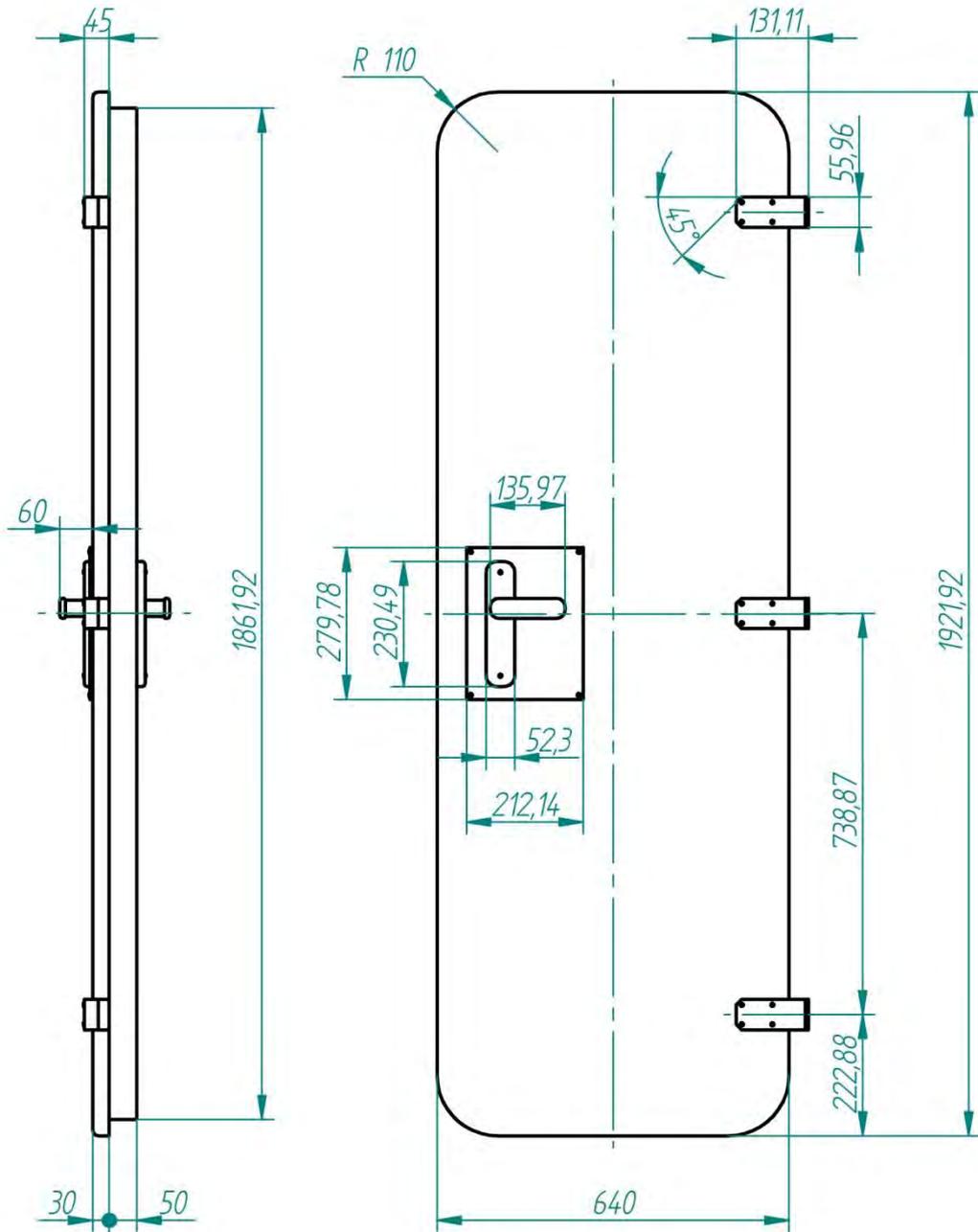
SOLID EDGE ACADEMIC 13



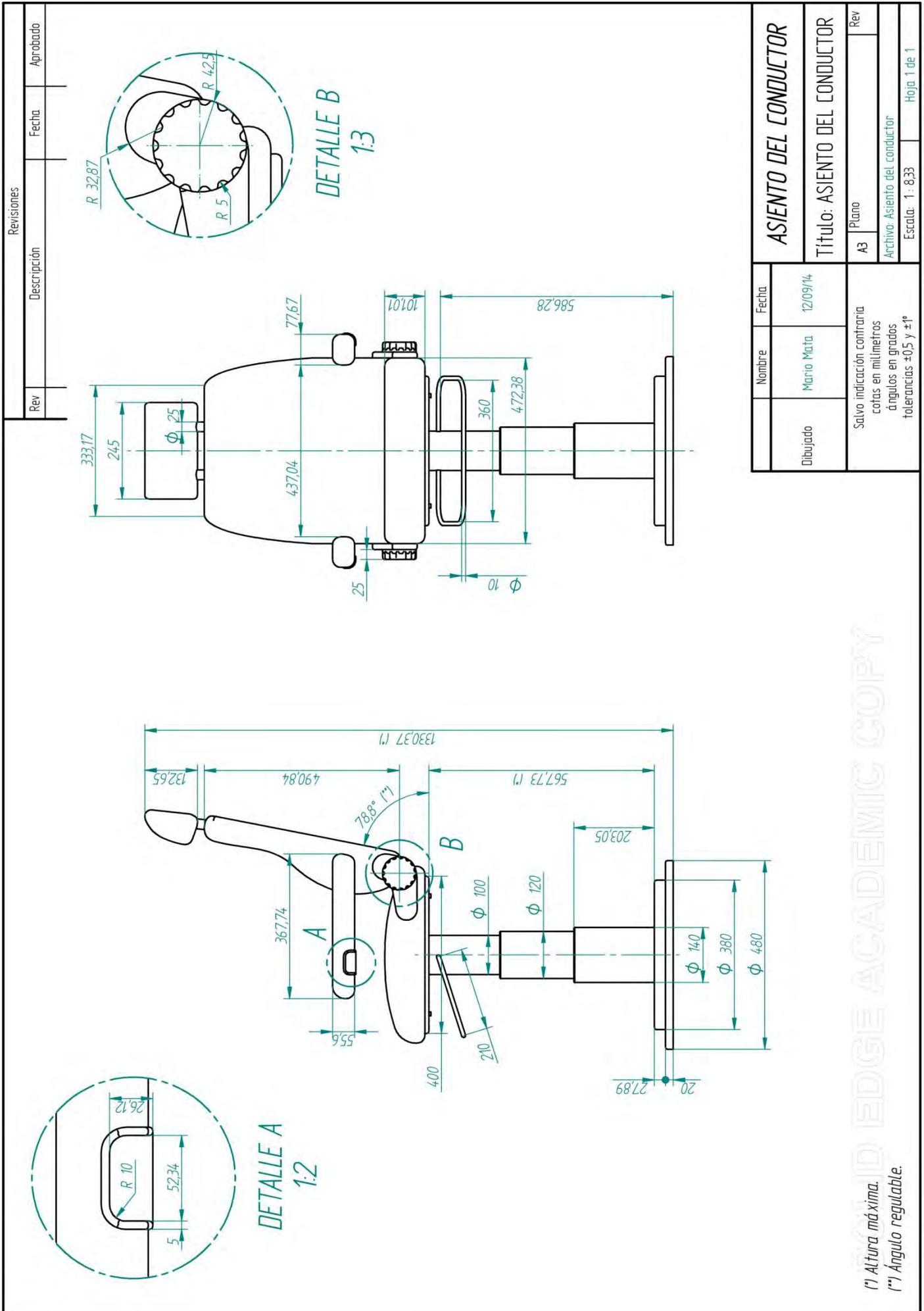
Revisiones		Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

TABIQUE INTERIOR DE LA CABINA	
Título: TABIQUE INTERIOR DE LA CABINA	
Nombre	Fecha
Mario Mata	14/08/14
Dibujado	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°
Plano	Rev
Archivo: Tabique	
Escala: 1: 12.5	Hoja 1 de 1

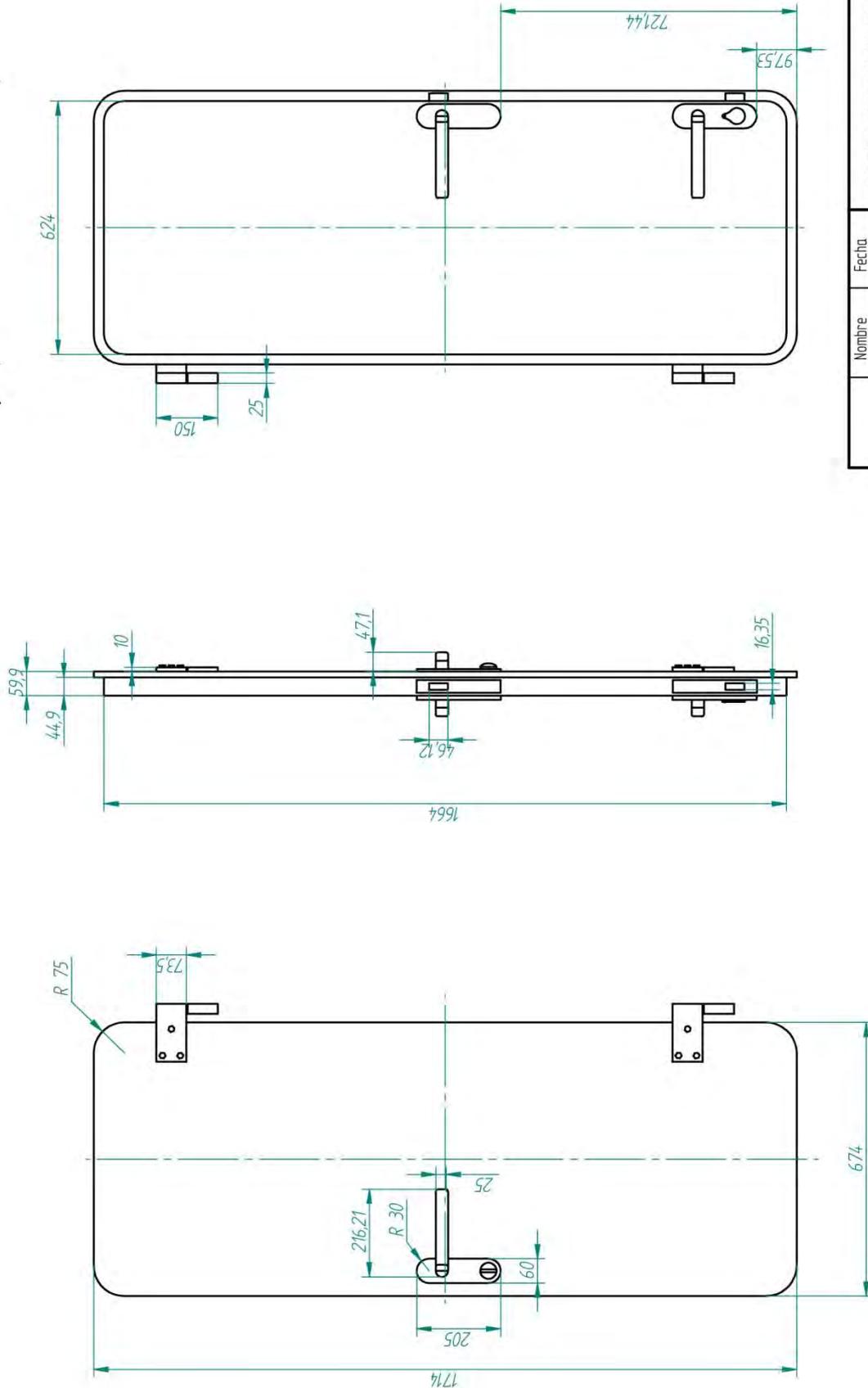
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	PUERTA INTERIOR DE LA CABINA		
Dibujado	Mario Mata	11/08/14			Título: PUERTA INTERIOR DE LA CABINA
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Archivo: Puerta interior		
			Escala: 1 : 12,5		Hoja 1 de 1



Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

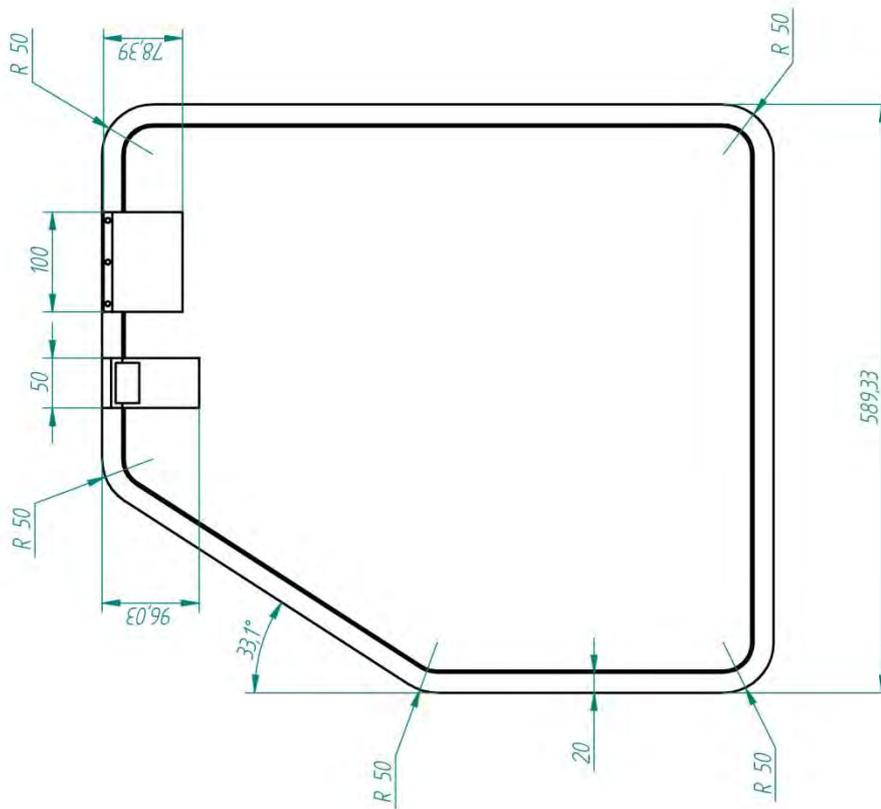


Nombre		Fecha	
Dibujado	Mario Mata	28/08/14	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$			
Título: PUERTA EXTERIOR DE LA CABINA		Rev	
A3		Plano	
Archivo: Puerta.derecha.cabina		Escala: 1:10	
		Hoja: 1 de 1	

SOLIDWORKS EDGE ANGLE DIMENSION COPY

La puerta de la imagen se corresponde con el costado derecho de la locomotora. La izquierda es su simétrica.

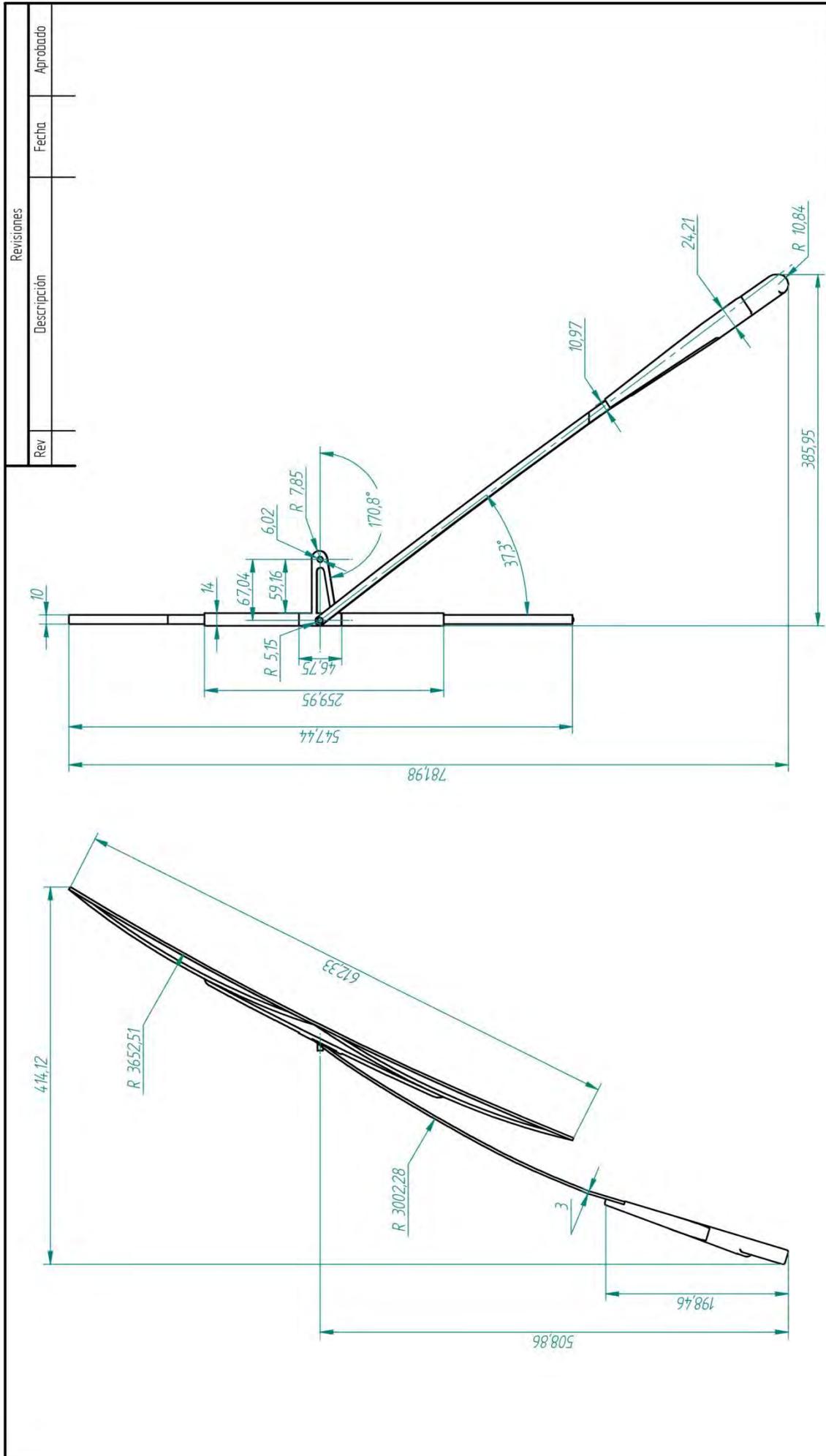
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Nombre		Fecha
Dibujado		27/08/14
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plano
VENTANA LATERAL DE LA CABINA		Rev
Título: VENTANA LATERAL DE LA CABINA		Archivo: Ventanilla derecha
Escala: 1:5		Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

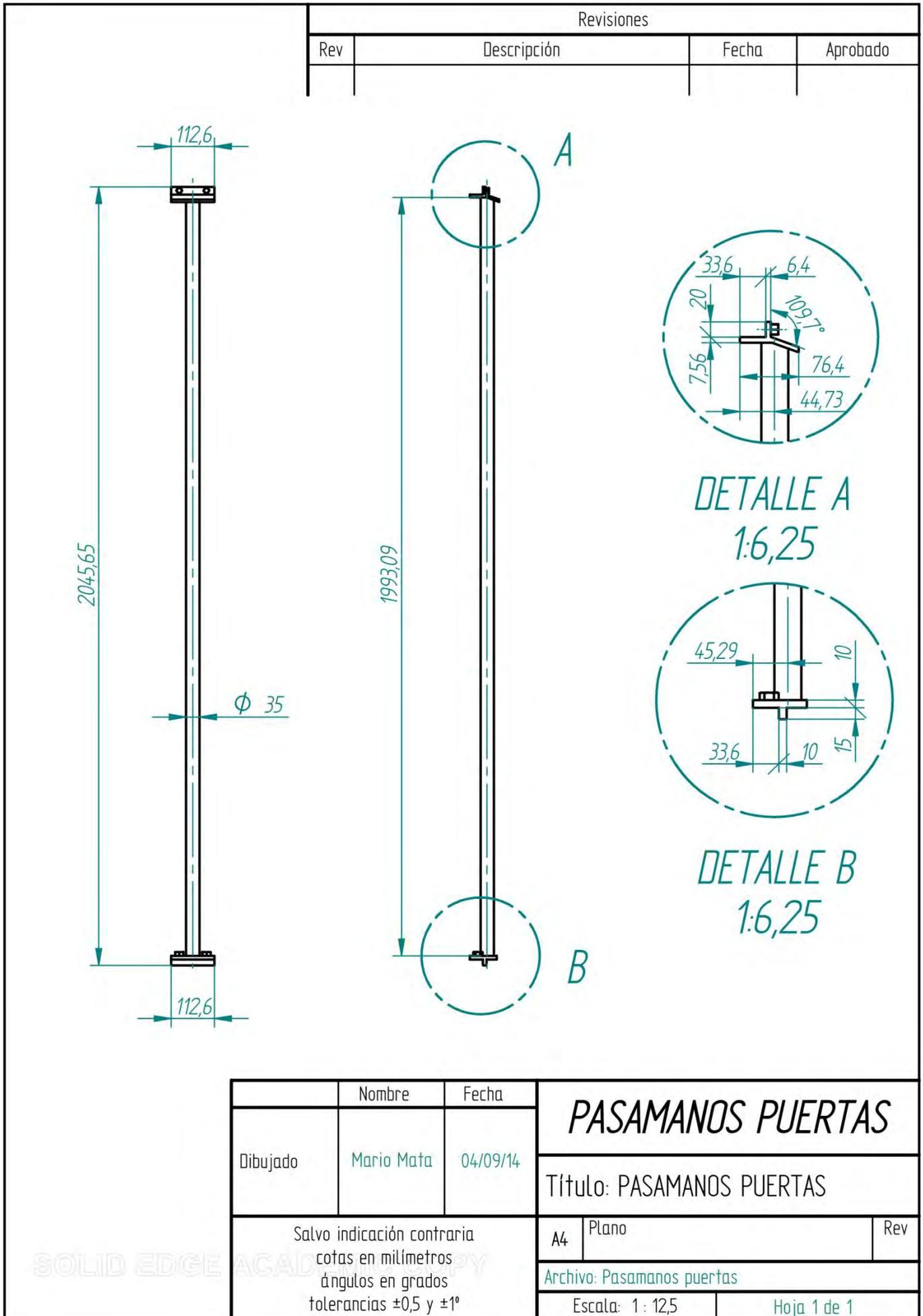
La ventana de la imagen se corresponde con el costado derecho de la locomotora. La izquierda es su simétrica.



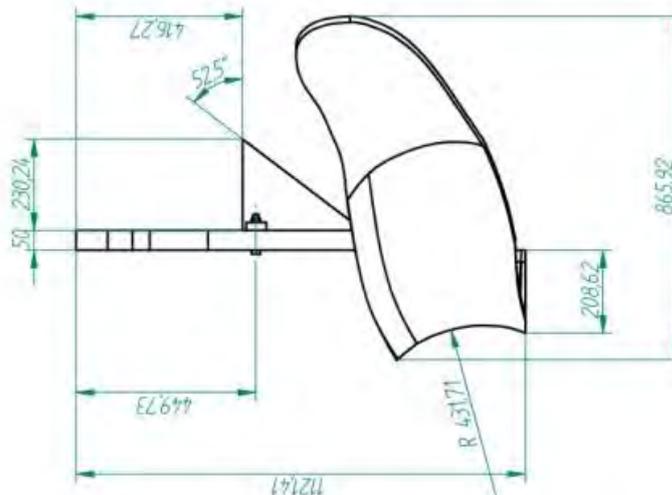
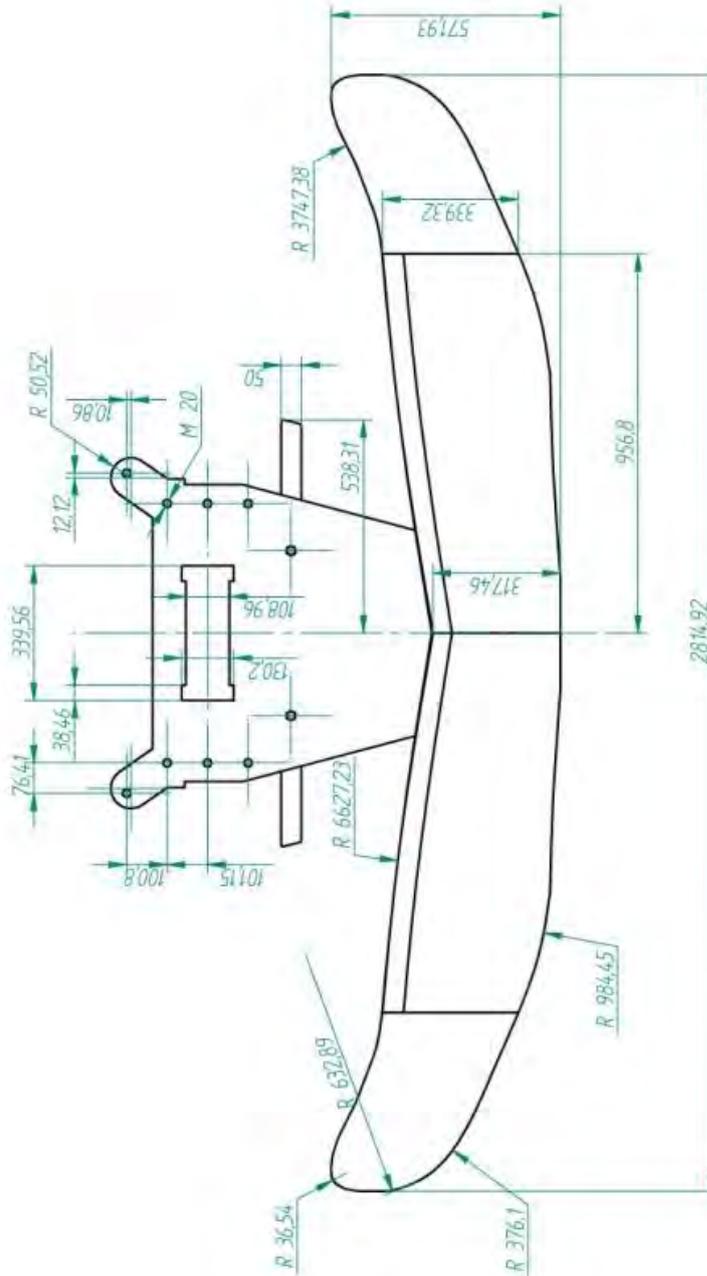
Revisión		Revisión	Revisión
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
Nombre		Fecha	Rev
Mario Mata		04/09/14	
Dibujado		Título: LIMPIAPARABRISAS	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros á ngulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$		Plano	
		Archivo: Limpiaparabrisas	
		Escala: 1:4	
		Hoja 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Limpiaparabrisas izquierda. El derecho es simétrico.



Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

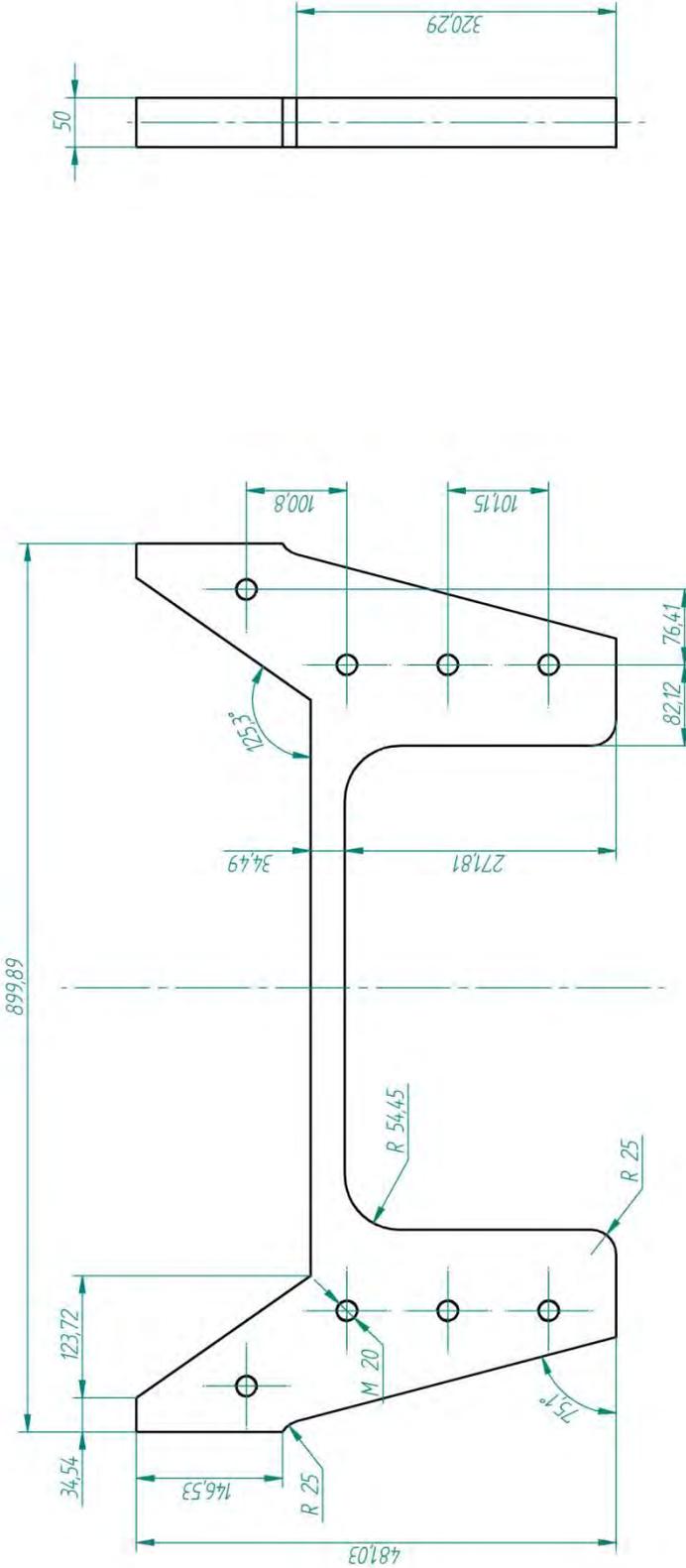


Nombre	Fecha
Mario Mata	12/09/14

Título: QUITANIEVE	
Dibujado	Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$
Rev	A3
Archivo: Quitanieve	
Escala: 1 : 125	
Hoja: 1 de 1	

Los agujeros son todos pasantes.

Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		



Nombre	Fecha
Mario Mata	02/09/14

Salvo indicación contraria, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	
Dibujado	Rev
	A3
Archivo: Anclaje portaenganche	
Escala: 1 : 5	
Hoja 1 de 1	

ANCLAJE PORTAENGANCHE

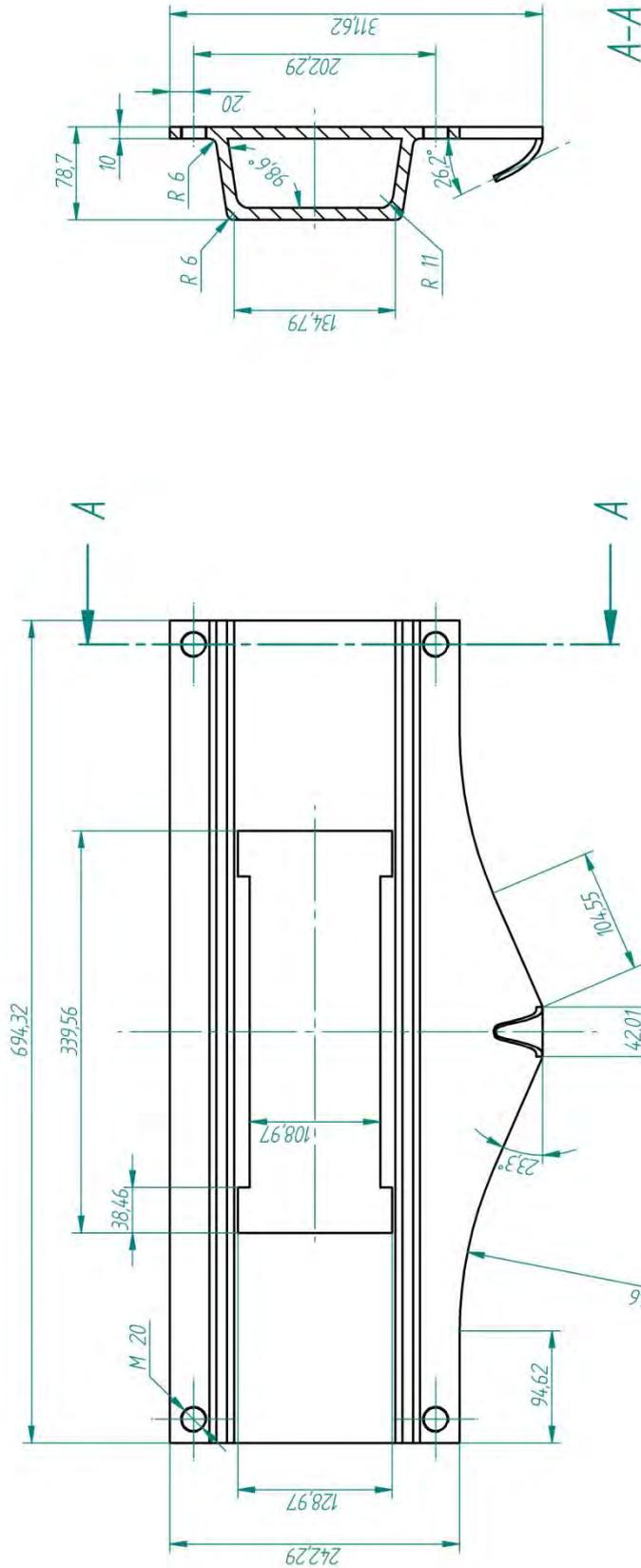
Título: ANCLAJE PORTAENGANCHE

Plano
 Hoja 1 de 1

STUDID EDGE ACADEMIC COPY

Todos los agujeros son pasantes.

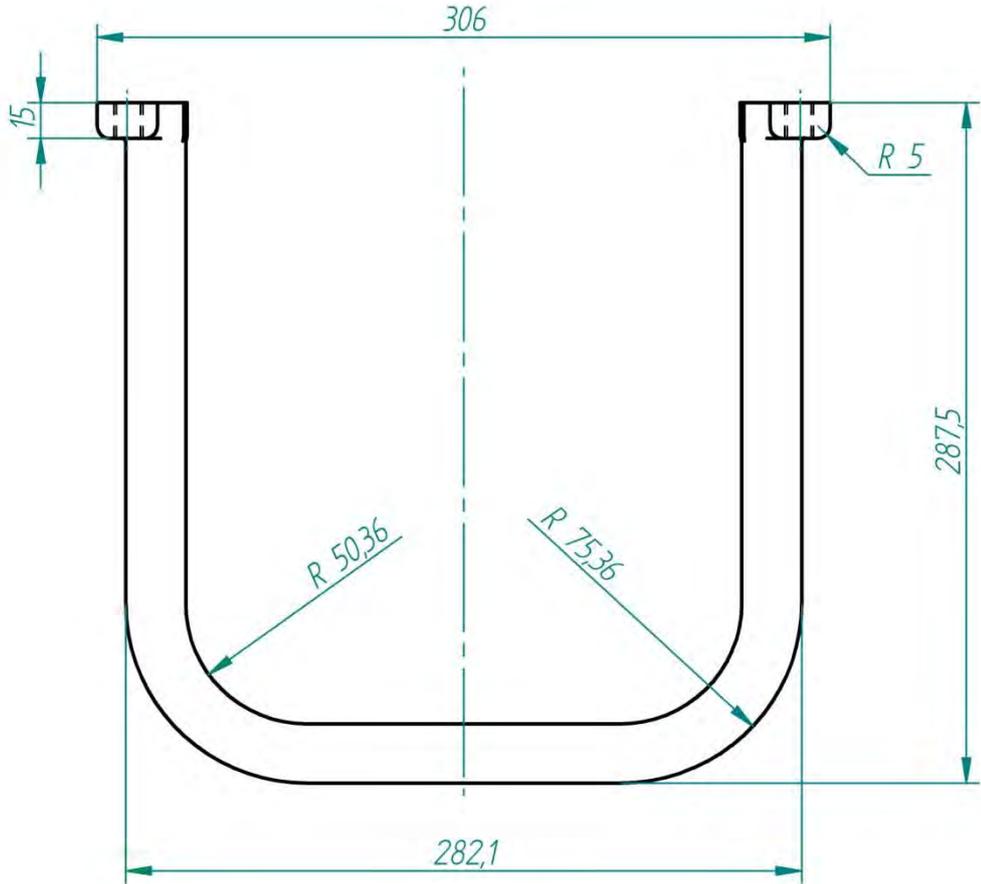
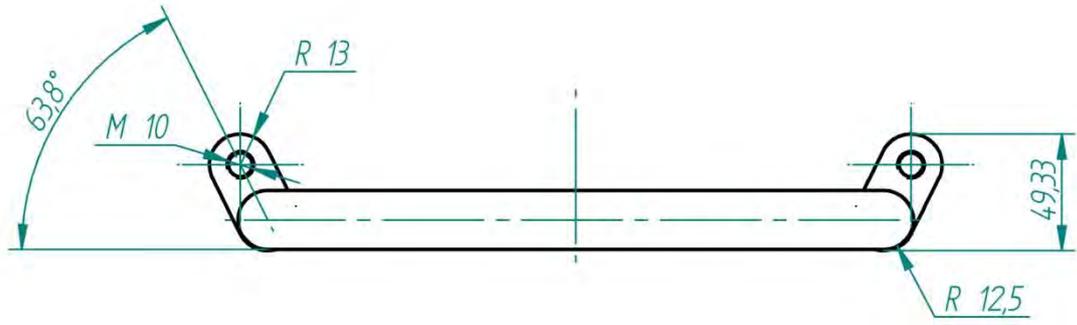
Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha



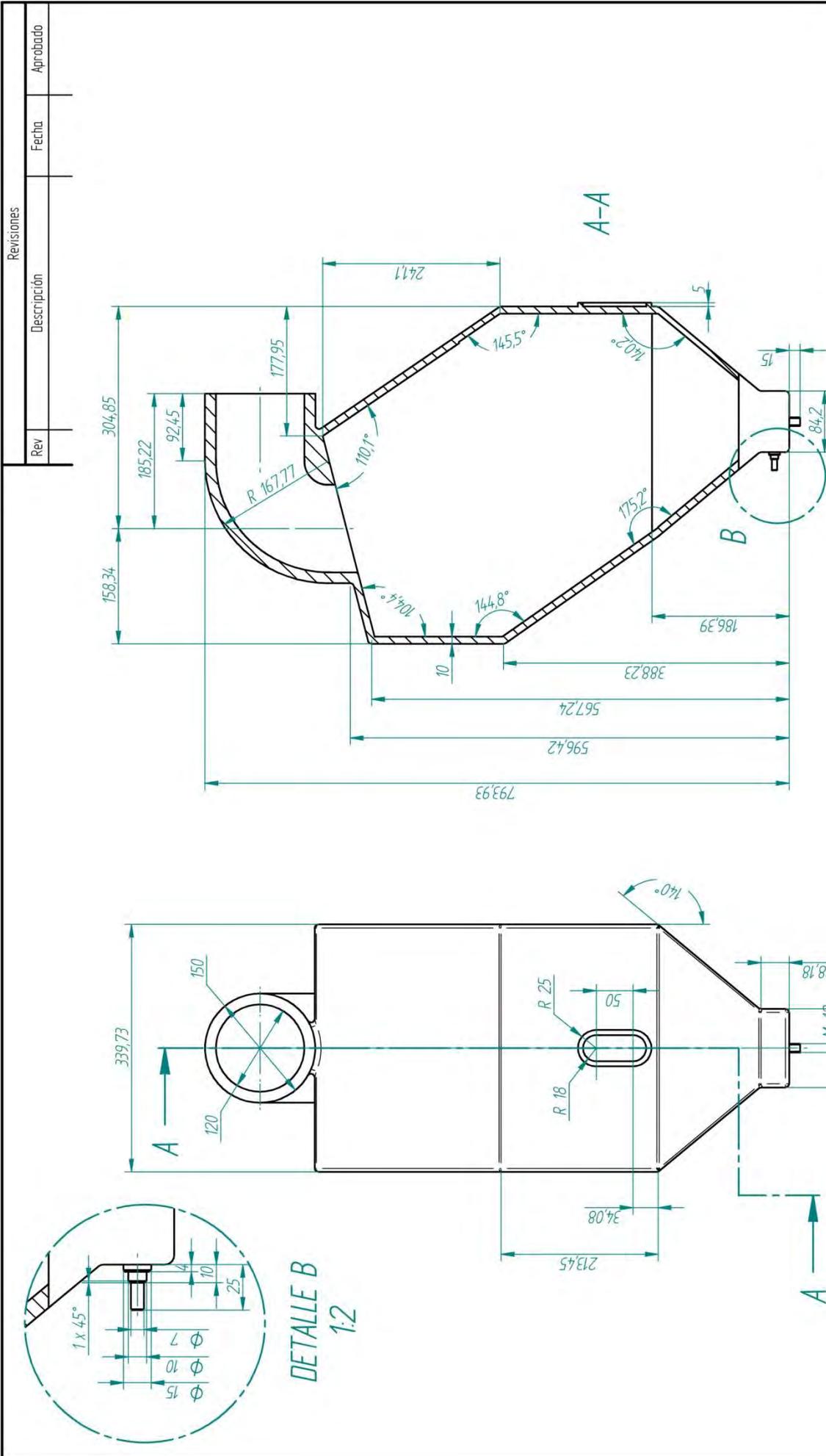
PORTAENGANCHE	
Dibujado	Nombre: Mario Mata
	Fecha: 02/09/14
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$	
	Plano: A3
Título: PORTAENGANCHE	
	Rev:
Archivo: Portaenganche	
	Escala: 1:4
Hoja: 1 de 1	

SOLIDWORKS ACADEMIC COPY
 La geometría en forma de H que se destaca en el centro del alzado es una apertura en la pieza pasante de un lado a otro.

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	BARRA BAJO EL TOPE		
Dibujado	Mario Mata	11/08/14			Título: BARRA BAJO EL TOPE
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Escala: 1:3		

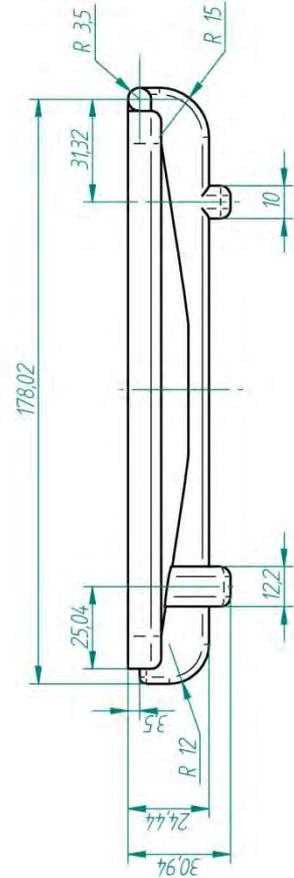
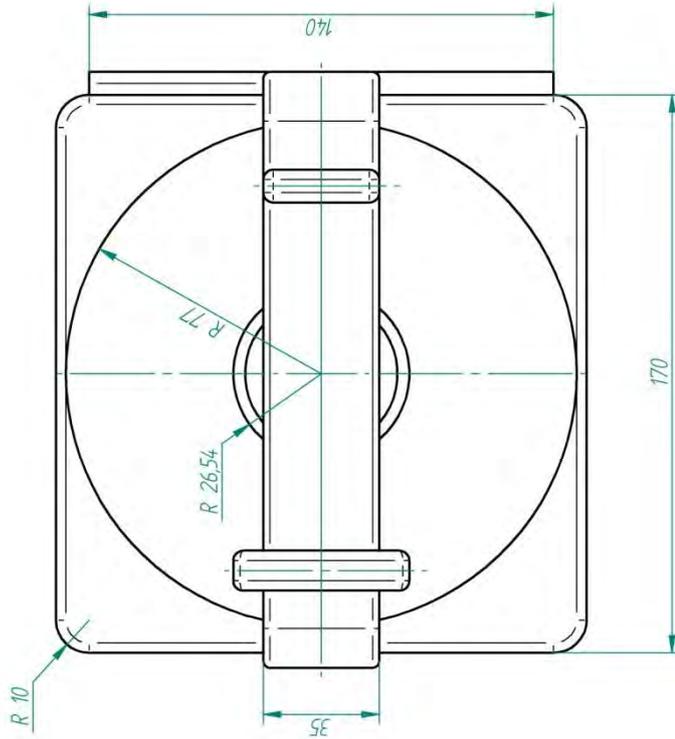
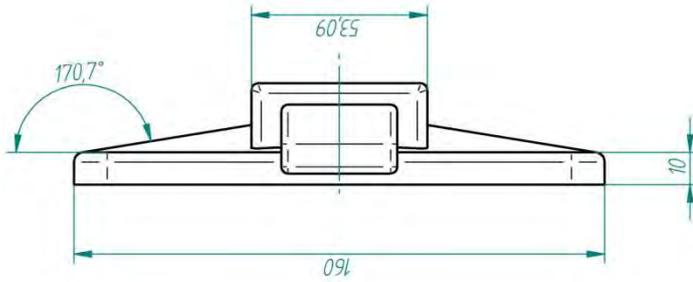


Revisión		Aprobado	
Rev	Descripción	Fecha	
Nombre		Fecha	
Mario Mata		04/09/14	
Dibujado		Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°	
Título: ARENERO		Rev	
Plano		A3	
Archivo: Arenero		Hoja 1 de 1	
Escala: 1:5			

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Todos los redondeos son de valor R 5 (mm).

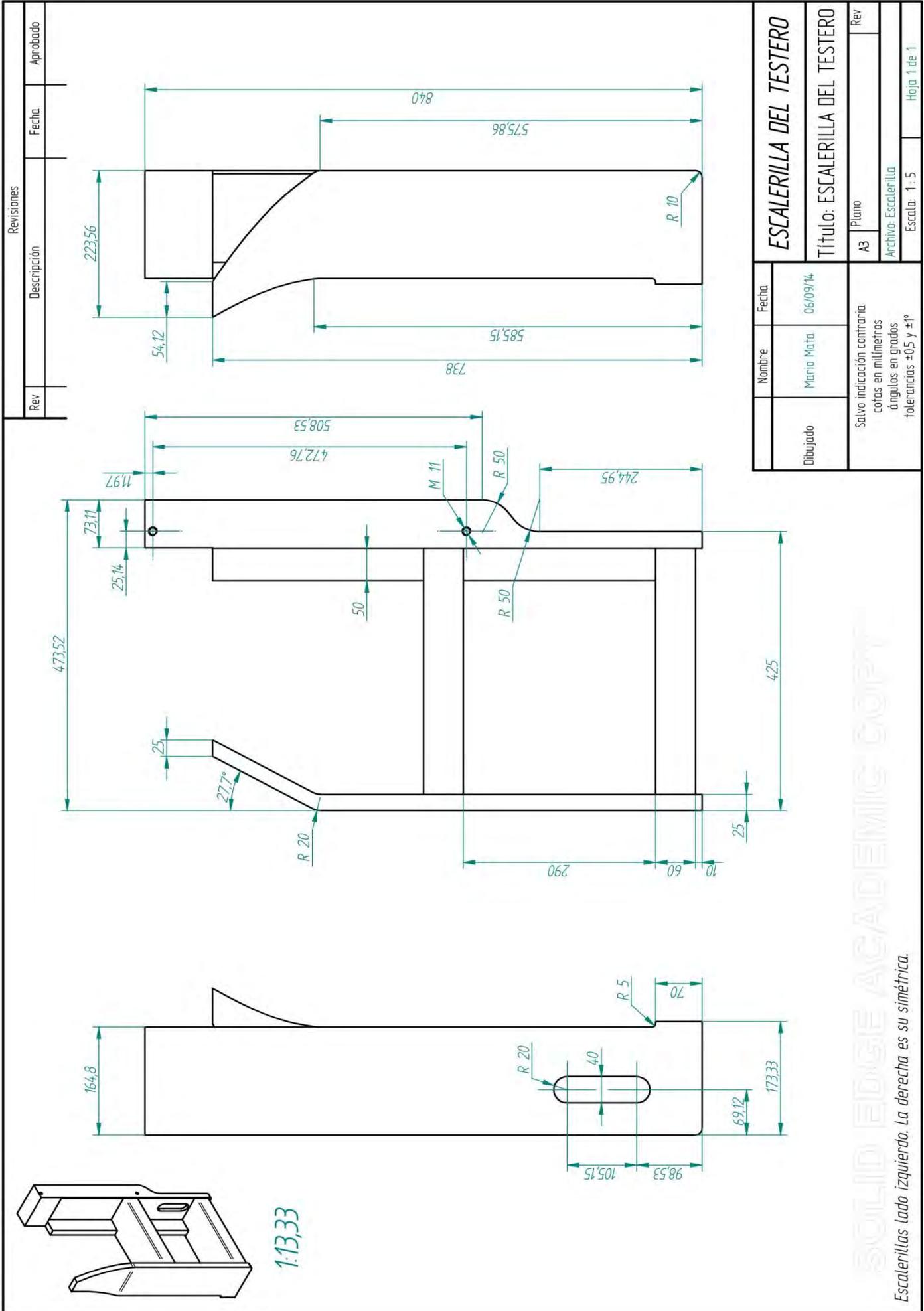
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CONJUNTO ARENERO	
Título: TAPA DEL ARENERO	
Dibujado	Nombre: Mario Mata
	Fecha: 04/09/14
	Rev: Plano
	Archivo: Tapa del arenero
	Escala: 1: 15
	Hoja: 1 de 1

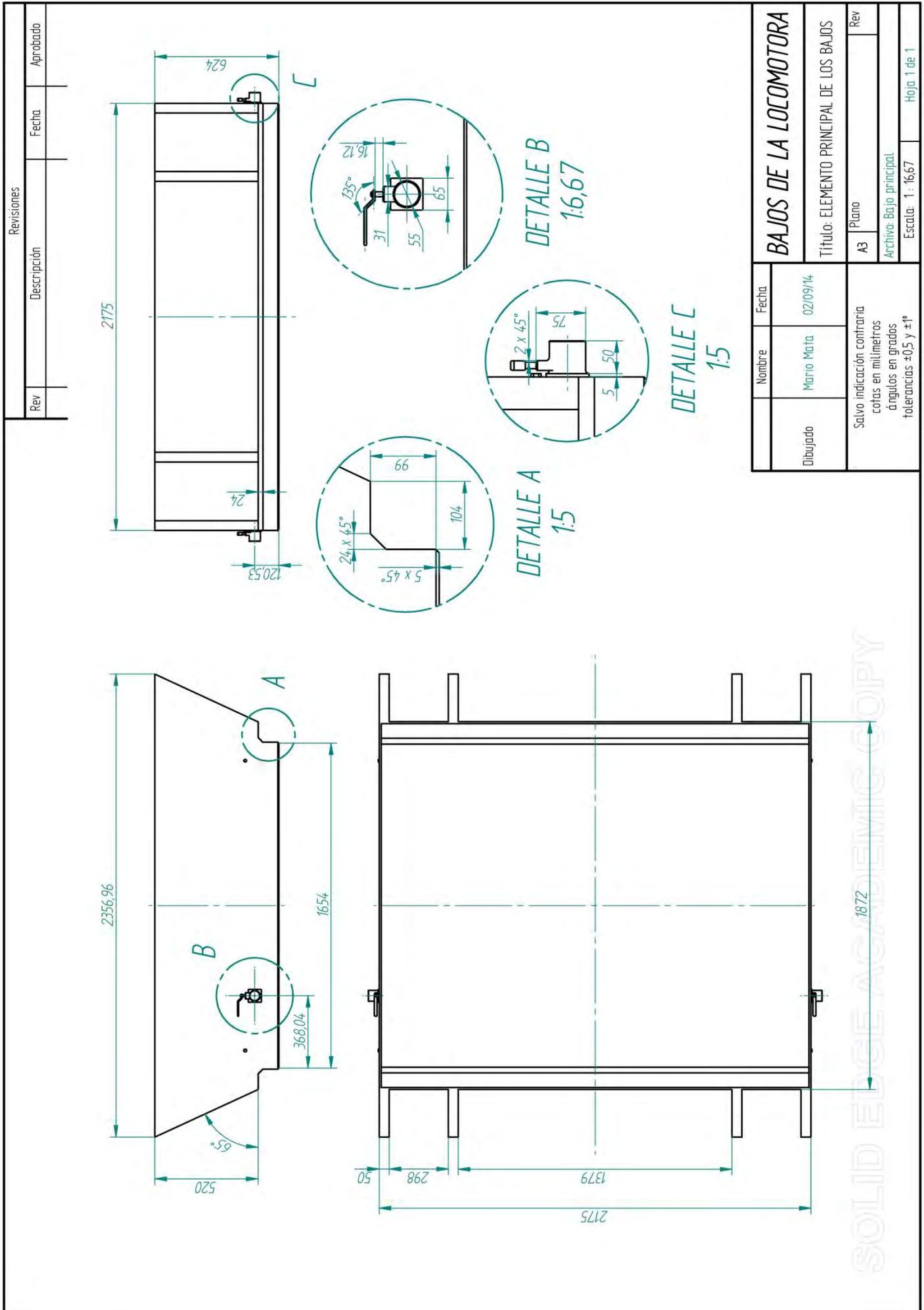
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Los redondeos tienen un valor R 3 (mm).



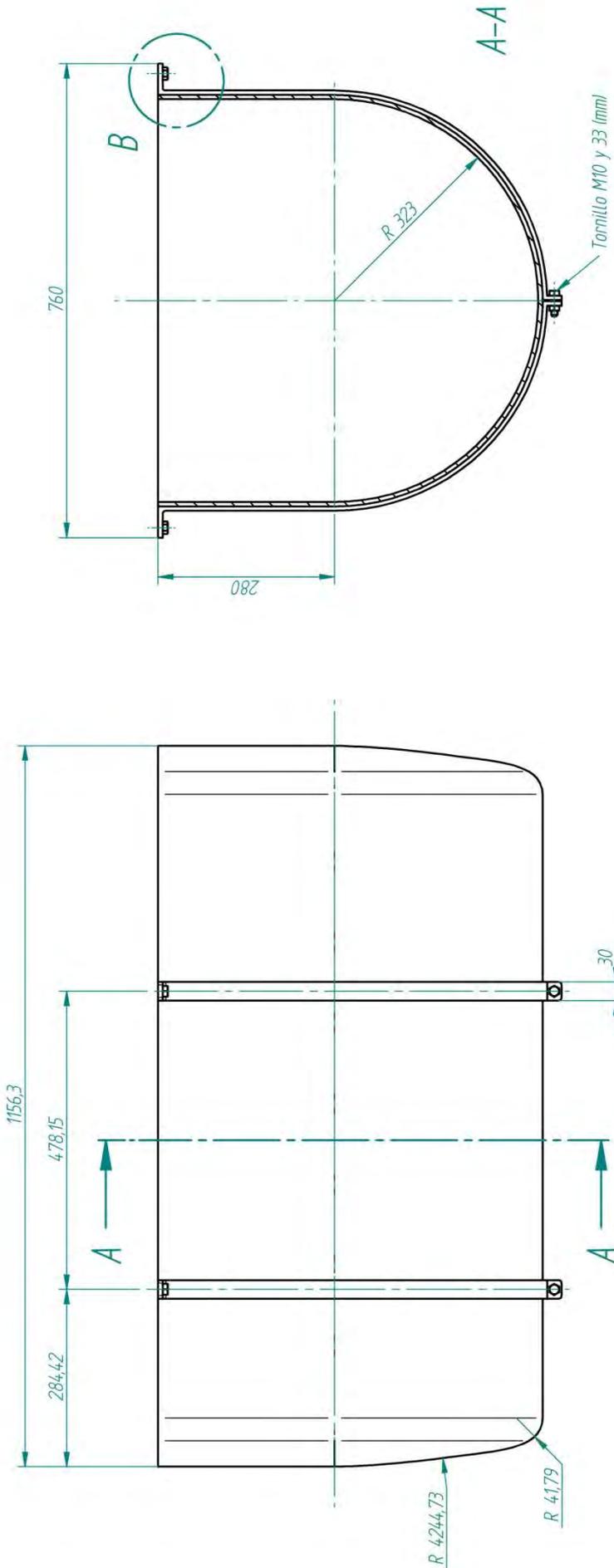
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Escalerillas lado izquierdo. La derecha es su simétrica.

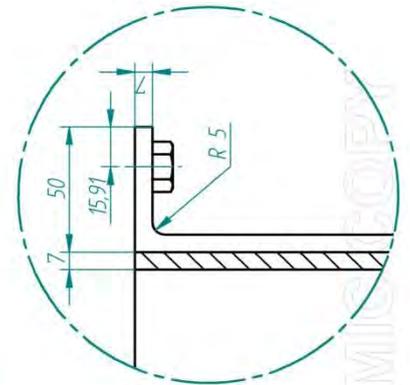


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

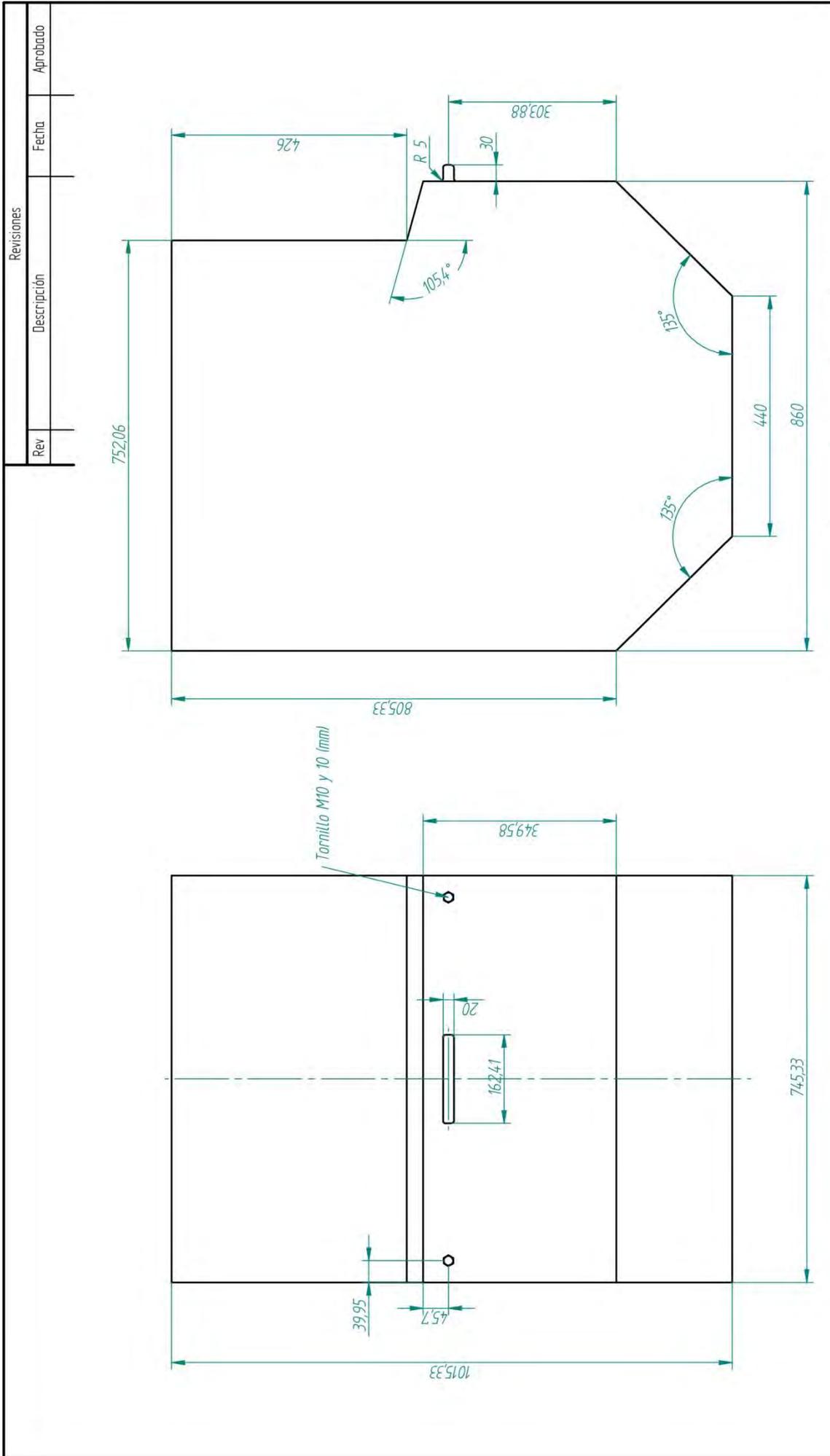
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



DETALLE B
1:2



DEPÓSITO AIRE COMPRIMIDO		Nombre	Fecha
Dibujado	Mario Mata	04/09/14	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Plano	Rev
Título: DEPÓSITO AIRE COMPRIMIDO		A3	
Archivo: Depósito		Escala: 1:667	
		Hoja 1 de 1	



Revisiones		Fecha	Aprobado
Rev	Descripción		

EQUIPOS ELÉCTRICOS	
Título: EQUIPO ELÉCTRICO 1	
Nombre	Fecha
Mario Mata	28/08/14
Dibujado	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°	
Plano	Rev
Archivo: Equipo eléctrico 1	
Escala: 1: 6,67	Hoja: 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

