



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL: ESPECIALIDAD MÁQUINAS Y ESTRUCTURAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

MODIFICACIÓN DE UN VAGÓN PORTA-AUTOS. ESTUDIO, DISEÑO Y ANÁLISIS DEL PISO MÓVIL SUPERIOR

AUTOR: FRANCISCO J. MÁRQUEZ RUIZ DE PASCUAL

TUTOR: DR. D. JUAN CARLOS GARCÍA PRADA

LEGANÉS, OCTUBRE DE 2011

TÍTULO: MODIFICACIÓN DE UN VAGÓN PORTA-AUTOS. ESTUDIO, DISEÑO
Y ANÁLISIS DEL PISO MÓVIL SUPERIOR

AUTOR: FRANCISCO J. MÁRQUEZ RUIZ DE PASCUAL

DIRECTOR: DR. D. JUAN CARLOS GARCÍA PRADA

EL TRIBUNAL

PRESIDENTE: _____

VOCAL: _____

SECRETARIO: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____ de
_____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad
Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Agradezco a todos y cada de los componentes de la dirección técnica de TRANSFESA su apoyo a la hora de realizar este proyecto y sus consejos totalmente desinteresados, así como toda la información que han puesto en mis manos y el conocimiento que se me ha permitido conocer.

También quiero agradecer a mi tutor de la escuela los consejos que me ha aportado, no sólo para este proyecto, sino para cualquiera que pueda llegar a realizar a lo largo de mi vida.

Y como no, quiero agradecer y dedicar este proyecto a toda la gente que a lo largo de la carrera ha estado a mi lado. A los que me soportan habitualmente y a los que me han soportado. De manera muy especial a mi familia, porque ellos han estado siempre a mi lado para recordarme que no debía abandonar mis sueños.

Resumen

El proyecto consiste en llevar a cabo la modificación de un vagón de mercancías porta-autos de manera que se cumpla la normativa vigente exigida. Se dan a conocer las distintas normativas que regulan este tipo de procesos así como los diseños y análisis necesarios para verificar su cumplimiento. Se implanta a su vez la metodología requerida para realizar la búsqueda del modelo más óptimo. Además, por un lado se plantean soluciones en la fabricación que permiten ahorrar costes respecto de modelos anteriormente fabricados, y por otro lado, se da a conocer un nuevo método para el diseño del vagón bajo programas CAD que permite tener en cuenta las restricciones del contorno, considerando en el propio diseño estas imposiciones externas, reduciendo de esta forma el tiempo de diseño.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	2
1.3 MEDIOS EMPLEADOS	3
1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	3
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	5
2.1 GENERALIDADES	5
2.2 SITUACIÓN DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA	5
2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN VAGÓN PORTA-AUTOS	9
2.3.1 TIPOS DE VAGONES.....	9
2.3.2 EL VAGÓN PORTA-AUTOS	10
2.3.3 EVOLUCIÓN DE LOS PORTA-AUTOS Y RELACIÓN CON LA INDUSTRIA	11
2.3.4 CARACTERÍSTICAS MÁS INFLUYENTES. CARACTERÍSTICAS DE VALOR	13
2.4 EL VAGÓN A MODIFICAR	14
2.4.1 DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	14
2.4.2 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES	16
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE CARGA.....	16
2.4.4 LIMITACIONES ACTUALES	16
2.4.5 POSIBILIDADES DE MEJORAS	17
2.5 VAGONES SIMILARES AL DEL ESTUDIO	18
2.5.1 SERIE DE VAGONES LAEKS 4270	18
2.5.2 SERIE DE VAGONES LAEKS 4273 Y 4274	19
3. NORMATIVA DE APLICACIÓN.....	22
3.1 TÉRMINOS BÁSICOS	22
3.2 NORMATIVA DE APLICACIÓN EN ESPAÑA.....	25
3.3 CARACTERÍSTICAS A EVALUAR DERIVADAS DE LA MODIFICACIÓN	27
4. DISEÑO DE LAS MODIFICACIONES	30
4.1 TEORÍA DEL PROCESO DE DISEÑO	30
4.2 PRESCRIPCIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE UN VAGÓN	34
4.2.1 REQUISITOS EXIGIDOS POR EL TIPO DE EXPLOTACIÓN.....	34

4.2.2 REQUISITOS QUE SE QUIEREN IMPONER DE CARA A LA FABRICACIÓN.....	35
4.3 NORMATIVA IMPLICADA EN EL DISEÑO	37
4.4 SOLIDWORKS.....	38
4.5 MODELIZACIÓN DEL GÁLBO DE NUESTRO VEHÍCULO	39
4.5.1 INTRODUCCIÓN.....	39
4.5.2 GENERALIDADES.....	39
4.5.3 ECUACIONES DE LAS REDUCCIONES EA Y EI.....	44
4.5.4 CÁLCULO DE LAS REDUCCIONES EI Y EA.....	49
4.5.5 EXPORTACIÓN AL SOLIDWORKS Y CREACIÓN DEL GÁLBO.....	50
4.6 DISEÑO DEL PISO SUPERIOR DEL PORTA-AUTOS.....	54
4.6.1 PARTES DEL PISO SUPERIOR.....	54
4.6.2 PRESCRIPCIONES DE DISEÑO SEGÚN NORMATIVA APLICABLE	55
4.6.3 ESTUDIO DE LA ALTURA. LONGITUD DE LA PLATAFORMA DE DESCARGA..	60
4.6.4 ESTUDIO DE LA ANCHURA DEL PISO SUPERIOR DE VAGÓN.....	62
4.6.5 SITUACIÓN Y FORMA DE LOS APOYOS DEL PISO.....	62
4.6.6 DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE DESCARGA DEL PISO MÓVIL	63
4.6.7 DISEÑO DEL PISO MÓVIL.....	65
4.7 DISEÑO DE LOS SOPORTES LATERALES DEL PISO SUPERIOR.....	67
4.7.1 REQUISITOS Y DISTINTAS PARTES.....	67
4.7.2 DISEÑO DE LOS MONTANTES.....	68
4.7.3 PROTECCIONES ANTI-VANDÁLICAS. ELECCIÓN Y DISEÑO.	72
4.8 DISEÑO FINAL DE LA MODIFICACIÓN	74
5. ANÁLISIS	75
5.1 REQUISITOS A VERIFICAR SEGÚN LA NORMATIVA	75
5.2 PRO/ENGINEER WILDFIRE 5.0.....	77
5.3 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.....	78
5.3.1 GENERALIDADES.....	78
5.3.2 ETAPA DE CALIBRACIÓN.....	78
5.4 ANÁLISIS ESTÁTICO	81
5.4.1 REQUISITOS PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO. CARGAS APLICADAS.....	81
5.4.2 REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS EN EL PRO/ENGINEER.....	82
5.5 ANÁLISIS A FATIGA	93
5.5.1 FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE LA FATIGA	93
5.5.2 CÁLCULO A FATIGA EN EL PRO/ENGINEER.....	98
5.5.3 REQUISITOS Y ESTUDIOS EN ENSAYOS A FATIGA	99
6. OPTIMIZACIÓN	102
6.1 METODOLOGÍA PARA EL PROCESO DE MEJORAS	102
6.2 RESULTADO DEL PRIMER ESTUDIO	102
6.3 MODIFICACIÓN DE LA RÓTULA DE UNIÓN ENTRE LAS DOS ESTRUCTURAS	104
6.4 INCORPORACIÓN DE REFUERZOS A LA ESTRUCTURA	105
6.5 APOORTE DE SOLDADURA EN LAS JUNTAS	108
7. RESULTADOS	111
7.1 PLANTEAMIENTO INICIAL	111
7.2 ANÁLISIS ESTÁTICOS DE LA PLATAFORMA	112
7.3 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL PISO MÓVIL.....	116
7.4 PLANTEAMIENTO DEL ENSAYO A FATIGA	119
7.5 ENSAYO A FATIGA CON FACTOR DEL 30%.....	119
7.5.1 FATIGA CON FACTOR DEL 30% EN LA PLATAFORMA.....	119
7.5.2 FATIGA CON FACTOR DEL 30% EN EL PISO MÓVIL.....	122
7.5.3 ESTIMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEBIDO AL 30% DE ESFUERZOS DINÁMICOS.....	124

7.6 ENSAYO A FATIGA PARA CICLOS DE CARGA MÁXIMA.....	125
7.6.1 FATIGA DE CARGA MÁXIMA EN LA PLATAFORMA	125
7.6.2 FATIGA DE CARGA MÁXIMA EN EL PISO MÓVIL.....	127
7.6.3 ESTIMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEBIDO A LA SITUACIÓN DE CARGA Y DESCARGA	130
8. CONCLUSIONES	131
9. TRABAJOS FUTUROS	133
10. GLOSARIO	134
11. REFERENCIAS	135
12. BIBLIOGRAFÍA	137

Índice de figuras

Figura 1 - Evolución de la cuota del transporte terrestre de mercancías [Ministerio de Fomento]	7
Figura 2 - Cuota del transporte terrestre en el resto de países europeos [Ministerio de Fomento]	7
Figura 3 - Distribuciones del transporte de mercancías en España [Ministerio de Fomento]	8
Figura 4 - Tren de vagones Porta-autos	11
Figura 5 - Rampa de descarga móvil.....	11
Figura 6 - Detalle de plano donde se aprecia la distribución de los automóviles	12
Figura 7 - Carga vertical de automóviles en EE.UU.....	13
Figura 8 - Vagón objeto sobre el que realizar el estudio.....	15
Figura 9 - Vagón Laeks 4270.....	18
Figura 10 - Vagón Laeks 4273 y 4274.....	20
Figura 11 - Unión permanente de vagones múltiples [anexo A, ficha UIC 572].....	24
Figura 12 - Etapas del proceso de diseño.....	31
Figura 13 - Metodología seguida en el proyecto.....	33
Figura 14 - Plataforma de descarga del vagón 4273 y 4274.....	35
Figura 15 - Detalle perfil UPN recortado para soldar con placa.....	36
Figura 16 - Diseño en 3D del vagón objeto actual.....	38
Figura 17 - Gálíbos considerados [Instrucción de Gálíbos Ferroviarios]	40
Figura 18 - Espacio disponible para la construcción de un vehículo [Instrucción de Gálíbos Ferroviarios]	41
Figura 19 - Perfil de referencia del gálibo UIC 505-1. Partes altas. [Ficha UIC 505-1] ..	42
Figura 20 - Perfil de referencia del gálibo UIC 505-1. Partes bajas.	43
Figura 21 - Contorno de referencia del gálibo cinemático GHE16 [IGF]	44
Figura 22 - Cálculo de z [ficha UIC 505-1]	47
Figura 23 - Medidas para el cálculo de s [10.4, UIC 505-5].....	48
Figura 24 - Creación del archivo txt con los datos de las curvas.....	51
Figura 25 - Inserción de los datos en el SolidWorks	52

Figura 26 - Representación de las curvas en el SolidWorks	52
Figura 27 - Semicorteza del gálibo	52
Figura 28 - Gálibo del semivagón del vagón objeto	53
Figura 29 - Diseño 3D conjunto de vehículo y gálibo	53
Figura 30 - Gálibo 3D en planta.....	54
Figura 31 - Curva que muestra el estrechamiento de las distintas secciones.....	54
Figura 32 - Distintas partes del piso superior de un semivagón	55
Figura 33 - Distancias de la pasarela del extremo del piso superior	57
Figura 34 - Distintas posiciones de la rampa de descarga	57
Figura 35 - Distancia mínima disponible en un porta-autos	58
Figura 36 - Diferentes soluciones para el suelo del piso.....	59
Figura 37 - Calces para suelo de rejilla	59
Figura 38 - Rotula de enganche entre plataforma y piso superior	60
Figura 39 - Recorrido del automóvil en el piso inferior.....	62
Figura 40 - Rótula sin carrera para análisis.....	63
Figura 41 - Rótula alargada real.....	63
Figura 42 - Diseño 3D de la plataforma de descarga del piso superior	64
Figura 43 - Estructura interior de la plataforma de descarga	64
Figura 44 - Diseño 3D del piso móvil.....	66
Figura 45 - Estructura interior del piso móvil.....	66
Figura 46 - Diseño 3D del piso superior del vagón	67
Figura 47 - Diferencias entre los montantes y las protecciones anti-vandálicas.....	68
Figura 48 - Montantes de un vagón con piso superior fijo	69
Figura 49 - Distancia entre apoyos del piso superior.....	69
Figura 50 - Bordes a eliminar del piso inferior en 3D	70
Figura 51 - Salida de gálibo de los montantes	71
Figura 52 - Interfaz de diseño entre el vagón, el gálibo y los montantes.....	71
Figura 53 - Montantes a lo largo del vagón	71
Figura 54 - Recreación 3D de los montantes sobre el vagón sin bordes.....	72
Figura 55 - Detalle de la fijación de los montantes y soportes en el piso inferior del vagón	72
Figura 56 - Porta-autos con protecciones de policarbonato	73
Figura 57 - Soportes laterales tras la modificación	74
Figura 58 - Recreación en 3D del vagón modificado	74
Figura 59 - Diagrama de carga de un vagón tipo 4270	81
Figura 60 - Distribución de las fuerzas sobre la superficie del piso superior	82
Figura 61 - Modelo en SolidWorks a exportar al ProE para realización de ensayos.....	83
Figura 62 - Guardado en Parasolid de la pieza del SolidWorks	83
Figura 63 - Selección de Parasolid en el ProE	83
Figura 64 -Parámetros de importación y guardado con formato de ProE.....	84
Figura 65 - Revisar la geometría del modelo	84
Figura 66 - Selección del tipo de modelo en Mechanica	85
Figura 67 - Revisión de la geometría con AutoGEM	85
Figura 68 - Definición del acero S275 en el ProE	86
Figura 69 - Asignación del material en el modelo	86
Figura 70 - Restricción <i>mirror</i>	87
Figura 71 - Restricción de pin	87
Figura 72 - Fuerza de la gravedad.....	88
Figura 73 - Selección de la herramienta esbozo.....	88
Figura 74 - Fijación de las líneas de referencia del esbozo y dibujo del cuadrado.....	89

Figura 75 - Creación de la superficie de rodadura	89
Figura 76 - Esfuerzos en la superficie de rodadura	89
Figura 77 - Comandos para la creación de la malla	90
Figura 78 - Malla de la plataforma para el estudio	90
Figura 79 - Selección del tipo de análisis.....	91
Figura 80 - Diagrama E-N para un acero de baja aleación una aleación de aluminio	93
Figura 81 - Curva de una tensión alternante pura	94
Figura 82 - Curva de una tensión fluctuante	95
Figura 83 - Diferencia entre tensión media de tracción o compresión	95
Figura 84 - Modelo de vida frente a amplitud de deformación.....	96
Figura 85 - Representación de la regla de Miner	97
Figura 86 - Curva de histéresis.....	97
Figura 87 - Creación del estudio a Fatiga	98
Figura 88 - Ventana de diseño del análisis a Fatiga.....	98
Figura 89 - Selección del análisis estático previo al de Fatiga	99
Figura 90 - Análisis a fatiga de carga pulsatoria.....	100
Figura 91 - Ventana del análisis a fatiga con el 30% de efectos dinámicos	101
Figura 92 - Análisis a fatiga en los estados de carga y descarga.....	101
Figura 93 - Tensiones en la rótula de la plataforma.....	103
Figura 94 - Nueva rótula de unión entre ambos pisos.....	104
Figura 95 - Tensión máxima en el modelo con nueva rótula.....	105
Figura 96 - Diseño de la plataforma con refuerzos en V	106
Figura 97 - Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos en V	107
Figura 98 - Plataforma con refuerzos en paralelo	107
Figura 99 - Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos paralelos	108
Figura 100 - Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos paralelos y soldadura.	110
Figura 101 - Gráfica comparativa de las tensiones V.M en la plataforma.....	113
Figura 102 - Gráfica comparativa de las tensiones principales en la plataforma.....	113
Figura 103 - Gráfica comparativa de la flechas de la plataforma	113
Figura 104 - Diseño de Plataforma Final	114
Figura 105 - Cargas sobre la plataforma final	114
Figura 106 - Detalle de los esfuerzos sobre la plataforma final.....	115
Figura 107 - Esfuerzos globales sobre la plataforma final.....	115
Figura 108 - Desplazamientos sobre la plataforma final	115
Figura 109 - Diseño definitivo de la estructura del piso móvil.....	116
Figura 110 - Cargas aplicadas sobre el piso móvil para el análisis estático	117
Figura 111 - Detalle del punto máximo tensional en el piso móvil	118
Figura 112 - Detalle de la otra rótula y vista general del estado tensional del piso móvil	118
Figura 113 - Desplazamientos sobre el piso móvil	118
Figura 114 - Detalle de la vida a fatiga con factor del $\pm 30\%$ de la plataforma.....	120
Figura 115 - Detalle del siguiente punto con menor vida a fatiga y visión general de toda la plataforma.....	121
Figura 116 - Detalle del factor de seguridad para un factor de 30% en la plataforma....	121
Figura 117 - Factor de seguridad global para un factor del 30% en la plataforma	121
Figura 118 - Confianza de vida para un factor del 30% en la plataforma	122
Figura 119 - Detalle de la vida a fatiga con factor de 30% en el piso móvil	123
Figura 120 - Vida a fatiga global con factor de 30% en el piso móvil	123
Figura 121 - Detalle del factor de seguridad para un factor del 30% en el piso.....	123
Figura 122 - Factor de seguridad global para un factor del 30% en el piso.....	124

Figura 123 - Confianza global para un factor de 30% en el piso	124
Figura 124 - Detalle de la vida a fatiga con carga máxima en la plataforma.....	126
Figura 125 - Detalle y global de la vida a fatiga con carga máx. en la plataforma.....	126
Figura 126 - Factor de seguridad de la fatiga con carga máx. en la plataforma	127
Figura 127 - Confianza de fatiga para carga máx. en al plataforma	127
Figura 128 - Detalle de la vida a fatiga para carga máx. en el piso	128
Figura 129 - Vida a fatiga global para carga máx. en el piso.....	128
Figura 130 - Detalle del factor de seguridad para carga máx. en el piso	129
Figura 131 - Factor de seguridad para carga máx. en el piso.....	129
Figura 132 - Confianza para carga máx. en el piso.....	129

Índice de tablas

Tabla 1 - Características de un vagón Ladks	15
Tabla 2 - Diferencias en las denominaciones UIC según ficha 438-2	16
Tabla 3 - Posibles mejoras a priori para emprender.....	17
Tabla 4 - Diferentes tipos de autorización de puesta en servicio	25
Tabla 5 - Características a evaluar “a priori” de la ETH.....	27
Tabla 6 - Características finales a evaluar de la ETH	29
Tabla 7 - Normativas aplicables en las características a evaluar	37
Tabla 8 - Normas para el cálculo de los gálibos ferroviarios.....	40
Tabla 9 - Reducción en secciones internas (parte 1) [IGF].....	45
Tabla 10 - Reducción en secciones internas (parte 2) [IGF].....	46
Tabla 11 - Reducción en caras externas (parte 1) [IGF]	46
Tabla 12 - Reducción en secciones externas Ea (parte 2) [IGF].....	46
Tabla 13 - Valores para el cálculo de las reducciones Ea y Ei.....	48
Tabla 14 - Extracto de la hoja de cálculo para el cálculo de la reducciones.....	50
Tabla 15 - Requisitos aplicables de la ficha UIC 571-3.....	56
Tabla 16 - Dimensiones de los coches	60
Tabla 17 - Dimensiones de diseño de la plataforma de descarga	63
Tabla 18 - Perfiles usados para la fabricación de la plataforma.....	65
Tabla 19 - Dimensiones de diseño del piso móvil	66
Tabla 20 - Ventajas e inconvenientes entre protecciones anti-vandálicas	73
Tabla 21 - Comparación entre análisis con y sin simetría	79
Tabla 22 - Esfuerzos requeridos.....	82
Tabla 23 - Comparativa entre diferentes métodos resolutivos.....	92
Tabla 24 - Precisión del cálculo estático.....	93
Tabla 25 - Aceleración en la dirección z en el ensayo a fatiga [tabla 16, UNE-EN 12663]	100
Tabla 26 - Resultados del estudio estático de la plataforma	103
Tabla 27 - Comparación de los análisis estáticos entre los 2 tipos de rótulas	104
Tabla 28 - Resultado para la plataforma sin refuerzos y con refuerzos en V	106

Tabla 29 - Resultados para la plataforma con refuerzos en paralelo y en V	108
Tabla 30- Resultados para la plataforma con refuerzos paralelos soldados y sin soldar	109
Tabla 31 – Resultados de los análisis estáticos realizados en la plataforma.....	112
Tabla 32 - Resultados del ensayo estáticos del piso móvil	117
Tabla 33 - Resultados a fatiga con factor del 30% para la plataforma	120
Tabla 34 - Resultados a fatiga con factor del 30% para el piso	122
Tabla 35 - Comparativa entre la plataforma y el piso para un factor del 30%	124
Tabla 36 - Resultados a fatiga para ciclos de carga máx. en la plataforma	125
Tabla 37 - Resultados a fatiga para ciclos de carga máx. en el piso	127
Tabla 38 - Comparativa entre la plataforma y el piso para ciclos de carga máx.	130

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Este proyecto nace de la necesidad real de querer ampliar las capacidades en el mercado del vagón porta-autos serie 4219. Este vagón que sólo es de un piso, es absolutamente poco competitivo frente a vagones porta-autos que en la misma longitud facturada son capaces de meter el doble de automóviles, obteniendo un margen de beneficios para nada comparable. De este modo, este vagón ha quedado relegado a un uso muy limitado y los comerciales sólo ofrecen sus servicios cuando se trata del transporte de vehículos de grandes dimensiones (normalmente pesados) como pueden ser cabinas de camiones, grandes furgones y vehículos profesionales en general. Transportes en los que los vagones de dos pisos no son capaces de trabajar.

Pero tener un nicho de mercado tan reducido no es para nada alentador, ya que además es un nicho donde no se producen grandes ventas. Por ello se hace necesario buscar un plan de mejora de esta serie de vagones para evitar un parada obligada durante largas estaciones de tiempo, malgastando de cara al transporte unos vehículos que podrían ser aprovechados, esto es, utilizados para realizar transportes y facturar.

La modificación de un vagón es un proceso costoso y lento, por eso se busca optimizar los diseños y los procesos de fabricación para lograr reducir los tiempos y conseguir unos precios competitivos que desnivelen la balanza claramente hacia el lado de la modificación en lugar del lado de la creación de nuevo material rodante. O tal como está el sector últimamente, encontrar un compromiso de precio bajo para simplemente poder llevar a cabo la modificación.

Por todo ello, se ve obligado el hecho de contar con un estudio previo que defina en detalle cómo sería el diseño más óptimo respecto al coste final, pero que garantice el cumplimiento de todas las normativas vigentes que legislan sobre la realización de este tipo de operaciones.

Además no sólo quiere introducirse un piso superior en estos vehículos, operación ésta en principio sencilla y no excesivamente cara. Lo que se quiere realizar también es un estudio para el desarrollo de una solución en la que podamos adaptar la altura del piso superior para así maximizar las posibilidades de espacio que nos brinda el porta-autos en cuestión. Es muy importante tener en cuenta que a diferencia de un vagón de mercancías normal, la limitación en el transporte de un porta-autos no viene de la carga máxima que puede transportar, sino del número de coches que es capaz de meter en el espacio que tiene. Por ello, optimizar el espacio que reside sobre el vagón se establece como punto fundamental a la hora de mejorar el valor de un porta-autos. Pero esta optimización del espacio traducida en la posibilidad de la modificación de la altura del piso superior para adaptarse a los vehículos a transportar, no sirve de nada si no se puede realizar en vía y por el contrario debe irse a taller o contar con medidas excepcionales para el cambio de la altura, como ocurre en muchos vehículos con dos pisos.

En el mundo del transporte de mercancías, todo traslado de vagón sin carga significa una pérdida de dinero ya que no se está aprovechando el vagón para su fin último. Por lo que se ve necesario contar con una solución versátil que permita la regulación de la altura a cualquier medida y cuya modificación de altura pueda realizarse en el mismo lugar donde se carga el vagón, adaptándose en cada recorrido a un tipo de vehículo distinto para así evitar el traslado del vagón de un sitio a otro en vacío por la imposibilidad de realizar esta adaptación.

Una solución óptima y versátil en este sentido puede suponer cientos de euros para la compañía pues contaría con una “nueva” flota de vehículos de dos pisos totalmente operables para cualquier tipo de transporte y cualquier tipo de recorrido, sin tener que preocuparse de garantizar que los vehículos que debe transportar entran, ya que la regulación a cualquier altura garantiza absolutamente este punto.

Por lo tanto nos encontramos ante un proyecto de pura ingeniería, desde la búsqueda de opciones, la necesidad de información, el cumplimiento de una normativa establecida, la solución a problemas nuevos... en fin, un proyecto que todo amante del diseño y la fabricación mecánica e industrial se ve imposibilitado a rechazar.

1.2 Objetivos y alcance

En base a lo comentado anteriormente, el objetivo fundamental que se busca es el estudio para la implantación de un segundo piso superior regulable a cualquier altura, en un vagón previamente existente y por lo tanto con unas medidas reales específicas.

Más allá del simple hecho de la implantación del piso superior en este vagón se busca crear un diseño adaptable a cualquier vagón de similares características, ya sea modificación o de nueva construcción, para dotarle de un sistema de elevación versátil que no le limite para el transporte de ningún vehículo en ninguna situación.

Además se pretende que sea una solución económica y asumible en los tiempos en que nos encontramos. Para ello un objetivo a establecer será la optimización del proceso de diseño con soluciones que minimicen el coste manteniendo el compromiso de durabilidad que requieren estos vehículos y que exige la normativa de cara a mantener la seguridad de las personas involucradas en este tipo de sectores y garantizar a su vez el correcto transporte de las cargas que se requieran transportar.

Por lo tanto se pueden resumir los objetivos en los siguientes puntos:

- Realizar el diseño del piso superior de altura regulable.
- Cubrir las modificaciones derivadas de la implantación del nuevo piso superior.
- Verificar que estos diseños cumplen la normativa vigente.
- Realizar la modificación minimizando todo tipo de costes asociados.
- Obtener unos diseños duraderos y que permita en caso de ser necesario una fácil reparación.

El presente proyecto sólo alcanzará el ámbito de la estructura portadora y sustentadora, así como los elementos necesarios y complementarios dentro de dichos ámbitos, dejándose fuera elementos necesarios para la completa definición del piso móvil superior como sería el sistema de elevación del mismo. A su vez también se deja fuera del alcance del proyecto el desarrollo de otros sistemas afectados en la implantación del piso superior como sería la modificación del sistema de freno y el cabecero del vagón.

1.3 Medios empleados

Para llevar a cabo el proyecto se han realizado varios viajes para examinar el material a modificar. También ha sido necesaria la adquisición de información acerca del vagón, realizada ésta a través de los planos suministrados por la compañía TRANSFESA. A su vez se han suministrado por dicha compañía las normas UNE-EN, fichas UIC y demás material documental normativo imprescindible para el conocimiento de la normativa que se debía aplicar.

Para el diseño del vagón a partir de los planos suministrados se ha empleado el *software* de diseño CAD “SolidWorks 2011 Profesional”. Cabe mencionar que todos los diseños 3D que se puedan llegar a ver a lo largo del proyecto han sido realizados íntegramente por el autor bajo la licencia que TRANSFESA tiene de dicho programa.

Para el análisis y verificación de los requisitos impuesto se ha usado el *software* CAD - CAE “Pro/ENGINEER 5.0 edición académica” bajo licencia de la Universidad Carlos III de Madrid.

1.4 Estructura de la memoria

En una primera fase se estudia cómo está el sector del transporte de mercancías por ferrocarril en España para conocer qué sentido tiene la implantación de este nuevo sistema en un vagón ya existente. Se establece qué se considera como vagón y dentro de ellos que diferencias y peculiaridades tienen los vagones porta-autos. A su vez se da un lógico repaso estableciendo los conocimientos básicos del mundo del ferrocarril así como la evolución histórica que este tipo de vagones han sufrido a lo largo del tiempo hasta la actualidad. Es necesario este recorrido para entender las necesidades, problemas y soluciones que se han establecido para el transporte de los automóviles por vía férrea. Además se dará a conocer cómo es el vagón sobre el cual se debe desarrollar la modificación y que vagones y diseños similares hay en el mercado.

A continuación se hace un estudio de la normativa implicada en la realización de este tipo de operaciones. Este capítulo será fundamental para el establecimiento de pautas y requisitos a imponer a los diseños que se establezcan.

Una vez establecidos los límites que debemos cumplir y como debemos cumplirlos, se puede pasar a definir una metodología de trabajo que permita llevar a buen puerto el diseño que finalmente se establezca. Será en esta etapa cuando se definirán los requisitos tanto normativos como impositivos propios que deberán cumplir los diseños realizados. En estos requisitos propios se impondrán métodos de trabajos novedosos que permitan cumplir el objetivo de reducir costes, además de la imposición de otros métodos clásicos que permitan ahorrar en el diseño, construcción y mantenimiento de la futura modificación. Por otro lado se resolverán problemas asociados al diseño de los elementos requeridos y se tratarán de buscar las soluciones oportunas siempre siguiendo el objetivo primordial de realizar un diseño austero pero totalmente útil y durable.

Tras una parte de diseño propiamente dicho en donde se establecen unos primeros modelos, se someterán los mismos a los análisis que marca la normativa para verificar el cumplimiento de los requisitos impuestos y garantizar la seguridad de las personas y del propio mecanismo. En caso de no cumplir estos diseños con los parámetros de seguridad, se realizarán optimizaciones de los mismos en búsqueda de mejorar los problemas que puedan surgir y que eviten la superación de los requisitos establecidos.

Finalmente se realizarán estudios que permitan determinar y garantizar la durabilidad de los elementos contruidos de manera que se verifique el objetivo al que hace referencia.

Capítulo 2

Antecedentes y Justificación

2.1 Generalidades

Del diccionario de la RAE se extrae la siguiente definición de vagón [1]:

(Del ingl. *wagon*).

1. m. En los ferrocarriles, carruaje de viajeros o de mercancías y equipajes.

2. m. Carro grande de mudanzas, destinado a ser transportado sobre una plataforma de ferrocarril.

Claramente, es la primera acepción del término la que es de interés para este proyecto, aunque como veremos a continuación, con matices. Según el artículo 3.d de la orden ministerial FOM/233/2006, de 31 de enero [2], y como se verá en más detalle en el apartado 3.1, se entiende por Vagones los vehículos ferroviarios sin tracción propia habilitados para el transporte de mercancías. Por lo tanto, los vagones sólo transportan mercancías, dejando así la denominación de coche para el transporte de viajeros.

2.2 Situación del transporte de mercancías en España

Actualmente, el sector del ferrocarril en España tiene dos caras. Por una parte está el transporte de viajeros, y en el otro lado yuxtapuesto al anterior, el transporte de mercancías.

Para entender esta situación hay que remarcar que hasta la liberalización del sector ferroviario impuesto a través de la Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario [3] y posteriormente desarrollado en el Real Decreto 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario [4], en España había una empresa que englobaba todo el sector del ferrocarril y era a la vez administrador de infraestructuras, agencia de seguridad, empresa ferroviaria y titular de vagones y coches. Siendo el sector del transporte de mercancías el único que no tenía monopolio. Pero a pesar de la liberación, a día de hoy, el transporte de viajeros sigue vetado a otras empresas ferroviarias distintas que RENFE, de la cual el estado sigue siendo partícipe y haciendo de la alta velocidad la joya de la corona del transporte por vía férrea.

No se tendrá por objetivo cargar contra la alta velocidad cuando el autor es el primer defensor de su implantación a lo largo de toda la geografía española, pero si remarcar que igual que llegan fondos para fomentar el transporte de viajeros, el estado debería aunar esfuerzos para revitalizar el sector de las mercancías.

Si se mira fuera de nuestras fronteras, se observa un mapa similar en el desarrollo del ferrocarril europeo, copando con porcentajes casi absolutos el transporte férreo de viajeros frente al de mercancías. En cambio, al otro lado del atlántico, en Estados Unidos, se observa un planteamiento totalmente contrario.

Las causas de este escenario son muchas y no es objetivo de este documento entrar en ellas, aunque cabe destacar que las principales diferencias entre Europa y EE.UU son:

- el gálibo permitido (sección que se estudiará detenidamente en el apartado 4.5)
- y la longitud de trenes máxima permitida.

Por supuesto que las condiciones geográficas han influido de manera decisiva en que este desarrollo haya sido así pero esto es algo inalterable que seguirá condicionando los sectores a un lado y otro del atlántico.

Con todo ello, en España hemos llegado a unos porcentajes irrisorios y realmente preocupantes de cara al futuro del sector. Como se hacía referencia en un artículo de la web Cotizalia [5] “España transportaba por ferrocarril el 53% de sus mercancías en 1953. En la actualidad, este porcentaje apenas llega al 4%.” Los datos se han obtenido del último análisis del Ministerio de Fomento sobre el sector [6] que se muestran en la Figura 1, y que refleja no sólo la evolución de España, sino la del resto de países europeos más cercanos a España (obviando Portugal). En ella se observa como en una gran mayoría la tendencia es bajista, esto sin incluir los actuales datos generados por la actual crisis financiera.

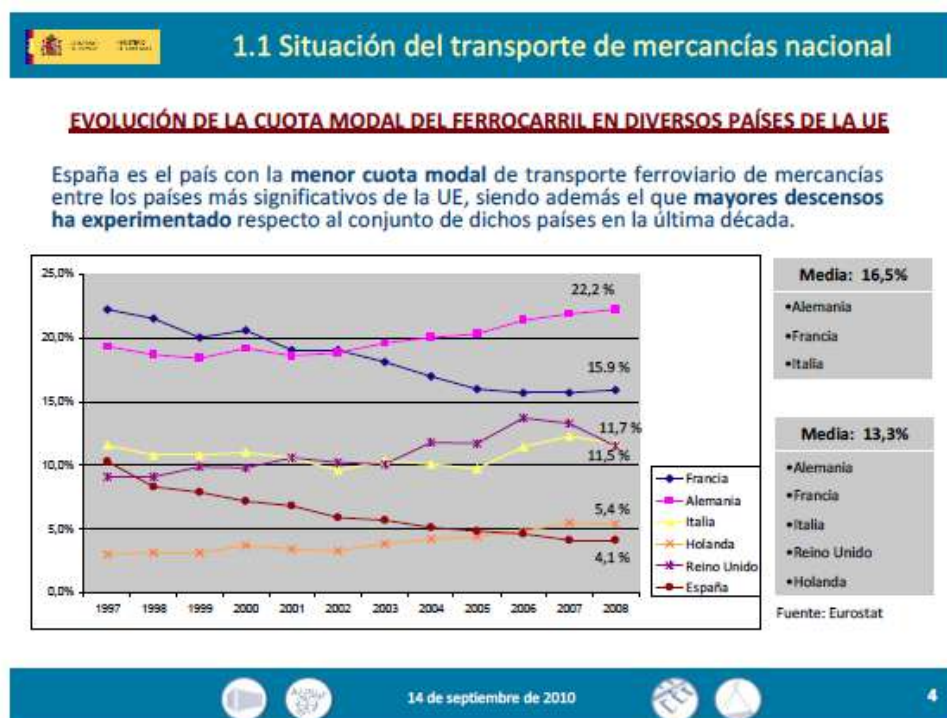


Figura 1 - Evolución de la cuota del transporte terrestre de mercancías [Ministerio de Fomento]

La Figura 2 muestra la cuota en el año 2008 del resto de países europeos, en donde los países recién incorporados del este y los países del norte, destacan sobre todos los demás.

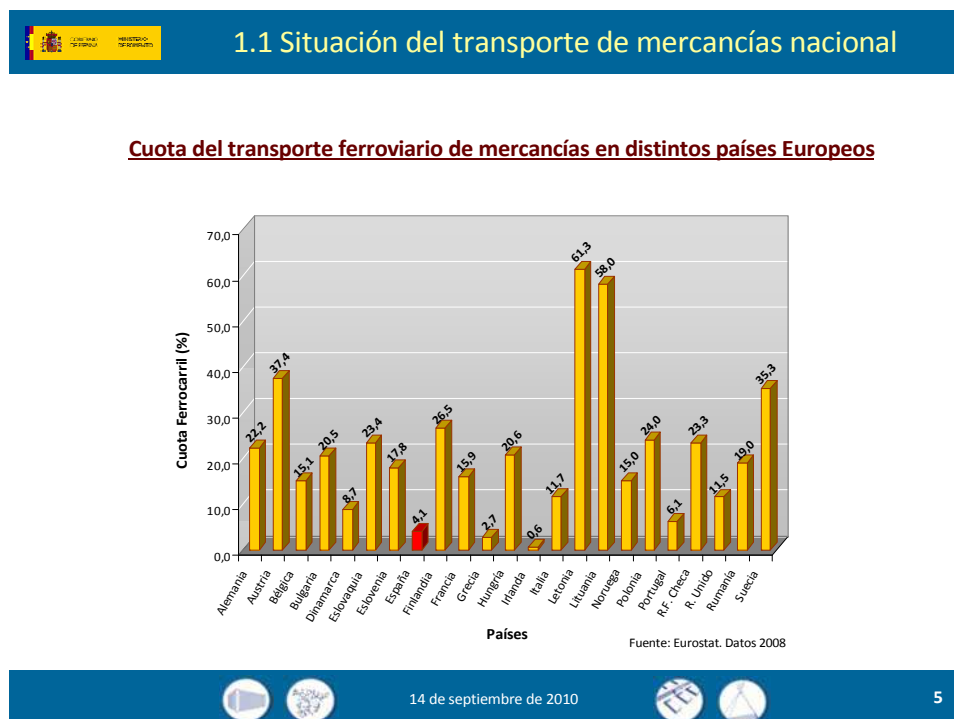


Figura 2 - Cuota del transporte terrestre en el resto de países europeos [Ministerio de Fomento]

Estos datos anteriores muestran el transporte terrestre de las mercancías y obviamente, la única otra forma de transporte terrestre diferente del ferrocarril es la carretera. Esto se recoge en la Figura 3.

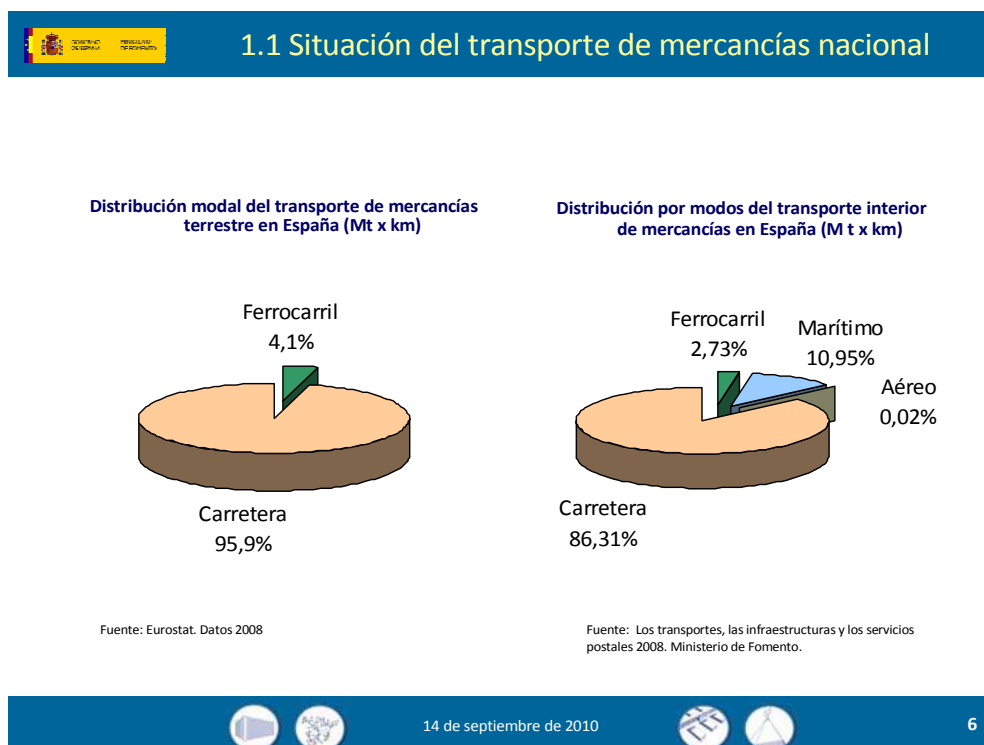


Figura 3 - Distribuciones del transporte de mercancías en España [Ministerio de Fomento]

Por lo tanto, en primer lugar para recuperar el sector, hay que recuperar al transporte de mercancías por carretera el porcentaje perdido. Es por tanto la carretera quien aparece como el verdadero rival a batir. Aunque ambos sectores siempre han estado en una guerra bipolar. Pero en los últimos años y como se ha mostrado en las anteriores figuras, la balanza se ha desnivelado por completo.

Hay muchos factores que influyen decisivamente en que la situación actual sea así, desde parámetros tecnológicos, logísticos e incluso sociales. Y en todos ellos debe trabajar el sector férreo para volver a representar unos porcentajes equiparables, al menos, con otros países de Europa.

Si se analiza el último factor, el social, la realidad muestra de bruce que el sector del camión da de comer a mucha gente en España. Pero este dato no debe tomarse como inalterable pues es una consecuencia directa de los altos porcentajes de transporte que ha tomado la carretera frente al tren. Una redistribución de los empleos de la carretera a las vías se antojaría como una primera solución, aunque a muy largo plazo. A corto, la realidad es que el altísimo porcentaje también otorga un grandísimo poder al sector del camión, lo que genera una barrera para cualquier gobierno que quiere equilibrar el transporte de mercancías.

En cuanto a los parámetros logísticos, existen varias empresas en el sector del transporte férreo de mercancías con amplia experiencia y con capacidad suficiente para asumir un incremento relativo del mercado. Cómo ya se ha comentado, este sector era el único en el que RENFE tenía competencia y esto sigue siendo así liderando la oposición el Grupo TRANSFESA, el cual no se enmarca sólo al transporte en España, sino que es el único reseñable con capacidad para interoperar a través de nuestras fronteras con otros mercados europeos.

Como último factor influyente tenemos el tecnológico, el cual supone una atadura más, si cabe, a la mordaza que asfixia al sector. Como se analiza en apartado 3.2, existe

una diferencia significativa entre las normas para la homologación de vehículos entre España (ETH [7]) y la impuesta desde Europa para permitir la interoperabilidad (ETI [8]). Es cierto que el ancho de vía existente en España de 1668 mm hace cambiar algunos parámetros respecto del ancho UIC 1435 mm, pero dicha influencia ya viene recogida en la citada ETI, la cual hace distinción no sólo para el caso de la península ibérica, sino para otro conjunto de países que tienen distinto ancho del UIC. Pero a pesar de estas menciones, en la ETH se imponen más condiciones para cumplir que en la norma Europea, creando una desventaja competitiva de los fabricantes españoles con respecto al resto de competidores extranjeros. Y no sólo de puertas afuera. El exigir mayor número de características que cumplir para homologar un vagón, implica un mayor gasto de los talleres en dichos procesos que se acaban eternizando durante años bajo la imposición de la ETH por el organismo certificador. Y el aumento de precio en construcción provoca un aumento en el precio de venta de dichos vagones, por lo que sólo compensa la construcción de una serie de vagones, en el caso de que dicha serie se componga de gran número de unidades, para así poder compensar el gasto que se lleva la homologación del vehículo tipo de la misma. Y como se ha visto anteriormente, no hay ningún titular de vagones que hoy por hoy y viendo los porcentajes de mercado existentes, prevea la adquisición de un gran número de vehículos. Esta situación está llevando a que empresas referentes en la fabricación de vagones como TAFESA estén en una situación económica muy complicada. Además, cualquier fabricación que se pueda llevar a cabo, se hace con componentes ya existentes para facilitar ese proceso de homologación, lo que genera una barrera a la posible innovación tecnológica, en un sector ya de por sí anclado en soluciones mecánicas y elementos del pasado.

Por todo ello, se hace obligado alabar las ventajas sociales, económicas, medioambientales y de seguridad que se obtendrían de la implantación de medidas para equilibrar los porcentajes entre la carretera y el ferrocarril, disminuyendo de esa forma el número de camiones que transitan por las carreteras. Los principales puntos se muestran a continuación:

- Aumento de la seguridad en las carreteras, dando más espacio para los turismos, homogenizando de ese modo el tráfico y evitando vehículos con velocidades máximas distintas.
- Eficiencia energética, con un menor gasto energético en combustibles fósiles (ya que aunque no toda la red férrea esté electrificada, gasta menos gasóleo una locomotora que arrastra un volumen específico, que dicho volumen transportado en muchos camiones).
- Mayor independencia del petróleo a favor de la energía eléctrica.
- Mejora del medio ambiente como resultado de una menor contaminación, derivada de la disminución en el consumo de combustibles fósiles.
- Posible reducción del precio de los carburantes por la menor demanda en su consumo.

2.3 Características de un vagón Porta-autos

2.3.1 Tipos de vagones

Dentro de la definición de vagón se engloban gran cantidad de tipos distintos, dependiendo de factores como el trabajo que desempeñen o de la carga que transporten. Así y a modo de ejemplo, no pueden tener las mismas características un vagón que se use para el transporte de aceite que uno que cargue hortalizas. Por ello es importante definir cómo es el vagón sobre el cual se va a realizar el estudio que ocupa este proyecto y qué características técnicas tiene en distinción con otros vehículos.

La ficha UIC 438-2 [9] especifica las reglas para la identificación que debe tener todo el material rodante, tanto identificación numérica como alfabética. Y para ello hace una clasificación de todos los tipos de vagones existentes. Dentro de cada uno de estos tipos hay más subtipos, pero a modo general la clasificación que se recoge en esta ficha divide a todos los vagones en si son o no son vagones múltiples y vagones acoplados. A continuación se muestra la clasificación tal y como aparece en dicha ficha UIC.

- *Wagons excluding articulated and multiple wagons:*
 - *Open high-sided wagons*
 - *Covered wagons*
 - *Temperature-controlled wagons*
 - *2-axle flat wagons*
 - *Mixed flat and open high-sided wagons*
 - *Flat bogie wagons*
 - *Wagons with opening roof*
 - *Special wagons*
 - *Tank wagons*
- *Articulated and multiple wagons*
 - *Open high-sided wagons*
 - *Covered wagons*
 - *Temperature controlled wagons*
 - *Flat wagons with separate axles*
 - *Flat bogie wagons*
 - *Wagons with opening roof*
 - *Special wagons*
 - *Tank wagons*

2.3.2 El vagón Porta-autos

Un vagón porta-autos es aquel destinado para el transporte de automóviles y como tal, está diseñado siguiendo unos parámetros que favorezcan y faciliten dicho transporte, así como la carga y descarga del material transportado.

Existen varios tipos de vagones porta-autos diferentes dependiendo en primer lugar de la posibilidad de la infraestructura donde se va a realizar el transporte, puesto que el tamaño del gálibo de la misma influye decisivamente en el diseño del vagón.

Normalmente los vagones suelen ser de uno o dos pisos, con la posibilidad de que el vagón de un piso sea cubierto o no.



Figura 4 - Tren de vagones Porta-autos

En el fondo un vagón porta-autos no es más que una derivación de vagones plataforma (*flat wagons*), los cuales se usaban para el transporte de gran variedad de productos diferentes, todos los que pudieran ir sobre una superficie plana y que no sobresalieran más allá del gálibo impuesto en la infraestructura. Y un automóvil encajaba estupendamente dentro de ese grupo de productos.

En la clasificación anterior de la ficha UIC, los porta-autos entran en todas las categorías que engloban los vagones plataforma, sean de ejes (*axles*) o de bogies.

2.3.3 Evolución de los porta-autos y relación con la industria

Gracias a la industria del automóvil que ha existido y aún perdura en España, hay gran tradición en el uso del ferrocarril para el transporte de los automóviles desde las fábricas a sus lugares de venta, ya sea como importación o como exportación. Esto es evidente en la cantidad de instalaciones que hay adaptadas para este fin, desde las propias fábricas con sus entramados de vías propias y sus rampas y puertos por donde cargar y descargar, hasta las campas donde almacenar los vehículos y que siempre incorporan también estos puertos de descarga ya sean móviles o fijos, como se ilustra en la Figura 5.

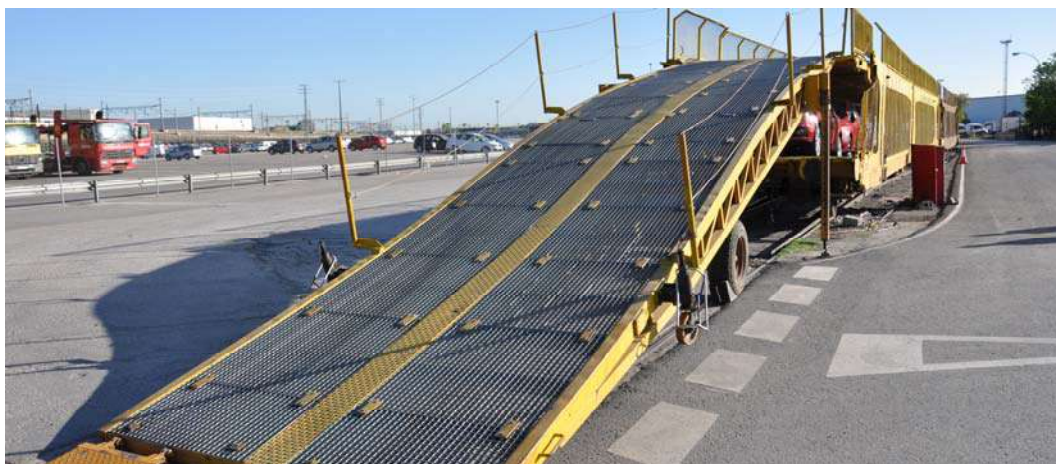


Figura 5 - Rampa de descarga móvil

Y son estas instalaciones adaptadas las que hacen que el sector de las mercancías por ferrocarril mantenga una de sus mejores bazas en el transporte de automóviles y sus

derivados, ya que los fabricantes entienden las ventajas que atañe el transportar grandes cantidades de productos a miles de kilómetros de distancia de manera segura y a precios que aún siguen siendo competitivos. Por lo tanto, un peligro más para el sector podría venir asociado de una caída de las ventas de coches y por ende, el descenso en la necesidad de fabricarlos y transportarlos. Y es precisamente este ambiente de crisis y recesión el que se tiene a día de hoy.

Pero hace años el transporte de vehículos era realmente intenso. Fue en sus comienzos cuando se comenzaron a adaptar los antiguos vagones plataforma para esta nueva industria de la automoción. Por aquel entonces, años 60, los automóviles eran significativamente diferentes en peso y dimensiones a los que hoy podemos ver circulando por nuestras carreteras. Y ambos parámetros se hacen fundamentales a la hora de evaluar la influencia en el transporte.

Los vagones porta-autos se hacían casi a medida para el transporte de una o varias series similares de vehículos (por ejemplo, SEAT 600) y esa especificación en el diseño se puede ver en los planos de dicho vagones, que traían como un plano más, los diagramas de carga específicos para el vehículo que debía ser transportado, tal y como muestra la Figura 6.

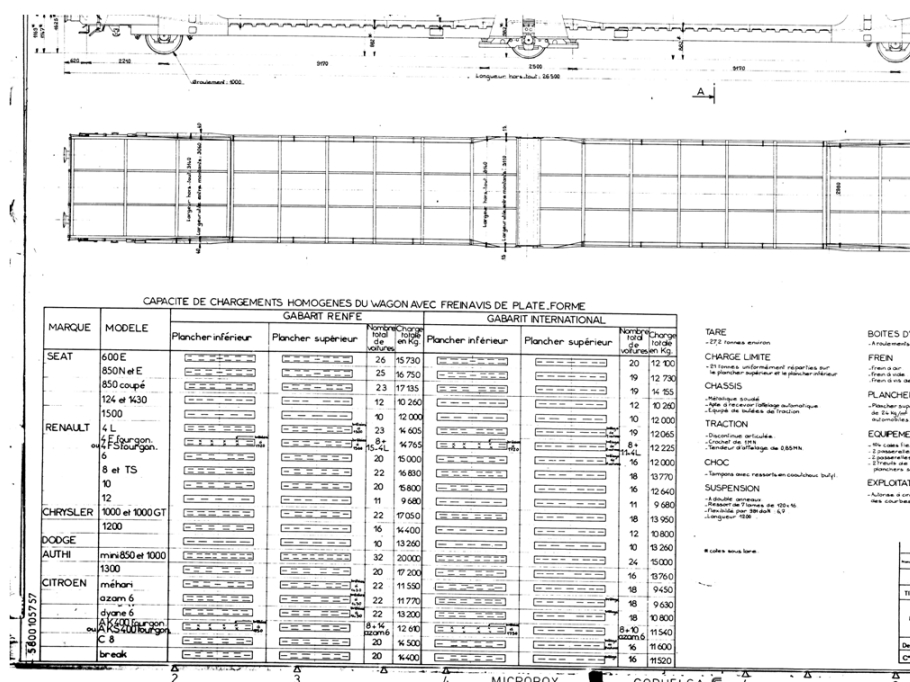


Figura 6 - Detalle de plano donde se aprecia la distribución de los automóviles

Es importante observar la posibilidad de transporte en dos hileras de los coches en ambos pisos (superior e inferior). Esto es algo que hoy es imposible de llevar a cabo por varias razones:

- El tamaño y la anchura de los coches han aumentado considerablemente impidiendo la colocación en paralelo para su transporte.
- La instalación de defensas anti-vandálicas en los laterales del vagón impiden la apertura de la puerta por la que debe salir el cargador una vez colocado el automóvil en la posición de transporte (ver apartado 4.7.3).

Aún así, la normativa vigente recoge esta posibilidad como puede leerse en el punto 4.1.2.3 de la ficha UIC 571-3 [10]:

The loading of motor cars shall, usually, be carried out in a single file. However, the loading of small motor cars in two files must not be excluded, at least on the lower loading deck.

Incluso a lo largo de la historia se han podido ver variedades más que innovadoras para el transporte de los automóviles, como refleja la Figura 7 de la carga de coches en EE.UU. realizada de manera vertical [11]. Aunque como ya se ha comentado, esto era posible gracias al gran gálibo existente en los EE.UU.



Figura 7 - Carga vertical de automóviles en EE.UU

2.3.4 Características más influyentes. Características de valor

Se puede considerar sin miedo a error, que el parámetro más importante y decisivo en el diseño de un porta-autos es la capacidad de aprovechar el volumen disponible al máximo para incorporar vehículos en su interior. Es importante remarcar esto pues, a diferencia de la gran mayoría de los vagones, en donde la característica fundamental es la carga máxima que pueden transportar, en los vagones porta-autos este dato es casi anecdótico ya que el peso de un coche con respecto a su volumen (su densidad) es mucho menor que la de cualquier carga útil que se suele transportar. Debido a esto, se suele decir que un vagón porta-autos transporta “aire”.

Pero en infinidad de ocasiones este aprovechamiento del espacio no es tan sencillo como pueda parecer, ya que hay que dejar ciertos márgenes de espacio impuestos por los fabricantes de automóviles para garantizar la seguridad en el transporte de los mismo (ver apartado 4.6.3). Y la gran mayoría de vagones tienen sus pisos de carga a unas alturas estándar definidas de fábrica y que no pueden cambiar. O en otros casos, el piso superior es regulable en altura pero sólo en taller. Por ello no todo entra y en repetidas ocasiones aparece el problema de no poder cargar el piso superior por sobrepasar en pocos centímetros la altura máxima permitida (el gálibo) cuando en el piso inferior sobran esos centímetros o incluso más. Y debe tenerse en cuenta que todo desplazamiento de un

vagón que no esté cargado es una pérdida de dinero para la empresa responsable de dicho transporte. Por lo que la versatilidad en este tipo de vagones es fundamental.

Últimamente se han fabricado vagones cuyo piso superior es regulable en altura por personal “en vía” (sin necesidad de pasar por taller), favoreciendo ese aprovechamiento del espacio y evitando en la medida de lo posible desplazamientos en vacío.

Suelen constar de unas alturas predefinidas (3, 5 ó más) en donde cabe la posibilidad de apoyar el piso superior, previa regulación de la altura por un sistema de elevación, normalmente por cable. Aunque en otros casos mediante regulación por unos gatos mecánicos.

Otra característica que otorga valor a cualquier tipo de material rodante es la capacidad de interoperabilidad. Esto es la capacidad que tiene de adaptarse a los diferentes anchos de vía y cumplir las legislaciones de diferentes países que le permitan circular por ellos. Son muchas las prescripciones que se deben cumplir, todas ellas recogidas en la ETI [8] y aunque muchas son características básicas a cumplir por todos los vagones, algunas son más específicas y limitan esta interoperabilidad. En España, hay dos características destacables que impiden a la mayoría de los vehículos ser interoperables:

- La capacidad del vagón para realizar intercambio de ejes de un ancho a otro
- La anchura existente entre los topes del vagón.

Por lo tanto podemos resumir que existen tres características fundamentales que le otorgan valor a un vagón porta-autos y que se denominan características de valor:

- El volumen de carga
- La versatilidad (aprovechamiento de dicho volumen)
- La interoperabilidad.

Aunque no es objeto de este proyecto, como continuación del mismo está la posibilidad de diseñar el sistema de elevación para el piso superior móvil que se diseña a lo largo de este documento (Ver capítulo 9).

2.4 El vagón a modificar

2.4.1 Descripción de características principales

El vagón que se tiene por objeto modificar es un vagón denominado Ladks. Esta denominación internacional sigue las reglas establecidas en la ficha UIC 438-2 [9], y define con este código alfabético todas las características del vehículo que lo hacen diferente a cualquier otro que no tenga los mismos caracteres. La Tabla 1 establece las características del vagón a partir de su denominación según el apéndice F.4 de la ficha UIC 438-2.

Tabla 1 - Características de un vagón Ladks

L	Vagón plataforma de ejes independientes
a	Vagón articulado
d	Establecido para el transporte de automóviles en un solo nivel (sólo un piso)
k	Carga por eje < 20 toneladas
s	Vagón autorizado a circular en condiciones “s” según se define en la ficha UIC 432.

Al ser un vagón de ejes independientes y estar articulado, se define de manera automática el número de ejes que monta: 3 ejes.

El régimen S de circulación establece la posibilidad de rodar a una velocidad máxima de 100 km/h, estableciendo a su vez el sistema de freno del vagón.

Cabe destacar a su vez (aunque este código no haga referencia) que el vagón es de ancho ibérico (1668 mm) y además posee ejes no intercambiables, por lo que está obligado tecnológicamente a circular sólo por la península ibérica. Por tanto es material no interoperable.

Dicho vagón plataforma se muestra en la Figura 8 y pertenece a la compañía SEMAT (Grupo TRANSFESA) formando parte a su vez del Pool Ibérico Ferroviario.

**Figura 8 - Vagón objeto sobre el que realizar el estudio**

Se observa en dicha figura que los elementos que forman el vagón son:

- Un bastidor que monta los órganos de rodaje, choque tracción, suspensión y freno.
- Un piso inferior fijo.

La descripción alfabética UIC engloba vehículos de características generales iguales, pero no hace referencia ni marca distinción alguna en las pequeñas características, como por ejemplo hemos visto la posibilidad de cambio de ejes. Por ello ocurre que muchos vehículos tienen una misma denominación. Para evitar confusión designaremos a los vagones con la identificación numérica que marca la misma ficha UIC 438-2 y que se considera internacionalmente reconocida como la matrícula del vehículo. Este código no sólo sirve para vagones sino que se aplica a todo el material rodante existente.

Se basa en 12 dígitos que al igual que las letras, marcan características propias que definen al vehículo. Pero a diferencia del anterior código, no puede darse una serie de vagones con la misma numeración. Se define la serie del vagón en los 4 dígitos intermedios, es decir, del 5º al 8º.

Se usará esta numeración para referirnos a los vagones que queremos modificar. De este modo el vagón de la Figura 8 corresponde a la serie 4219.

Es importante por tanto entender y tener en cuenta la diferencia entre denominación UIC y numeración UIC. La Tabla 2 recoge estas diferencias.

Tabla 2 - Diferencias en las denominaciones UIC según ficha 438-2

Denominación UIC	Código alfabético	Designa como es el vehículo
Numeración UIC	Código numérico de 12 dígitos	Identifica a cada vehículo. Matrícula.

2.4.2 Características dimensionales

- Longitud total entre topes: 26.500 mm
- Longitud del bastidor: 12.805 mm
- Empate de cada semivagón: 9.170 mm
- Longitud útil del piso inferior: 25.610 mm
- Ancho útil del piso inferior: 3.180 mm
- Altura máxima exterior del vagón: 3.383 mm
- Altura de los topes al carril (tara): 1.065 mm
- Altura del piso a vía: 917 mm (parte baja) – 1204 mm (parte alta)
- Diámetro de la rueda: 900 mm
- Distancia entre topes: 2000 mm

2.4.3 Características de carga

- Tara: 20.200 kg
- Carga máxima: 15.500 kg
- Carga máxima por eje: 20 t

2.4.4 Limitaciones actuales

En los apartados 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3 se mencionan las características actuales que posee el vagón bajo estudio. De estos datos y con lo dicho en el apartado 2.3.4 se puede

concluir que actualmente, por las especificaciones con que cuenta el vagón, éste es muy poco competitivo.

El hecho de sólo poder cargar en un piso genera menor margen de beneficios que otro vagón con dos pisos que carga el doble de automóviles. Por esta razón, este tipo de vehículos siempre estará relegado a la última posición entre los comerciales a la hora de ofrecer servicios a los fabricantes. Salvo para el transporte de vehículos específicos con gran altura (vehículos comerciales o camiones), tiene muy poca salida comercial.

Además es un vehículo que no tiene posibilidad de cambio de ejes para adaptarlo al ancho UIC y permitir la interoperabilidad con Europa, lo que le obliga a permanecer siempre en territorio ibérico y por ende, a depender del mercado que en él se genere.

Aunque el bastidor y los ejes lo permiten, el freno limita la carga que puede transportar esta plataforma, en caso de querer usarla de porta-derivados, ya que el freno se diseña específicamente para una masa máxima autorizada para el vagón.

En resumen, con las características que cuenta actualmente, este tipo de vagones están verdaderamente limitados.

Por ello se quiere acometer el estudio, diseño y análisis de una posible modificación que le otorgue nuevas características que le hagan competitivo y añada valor a la empresa propietaria. Y estas mejoras pasan por alcanzar las características que confieren valor al vagón mismo y las cuales se explicaban en el apartado 2.3.4.

2.4.5 Posibilidades de mejoras

Aunque será en el siguiente capítulo donde la normativa marque qué se puede cambiar, se puede hacer una primera criba a las características que por motivos económico-técnicos son inviables de llevar a cabo en una modificación manteniendo unos costes asumibles.

Se recogen en la Tabla 3 según las características de valor a las que corresponden.

Tabla 3 - Posibles mejoras a priori para emprender

Característica de valor	Mejoras	Viable / Inviabile
Volumen de carga	Añadir piso superior	Viable
	Modificación de parámetros de freno	Viable
Versatilidad	Hacer que el piso superior sea móvil y regulable en altura	Viable
Interoperabilidad	Modificación de los parámetros de rodadura (triángulos de freno..)	Inviabile
	Modificación del cabecero para cambiar el ancho entre topes	Inviabile

Se observa que todas las mejoras concernientes a la interoperabilidad son descartadas por lo que se podrá obtener un vagón competitivo dentro del territorio español.

La modificación de los parámetros de rodadura se descarta por la necesaria modificación de la parte inferior del bastidor y las sustituciones de los elementos estructurales del freno, labor que asumiría unos costes enormes por la obligación de volver a homologar dichas modificaciones.

En cuanto al cambio del ancho de los topes, no implica la ligera operación de cambiar la posición de los mismos acercándolos más para cumplir el requisito de 1850 mm, sino que habría que cambiar el cabecero entero ya que el diseño de este viene determinado por dicha anchura.

El resto de mejoras serán las que a priori se llevarán a cabo en la modificación del vagón.

2.5 Vagones similares al del estudio

A continuación se muestran las características de vagones con la misma denominación UIC que nuestro vagón salvo por la diferencia de que en lugar de una “d” (Ladks) hay una “e” (Laeks), lo que indica que dichos vagones disponen de 2 pisos para la carga de automóviles.

Esta comparación se lleva a cabo para una posible facilidad a la hora de homologación de características por similitud con otros vagones.

2.5.1 Serie de vagones Laeks 4270

La Figura 9 muestra a este vagón, hermano gemelo del vagón 4219, cuya única diferencia entre ambos reside en que este último dispone de dos pisos de carga, siendo el piso superior fijo a la altura determinada. Esta serie de vagones pertenece a la empresa SEMAT (Grupo TRANSFESA) y a su vez está dentro del Pool Ibérico Ferroviario.



Figura 9 - Vagón Laeks 4270

2.5.1.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

- Longitud total entre topes: 26.500 mm
- Longitud del bastidor: 12.805 mm
- Empate de cada semivagón: 9.170 mm
- Longitud útil del piso inferior: 25.610 mm
- Longitud útil del piso superior: 26.052 mm
- Ancho útil del piso inferior: 3.230 mm (entre montantes) – 3204 mm (entre protecciones)
- Ancho útil del piso superior: 2.888 mm (piso) – 2.622 mm (plataforma de descarga)
- Altura máxima piso inferior: 1.710 mm
- Altura máxima piso superior: 1.545 mm
- Longitud del piso móvil: - -
- Altura de los topes al carril (tara): 1.060 mm
- Altura del piso a vía: 912 mm (parte baja) – 1199 mm (parte alta)
- Diámetro de la rueda: 900 mm
- Distancia entre topes: 2000 mm

2.5.1.2 CARACTERÍSTICAS DE CARGA

- Tara: 26.500 kg
- Carga máxima: 19.500 kg
- Carga máxima por eje: 20 t

2.5.1.3 PESO ESTIMADO EL PISO SUPERIOR

Cómo la única diferencia entre la serie de vagones 4219 y la 4270 es la incorporación del piso superior de esta última, se puede a través de la diferencia entre las taras obtener el peso estimado del piso superior. Esto sería:

$$26.500 \text{ kg} - 20.200 \text{ kg} = \mathbf{6.300 \text{ kg}}$$

Aunque existen más parámetros que pueden influir en el peso, es bueno conocer que el orden de magnitud estará en torno a las 6 toneladas.

2.5.2 Serie de vagones Laeks 4273 y 4274

La Figura 10 muestra a este vagón, de características similares al anterior vagón descrito, cuya única diferencia entre ambos reside en que este último dispone de la posibilidad de intercambio de ejes y por lo tanto, la posibilidad de salir de España. Esta

serie de vagones pertenece a la empresa TRANSFESA y a su vez está dentro del Pool Hispanauto.



Figura 10 - Vagón Laeks 4273 y 4274

2.5.2.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

- Longitud total entre topes: 26.500 mm
- Longitud del bastidor: 12.805 mm
- Empate de cada semivagón: 9.170 mm
- Longitud útil del piso inferior: 25.610 mm
- Longitud útil del piso superior: 26.052 mm
- Ancho útil del piso inferior: 3.140 mm
- Ancho útil del piso superior: 3.140 mm (piso) – 3.060 mm (plataforma de descarga)
- Altura máxima piso inferior: 1.625 mm
- Altura máxima piso superior: 1.470 mm
- Longitud del piso móvil: 4.515
- Altura de los topes al carril (tara): 1.030 mm
- Altura del piso a vía: 982 mm (parte baja) – 1169 mm (parte alta)
- Diámetro de la rueda: 900 mm
- Distancia entre topes: 1850 mm

2.5.2.2 CARACTERÍSTICAS DE CARGA

- Tara: 27.200 kg
- Carga máxima: 19.500 kg
- Carga máxima por eje: 20 t

Capítulo 3

Normativa de aplicación

3.1 Términos Básicos

Ya se hizo mención en el capítulo anterior a qué era un vagón, pero se hace necesario conocer más específicamente la terminología empleada en la normativa ferroviaria para evitar dudas y confusiones a la hora de interpretar la misma. Es la propia normativa la que recoge las definiciones básicas y que se transcribe a continuación tal y como se plasma en el capítulo 3 de la orden ministerial FOM/233/2006, de 31 de enero [2]:

“Artículo 3. Clasificación del material rodante.

1. Integran el material rodante ferroviario aquellos vehículos capaces de rodar sobre los carriles que conforman las vías de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG), bien dotados de tracción que les permita moverse o bien que requieran de ella para ser remolcados.

2. A los efectos de esta orden, se distinguen las siguientes clases de material rodante:

a) Locomotoras. 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.

b) Unidades autopropulsadas. Las unidades autopropulsadas son aquellas composiciones de uno o varios vehículos que, formando un tren indeformable en

explotación, están dotadas de tracción térmica o eléctrica que las hace capaces de desplazarse por sí mismas.

c) Coches. Coches son los vehículos ferroviarios sin tracción propia habilitados para el transporte de viajeros, así como los vehículos complementarios para su servicio.

d) Vagones. Vagones son los vehículos ferroviarios sin tracción propia habilitados para el transporte de mercancías. Dentro de esta clase se consideran incluidos los vehículos ferroviarios especiales. Se entiende por tales aquellos vehículos diseñados expresamente para el transporte ferroviario que, por sus dimensiones o masas excepcionales, requieren unas condiciones particulares de circulación.

e) Material rodante auxiliar. Se considera material rodante auxiliar aquellos vehículos ferroviarios que están específicamente habilitados para las tareas de supervisión, reconocimiento y mantenimiento de la vía y de sus instalaciones fijas, incluyéndose, entre otros, la maquinaria de vía, los vehículos de socorro, los trenes taller y los vehículos automóviles adaptados para circular por las vías férreas.

3. Si los cambios tecnológicos y las circunstancias de explotación de la Red Ferroviaria de Interés General lo aconsejaren, se podrá modificar la clasificación establecida en el apartado anterior.”

También es importante clasificar las diferentes tipologías o estados de los vehículos ferroviarios, tal como recoge el Anexo A de la ETH de Material Rodante Ferroviario: Vagones [7]:

- Vehículo aislado: Vehículo que no se encuentra conectado a ningún otro vehículo.
- Vehículo acoplado: Vehículo que se encuentra conectado a otro u otros vehículos y circula de manera solidaria a éstos.
- Vehículos permanentemente acoplados: Vehículos cuyo acoplamiento o desacoplamiento debe realizarse únicamente en taller.
- Vagones múltiples y vagones articulados: Vagones definidos en la ficha UIC 572.

Dicha ficha UIC 572 [12] en su punto 1.2, define vagón articulado como:

« Un wagon articulé est un wagon constitué d'éléments liés entre eux par une articulation située au droit des organes de roulement intermédiaires. Il comporte au moins 3 essieux ou 3 bogies ».

Es de vital importancia conocer esto pues en el apartado 2.4.1 se dedujo, a partir de la denominación UIC, que la serie de vagones 4219 sobre la que se realiza el estudio y posterior modificación, son vagones articulados.

A su vez no conviene confundir vagón múltiple con vagón articulado. No es lo mismo. En la ficha UIC 572 [12] se definen estas diferencias en el primer apartado, aunque de cara a conocer brevemente sus diferencia se puede establecer que mientras que en un vagón articulado la unión se hace a través de una rótula situada en el centro del vagón (entre los dos semivagones), un vehículo múltiple no posee dicha rótula y en

cambio su unión permanente se establece mediante los elementos que se muestran en la Figura 11, extracto del anexo A de la ficha UIC 572 [12].

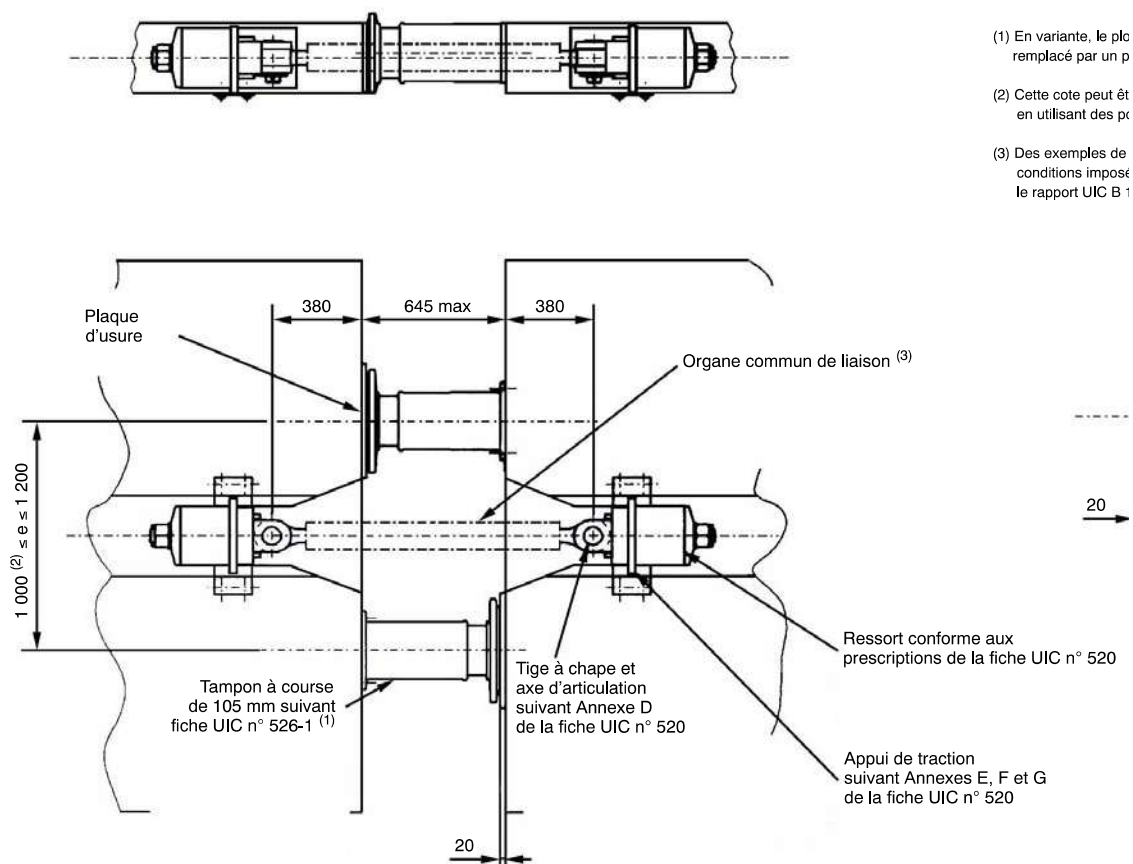


Figura 11 - Unión permanente de vagones múltiples [anexo A, ficha UIC 572]

También se hace indispensable definir el concepto de vehículo tipo y diferenciarlo del concepto de serie de vehículos.

Un vehículo tipo es aquel que es representativo de una serie de vehículos. Es decir, es el vehículo a partir del cual se fabricarán el resto. Es dicho vehículo tipo al que se le realizan todas las “pruebas de tipo” impuestas por la normativa, previas a su homologación. Hay otras pruebas, denominadas “pruebas serie”, que deben de pasar todos los vehículos que compongan la serie que quiere transformarse (en el caso que ocupa) o fabricarse, en el caso de ser material de nueva construcción.

Por ello, siempre que en el presente documento se haga referencia a la modificación del vagón 4219, se estará refiriendo a la modificación del vehículo tipo y posterior modificación de toda la serie de vagones siguiendo las prescripciones del tipo.

Finalmente, es importante definir qué considera la normativa de aplicación vigente como vehículo ferroviario modificado, ya que lo que se va a realizar al vagón 4219 es precisamente una modificación.

El artículo 6.3 de la “Orden FOM/233/2006, de 31 de enero” [2] define a qué se considera vehículo ferroviario modificado: “se entiende por vehículo ferroviario modificado aquel en el que se haya realizado cualquier modificación de sus características físicas o técnicas originales que afecte a sus condiciones de seguridad para

la circulación, compatibilidad técnica del vehículo con la infraestructura o, en su caso, a su interoperabilidad”.

3.2 Normativa de aplicación en España

La normativa que establece las condiciones que debe de cumplir el material rodante para poder circular por la RFIG es la “Orden Ministerial FOM/233/2006, de 31 de enero, por la que se regulan las condiciones para la homologación del material rodante ferroviario y de los centros de mantenimiento y se fijan las cuantías de la tasa por certificación de dicho material” [2].

Como se menciona en dicha Orden Ministerial, es la “Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario”, la que insta en su artículo 58 al Ministerio de Fomento a crear una Orden Ministerial que regule las condiciones y requisitos necesarios para la homologación y registro del material rodante ferroviario que circule por las líneas de la Red Ferroviaria Estatal y el régimen para la autorización y funcionamiento de los centros donde este material ha de ser contenido.

Es en el artículo 4 de la FOM/233/2006, de 31 de enero, donde se establecen los requisitos exigibles al material rodante para circular por la RFIG.

Dicho artículo establece que todo material rodante debe de estar en posesión de dos autorizaciones para poder circular:

- Autorización de puesta en servicio, que la concede la Dirección General de Ferrocarriles (DGF).
- Autorización de circulación, que la concede el administrador de la infraestructura ferroviaria (ADIF).

El artículo 4.2 de la FOM establece que [2]: Las autorizaciones de puesta en servicio emitidas por la Dirección General de Ferrocarriles pueden ser de primer o de segundo nivel, y se reflejarán en un documento denominado «Autorización de Puesta en Servicio».

Los puntos 4.3 y 4.4 de la FOM describen como es cada tipo. La Tabla 4 muestra estas diferencias.

Tabla 4 - Diferentes tipos de autorización de puesta en servicio

Autorización de puesta en servicio	Caracteriza al material	Solicitante	Normativa a cumplir
Primer nivel	Interoperable	El titular de vehículo	ETI que le sea de aplicación y resto de condiciones de la ETH que le sea de aplicación.
Segundo nivel	No interoperable	Fabricante, titular o empresa ferroviaria.	ETH que le sea de aplicación.

Por lo tanto, la autorización de puesta en servicio que debe exigirse al vehículo 4219 es de segundo nivel, debido a las características que recoge el apartado 2.4.1.

Como se comentó en el apartado 2.2, puede observarse en la Tabla 4 que para obtener una autorización de puesta en servicio de primer nivel, además de las especificaciones impuestas por la ETI, hay que cumplir el resto de características de la ETH que sean de obligación, exigiendo al sector del transporte de mercancías por ferrocarril en España un mayor esfuerzo que los que tienen en el resto de Europa.

Según dicta el artículo 4.5 de la FOM/233/2006 [2]: El ADIF otorgará la autorización de circulación a los vehículos ferroviarios que cuenten con la correspondiente autorización de puesta en servicio de primer o segundo nivel, y hayan superado satisfactoriamente los recorridos requeridos por aquél con arreglo a lo establecido a tal efecto en las ETH que les sean de aplicación.

El título II (“Validación de vehículos ferroviarios”) de la “Orden FOM/233/2006, de 31 de enero” establece el procedimiento de validación de un vehículo ferroviario, previo a la obtención de la autorización de puesta en servicio.

Este título II de la “Orden FOM/233/2006, de 31 de enero” es el que habría que seguir para obtener la validación del vehículo si no fuera porque existe una Resolución Circular de obligado cumplimiento de dicha Orden Ministerial y que “es aplicable a aquellos vehículos que van a ser objeto de modificación y que disponen de autorización de puesta en servicio de acuerdo a lo establecido en la Orden FOM/233/2006, así como a aquel otro material rodante ferroviario que, por encontrarse ya autorizado antes de la entrada en vigor de la citada orden o incluido en el régimen transitorio de la misma, únicamente dispone de autorización de circulación.”, tal como cita el apartado I de la “Resolución Circular 1/2011 sobre el procedimiento de validación de vehículos ferroviarios modificados, conforme a lo dispuesto en la orden FOM/233/2006, de 31 de enero, de material rodante” [13]. El Anexo B contiene dicha Resolución Circular.

Según esta Resolución Circular (RC), el vehículo Ladks 4219 a modificar, necesitará una nueva autorización de puesta en servicio en cumplimiento de los punto II.c, d, e y f.

Por concurrir en las características enunciadas en el punto III de la RC, se considerará la modificación a efectuar en el vagón como modificación significativa. Como contempla este mismo punto, “Corresponde al titular del vehículo existente por sí o, a través de delegación realizada a la empresa ferroviaria o fabricante (en lo sucesivo, el “solicitante”), la valoración de estos aspectos y el pronunciamiento, basándose en el juicio de expertos, sobre si las modificaciones pueden considerarse o no significativas.”

El apartado IV.2 de la RC establece que: “La solicitud de modificación de material rodante ferroviario se remitirá en todos los casos (por el solicitante), independientemente de la consideración final acerca de la necesidad o no de nueva autorización de puesta en servicio, a la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias antes de iniciar el proceso de implantación de la modificación; remitiéndose, así mismo, de forma simultánea una copia completa de aquella al ADIF.”

Como se ha concluido que es necesaria una nueva autorización de puesta en servicio debido a las modificaciones a realizar, debe seguirse el proceso que se indica en el apartado V de la RC. En dicho apartado se remarca que el organismo certificador encargado de acreditar las características y/o ensayos exigidos en la ETH (en este caso por ser de segundo nivel) para la solicitud de la nueva autorización de puesta en servicio, sólo abarcará las características de la ETH que se ven influidas en dicha modificación y que previamente deben de ser definidas por el solicitante en la solicitud.

Además, al tratarse de una modificación significativa, junto con la solicitud se debe entregar un informe de riesgos que defina los riesgos derivados de la implantación de la modificación, según se indicada el apartado IV.1.e de la RC. No es objeto de este proyecto acometer la redacción de este informe de riesgos (ya que además de extrapolarse de los límites marcados para el proyecto, según la normativa debería ser hecho por un organismo evaluador independiente). A pesar de ello se incluye como futuro trabajo en el capítulo 9.

3.3 Características a evaluar derivadas de la modificación

Como se ha visto en el apartado anterior, para obtener las autorizaciones necesarias para el retorno a la circulación de la serie de vagones una vez realizada la modificación, debemos realizar dichas modificaciones bajo los requisitos exigidos en la ETH de material rodante, pero sólo de aquellas características que se vayan a ver influidas por la modificación. Estas características influidas deberán ser aprobadas después por un organismo certificador que verifique que las mismas cumplen los parámetros exigidos en la ETH.

Por lo tanto, los requisitos para el nuevo diseño son los impuestos en la ETH y en concordancia con ella debemos llevarlos a cabo.

Las características a evaluar de la ETH debidas a la modificación que se quiere efectuar y que se define en el apartado 2.4.5, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 - Características a evaluar “a priori” de la ETH

Característica de la ETH	Parámetro a evaluar
4.1.1.1	Resistencia de la caja de los vehículos
4.2.1.1	Gálibo
4.2.1.2.1	Comportamiento dinámico del material
4.2.3.1.1	Principio general de frenado
4.2.3.1.2	Requerimientos del sistema de frenado
4.2.3.1.3	Características mínimas de frenado
4.2.3.1.4	Distancia de parada con freno de urgencia
4.2.3.2.1	Prestaciones del freno de servicio

De estas características, este proyecto sólo incluirá las que tienen que ver con la estructura y caja de vehículo, es decir, las 3 primeras. El resto de características son como parte de la modificación del freno, que sería necesaria llevar a cabo para elevar la capacidad de carga del vagón, ya que como se vio en el apartado 2.4.4, en estos vagones la capacidad de carga únicamente está limitada por el diseño del freno. Se establece entonces como futuro trabajo a llevar a cabo y como tal se refleja en el capítulo 9.

Las prescripciones recogidas en la ETH de Vagones [7] para cada uno de los tres parámetros a evaluar son las que siguen:

4.1.1.1 - Resistencia de la caja de los vehículos

La resistencia estática de las cajas de los vehículos será conforme a la norma UNE-EN 12663, complementada por la ETI de Material Rodante-Vagones para los vagones interoperables.

El ensayo de tipo a la estructura de caja del vagón se realizará siguiendo las prescripciones de la norma UNE-EN 12663.

Se realizará un control de la fabricación del bastidor de caja mediante las siguientes verificaciones:

Comprobar las soldaduras, según norma UNE-EN 15085-5 (inspección visual y por métodos de ensayo no destructivos).

Comprobar la estanqueidad de tolvas (control de soldaduras) y cisternas (prueba hidrostática realizada según RD 769/1999).

Realizar una verificación dimensional del bastidor. Medición de la cota del plano de carga.

4.2.1.1 – Gálibo

El material rodante deberá cumplir lo establecido en la Instrucción de Gálivos Ferroviarios.

Se podrá admitir material rodante con gálivos cinemáticos mayores para circular por una línea cuando el administrador de la infraestructura lo permita.

Para los ensayos de tipo a vehículo completo se medirán los contornos del vehículo real para comprobar que están de acuerdo con los empleados en los cálculos.

En el ensayo de serie se realizará una verificación de gálibo en vía nivelada.

4.2.1.2.1 – Comportamiento dinámico del material

El comportamiento dinámico del material deberá ser conforme a la norma UNE-EN 14363.

Los vehículos deberán ser aptos para circular con el tipo de velocidad en curva Normal (la aceleración no compensada es de $0,65 \text{ m/s}^2$), existente en la Declaración sobre la Red.

El ensayo de tipo se realizará a vehículo completo conforme a la norma UNE-EN 14363.

Este proyecto recoge las exigencias teóricas de dichas características, empleándolas para el diseño y el análisis. Todo lo que tenga que ver con la realización de ensayos será obviado ya que el objeto de este documento es un primer análisis y diseño de las estructuras derivadas de las modificaciones que se pueden realizar.

A partir de estas bases, la características 4.2.1.2.1 exige el cumplimiento de una norma EN-UNE. Esta norma UNE-EN 14363 [14] sólo hace referencia a los parámetros que se deben de tomar en consideración para la realización de los ensayos oportunos y la manera de cómo llevar a cabo dichos ensayos. Por lo que no se tomará en cuenta la exigencia de estas características por extrapolarse más allá de los límites del proyecto.

En resumen, las únicas características a evaluar serán las recogidas en la Tabla 6.

Tabla 6 - Características finales a evaluar de la ETH

Característica de la ETH	Parámetro a evaluar
4.1.1.1	Resistencia de la caja de los vehículos
4.2.1.1	Gálibo

Capítulo 4

Diseño de las modificaciones

4.1 Teoría del proceso de diseño

El diseño en ingeniería puede describirse como el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización. Es importante destacar el hecho de que es un proceso que debe ir encaminado a cubrir cierta necesidad.

El proceso de diseño, también se puede definir como una guía general de los pasos que pueden seguirse para dar al ingeniero, cierto grado de dirección para la solución de problemas. Los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de pasos y procedimientos de diseño. El seguir las reglas estrictas del diseño, no asegura el éxito del proyecto y, aún, puede inhibir al diseñador hasta el punto de restringir su libre imaginación. A pesar de esto, se cree que el proceso de diseño es un medio efectivo para proporcionar resultados organizados y útiles.

El diseño, por lo tanto, es un ejercicio de creatividad e innovación aplicadas en el que se integran numerosas disciplinas y donde es innegable el papel fundamental que juega la experiencia del diseñador. Además, el proceso de diseño y sus posibles implicaciones, no se acaban en la fabricación y el montaje sino que se extienden a lo largo del ciclo de vida del producto. Debe recalcarse que el proceso de diseño no es lineal y una de sus características fundamentales es su obligada interactividad entre sus diversas partes.

En la actualidad, la variabilidad y globalidad de los mercados obligan a las empresas a diseñar, fabricar y homologar sus productos en el menor tiempo posible, a costes más

bajos y con la mayor calidad. Todo ello para mantener un nivel aceptable de competitividad.

En la Figura 12 se muestra el proceso de diseño estándar de un producto cualquiera. Se puede observar que hay dos recirculaciones que invitan al rediseño desde etapas diferentes.

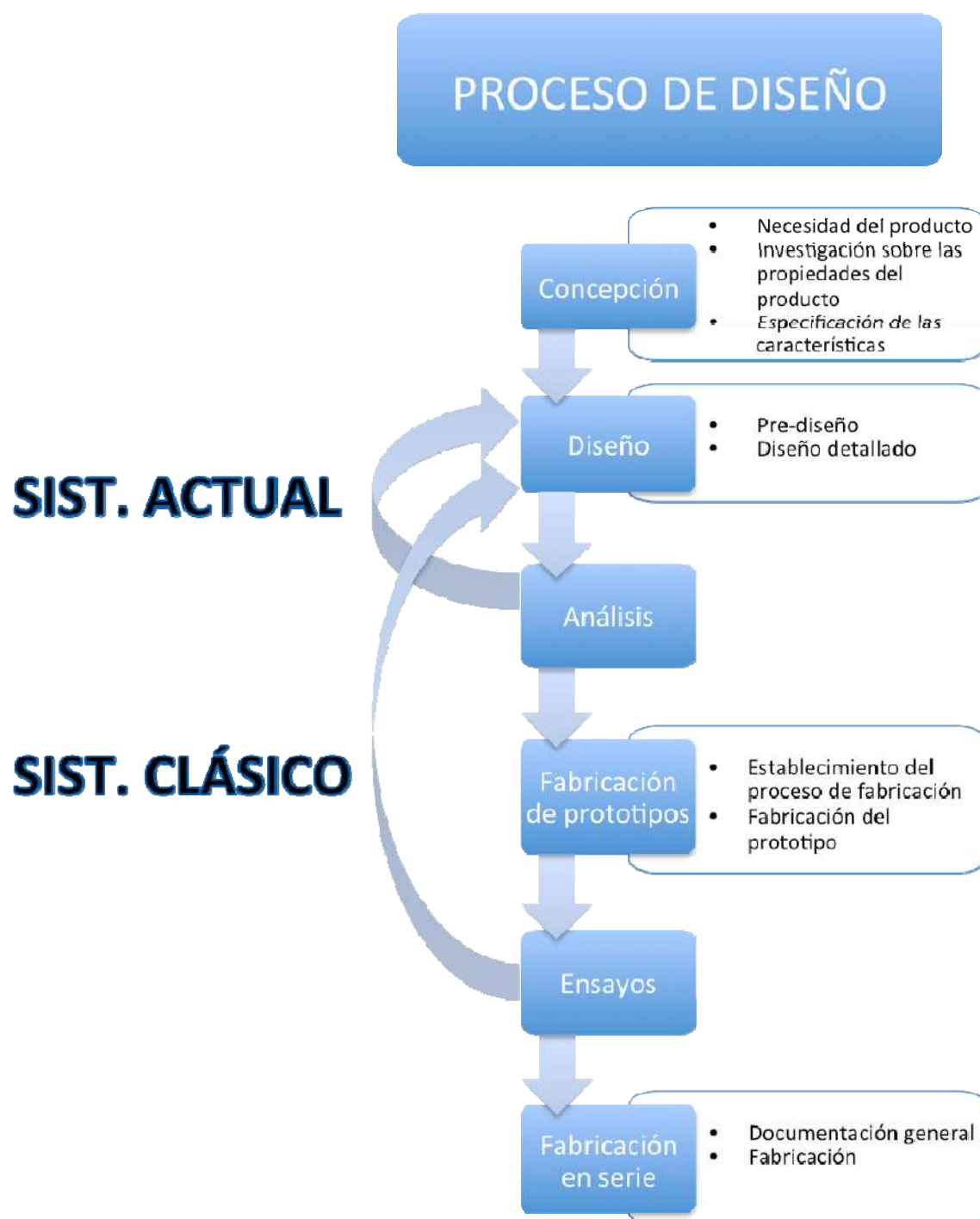


Figura 12 - Etapas del proceso de diseño

El sistema clásico se refiere al proceso existente antes de la llegada de los programas de elementos finitos, de los cuales se trata más detalladamente en el apartado 5.3. Este

modelo tiene el inconveniente fundamental de que los posibles errores de conceptualización y diseño sólo pueden ser detectados al final del ciclo en la fase de ensayo. Esto significa la construcción de infinidad de costosos prototipos y ensayos, y que las operaciones de rediseño tengan una fuerte repercusión tanto económica como en el tiempo de fabricación final.

Gracias a la evolución de la tecnología se ha permitido la automatización de los métodos clásicos de análisis. Los métodos de simulación y análisis por ordenador permiten abordar con cierta facilidad casos en los que se requiere una respuesta lo más aproximada a la realidad en el menor tiempo posible y con la posibilidad de plantear cambios a partir de los resultados obtenidos en el modelo inicial, sin necesidad de costes añadidos en la creación de un elevado número de prototipos.

Para la realización de la modificación del vagón se establece el uso de este último método de diseño por las ventajas en tiempo y ahorro de coste que conlleva. Por ello y a partir del proceso descrito en la Figura 12, se establece una metodología que será la que se siga para el desarrollo del diseño que ocupa y para la óptima obtención de unos resultados que cumplan con los requisitos que se plantean en los apartados 4.2 y 4.3.

La Figura 13 muestra la metodología que se seguirá en el desarrollo de las modificaciones que se deben de llevar a cabo en el vagón porta-autos y que son un detalle de los procesos de diseño y análisis que se englobaban dentro del proceso general de la Figura 12, realizando la recirculación de optimización entre el análisis y el diseño. Siguiendo este esquema general, se puede llegar a la conclusión de que los capítulos 2 y 3 han sido la parte de la concepción donde se han planteado las necesidades y se ha investigado sobre las propiedades que se deben de cumplir.

El capítulo 4 da a conocer en detalle todo el proceso que ocupa el diseño, desde los requerimientos que impone la normativa y que se imponen al diseño para optimizar tiempos y costes, hasta los diseños básicos que se realizarán en un primer momento de los elementos del piso superior (antes de ver si cumplen o no las especificaciones), pasando por el desarrollo de un sistema para la implementación del gálibo del vehículo dentro del diseño CAD.

El apartado de análisis se llevará a cabo en el capítulo 5, en el cual se expondrá cómo realizar los análisis necesarios para verificar que los diseños efectuados cumplen con las especificaciones y por tanto son aptos para la construcción. Aunque como se puede ver en la Figura 13, dichos diseños se verán sometidos a un proceso de optimización por el cual se mejoran para obtener los resultados que optimicen los requerimientos constructivos pero también los requerimientos específicos de diseño que garanticen un valor óptimo en cuanto al coste del mismo.

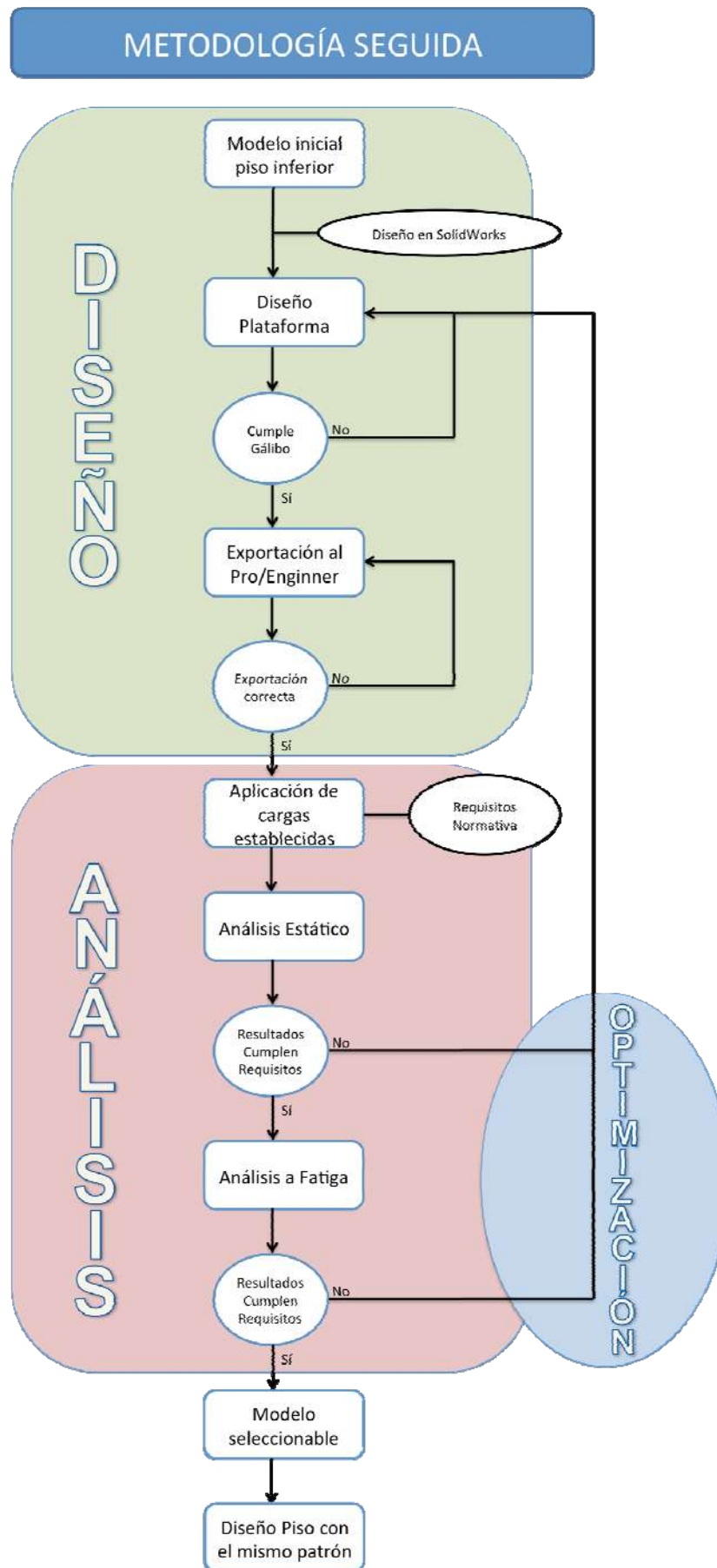


Figura 13 - Metodología seguida en el proyecto

4.2 Prescripciones generales en el diseño de un vagón

4.2.1 Requisitos exigidos por el tipo de explotación

Un vagón de mercancías es un vehículo sometido a unas condiciones muy exigentes de trabajo y expuesto a todo tipo de inclemencias e imprevistos. Si se hace una comparación rápida con otro vehículo que también está sometido a grandes sollicitaciones, es decir, con un camión, la diferencia fundamental reside en que un camión está cuidado y mantenido de manera habitual por su conductor (el cual suele ser el dueño y por tanto, procura evitar todo tipo de percances). En cambio, un vagón puede llegar a ser maltratado hasta el extremo. Los maquinistas, al no ser suyo el material, prestan menos atención y en muchas ocasiones se producen grandes topetazos.

Se plantea el problema de que al ser una industria en donde se manejan elementos de gran tamaño y grandes pesos, los elementos son menos manejables y los medios para su manejo son menos finos y cuidadosos, por lo que la aplicación de grandes cargas y fuerzas concentradas son habituales y aparecen como resultado de la dificultad en la maniobra de las máquinas que cargan.

Además, hay que tener en cuenta que los vagones pueden pasar largas temporadas a la intemperie, aparcados en cualquier apartadero o vía muerta, sin ningún tipo de vigilancia, a la espera de que salga un trabajo en el cual sean de utilidad. Por ello la humedad, la lluvia, el viento, el polvo e incluso la nieve pueden acompañar a uno de estos vehículos durante una larga temporada. Y son factores que ningún componente mecánico ni estructural de acero suele soportar excesivamente bien.

Por lo tanto un vagón está condenado a soportar condiciones externas muy adversas y extremas.

Aunque los vagones, al igual que otros vehículos, están obligados a tener un mantenimiento periódico, las condiciones impuestas son que este mantenimiento se debe efectuar cada 6 años (en la mayoría de los vagones). Esta condición, a priori permisiva, no implica riesgo alguno para la seguridad de la circulación, por lo que en principio, un vagón puede aguantar 6 años bajo cualquier situación de explotación a la que esté sometido.

Conviene aclarar que la Dirección de Seguridad de la Circulación (responsabilidad del ADIF) establece ciertas instrucciones que el vagón debe de cumplir tras un largo periodo de inactividad antes de volver a la circulación. En el caso de periodos de inactividad superiores a un año debe superarse la Instrucción General nº4 [15].

Estas condiciones de explotación cierran la puerta a gran parte de sectores tecnológicos implantados últimamente en otras industrias, como puede ser la electrónica y la automática, optando por soluciones mecánicas que tienen una más que demostrada durabilidad, seguridad y robustez bajo cualquier situación.

Consecuentemente, estas características de explotación son el día a día y por tanto, cualquier diseño que se haga tiene que tenerlas en cuenta.

A continuación se muestran, una vez conocidas las condiciones exteriores a las que se deben enfrentar este tipo de vehículos, los parámetros de diseño de obligado cumplimiento:

- Sistemas muy robustos
- Totalmente mecánicos
- Con una mecánica simple y sencilla
- Fáciles y accesibles para las reparaciones
- Muy duraderos
- Preparados para soportar cualquier inclemencia meteorológica

4.2.2 Requisitos que se quieren imponer de cara a la fabricación

Debido a la gran competitividad que existe hoy en día, la única manera de poder obtener cierto margen de beneficios a la vez que se ofrece unos precios asequibles es intentando reducir los costes que se generan.

En el caso que ocupa, es evidente que una modificación de un vagón se realiza porque se espera tener un uso de ese tipo de vagones una vez le sean otorgadas las nuevas capacidades previstas. Y para que se lleve a cabo una modificación, el coste de la misma debe ser muy ajustado y merecer la pena respecto a lo que supondría la fabricación de material rodante nuevo.

No sólo se debe tener en cuenta el reducir el coste en la fabricación, sino reducir el coste de mantenimiento a lo largo de la vida útil del producto en cuestión. Y en ocasiones esto supone aumentar de un lado para obtener márgenes más bajos en otros.

Un ejemplo de fabricación de piso superior se muestra en la Figura 14. Este modelo es el que actualmente monta la serie de vagones 4273 y 4274.

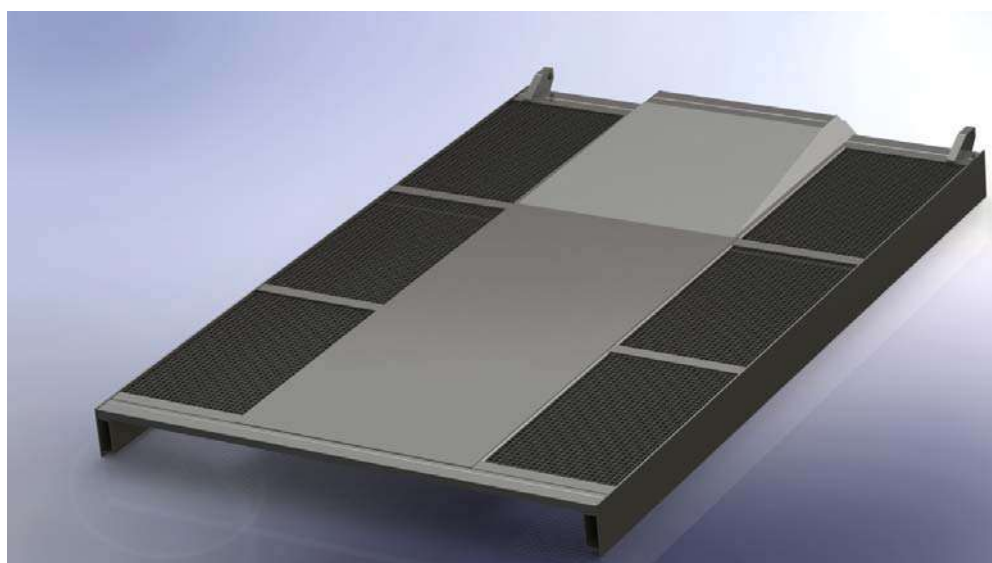


Figura 14 - Plataforma de descarga del vagón 4273 y 4274

En este diseño se dan muchas posibles mejoras que se quieren adoptar para la construcción del piso que ocupa. A groso modo se comentará que los largueros están formados por vigas UPN220 reforzadas mediante unas chapas que cierran el perfil. Esto obliga a soldar con dos cordones de soldadura toda la longitud del larguero. Además los travesaños son perfiles UPN80 que al igual que antes están cerrados para ganar en rigidez, pero no sólo están soldados, sino que además se han recortado para permitir que el espesor de las rejillas que van sobre ellos coincida con el ancho que existirá entre la chapa soldada y la superficie del perfil UPN. La Figura 15 muestra esto.

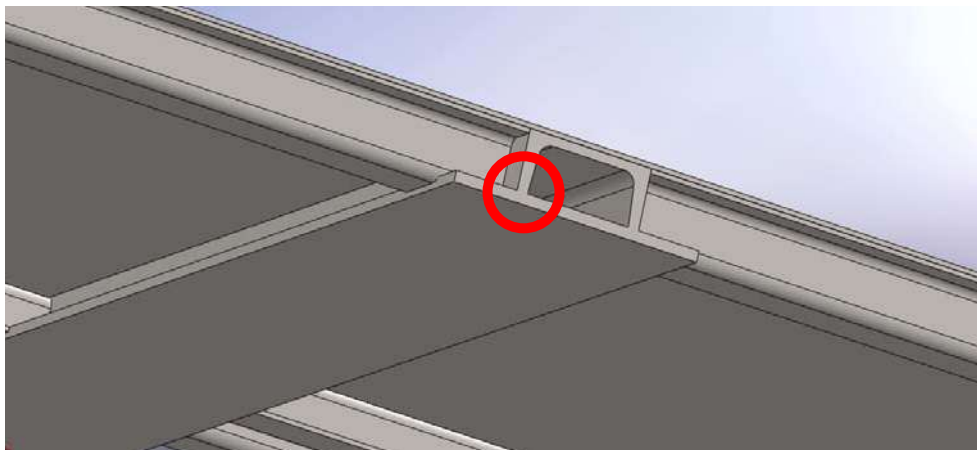


Figura 15 - Detalle perfil UPN recortado para soldar con placa

Por lo que se está tomando para la construcción del piso un perfil UPN totalmente hecho a medida y que necesita de dos cordones de soldadura que recorran todo el travesaño para unir la chapa al perfil UPN recortado.

Si se tiene en cuenta lo anterior y el tipo de modificación que se quiere realizar, las medidas a adoptar son las siguientes:

- Utilización de piezas sencillas de fácil reparación
- Uso de elementos normalizados
- Reducción de las uniones soldadas
- Optimización del peso
- Simetrías
- Uso del menor número de piezas distintas

En primer lugar, el uso de piezas sencillas equivale a que las reparaciones sean menos costosas en tiempo y lo que es lo mismo, en dinero, además de que su manejo y la formación necesaria para su uso siempre será más extendida que piezas extrañas que nadie haya visto nunca antes.

El uso de elementos normalizados se justifica por el bajo coste de fabricación que tienen este tipo de elementos frente a soluciones “a medida”. Además de ventajas intrínsecas como son el amparo que supone la normativa que los regula y el amplio conocimiento que cualquier fabricante, montador o mantenedor tiene de ellos. También es importante el hecho de que en caso de tener que ser repuestos, siempre será más fácil adquirir un elemento normalizado que uno que no lo es.

Existen dos razones para justificar la reducción de las zonas soldadas. La primera razón nace de la base de que todo aquello que va soldado, puede estar bien soldado pero

también puede estar mal. Este es un parámetro decisivo, pues la fabricación de estos componentes suele hacerse de manera artesanal, por lo que dependiendo del soldador que sea, podemos encontrarnos soldaduras mejores u otras no tan buenas. Y el problema que acarrea una soldadura mal hecha es un posterior mantenimiento continuado de la misma y que haya zonas sometidas a solicitaciones para las que no han sido diseñadas. En segundo lugar y no por ellos menos importante, el coste que supone la mano de obra encargada en llevar a cabo dicha soldadura.

Con la optimización de peso se busca que las solicitaciones de carga que deba soportar nuestro material vengan en su mayor medida de carga por la que el cliente paga, *payload*, y no que el peso propio de los materiales nos reste capacidad. Como ya se ha comentado en el apartado 2.3.4, en el caso de un vagón porta-autos esta no es una medida de peso ya que no se transportan grandes cantidades de masa, pero en cualquier otro diseño donde el peso sea el factor limitante, el ganar algo de peso puede suponer obtener a largo plazo una rentabilidad mayor con el transporte del vagón.

La justificación de buscar simetrías es similar a la que se plantea por el uso de la mayor cantidad posible de piezas iguales. En ambos casos, la posibilidad de una mayor economía de escala en la compra de las piezas iguales. Pero no sólo eso. También se busca evitar que en los almacenes se mantenga un stock de miles de pocas piezas, las cuales se tienen para posibles reparaciones y que en muchos casos y debido al gran número de piezas diferentes acaben siendo perdidas. En cambio, con un mayor número de componentes iguales sería más probable encontrar siempre el repuesto necesario para una cierta aplicación.

Lamentablemente, todo lo que se recoge a lo largo de este apartado y del anterior invita a la nula innovación en el sector y apuesta por soluciones conocidas y con enorme experiencia y robustez. Si a eso le sumamos lo expuesto en el apartado 3.2 sobre la excesiva restricción que impone la normativa española frente a la europea, el escenario de innovación inexistente no parece tener salida.

4.3 Normativa implicada en el diseño

Como se comentó en el apartado 3.3, las únicas modificaciones que se efectuarán finalmente sobre el vagón son las que afectan a las características que aparecen en la Tabla 6. Por lo tanto, las modificaciones que se plantean van a consistir básicamente en el estudio, diseño y análisis de la inserción de un segundo piso que tenga la capacidad de ser móvil.

Las normativas de obligado cumplimiento para la verificación de las características a verificar de la ETH se recogen en la Tabla 7.

Tabla 7 - Normativas aplicables en las características a evaluar

Característica de la ETH	Descripción	Normativa
4.1.1.1	Resistencia de la caja de los vehículos	UNE-EN 12663
4.2.1.1	Gálibo	Instrucción de Gálíbos Ferroviarios

4.4 SolidWorks

El diseño de todos los elementos que engloban la modificación, así como del conjunto del vagón necesario para conocer el resultado final, se ha efectuado con la suite del programa SolidWorks. Cabe destacar que todos los diseños 3D que se muestran en este documento han sido realizados por el autor del mismo bajo la licencia que la empresa TRANSFESA posee del producto.

SolidWorks es un programa de diseño asistido por ordenador para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes, para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico, que usa el kernel de modelado geométrico Parasolid (Núcleo que pertenece a Siemens PLM Software, desarrollador de Solid Edge y de NX). Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

La Figura 16 muestra el vagón objeto diseñado con esta herramienta CAD.

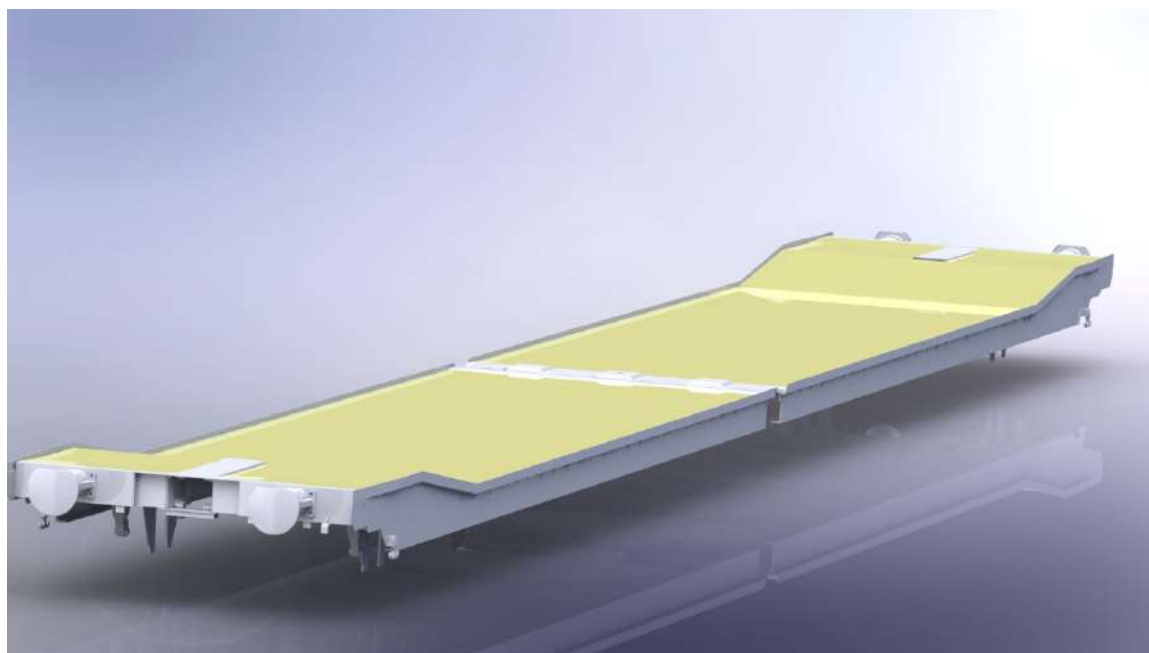


Figura 16 - Diseño en 3D del vagón objeto actual

Se quiere destacar que este diseño servirá como base a partir del cual levantar la superestructura que supone la adición del piso superior. Por ello, se ha dibujado de manera real todos los componentes que pueden afectar a dicha construcción, que son todos los elementos estructurales que forman el bastidor del vehículo. Se han obviado otros sistemas como pueden ser la rodadura y el sistema de freno por no influir ni ser relevantes para el diseño que se quiere realizar.

4.5 Modelización del gálibo de nuestro vehículo

4.5.1 Introducción

Antes de acometer la empresa de crear una superestructura sobre nuestro vagón objeto, se considera imprescindible el conocimiento del espacio que se tiene disponible para tal efecto. El conocimiento de estas condiciones de contorno en el diseño evitarán futuras modificaciones y retrospectivas, ahorrando y optimizando el tiempo de diseño.

El espacio exterior de un vagón de mercancías, así como el de cualquier otro vehículo de transporte, ya sea por carretera o ferrocarril, debe tener unas dimensiones máximas las cuales no se pueden superar para no poner en peligro la seguridad de los otros vehículos y para no dañar la infraestructura. Se considera que la seguridad en la circulación estará siempre garantizada, mientras se mantenga en perfecto estado la interfaz vehículo-infraestructura.

Para mantener y respetar esta interfaz, se diseña una envolvente virtual en la cual se tiene en cuenta los posibles movimientos debidos a una circulación normal, como por ejemplo son los balanceos en curvas con peraltes. A esta envolvente del vehículo que marca las distancias máximas que garantizan la compatibilidad de éste con la infraestructura, se denomina gálibo del vehículo.

A lo largo de este apartado se analiza en primer lugar como calcular el gálibo de cualquier vehículo, particularizando más adelante para el vehículo objeto y terminando por la implementación de una nueva forma de integrar el gálibo en el proceso de diseño del vagón de manera más efectiva desde el punto de vista productivo que la que se tenía hasta ahora, mediante la herramienta SolidWorks.

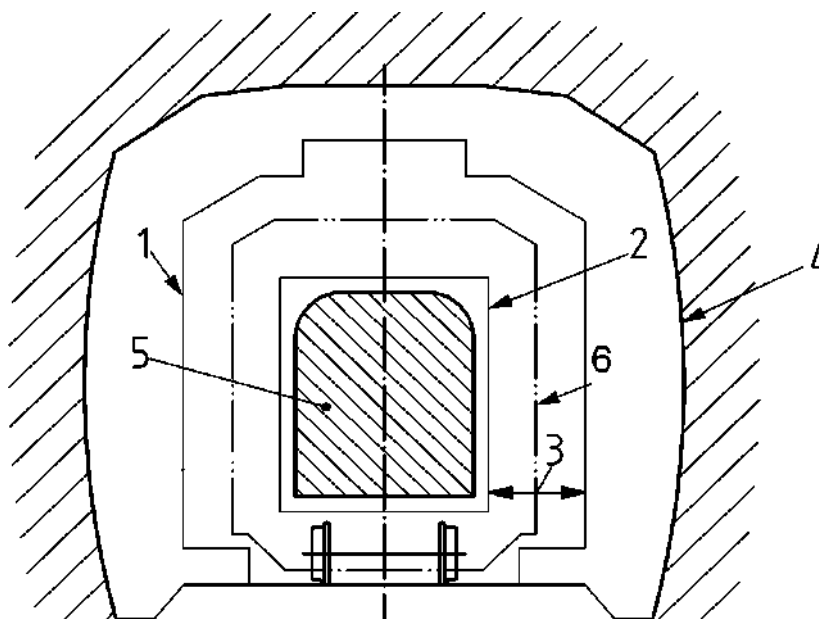
4.5.2 Generalidades

El punto 3.3 de la norma UNE-EN 15273-1 [16] define el gálibo como el “conjunto de reglas, que incluyen un perfil de referencia y sus reglas de cálculo asociadas, que permiten la definición de las dimensiones externas del vehículo y el espacio que hay que dejar libre en la infraestructura.”

Existen tres normas que regulan estas reglas. No sólo las empleadas en el cálculo del gálibo de material rodante, sino también las que regulan de manera similar el gálibo de la infraestructura, denominado en ferrocarriles como gálibo de implantación de obstáculos. La Tabla 8 muestra la relación de las normas con su campo de alcance y la Figura 17 los gálibos considerados.

Tabla 8 - Normas para el cálculo de los gálíbos ferroviarios

Normas para el cálculo de gálíbo	
Denominación de la norma	Alcance de aplicación
Ficha UIC 505-1	Todos los que sigan los parámetros UIC
Norma UNE-EN 15273	Europea
Instrucción de gálíbos ferroviarios	Nacional



- (1) Gálíbo de implantación de obstáculos
- (2) Gálíbo del material rodante (perfil constructivo máximo del material)
- (3) Suma de los movimientos del vehículo y de los fenómenos de interacción con la infraestructura
- (4) Infraestructura
- (5) Vehículo
- (6) Contorno de referencia

Figura 17 - Gálíbos considerados [Instrucción de Gálíbos Ferroviarios]

Pero como refleja la Tabla 7, el diseño del piso superior del vagón objeto está regulado por la normativa española vigente que se ha analizado a lo largo del Capítulo 3, por lo que debe cumplir categóricamente las premisas que marca la Instrucción de Gálíbos Ferroviarios.

Debido, como ya se ha comentado en el apartado 4.5.1, a los movimientos que se producen en el tránsito del material rodante por la vía, se pueden producir desplazamientos que saquen partes del vehículo más allá del gálíbo establecido. Por eso el material rodante cuenta con tres tipos de gálíbos que tienen o no en consideración estos factores. Según recogen los apartados 3.7, 3.8 y 3.9 de la UNE-EN 15273-1 [16] se define:

- Gálibo estático: Combinación del perfil de referencia específico y sus reglas estáticas asociadas.
- Gálibo cinemático: Combinación del perfil de referencia específico y sus reglas cinemáticas asociadas.
- Gálibo dinámico: Combinación del perfil de referencia específico y sus reglas dinámicas asociadas.

El punto 3.4 de la norma UNE-EN 15273-1 [16] define el contorno o perfil de referencia, RP, como la “línea específica para cada gálibo, que representa la forma de la sección transversal y se usa como una base común para desarrollar las reglas de dimensionamiento de la infraestructura y del vehículo.” En la Figura 17 se puede apreciar dicha línea respecto de los demás elementos.

Por tanto, dependiendo de cómo sea el perfil de referencia, obtendremos un gálibo u otro. Enlazado con esto, el punto 3.25 de la norma UNE-EN 15273-1 [16] define el gálibo máximo de construcción del vehículo como “el espacio máximo obtenido aplicando las reglas asociadas que proporcionan las reducciones E_i y E_a que se deben restar en relación con el perfil de referencia.”

Estas reglas asociadas según expone el punto 3.6 de la norma UNE-EN 15273-1 [16] son “leyes matemáticas asociadas a cada perfil de referencia para dimensionar la infraestructura o un vehículo.”

La Figura 18 muestra este gálibo máximo de construcción, que será el que se busque hallar para delimitar los límites máximos con que se cuenta en la construcción del piso móvil.

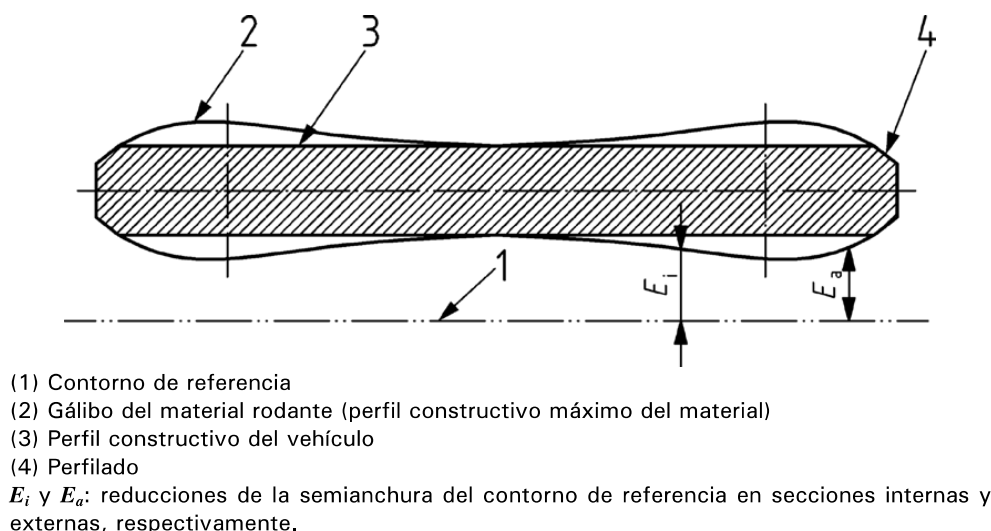


Figura 18 - Espacio disponible para la construcción de un vehículo [Instrucción de Gálíbos Ferroviarios]

Dependiendo de cómo sea la infraestructura ferroviaria, el administrador asocia a cada línea unos contornos de referencia permitidos en los cuales debe estar basado el cálculo del gálibo del material rodante para que dicho material pueda circular por esa línea. En el punto 1.3.1 de la Instrucción de Gálíbos Ferroviarios [17] puede leerse: “La Declaración de Red de cada línea especificará los gálíbos del material rodante admitidos

en ella. No obstante, el Administrador de la Infraestructura podrá autorizar la circulación por la línea, de material rodante con gálidos mayores.”

Por lo tanto, para cada ancho de vía se establecerá un perfil de referencia distinto. Los vehículos que nos sean interoperables deberán basar su cálculo de gálibo sólo en los perfiles de referencia impuestos en España, mientras que el material interoperable deberá basar su cálculo de gálibo en otro perfil de referencia distinto.

Es importante remarcar que para cada tipo de gálibo que se quiera hallar (estático, cinemático o dinámico) existirá un perfil de referencia distinto. Actualmente está extendido a la mayoría de las líneas el uso del gálibo cinemático, por lo que a partir de ahora sólo se hará referencia al mismo a lo largo de este documento.

4.5.2.1 PERFIL DE REFERENCIA PARA GÁLIBOS SEGÚN LA FICHA UIC 505-1

El perfil de referencia obligatorio en el material interoperable viene definido en la ETI de Vagones, la cual a su vez se basa en la ficha UIC 505-1 para su definición. Por lo tanto, el gálibo para vías de ancho UIC es el definido en la ficha UIC 505-1 y se muestra en la Figura 19.

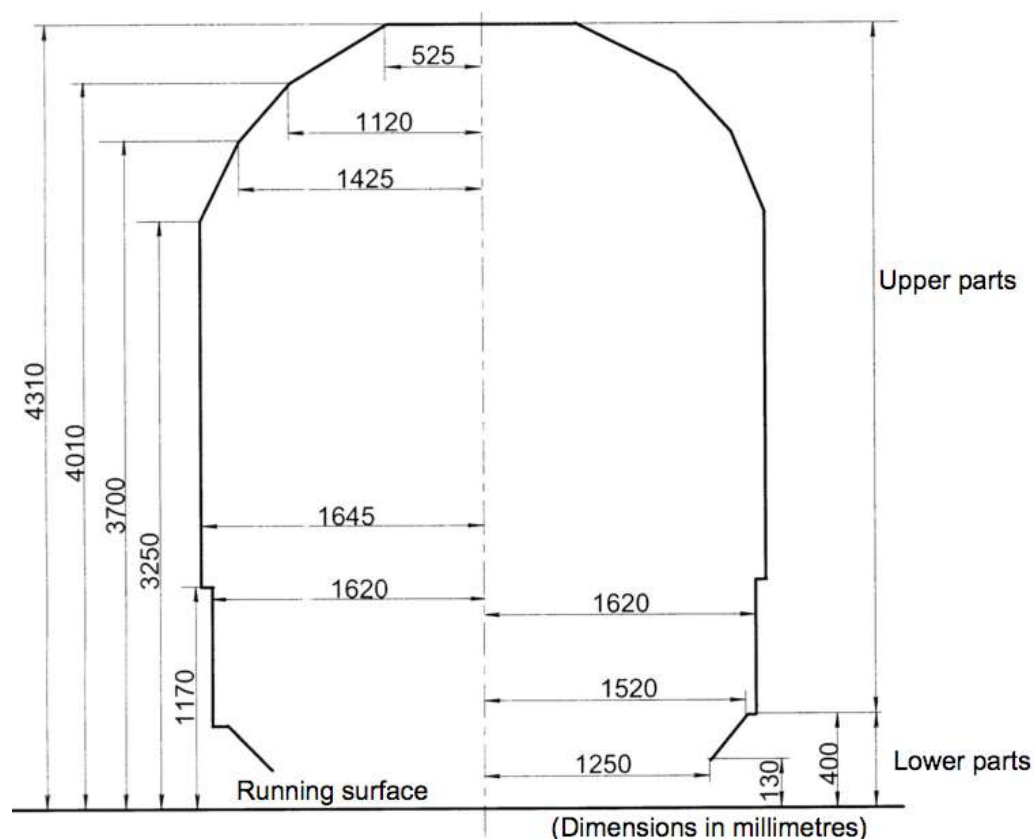
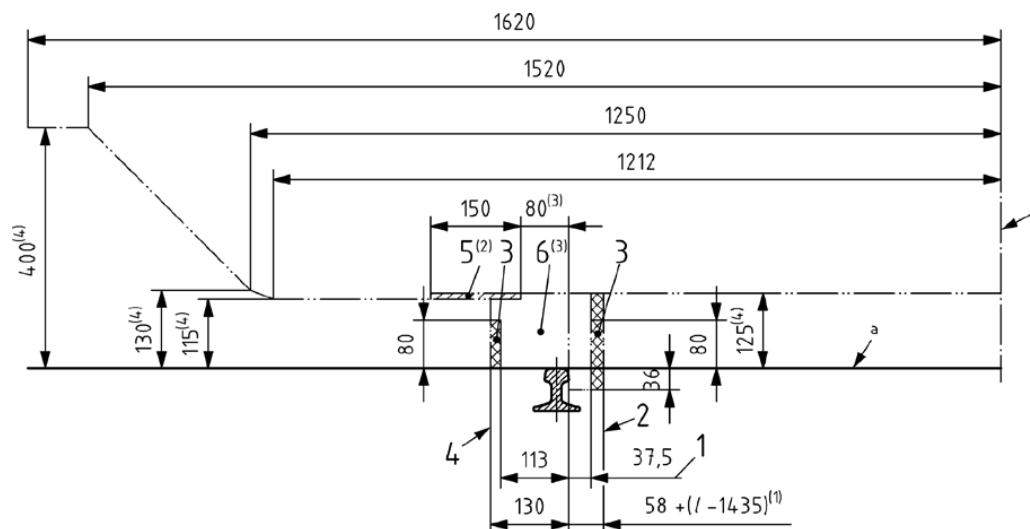


Figura 19 - Perfil de referencia del gálibo UIC 505-1. Partes altas. [Ficha UIC 505-1]

Se hace distinción entre las partes altas y bajas ya que en las bajas se pueden dar dos tipos de contornos de referencia, dependiendo de si el material rodante es apto para circular por frenos de vía en posición activa o no. Lo normal es que todos los vagones

estén preparados para poder circular por este tipo de vías, por lo que la Figura 20 muestra el perfil de referencia de partes bajas UIC 505-1 permitido para circular por frenos de vía en posición activa.



a: Plano de rodadura.

b: Eje del contorno de referencia.

1: Anchura máx. ficticia de la pestaña de rueda, considerando la posible oblicuidad del eje en la vía.

2: Zona de implantación de las caras activas del contracarril, estando prohibido cualquier otro obstáculo.

3: Frenos de vía en posición no activa.

4: Gálibo (posición límite) de la cara exterior de la rueda.

5: Zona reservada a la extracción de la zapata.

6: Máxima altura de las zapatas de frenado.

(1) l = ancho de vía.

(2) Ningún obstáculo fijado a la vía debe penetrar en el área rayada. Únicamente las zapatas de frenado pueden invadir esta área cuando se encuentran activas.

(3) No se tendrá en cuenta en el caso de $R_v \geq 250$ m y $l \leq l_{m\acute{a}x}$

(4) Para la implantación de los obstáculos, en los acuerdos verticales de $R_v \geq 500$ m, las cotas verticales se reducirán en $\frac{50}{R_v}$ m (R_v en m).

Figura 20 - Perfil de referencia del gálibo UIC 505-1. Partes bajas.

4.5.2.2 PERFIL DE REFERENCIA DEL GÁLIBO CINEMÁTICO GHE16

La Instrucción de Gálivos Ferroviarios [17] en el cuadro 1.1 define los diferentes contornos de referencia que según el ancho de vía y la antigüedad del material rodante se emplean en España. El perfil de referencia más extendido y que se aplicará en el cálculo del vagón objeto es el GHE16. Como ocurría con el UIC, existen diferencias en las partes

bajas de dicho contorno dependiendo de si el material es apto para circular por frenos de vía en posición activa. La Figura 21 muestra este perfil de referencia.

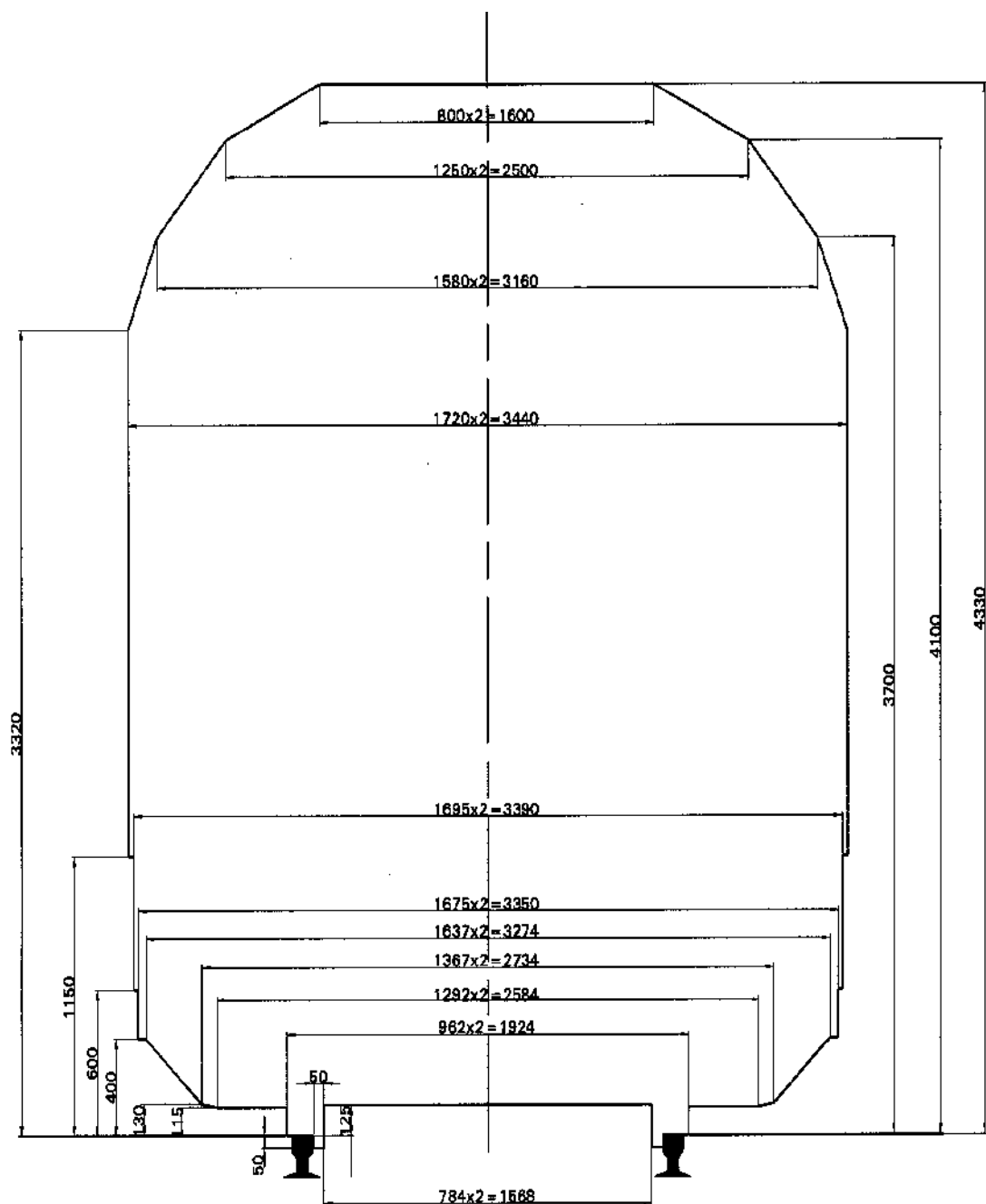


Figura 21 - Contorno de referencia del gálibo cinemático GHE16 [IGF]

4.5.3 Ecuaciones de las reducciones Ea y Ei

El apartado 1.4 de la Instrucción de Gálivos Ferroviarios [17] detalla de manera clara las bases en que se determina el gálibo del material rodante:

Para la determinación del gálibo en un punto o tramo de la línea, se adopta el siguiente convenio entre el material rodante y la infraestructura:

- Se parte de un contorno de referencia cinemático a partir del cual se determinan los diferentes gálibos mediante la aplicación de las reglas asociadas del gálibo cinemático. Dicho contorno se define para vía en recta, ancho de vía nominal y sin peralte.
- Las reglas asociadas definen las reducciones a aplicar en cualquier sección del vehículo o de la infraestructura, respecto a dos ejes de coordenadas ortogonales contenidos en un plano perpendicular al eje de la vía, y que son los siguientes:
 - Eje vertical Y, perpendicular al plano de rodadura en el eje de vía. Los desplazamientos y reducciones en altura se tomarán paralelamente a este eje y desde el eje X.
 - Eje horizontal X, es la intersección de un plano perpendicular al eje de la vía con el plano de rodadura. Los desplazamientos y reducciones laterales se tomarán paralelamente a este eje y a cada lado del eje Y.

Conviene puntualizar que, salvo en recta, el eje X no es realmente horizontal, ni el Y es vertical, sino que son paralelo y perpendicular, respectivamente, al plano de rodadura. No obstante se ha utilizado esta denominación al resultar más intuitiva.

Las ecuaciones para hallar las reducciones dependen de parámetros los cuales dependen a su vez de cómo sea el material rodante. Por ejemplo, hay valores que definen las holguras existentes en un bogie que claramente no tienen ningún sentido en vagones provistos de ejes. En este documento sólo se va a dar explicación de los parámetros que influyen en el cálculo para el vagón objeto. Aún así, igual que la Instrucción de Gálibos Ferroviarios establece unas ecuaciones para el vagón en estudio, se definen para toda clase de material rodante a lo largo de la instrucción. En este caso, las ecuaciones que afectan al problema que se quiere resolver, aparecen recogidas en el punto 2.7.3.1.3 (“Vagones sin bogies”) de la Instrucción de Gálibos Ferroviarios [17]. Se distingue entre el cálculo para hallar la reducción en las secciones internas, E_i y el cálculo para hallar la reducción en secciones externas, E_a .

- **Reducción en secciones internas E_i** (Tabla 9 y Tabla 10)

Tabla 9 - Reducción en secciones internas (parte 1) [IGF]

Si: $a \cdot n - n^2 \leq \begin{cases} 5(*) \\ 7,5(**) \end{cases} \Rightarrow$ La máx. reducción se da en recta ($R=\infty$)	
$E_i = \frac{1,698 - d}{2} + q + z - 0,015$	
(*) valor a aplicar en E_i de partes bajas ($h \leq 0,400 \text{ m}$)	(**) valor a aplicar en E_i de partes altas ($h > 0,400 \text{ m}$)

Tabla 10 - Reducción en secciones internas (parte 2) [IGF]

Si: $a \cdot n - n^2 > \begin{cases} 5(*) \\ 7,5(**) \end{cases} \Rightarrow$ La máx. reducción se da en curva ($R=250$ ó 150 m)	
$E_i = \frac{a \cdot n - n^2}{500} + \frac{1,698 - d}{2} + q + z + [x_i]_{>0} - \begin{cases} 0,025(*) \\ 0,030(**) \end{cases}$	
siendo x_i un factor para pasar de $R=250$ a 150 m, de valor:	
$x_i = \frac{1}{750} \cdot (a \cdot n - n^2 - 100)$	
(*) valor a aplicar en E_i de partes bajas ($h \leq 0,400$ m)	(**) valor a aplicar en E_i de partes altas ($h > 0,400$ m)

- Reducción en secciones externas Ea (Tabla 11 y Tabla 12)**

Tabla 11 - Reducción en caras externas (parte 1) [IGF]

Si: $a \cdot n + n^2 \leq \begin{cases} 5(*) \\ 7,5(**) \end{cases} \Rightarrow$ La máx. reducción se da en recta ($R=\infty$)	
$E_a = \left(\frac{1,698 - d}{2} + q \right) \cdot \frac{2n + a}{a} + z - 0,015$	
(*) valor a aplicar en E_a de partes bajas ($h \leq 0,400$ m)	(**) valor a aplicar en E_a de partes altas ($h > 0,400$ m)

Tabla 12 - Reducción en secciones externas Ea (parte 2) [IGF]

Si: $a \cdot n + n^2 > \begin{cases} 5(*) \\ 7,5(**) \end{cases} \Rightarrow$ La máx. reducción se da en curva ($R=250$ ó 150 m)	
$E_a = \frac{a \cdot n + n^2}{500} + \left(\frac{1,698 - d}{2} + q \right) \cdot \frac{2n + a}{a} + z + [x_a]_{>0} - \begin{cases} 0,025(*) \\ 0,030(**) \end{cases}$	
siendo x_a un factor para pasar de $R=250$ a 150 m, de valor:	
$x_a = \frac{1}{750} \cdot (a \cdot n + n^2 - 120)$	
(*) valor a aplicar en E_a de partes bajas ($h \leq 0,400$ m)	(**) valor a aplicar en E_a de partes altas ($h > 0,400$ m)

Muy importante remarcar que estas ecuaciones sólo dependen del tipo de material rodante del que se quiera calcular el gálibo y no del perfil de referencia (de entre el mismo ancho). Y es más, la diferencia entre estas ecuaciones específicas para ancho ibérico (1668 mm) y las que habría que emplear en el caso de ser ancho UIC (1435 mm) sólo es el valor de 1'698, el cual debería ser sustituido por 1'465 para el caso UIC.

Las ecuaciones anteriores muestran varios parámetros desconocidos, en donde (ver Tabla 13):

- d es un valor fijo que depende del ancho de vía en que nos encontremos:
 - d (1668 mm) = 1,643 m
 - d (1435 mm) = 1,410 m
- q es la holgura transversal entre el eje montado y el bastidor de bogie o entre el eje montado y la caja para los vehículos no equipados con bogies, cuyo valor es 0,023. Este valor se establece por el comité ERRI para un juego lateral de 20mm.
- a es el empate del vehículo, en [m]
- n es la distancia desde la sección en consideración hasta el eje extremo adyacente (o al pivote más cercano en vagones de bogies), por tanto es un valor que depende de la sección en que queramos calcular el perfil reducido.
- z es la parte del balanceo cuasiestático considerada por el vehículo y se calcula de distinta forma según sean las condiciones del material rodante. En el caso que ocupa, se calcula como se muestra en la Figura 22 (apartado 7.1.3.1 de la ficha UIC 505-1), en donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} h > h_c \text{ and } 0,5 \text{ m} \\ s \leq 0,4 \\ \eta_0 \leq 1^\circ \end{array} \right. \quad z = \frac{s}{30}(h - h_c)$$

Figura 22 - Cálculo de z [ficha UIC 505-1]

- h_c es la altura del centro de balanceo, cuyo valor es 0,5 m (NB, 7.1.3, ficha UIC 505-1)
- η_0 es el ángulo de disimetría de un vehículo debido a las tolerancias de construcción, al ajuste de la suspensión y a la distribución desigual de la carga. En el vagón considerado, $\eta_0 < 1^\circ$
- s es el coeficiente de flexibilidad, y su valor se haya según el apartado 10.4 de la ficha UIC 505-5 [18].

Para el cálculo de “s” se requiere conocer ciertas dimensiones del vehículo y parámetros de los muelles. La Figura 23 representa esas medidas de manera visual. Todas las medidas necesarias del vehículo aparecen en el Anexo A.

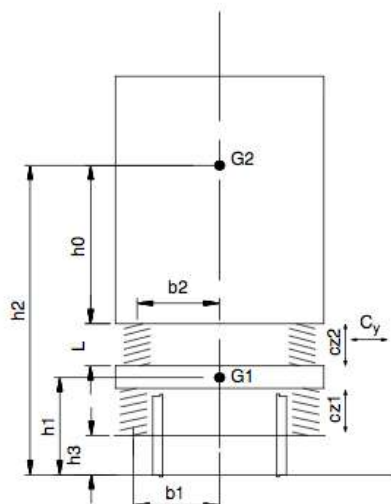


Figura 23 - Medidas para el cálculo de s [10.4, UIC 505-5]

El vagón objeto, así como la inmensa mayoría de los vagones de mercancías, sólo tienen una suspensión primaria, por lo que en este caso el cálculo de s se reduce a calcular s_1 . Por ello todos los parámetros que hagan alusión a la existencia de una segunda etapa de suspensión deben de considerarse como nulos.

Según el apartado 10.4.1.6 de la ficha UIC 505-5 [18] y considerando lo anteriormente dicho, llegamos a que:

$$s_1 = \frac{2G_1 \cdot g \cdot h_6}{4b_1^2 C_{z1} - 2G_1 g h_6}$$

donde

- G_1 es la masa suspendida sobre la etapa 1, en [kg]
- g es la gravedad
- h_6 distancia del eje al cdg de la masa suspendida sobre la etapa 1, en [m]
- b_1 es distancia del apoyo del muelle al centro del cuerpo del eje, en [m]
- C_{z1} es el coeficiente de rigidez del muelle, en [N/m]. Este parámetro puede viene dado del Anexo C

A partir de los datos del vagón, se obtiene la Tabla 13 con todos los valores necesarios para hallar las reducciones E_a y E_i .

Tabla 13 - Valores para el cálculo de las reducciones E_a y E_i

d	1,643 m	G_1	27000 kg
q	0,0023	g	9,8
a	9,17 m	h_6	0,75
h_c	0,5 m	b_1	1,085
η_0	<1°	C_{z1}	684930 N/m

h_1	1,2 m	s	0,14
-------	-------	---	------

Se quiere hacer notar que los valores de G_1 y h_1 no se conocen ni se podrán conocer hasta que el diseño del vagón esté totalmente definido y sepamos tanto la altura del cdg como la masa que supone la adición del piso superior. Estos valores se estiman a unos valores próximos que podamos tener al final. En este caso se estiman a los valores que tiene la serie de vagones 4270 dado que la única diferencia entre dicha serie y la serie del estudio es la existencia del piso superior.

4.5.4 Cálculo de las reducciones E_i y E_a

La manera clásica en que se calcula el gálibo de un vehículo, que se puede ver en el Anexo D con el cálculo real del gálibo de un vagón, era hallar el perfil constructivo del vagón sólo en las zonas donde a priori fuese a existir más peligro de poder salirse de gálibo (zonas de estribos, extremos...) . Por tanto, las reducciones del perfil de referencia sólo se hallaban para esas determinadas secciones.

El nuevo enfoque que se le ha querido dar a la determinación del gálibo es, aprovechando la potencia de los paquetes de diseño gráfico (en este caso SolidWorks), se dibuja el gálibo del vehículo como si de una pieza más del vagón se tratara, para que a medida que se diseña el conjunto del vagón, o sólo ciertos elementos (como ocurre en este caso con el piso superior), se tenga la certeza de que todas las piezas, en todas las secciones, cumplen con el gálibo constructivo máximo.

Este es un paso lógico a dar en la manera de trabajar, pues en opinión del autor, si se diseña usando una determinada suite de diseño, lo lógico es que en ese contexto se puedan controlar todos los parámetros que dependen de él.

Por lo tanto, la innovación propuesta es la siguiente:

- Se ha realizado una hoja de cálculo que es la que verdaderamente determina, a partir de las ecuaciones del apartado anterior, y de datos del vagón que le introducimos, todas las reducciones que corresponden al perfil de una sección determinada, para luego restar estos valores a los del perfil de referencia y hallar el perfil máximo constructivo en esa sección.
- Se ha determinado un $\Delta n = 100$ mm. Es decir, hallar cada 100 mm un perfil constructivo máximo, desde el extremo de un semivagón hasta la mitad del mismo, ya que a partir de ahí, todas las secciones son simétricas (ver Figura 18).
- Para cada altura de referencia se obtiene un valor de cada semiancho constructivo máximo. La idea es formar una curva de puntos para cada altura de referencia y una vez se tengan todas unir las formando una superficie.
- De ese modo se obtiene en primera instancia un semicascarón con el perfil constructivo de un lado del semivagón. Efectuando simetrías respecto del plano longitudinal y transversal del semivagón se obtiene el perfil constructivo máximo para uno de los dos semivagones que componen el vagón.

- Como la longitud desde el eje delantero al cabecero es distinta que la que va desde el punto de empate a la rótula, se deberá cortar la cascará sobrante que invada parte del otro semivagón.
- Si se quiere obtener el gálibo parametrizado en 3D de todo el vagón, lo único que quedará hacer es la simetría respecto del plano transversal que pasa por la rótula.

En el Anexo E se incluyen las hojas de cálculo necesarias para este procedimiento. La primera muestra los resultados de los semianchos obtenidos para cada altura. Hay que decir que la exportación hay que realizarla de manera que al SolidWorks se le de las curvas según las coordenadas x, y, z de cada punto, por lo que es necesario reorganizar los datos de los semianchos. Esto es lo que se muestra en la segunda parte del anexo.

La Tabla 14 muestra un extracto de la hoja de cálculo con los resultados obtenidos para varias alturas y secciones de los semianchos del perfil constructivo máximo.

Tabla 14 - Extracto de la hoja de cálculo para el cálculo de la reducciones

CÁLCULO DE GÁLIBO IBÉRICO GHE16																										
PARTES ALTAS																										
h		4330		4100		3700		3320		1150		690														
semiancho		800		1250		1580		1720		1695		1675														
z		0,01791525		0,0168394		0,014968355		0,011190863		0,003040447		0,000467761														
n = SECCION	h	X/Xa	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	semiancho	Ea	
2,83	33,96	-0,11472	0,13750537	662,49463	0,13642952	1113,57048	0,13455848	1445,44152	0,13278098	1587,21502	0,12263057	1572,36943	0,12005788	1554,94212	0,12005788	1554,94212	0,12005788	1554,94212	0,12005788	1554,94212	0,12005788	1554,94212	0,12005788	1554,94212	0,12005788	
2,8	33,16	-0,115312	0,136286945	663,713053	0,13521109	1114,78891	0,1334005	1446,65995	0,13156256	1588,43744	0,12141214	1573,58786	0,11888946	1556,16054	0,11888946	1556,16054	0,11888946	1556,16054	0,11888946	1556,16054	0,11888946	1556,16054	0,11888946	1556,16054	0,11888946	
2,7	32,049	-0,117268	0,132251527	667,744747	0,13117568	1118,82432	0,12930463	1456,69537	0,12752714	1592,47286	0,11737672	1577,62328	0,11480404	1560,19536	0,11480404	1560,19536	0,11480404	1560,19536	0,11480404	1560,19536	0,11480404	1560,19536	0,11480404	1560,19536	0,11480404	
2,6	30,602	-0,116197333	0,128256109	671,763893	0,12718016	1122,81974	0,12530921	1454,69079	0,12353172	1596,46828	0,11338132	1581,61869	0,11080862	1564,19138	0,11080862	1564,19138	0,11080862	1564,19138	0,11080862	1564,19138	0,11080862	1564,19138	0,11080862	1564,19138	0,11080862	
2,5	29,175	-0,1211	0,124300692	675,699308	0,12322484	1126,77516	0,1213538	1458,6462	0,1195763	1600,4237	0,10942589	1585,57411	0,1068532	1568,1468	0,1068532	1568,1468	0,1068532	1568,1468	0,1068532	1568,1468	0,1068532	1568,1468	0,1068532	1568,1468	0,1068532	
2,4	27,768	-0,122976	0,120385274	679,624728	0,11930942	1130,69058	0,11743838	1462,56162	0,11566089	1604,33511	0,10551047	1589,48953	0,10293779	1572,06221	0,10293779	1572,06221	0,10293779	1572,06221	0,10293779	1572,06221	0,10293779	1572,06221	0,10293779	1572,06221	0,10293779	
2,3	26,381	-0,124825333	0,116509856	683,490144	0,11543401	1134,56599	0,11356266	1466,43704	0,11178547	1608,21453	0,10163505	1593,36495	0,09906237	1575,3763	0,09906237	1575,3763	0,09906237	1575,3763	0,09906237	1575,3763	0,09906237	1575,3763	0,09906237	1575,3763	0,09906237	
2,2	25,014	-0,126648	0,112674439	687,323561	0,11159839	1138,40141	0,10972754	1470,27246	0,10795005	1612,04595	0,09779964	1597,20036	0,09522695	1579,77305	0,09522695	1579,77305	0,09522695	1579,77305	0,09522695	1579,77305	0,09522695	1579,77305	0,09522695	1579,77305	0,09522695	
2,1	23,667	-0,128444	0,108879021	691,120979	0,10780317	1142,19683	0,10593213	1474,06787	0,10415463	1615,84537	0,09400421	1600,99578	0,09143153	1583,56847	0,09143153	1583,56847	0,09143153	1583,56847	0,09143153	1583,56847	0,09143153	1583,56847	0,09143153	1583,56847	0,09143153	
2	22,34	-0,130213333	0,105123603	694,876397	0,10404775	1145,95275	0,10217671	1477,82328	0,10039922	1619,60078	0,0901488	1604,7512	0,08767611	1587,32869	0,08767611	1587,32869	0,08767611	1587,32869	0,08767611	1587,32869	0,08767611	1587,32869	0,08767611	1587,32869	0,08767611	
1,9	21,033	-0,131956	0,101408186	698,591814	0,10033234	1149,66766	0,09846129	1481,53871	0,0966838	1623,3162	0,08653338	1608,46662	0,0839607	1591,0333	0,0839607	1591,0333	0,0839607	1591,0333	0,0839607	1591,0333	0,0839607	1591,0333	0,0839607	1591,0333	0,0839607	
1,8	19,746	-0,133672	0,097732768	702,267231	0,09655692	1153,34308	0,09478587	1485,21413	0,09300838	1626,99162	0,08285797	1612,14203	0,08028528	1594,71472	0,08028528	1594,71472	0,08028528	1594,71472	0,08028528	1594,71472	0,08028528	1594,71472	0,08028528	1594,71472	0,08028528	
1,7	18,479	-0,135361333	0,09409735	705,90265	0,0930215	1156,5785	0,09115046	1488,84954	0,08937296	1630,62704	0,07921255	1615,77745	0,07664986	1598,35014	0,07664986	1598,35014	0,07664986	1598,35014	0,07664986	1598,35014	0,07664986	1598,35014	0,07664986	1598,35014	0,07664986	
1,6	17,132	-0,137024	0,090501933	709,498061	0,08942608	1160,57392	0,08735504	1492,44496	0,08577755	1634,22445	0,07567173	1619,37287	0,07305444	1601,94556	0,07305444	1601,94556	0,07305444	1601,94556	0,07305444	1601,94556	0,07305444	1601,94556	0,07305444	1601,94556	0,07305444	
1,5	16,005	-0,13866	0,086946515	713,053481	0,08587066	1164,12934	0,08399962	1496,00938	0,08222213	1637,77787	0,07207171	1622,92819	0,06949903	1605,50097	0,06949903	1605,50097	0,06949903	1605,50097	0,06949903	1605,50097	0,06949903	1605,50097	0,06949903	1605,50097	0,06949903	
1,4	14,798	-0,140269333	0,083431097	716,568903	0,08235515	1167,64475	0,0804842	1499,5158	0,07870671	1641,29329	0,06855629	1626,44371	0,06598361	1609,1639	0,06598361	1609,1639	0,06598361	1609,1639	0,06598361	1609,1639	0,06598361	1609,1639	0,06598361	1609,1639	0,06598361	
1,3	13,611	-0,141852	0,07995568	720,04431	0,07887983	1171,12017	0,07700878	1501,99122	0,07523129	1644,76871	0,06508088	1629,91912	0,06250819	1612,49181	0,06250819	1612,49181	0,06250819	1612,49181	0,06250819	1612,49181	0,06250819	1612,49181	0,06250819	1612,49181	0,06250819	
1,2	12,444	-0,143408	0,076520262	723,479738	0,07544441	1174,55559	0,07375867	1506,42663	0,07179587	1648,20413	0,06164546	1633,35454	0,05907277	1615,52723	0,05907277	1615,52723	0,05907277	1615,52723	0,05907277	1615,52723	0,05907277	1615,52723	0,05907277	1615,52723	0,05907277	
1,1	11,297	-0,144937333	0,073124844	726,875158	0,07204899	1177,95101	0,07077795	1509,82205	0,06840046	1651,59554	0,05825004	1636,74996	0,05567736	1619,32264	0,05567736	1619,32264	0,05567736	1619,32264	0,05567736	1619,32264	0,05567736	1619,32264	0,05567736	1619,32264	0,05567736	
1	10,17	-0,14644	0,069769427	730,230573	0,06869358	1181,30642	0,06682253	1511,17747	0,06504504	1654,95496	0,05489462	1640,10518	0,05232194	1622,67806	0,05232194	1622,67806	0,05232194	1622,67806	0,05232194	1622,67806	0,05232194	1622,67806	0,05232194	1622,67806	0,05232194	
0,9	9,063	-0,147916	0,066454009	733,545991	0,06537816	1184,61284	0,06350711	1514,49189	0,06172962	1658,27038	0,05157921	1643,42079	0,04900652	1625,99348	0,04900652	1625,99348	0,04900652	1625,99348	0,04900652	1625,99348	0,04900652	1625,99348	0,04900652	1625,99348	0,04900652	
0,8	7,976	-0,149365333	0,063178591	736,821409	0,06210274	1187,89726	0,0602317	1519,7683	0,0584542	1661,5458	0,04830373	1646,69611	0,0457311	1629,2689	0,0457311	1629,2689	0,0457311	1629,2689	0,0457311	1629,2689	0,0457311	1629,2689	0,0457311	1629,2689	0,0457311	
0,7	6,909		0,061125174	738,874828	0,06004932	1189,95068	0,05817828	1521,82172	0,05640079	1663,59521	0,04625031	1648,74953	0,04367768	1631,32232	0,04367768	1631,32232	0,04367768	1631,32232	0,04367768	1631,32232	0,04367768	1631,32232	0,04367768	1631,32232	0,04367768	
0,6	5,862		0,060023756	739,576244	0,05894791	1191,05209	0,05707686	1523,92314	0,05529937	1664,70063	0,04514895	1649,85105	0,04257627	1632,42373	0,04257627	1632,42373	0,04257627	1632,42373	0,04257627	1632,42373	0,04257627	1632,42373	0,04257627	1632,42373	0,04257627	
0,5	4,835		0,058922338	741,077863	0,05784649	1192,13331	0,05597544	1524,02456	0,05419795	1665,80205	0,04404754	1650,95246	0,04147448	1633,52515	0,04147448	1633,52515	0,04147448	1633,52515	0,04147448	1633,52515	0,04147448	1633,52515	0,04147448	1633,52515	0,04147448	
0,4	3,828		0,057820921	742,179079	0,05674507	1193,25493	0,05487483	1525,12597	0,05309653	1666,90347	0,04294612	1652,05389	0,04037343	1634,62657	0,04037343	1634,62657	0,04037343	1634,62657	0,04037343	1634,62657	0,04037343	1634,62657	0,04037343	1634,62657	0,04037343	
0,3	2,841		0,056710903	743,280497	0,05564365	1194,35635	0,05377261	1526,22739	0,05199512	1668,00488	0,0418447	1653,1553	0,03927201	1635,72799	0,03927201	1635,72799	0,03927201	1635,72799	0,03927201	1635,72799	0,03927201	1635,72799	0,03927201	1635,72799	0,03927201	
0,2	1,874		0,055618085	744,381915	0,05454213	1195,45777	0,05267119	1527,32881	0,0508937	1669,1063	0,04074329	1654,25672	0,03817706	1636,82964	0,03817706	1636,82964	0,03817706	1636,82964	0,03817706	1636,82964	0,03817706	1636,82964	0,03817706	1636,82964	0,03817706	
0,1	0,927		0,054516668	745,483332	0,05344082	1196,55918	0,05156977	1528,43023	0,04979228	1670,20772	0,03964186	1655,35814	0,03706918	1637,93082	0,03706918	1637,93082	0,03706918	1637,93082	0,03706918	1637,93082	0,03706918	1637,93082	0,03706918	1637,93082	0,03706918	
0	0		0,053411525	746,58475	0,0523394	1197,6606	0,05046836	1529,53164	0,04869086	1671,30514	0,03854045	1656,45955	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	
	0,1	0,907		0,053411525	746,58475	0,0523394	1197,6606	0,05046836	1529,53164	0,04869086	1671,30514	0,03854045	1656,45955	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776	1639,03224	0,03599776
	0,2	1,794		0,053411525	746,58475	0,0523394	1197,6606	0,05046836	1529,53164	0,04869086	1671,30514	0,03854045														

exportar a formato txt las columnas destinadas a tal efecto y que se muestran en el apartado 2 del Anexo E, para que el programa SolidWorks pueda interpretar los datos. Se debe crear un archivo txt por cada altura, ya que cada curva representa precisamente el semiancho a lo largo del semivagón. La Figura 24 muestra este procedimiento de selección y guardado.

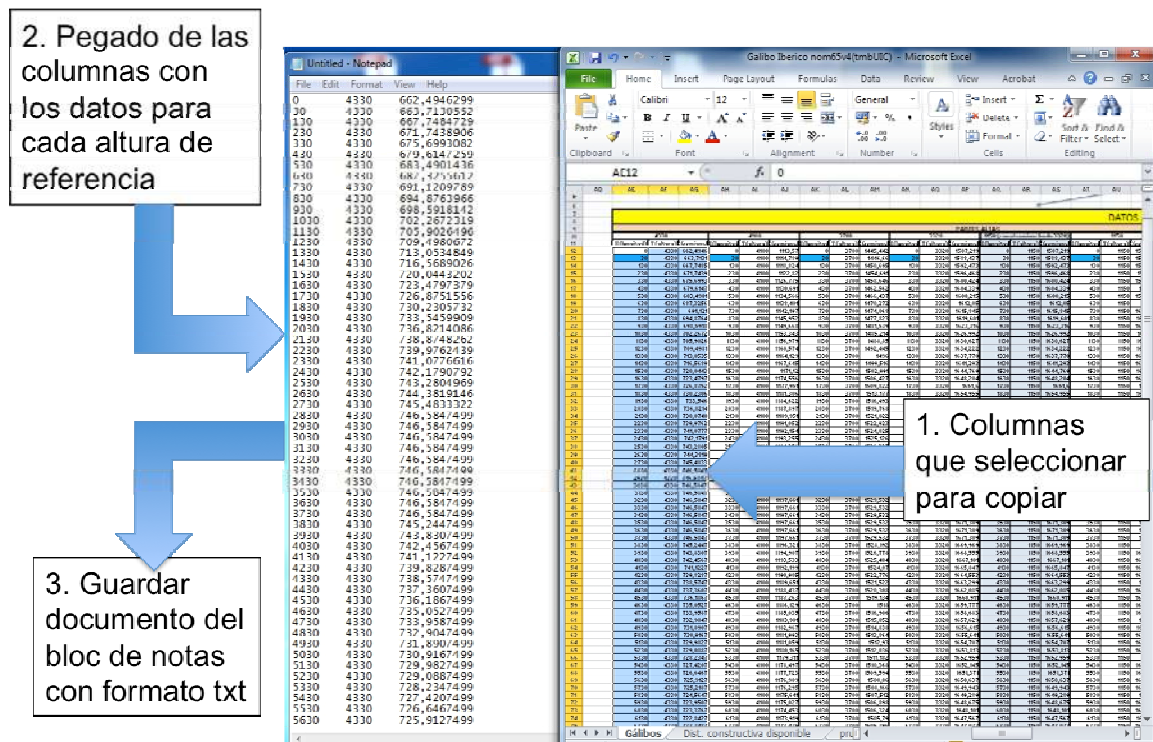


Figura 24 - Creación del archivo txt con los datos de las curvas

2. Se selecciona en el SolidWorks la función “Curva por puntos XYZ”. Seguidamente se pulsa en examinar para añadir el archivo txt, lo cual se ve en la Figura 25. Después aceptamos.

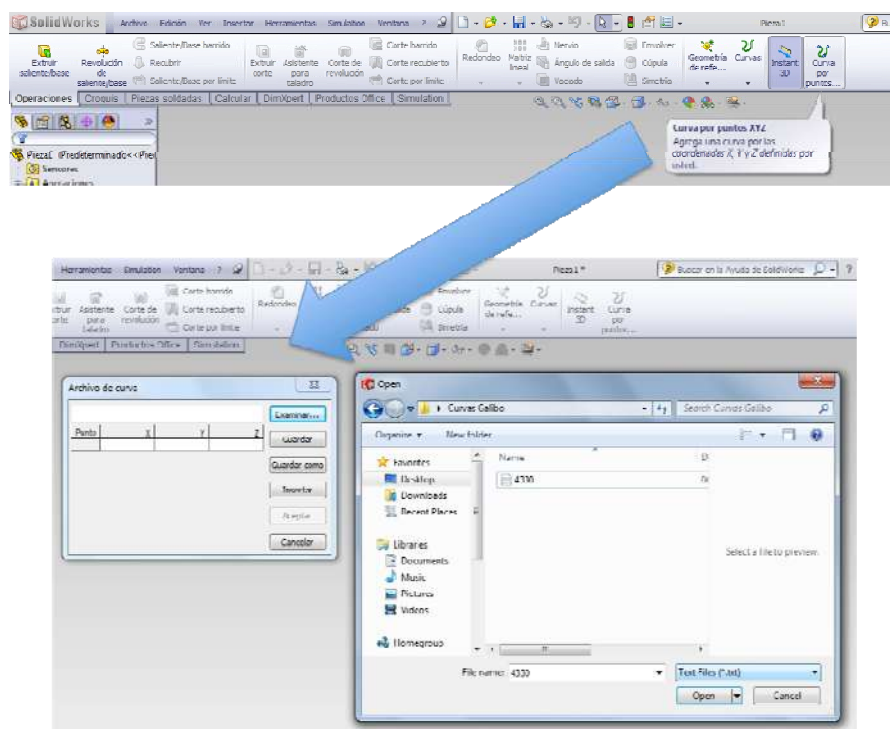
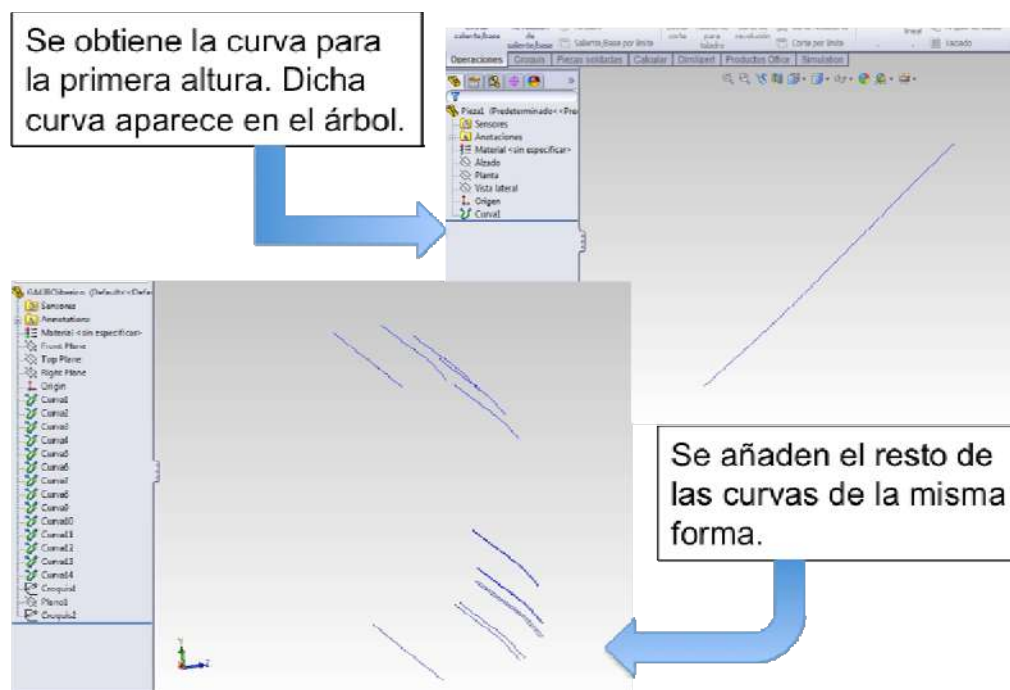
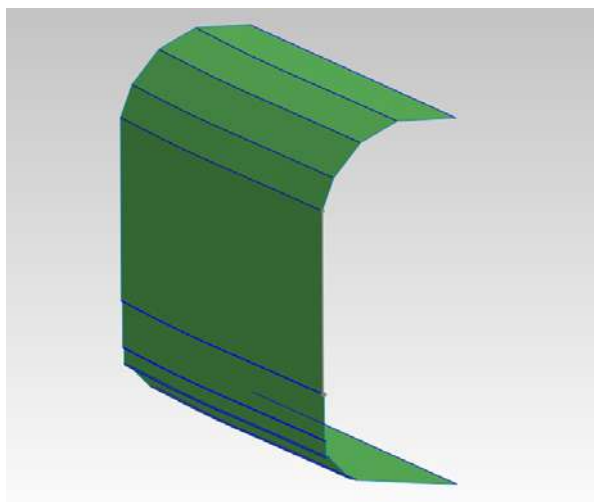


Figura 25 - Inserción de los datos en el SolidWorks

3. Se seguirá el mismo proceso para cada una de las alturas (y por lo tanto curvas) que debemos añadir para la generación del contorno que forma el gálibo. Esto lo muestra la Figura 26.

**Figura 26 - Representación de las curvas en el SolidWorks**

4. Ahora ya se puede formar una superficie que envuelva las curvas y nos de la semicorteza que forme el gálibo del vehículo (Figura 27). Haciendo simetría respecto del plano intermedio se cierra las semicorteza y se obtiene la envolvente del gálibo para la mitad del semivagón (Figura 28). Si se aplica de nuevo simetría respecto de un plano transversal a la mitad del semivagón, se obtiene el galibo constructivo para el semivagón del vagón objeto.

**Figura 27 - Semicorteza del gálibo**

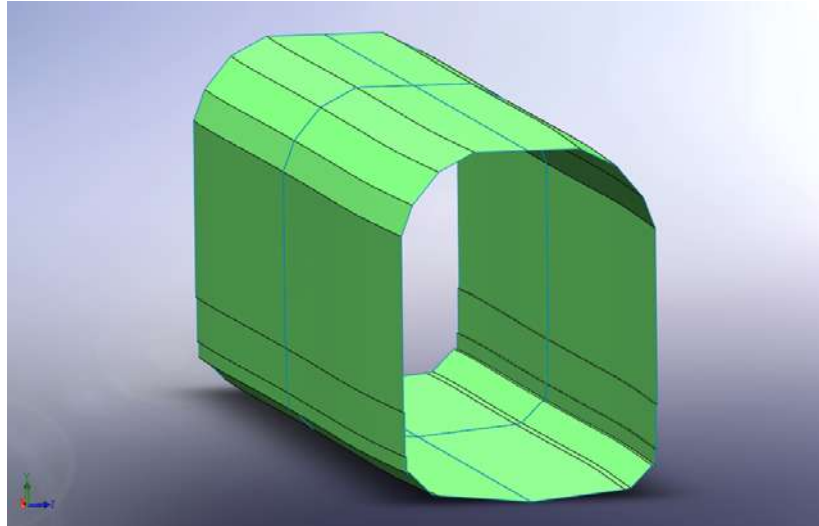


Figura 28 - Gálibo del semivagón del vagón objeto

5. Ya se puede insertar el modelo 3D del vagón objeto (Figura 16) dentro del gálibo que debe cumplir (Figura 28) y con ello comenzar a diseñar la superestructura para el piso móvil superior. La Figura 29 muestra el vagón con el gálibo.

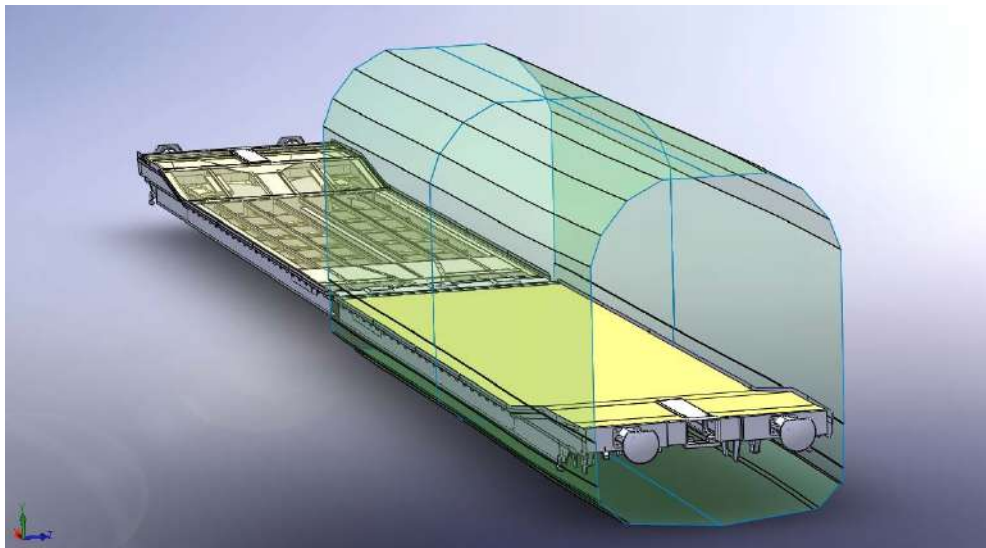


Figura 29 - Diseño 3D conjunto de vehículo y gálibo

Ahora se puede entender cómo mientras se produce el diseño de la parte especificada (así como cualquier otra parte), la detección de interferencias que puedan ir más allá del contorno constructivo es más visual, ganando con ello en productividad.

Si se observa el gálibo en planta, se observa la similitud entre la forma teórica mostrada en la Figura 18 y la forma del gálibo calculado, mostrado en la Figura 30.

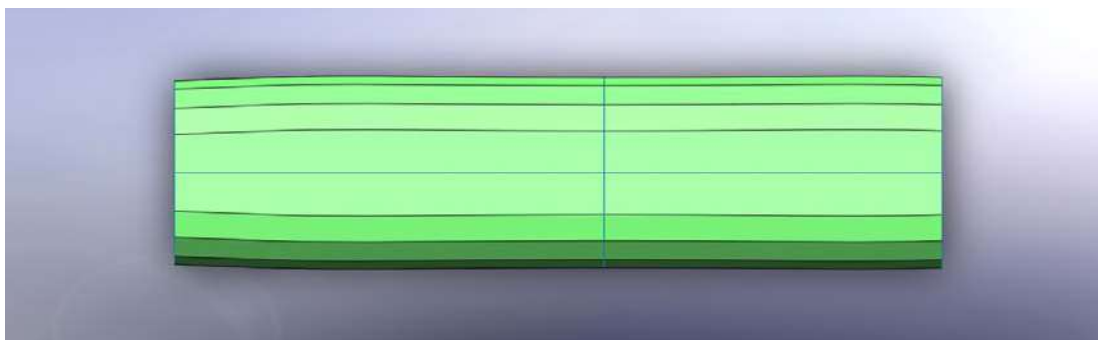


Figura 30 - Gálbo 3D en planta

Es evidente que la Figura 18 muestra sin escala los ensanchamientos que se producen en las zonas respecto las que gira el vagón, estrechando las más alejadas de ellas y por ende, con mayor posibilidad de interferencia en curva con la infraestructura.

En relación a esto, la forma que describe la curva a la altura de referencia de 3320 mm y que se muestra en la Figura 31 (recogida también en el Anexo E como parte de la hoja de cálculo) muestra este estrechamiento en diversas secciones transversales del gálbo como consecuencia de la aplicación de las reducciones llevadas a cabo. El eje X corresponde a la distancia desde los topes del vagón hasta el punto medio del semivagón (donde se hace la simetría), mientras que en eje Y se representa el semiancho máximo de construcción del gálbo. Ambos ejes en mm.

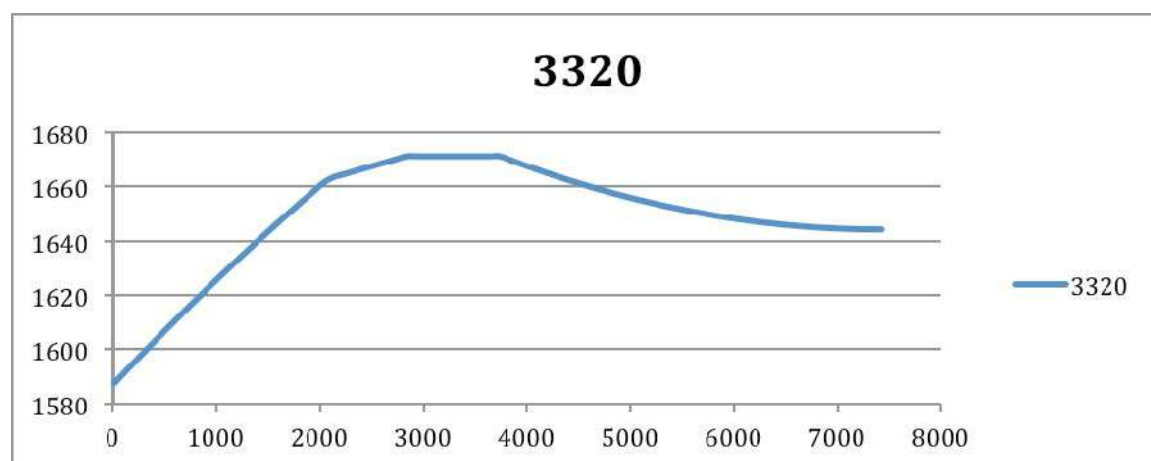


Figura 31 - Curva que muestra el estrechamiento de las distintas secciones

4.6 Diseño del piso superior del porta-autos

4.6.1 Partes del piso superior

Lo primero que se debe exponer antes de comenzar a realizar los diseños oportunos, es conocer qué se tiene que diseñar. Ya se ha visto que un vagón articulado está formado por dos semivagones unidos a través de una rótula. Estos dos semivagones son totalmente simétricos respecto del plano transversal que pasa por la rótula, así que lo que se haga en uno de ellos, se hará exactamente en el otro, determinando de esa forma el diseño completo del vagón.

El piso superior de cualquier semivagón porta-autos está formado por dos partes:

- Un piso fijo de sustentación
- Una plataforma para la descarga

Pero en el caso que nos ocupa y al querer realizar un diseño que permita la versatilidad del piso superior, es decir, que pueda desplazarse a lo largo de cualquier altura, la denominación de piso fijo deja de tener sentido. Por ello se decide modificar este término por otro que acompañe de manera más real el diseño que tendrá lugar, de forma que lo que antes era el piso fijo ahora se denominará piso móvil. En cuanto a la plataforma de descarga no se ve necesario modificar el término ya que no conduce a error como en el caso anterior.

De esa forma y como ilustra la Figura 32, las partes en que se divide el piso superior de un semivagón y las cuales se tendrán que determinar son:

- Piso móvil
- Plataforma de descarga



Figura 32 - Distintas partes del piso superior de un semivagón

4.6.2 Prescripciones de diseño según normativa aplicable

Como ya se ha indicado anteriormente (Tabla 7), la única normativa que debe aplicarse para cumplir los requisitos que marca el punto 4.1.1.1 de la ETH en cuanto al diseño estructural es la Norma UNE-EN 12663 [19].

Dicha norma especifica en su introducción: “El objetivo de esta norma europea es conceder al diseñador la suficiente libertad para optimizar su diseño manteniendo en todo momento los niveles de seguridad exigidos”. Además deja claro que “no define ninguna técnica específica de cálculo, con el fin de no influir en los avances relativos a los métodos de análisis y de permitir avances innovadores por parte de diseñadores y explotadores de vehículos.”

El alcance de la norma es definir “requisitos mínimos de resistencia para las estructuras de los vehículos ferroviarios”, para ello “define las cargas que las cajas de los vehículos deben ser capaces de soportar, identifica cómo se deben utilizar los datos de los materiales y establece los principios que se van a utilizar para la verificación del diseño mediante el análisis y el ensayo” [apartado 1, Norma UNE-EN 12663].

Con respecto a los materiales a emplear, en el apartado 3.1 especifica que “los requisitos de esta norma europea se basan en el uso de materiales metálicos”. Añade que “el diseñador se debe asegurar de que dispone de los datos de las prestaciones de los materiales”. Los datos de los que se dispone son los que facilita la norma UNE-EN 10025-2:2006, Productos laminados en caliente de aceros para estructuras, en su tabla 7 [20], la cual se recoge en el Anexo F de este documento.

El material seleccionado para la construcción de todos los elementos que se diseñen, será el acero S275 laminado en caliente.

Esta norma establece unos principios generales que todas las cajas de los vehículos deben de cumplir, pero no hace referencia alguna a requisitos que se deban verificar en aplicaciones particulares, como es el diseño del piso superior de un porta-autos. Para solucionar esta falta de especificación, el punto 4.10 de dicha norma establece que: “Los componentes de las estructuras de los vagones de carga se deben diseñar de manera que cumplan el objetivo que se pretende. El diseño de estos componentes debe desarrollarse conforme con las normas nacionales o internacionales existentes, así como con la normativa de las fichas de la UIC”.

La ficha UIC que hace referencia a las características de ciertos vagones adaptados a tráfico específicos es la ficha UIC 571-3 [10]. Esta ficha en su apartado 4 recoge los esfuerzos que se deben de considerar en los vagones porta-autos. Como para la modificación se parte de un porta-autos, todas las exigencias generales de la ficha UIC 571-3 se dan por cumplidas, por lo que sólo se hará referencia a continuación las que sean de interés para el diseño del piso (esto no pasaría si por ejemplo se quisiera modificar un vagón de otro tipo y hacerlo porta-autos).

En la Tabla 15 se resumen los requisitos que marca la ficha UIC 571-3 junto con el apartado en donde se hace referencia.

Tabla 15 - Requisitos aplicables de la ficha UIC 571-3

Apartado	Requisito
4.1.2.1	Las pasarelas de los extremos deben cumplir las distancias de la Figura 33.
4.1.2.2	El piso (así como las pasarelas) debe ser capaz de soportar una carga mínima de: <ul style="list-style-type: none"> • 7 kN/rueda, en el piso inferior • 5 kN/rueda, en el piso superior
4.1.2.4	Los vagones deben de contar con un sistema de retención del vehículo
4.2.2.6	Cada semi-piso superior debe estar equipado en su extremo con una plataforma móvil de descarga que pueda fijarse a las alturas que muestra la Figura 34.
4.1.2.10	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño de los pisos debe garantizar un espacio libre al cargador para poder abandonar el vehículo

	<ul style="list-style-type: none"> • Deben colocarse barandillas en ambos lados del piso superior (no se especifica ninguna altura). • Debe existir la posibilidad de bloquear el movimiento del piso desde el exterior del vagón
4.1.2.11	El suelo debe estar desprovisto de picos o salientes que puedan interferir en la rodadura o provocar un pinchado al vehículo.
4.1.2.12	El suelo de ambos pisos puede ser de: madera, chapa metálica o rejillas de metal.
4.1.2.14	La distancia mínima para permitir el paso de los coches debe ser según muestra la Figura 35.

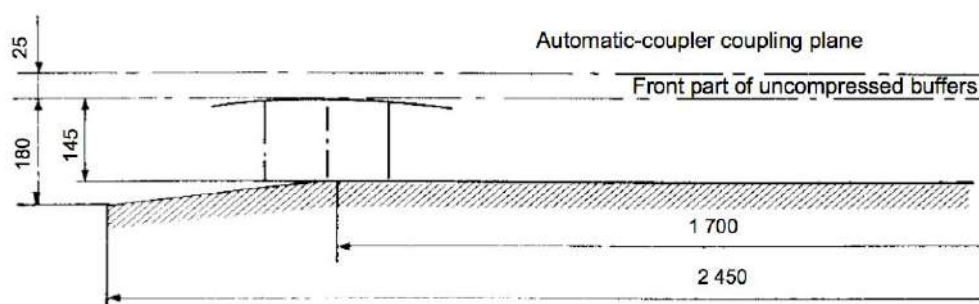


Figura 33 - Distancias de la pasarela del extremo del piso superior

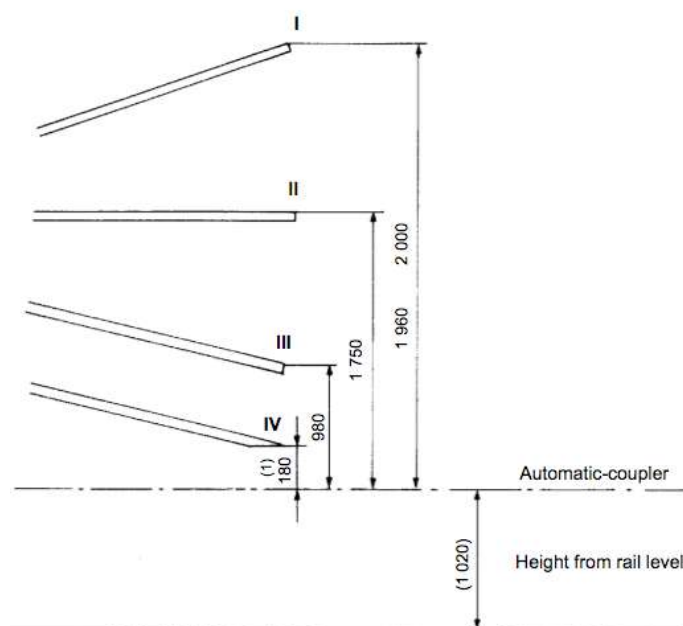


Figura 34 - Distintas posiciones de la rampa de descarga

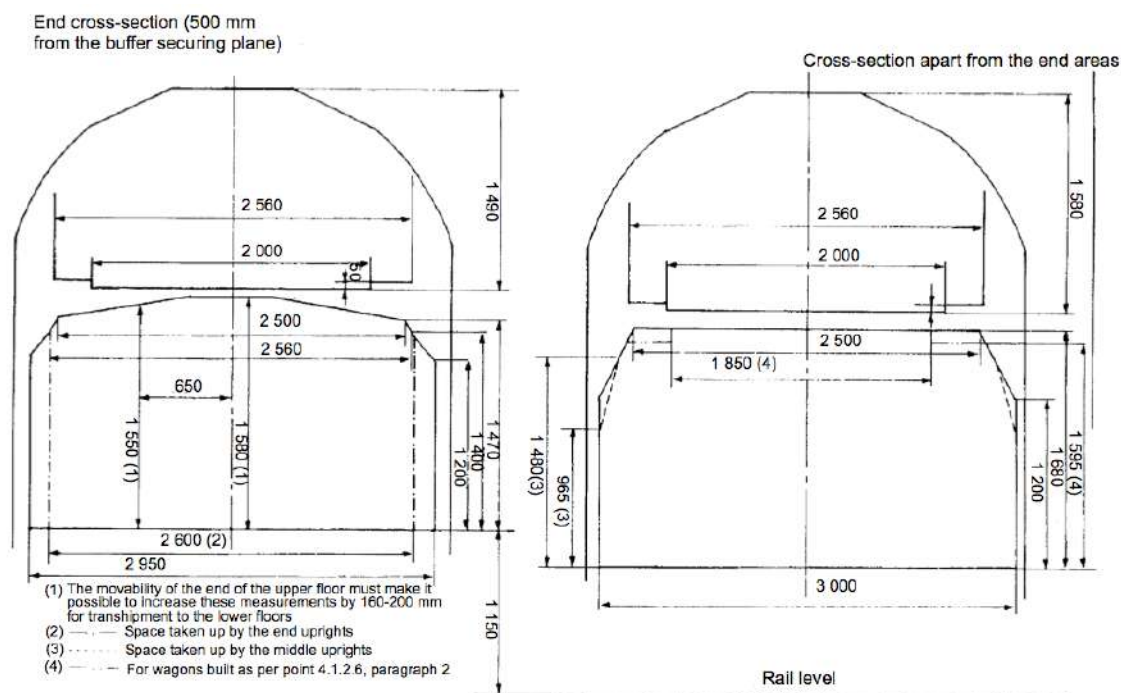


Figura 35 - Distancia mínima disponible en un porta-autos

En la elección que el punto 4.1.2.12 de la ficha UIC 571-3 permite hacer del suelo del piso, se seleccionará como material chapa metálica lagrimada. Esta elección se realiza en base a los siguientes puntos:

- Fabricar el piso con la mayor normalización posible. Como se estableció en el punto 4.2.2, se quiere fabricar el piso con la mayor normalización posible y la colocación de rejillas invita a colocar perfiles con el mismo ancho que estas, que no es como el de los perfiles normalizados.
- Coste por m². Es mucho menor el coste que supone la colocación de una chapa lagrimada a lo largo de la superficie de toda la plataforma o el piso, que lo que supone la colocación de multitud de rejillas, hechas a medida en la mayoría de los casos.
- Protección del piso inferior. Al ser un panel desprovisto de agujeros, evita la posible caída de cualquier tipo de elemento nocivo que pueda perjudicar a la carga que se encuentra en el piso inferior, por ejemplo, algún tornillo o remache que se pueda soltar.
- Evita la formación de óxido. Con un panel de rejillas es inevitable la acumulación en los huecos de las mismas de suciedad, que si a eso se suma la concentración de agua de lluvia en las esquinas, puede acabar por generar óxido que cae directamente sobre el piso inferior.
- Resultado operativo similar. Está comprobado que la rejilla es mucho más adherente que la chapa y evita en mayor medida el desplazamiento de los vehículos cuando deben ir amarrados, pero esto no es una diferencia significativa ya que con un buen amarre, los automóviles permanecen sujetos al suelo sea cual sea la superficie de rodadura.

En la Figura 36 se muestra un piso con ambas soluciones para el suelo: chapa lagrimada en la parte central y rejilla metálica en la zona de rodadura del coche.



Figura 36 - Diferentes soluciones para el suelo del piso

Lejos de parecer un punto sin importancia, la elección del suelo del piso decidirá qué sistema de anclaje (calces) deberán llevar los vehículos que se transporten para evitar su deslizamiento sobre el piso durante la marcha. En el caso de montar el piso con chapa lagrimada, se desestiman todos los calces con tetones adaptados para las rejillas (ver Figura 37) y la única opción que se tendrá será el calzar con los sistemas de barras, similares a los que aparecen junto a las barandillas en la Figura 36.



Figura 37 - Calces para suelo de rejilla

Para cumplir con el punto 4.2.2.6 de la ficha UIC 571-3 [10] se verificará, una vez diseñado el piso, que no existe interferencia entre el piso móvil y la pasarela del mismo que impida el movimiento de esta última. El anclaje entre el piso y la plataforma se llevará a cabo con una rótula colocada sobre el suelo de ambos pisos como muestra la Figura 38. El centro de rotación estará retrasado permitiendo un espacio intermedio para que precisamente no se produzcan interferencias a la hora de inclinar la plataforma de descarga en cualquiera de las posiciones establecidas en la Figura 34.

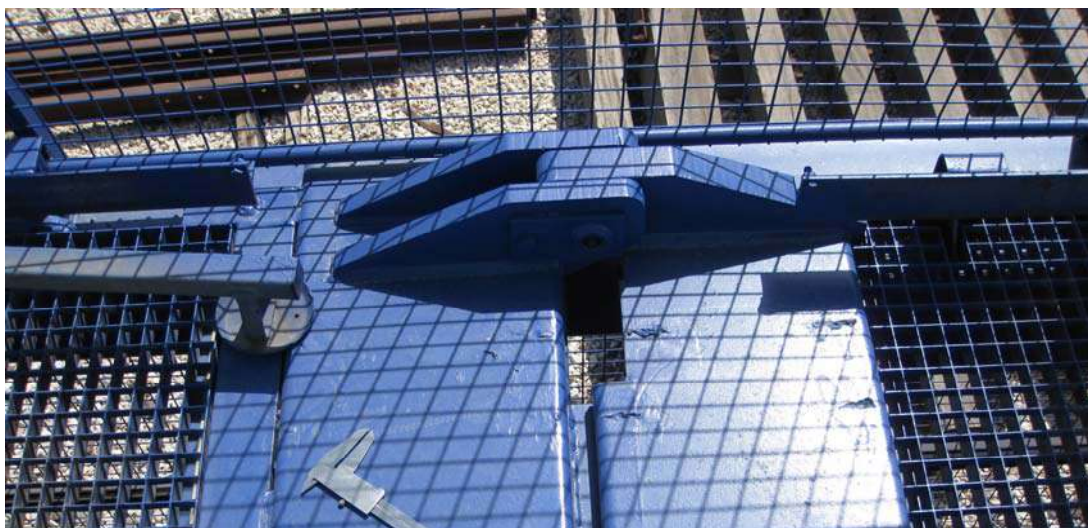


Figura 38 - Rotula de enganche entre plataforma y piso superior

4.6.3 Estudio de la altura. Longitud de la plataforma de descarga

Aunque el piso que se desea diseñar es móvil para aprovechar al máximo la altura disponible, no está de más hacer un estudio en base a las medidas estándar de los coches que actualmente se encuentran en el mercado para garantizar la correcta circulación del automóvil a lo largo del piso inferior.

Existen dos zonas críticas:

- la zona central al pasar sobre el parachispas que hay sobre la rótula,
- los extremos cuando el automóvil baja de la zona de cabecero a la zona más baja del piso.

Con este análisis se pretende establecer una longitud óptima de la plataforma para evitar que este tipo de estrangulamientos restrinja la capacidad de carga en el piso inferior.

La Tabla 16 muestra las medidas exteriores de una serie de vehículos que cubren todas las categorías.

Tabla 16 - Dimensiones de los coches

Modelo	Longitud	Empate	Altura	Ancho con retrovisores	Ancho sin retrovisores
Corsa	3990	2511	1488	1944	1737
Astra	4419	2685	1510	2013	1814
Insignia	4830	2737	1498	2084	1856
Zafira	4467	2703	1635	2025	1801
Meriva	4288	2644	1615	1994	1812
Antara	4596	2707	1761	2085	1850
serie 3	4531	2760	1421	2013	1817
serie 5	4899	2968	1464	2094	1860
serie 7	5072	3070	1479	2134	1902

Media Opel	4431,67	2664,5	1584,5	2024,167	1811,67
------------	---------	--------	--------	----------	---------

Estas medidas serán las consideradas en un coche estándar que recorra la parte inferior del piso (ver Figura 39).

Se debe conocer además, que los propios fabricantes de automóviles imponen condiciones para la carga/descarga y transporte de los mismos. Esto supondrá otro punto a valorar para el diseño del piso superior. A continuación se describen cuales son, en general, estas pautas:

- **GENERALES:**
 - La velocidad máxima permitida sobre los vagones es de 10 km/h.
 - La pendiente máxima de las rampas de carga/descarga es del 14% (8°), según norma UIC.
 - Pisos en posición horizontal y sin calces en la zona de rodadura de los vehículos.
- **POSICIONAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS:**
 - Los vehículos se centraran respecto al eje del vagón. Se tolera una pequeña desviación en el piso inferior para permitir la salida por la puerta del conductor sin riesgo de choque de la puerta contra los elementos del vagón.
 - La distancia de seguridad entre cada vehículo debe ser de al menos 10 cm. Este valor se aumentará a 15 cm para el lado sin calzar de un vehículo situado sobre una articulación central.
 - La distancia entre cualquier parte del vehículo y los elementos del vagón deben ser como mínimo de 10 cm.
 - La distancia entre el vehículo del piso inferior y la estructura del piso superior debe ser como mínimo de 8 cm.
- **ORDEN DE CARGA (Vagones de 2 pisos):**
 1. Se carga todo el piso inferior menos el último.
 2. Se carga todo el piso superior.
 3. Se carga el último vehículo del piso inferior.
- **ORDEN DE DESCARGA (Vagones de 2 pisos):**
 1. Se saca el primer vehículo del piso inferior para permitir la bajada de la plataforma hasta la posición de descarga.
 2. Se descarga el piso superior por completo.
 3. Se termina de descargar el piso inferior.

Con las anteriores prescripciones, la Tabla 16 con la medida del coche de referencia y las medidas del piso inferior del vagón, ya se puede hacer un análisis de la longitud óptima que tendría que tener la plataforma para permitir en los estrechamientos un aprovechamiento máximo del espacio disponible. La Figura 39 muestra estas medidas.

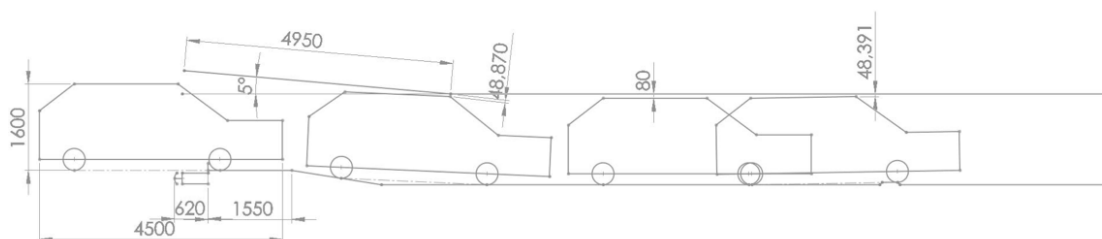


Figura 39 - Recorrido del automóvil en el piso inferior

En primer lugar se observa como el parachispas del centro del vagón eleva el coche a su paso por él, pero sin peligro de que se produzca una interferencia entre las dos interfaces. En cambio en el estrechamiento del extremo no es tan sencillo. Ahora se puede ver la importancia que tiene la longitud de la plataforma, pues si el piso fuera más corto, la unión (la rótula) entre la plataforma y el piso móvil estaría más hacia el extremo del vagón, haciendo que en la bajada, un vehículo pudiera chocar en el techo al pasar por ese punto. Esto considerando la distancia mínima entre el techo del coche y el piso superior de 8 cm, pues como ya se ha dicho, se quiere obtener el máximo aprovechamiento posible. Además se puede observar como sólo bastaría levantar 5° la plataforma para proceder a la carga del piso inferior sin tener ningún tipo de problemas en los estrangulamientos.

La plataforma móvil del piso superior tendrá por lo tanto una longitud en su conjunto de 4950 mm (Figura 39). Este conjunto incluye la plataforma así como la pasarela extrema de acceso, que deberá verificar las condiciones impuestas por el apartado 4.1.2.1 de la ficha UIC 571-3 [10]. Por lo tanto la longitud de construcción real de la plataforma será de 4850mm.

4.6.4 Estudio de la anchura del piso superior de vagón

Este dato dependerá directamente de lo que ocupen los montantes del piso una vez se diseñen (ver apartado 4.7.2). Se considera que un ancho que cumple todas las condiciones de construcción es aquel que mide 2900mm. Esta dimensión será para toda la anchura del piso superior, tanto para el piso como para la plataforma extrema.

4.6.5 Situación y forma de los apoyos del piso

Los apoyos instalados en la base de la estructura que componga tanto el piso móvil como la plataforma de descarga, deberán estar alineados con los montantes que sujeten toda la superficie superior de vagón. Por tanto, esta definición del lugar donde situar los montantes a lo largo de la superficie inferior del vagón dependerá exclusivamente de donde se coloquen los apoyos y no a al revés. Se tratará de situar dichos apoyos a unas distancias tales que la distribución de esfuerzos y las deformaciones originadas por la carga de los automóviles sean mínimas. La única restricción que existe es a la hora de situar el apoyo de la plataforma, ya que el montante que va sobre el cabecero necesita una distancia mínima de separación para poder respetar el gálibo constructivo. Por lo tanto este apoyo de la plataforma vendrá determinado no por el punto ideal de reparto de esfuerzos, sino por esta distancia.

Para generar las menores restricciones posibles, fuente siempre de fisuras, se ha determinado que los apoyos sean rótulas sobre las que se pueda colocar un bulón el cual sea solidario al sistema de elevación que finalmente se decida elegir. La Figura 40 muestra el diseño de este apoyo.

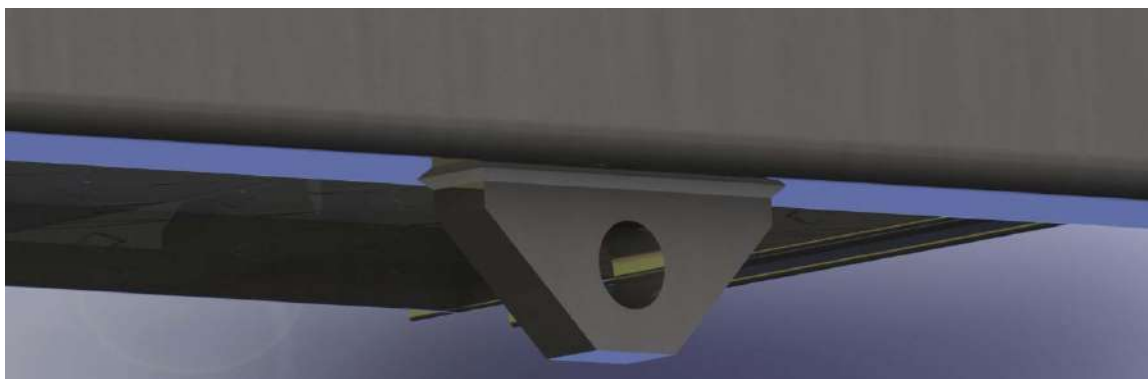


Figura 40 - Rótula sin carrera para análisis

Es importante recalcar que este diseño es para poder efectuar el análisis (capítulo 5) de los esfuerzos que soportan las estructuras superiores. En la realidad el hueco para el bulón deberá ser alargado como muestra la Figura 41, para permitir los desplazamientos que se produzcan como consecuencia del giro de la plataforma de descarga respecto al piso móvil. Sin esta carrera en el apoyo tampoco se podría bajar el piso superior manteniendo a la plataforma en su apoyo.



Figura 41 - Rótula alargada real

En este documento y una vez que se conocen estas premisas se considerará la rótula del apoyo sin ninguna carrera.

4.6.6 Diseño de la plataforma de descarga del piso móvil

La Tabla 17 muestra las medidas de construcción que tiene la plataforma, recopiladas de los apartados anteriores.

Tabla 17 - Dimensiones de diseño de la plataforma de descarga

Largo	4850 mm
-------	---------

Ancho	2900 mm
-------	---------

Si se toman en consideración los requisitos impuestos en el apartado 4.2 y se tiene en cuenta que por el tipo de carga la distribución de los esfuerzos es uniforme, se determina que el diseño más propicio para este tipo de estructura es el expuesto en la Figura 42.

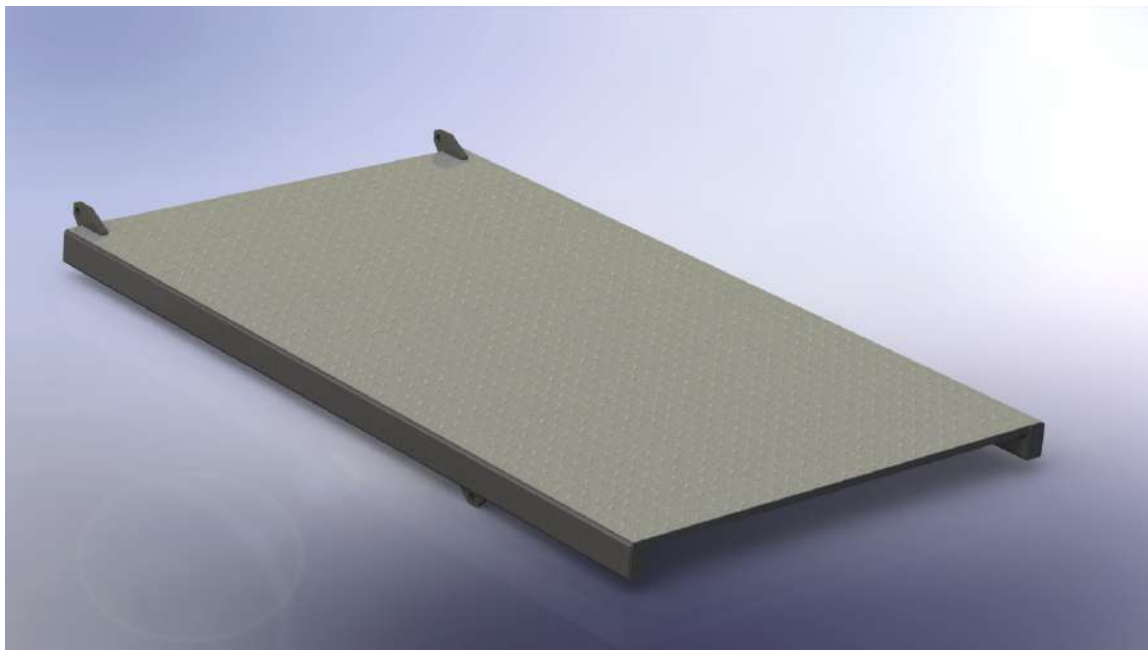


Figura 42 - Diseño 3D de la plataforma de descarga del piso superior

Por otro lado, el entramado real de la estructura de sustentación que se ve desde la parte inferior de la plataforma, es el que se muestra en la Figura 43.

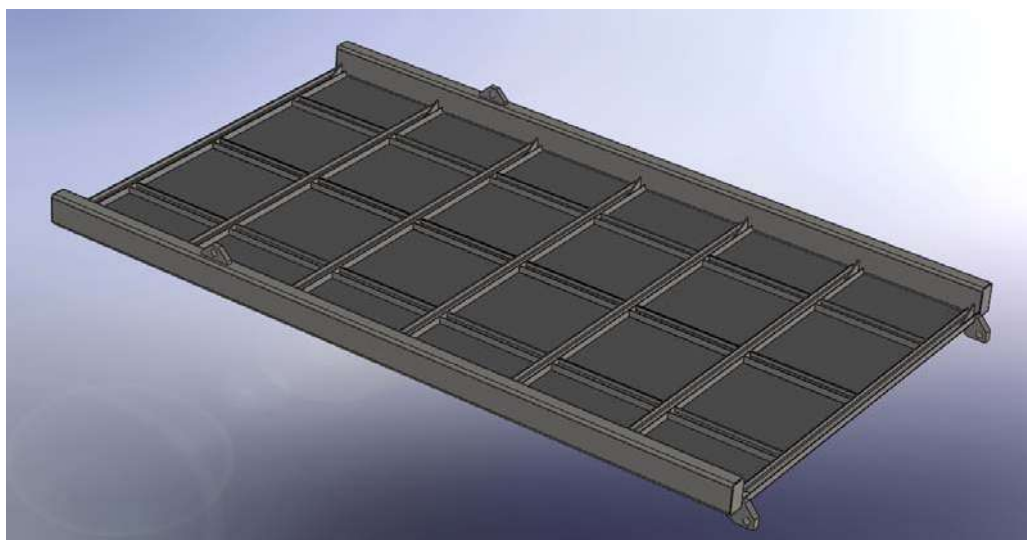


Figura 43 - Estructura interior de la plataforma de descarga

Se ha decidido la colocación de 2 largueros que recorren toda la longitud de la plataforma y sobre los que se colocan los apoyos de la misma (ver 4.6.5). A ellos van soldados 7 travesaños con sus respectivas cartelas, que unen los travesaños con los largueros para repartir de manera más uniforme los esfuerzos que se produzcan. Para darle mayor rigidez a la estructura, se decide colocar unos largueros intermedios

formando una malla con los travesaños. La distancia de separación entre los diferentes travesaños y en definitiva, la longitud que deberán tener los largueros interiores será de 715mm.

Una particularidad de este diseño reside en que la distancia de estos largueros interiores no es la misma, sino que se han colocado en la zona de rodadura de los automóviles, para que de esa forma los esfuerzos producidos sean mejor absorbidos al producirse el momento mínimo.

Los perfiles constructivos normalizados utilizados para la construcción de la plataforma se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18 - Perfiles usados para la fabricación de la plataforma

Parte de la plataforma	Tipo de perfil
Largueros exteriores	ISO rectangular 200x120x10
Travesaños	UPN 80
Largueros interiores	UPN 80
Superficie del piso	Chapa lagrimada de 5 mm

Se decide usar una rotula como la mostrada en la Figura 38 para la interfaz entre la plataforma y el piso móvil ya que en pisos de vagones de construcción similar han dado un buen rendimiento.

Como se estableció en el apartado 4.6.5, el apoyo de la plataforma se sitúa en la mitad de la distancia entre los dos travesaños para cumplir con la distancia necesaria.

4.6.7 Diseño del piso móvil

Para seguir las premisas impuestas en el apartado 4.2.2 se diseña el piso móvil siguiendo la base estructural de la plataforma. Esto es, se mantiene la separación entre los travesaños aunque el número de estos aumenten, para que así los perfiles UPN que unen unos travesaños con otros sean en ambas partes del piso superior iguales, aumentando de esa manera el número de piezas iguales, que era uno de los requisitos impuestos. Aunque los esfuerzos a soportar por el piso son mayores que los que debe soportar la plataforma, la situación en el mismo plano de los apoyos y la posibilidad de distribuirlos bajo el piso y no en el extremo (como ocurre en la rótula de la plataforma), le confiere mayor rigidez frente a las deformaciones interiores. Aún así, el resultado de si la estructura aguanta o no se trata en el capítulo 5 de este documento.

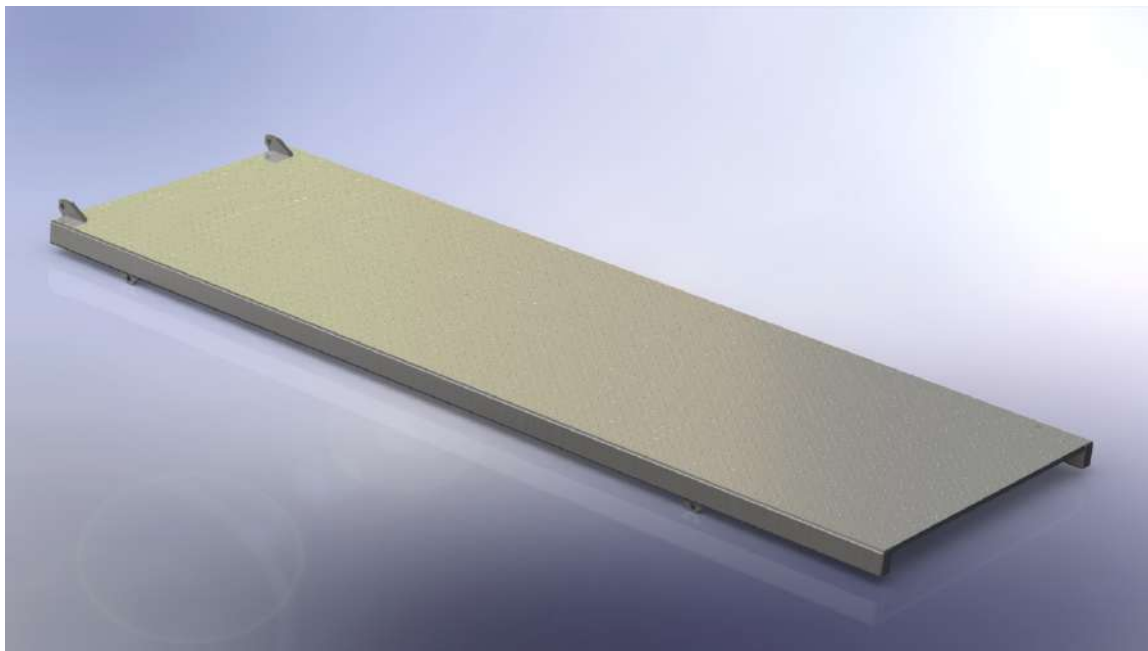
La longitud total del piso depende del espacio restante disponible que deja la plataforma, de la intención de mantener la separación de 715mm y de respetar las distancias para la no interferencia en curva de 75m en la zona de la rótula. La longitud que cumple con estas premisas es de 8030mm.

La Tabla 19 muestra las medidas de construcción que tiene el piso, recopiladas de los apartados anteriores.

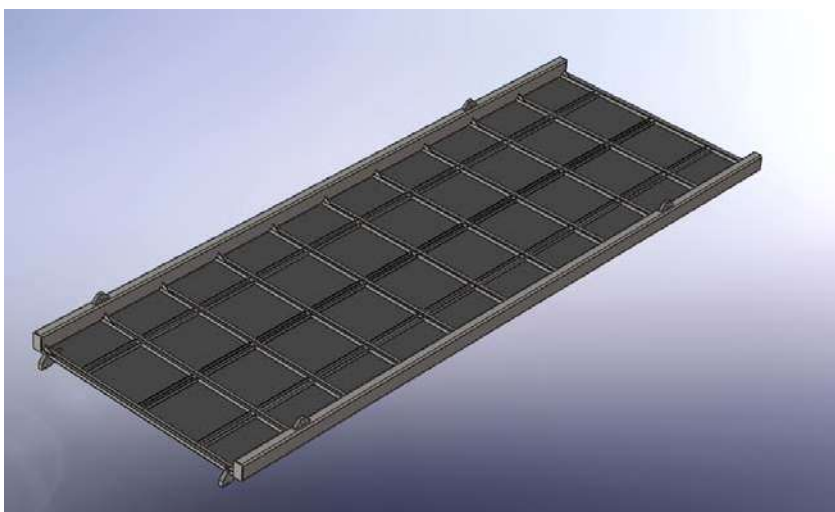
Tabla 19 - Dimensiones de diseño del piso móvil

Largo	8030 mm
Ancho	2900 mm

La Figura 44 muestra el diseño que se establece para el piso superior cumpliendo con todos los parámetros anteriormente mencionados.

**Figura 44 - Diseño 3D del piso móvil**

El entramado real de la estructura de sustentación que se ve desde la parte inferior del piso, es el que se muestra en la Figura 43.

**Figura 45 - Estructura interior del piso móvil**

Se observa como en este caso en lugar de 7 travesaños se han incorporado 11 a lo largo de toda la longitud del piso. Los perfiles constructivos son los mismos que se emplean en la construcción de la plataforma, que se recogen en la Tabla 18.

Cabe destacar que los apoyos, a diferencia que en la plataforma, se sitúan sobre el mismo plano que los travesaños y no entre la distancia de 2 de ellos. Se considera que esta es la situación óptima para una mejor distribución de esfuerzos de la superficie del piso al entramado estructural inferior. Por las razones recogidas en el apartado 4.6.5, la plataforma no podía tenerlos en el mismo plano. Para una distribución de las reacciones en los apoyos más homogénea, el apoyo del extremo sin rótula se ha colocado en el plano que forma el segundo travesaño. En cambio, el apoyo situado cerca del apoyo que une el piso con la plataforma se ha colocado en el plano que forma el primer travesaño.

La Figura 46 muestra el piso superior al completo con los diseños de la plataforma y el piso móvil que se han establecido en los apartados anteriores. Se puede observar como la distribución de los apoyos a lo largo de toda la parte superior del vagón es uniforme. En el apartado 5.4.1 se hará un estudio de los esfuerzos a los que está sometido el piso a partir de las restricciones dadas por la Tabla 15.



Figura 46 - Diseño 3D del piso superior del vagón

4.7 Diseño de los soportes laterales del piso superior.

4.7.1 Requisitos y distintas partes

La Figura 47 muestra las diferentes partes de las que se compone la estructura lateral de un vagón porta-autos. Por un lado están los montantes (parte verticales en azul) y por otro lado las protecciones anti-vandálicas, que en el caso de la imagen son rejillas.



Figura 47 - Diferencias entre los montantes y las protecciones anti-vandálicas

Los requisitos que debe cumplir el conjunto son los impuestos en los puntos 4.1.2.1 y 4.1.2.10 de la ficha UIC 571-3 (ver Tabla 15) y por supuesto la restricción de construcción dentro del gálibo de dicho material rodantes (ver apartado 4.5).

Para el diseño de los dos componentes se tendrán en cuenta como en apartados anteriores las prescripciones de los apartados 4.2.1 y 4.2.2.

4.7.2 Diseño de los montantes

En la Figura 48 se muestra un vagón porta-autos con piso superior fijo. En ese caso son unos montantes dispuestos en forma de V los que soportan todo el peso de la estructura superior así como el de los coches. Para el caso que ocupa, la base de planteamiento es la misma, es decir, disponer en el vagón de una estructura capaz de sustentar el piso superior y el peso que supondrán los automóviles. Pero para este caso, el diseño deberá ser totalmente distinto, ya que uno de los requisitos impuestos es que el piso superior pueda regularse a diferentes alturas.



Figura 48 - Montantes de un vagón con piso superior fijo

Es importante hacer notar que para la realización de este diseño necesitamos conocer como va a ser el sistema de elevación empleado para mover el piso superior del vagón. Ya en el apartado 2.3.4 se mencionó que existen a priori 2 posibilidades empleadas hoy en día para la elevación este tipo de pisos: por cabrestante o por gatos mecánicos. Como esto es un tema que no aborda el proyecto (pero que se plantea en el capítulo 9 como trabajo futuro), el diseño de los montantes debe ser versátil para poder acoplarle cualquier sistema de elevación elegido.

Los apoyos elegidos en el apartado 4.6.5, tanto del piso como de la plataforma de descarga, consisten en unas rótulas en las cuales pueda incorporarse un bulón que sea solidario con el sistema de elevación. Por tanto, los montantes deben estar en el mismo plano en el que se encuentran los apoyos. La Figura 49 muestra las distancias entre los distintos apoyos del piso superior diseñado en el apartado 4.6.6 y 4.6.7.

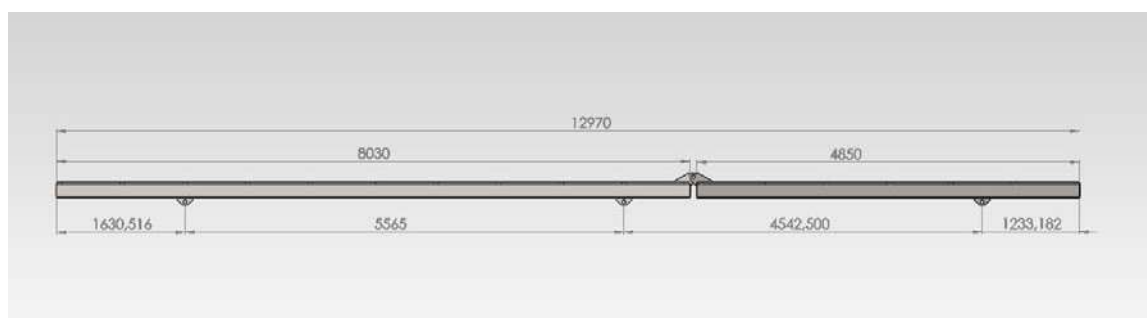


Figura 49 - Distancia entre apoyos del piso superior

No se estudiará ni se tendrá en cuenta el peso que deben soportar dichos montantes, sólo se diseña una estructura exterior versátil para la introducción de un mecanismo de elevación cualquiera. Este argumento se basa en que si no se conoce el punto de apoyo que tendrá el piso superior sobre los diferentes montantes, no se pueden concluir resultados veraces. Pero esto no significa que los montantes haya que volver a rediseñarlos para el sistema de elevación. Muy probablemente y siempre basándose en

vehículos similares, se comprueba que los montantes necesarios para este tipo de solicitaciones no son muy voluminosos.

En primer lugar hay que eliminar el reborde añadido al piso inferior del vagón objeto, por dos razones:

- Apoyar los montantes sobre el larguero que recorre todo el vagón y no sobre simples refuerzos
- Ganar espacio de construcción lateral sin ir más allá del gálibo.

La Figura 50 muestra visualmente como en la actualidad el piso inferior sobresale más allá del larguero que lo sustenta.

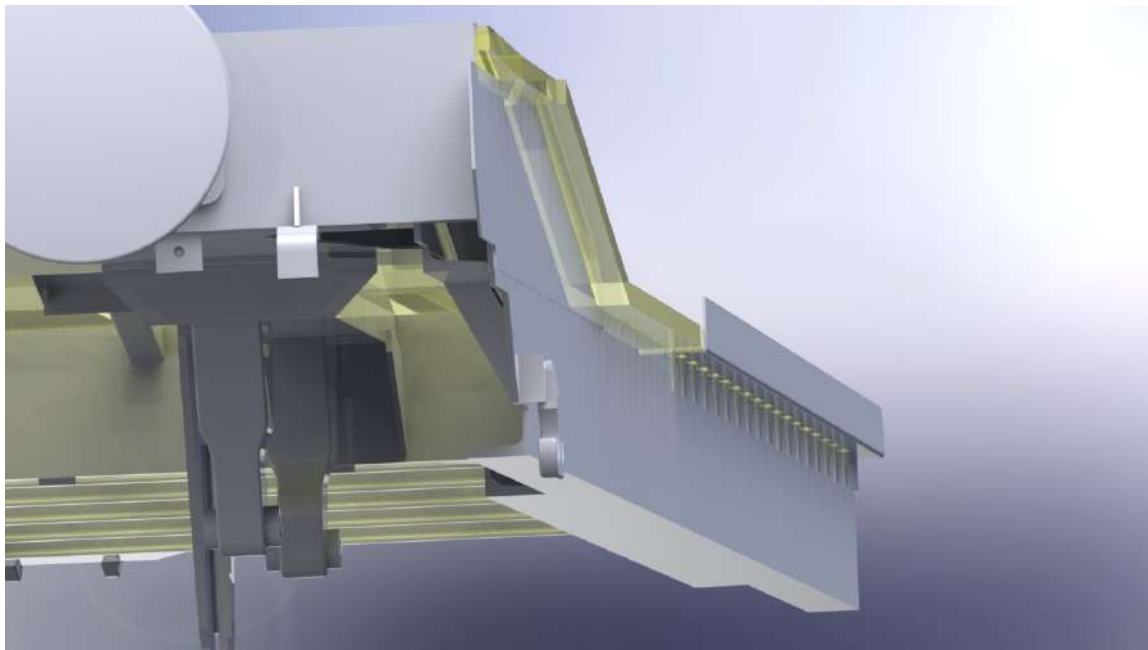


Figura 50 - Bordes a eliminar del piso inferior en 3D

Junto con los montantes hay que proporcionar una escalera por la que el personal encargado de realizar cualquier operación en el piso superior puede proceder a la subida y bajada de este con total seguridad. Esta escalera estará situada a ambos lados de la rótula, en cada semivagón y a cada lado del mismo respecto del plano longitudinal. Precisamente para garantizar la seguridad del personal y protección de los automóviles se va a elevar la altura máxima de los montantes que permita el gálibo del vehículo.

También se incorporan junto a los montantes los soportes para sujetar las protecciones anti-vandálicas. Estos soportes sirven para amarrar cualquier tipo de protección lateral como se estudia en el apartado 4.7.3.

En la Figura 51 se demuestra de utilidad de diseñar interactuando las condiciones de contorno con el propio diseño. En este caso una altura excesiva sólo en algunas secciones del vagón hubiera sido muy difícil de detectar si no hubiese sido con este método, por lo que los diseños clásicos no exprimían tanto los valores máximos. Si se usa el método descrito en el apartado 4.5 se gana en seguridad para los trabajadores elevando al máximo como la normativa permita las protecciones laterales. La Figura 52 muestra la interfaz que se obtiene como combinación del vagón objeto sobre el que se diseña, la restricción del gálibo y el diseño de los montantes cuando estos ya no sobresalen el máximo contorno constructivo.

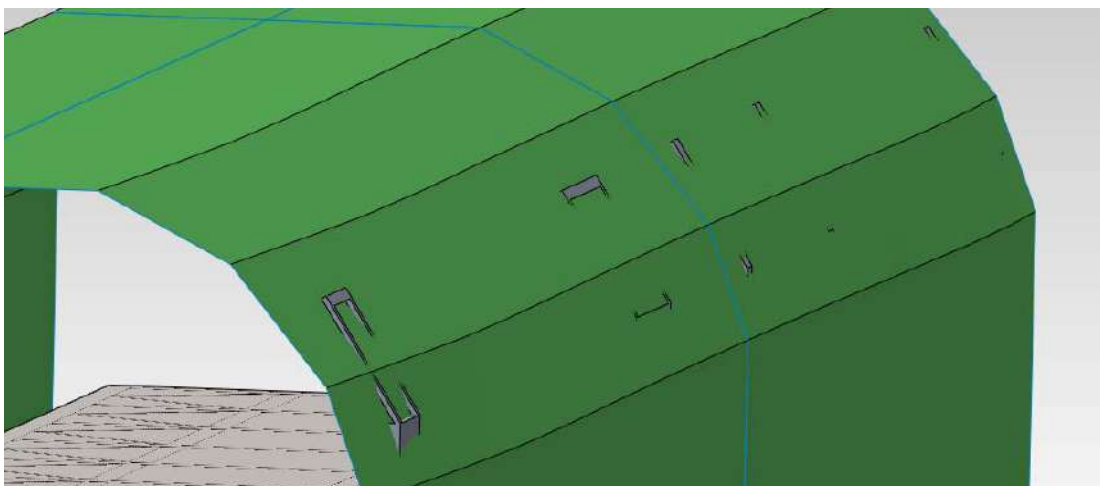


Figura 51 - Salida de gálibo de los montantes

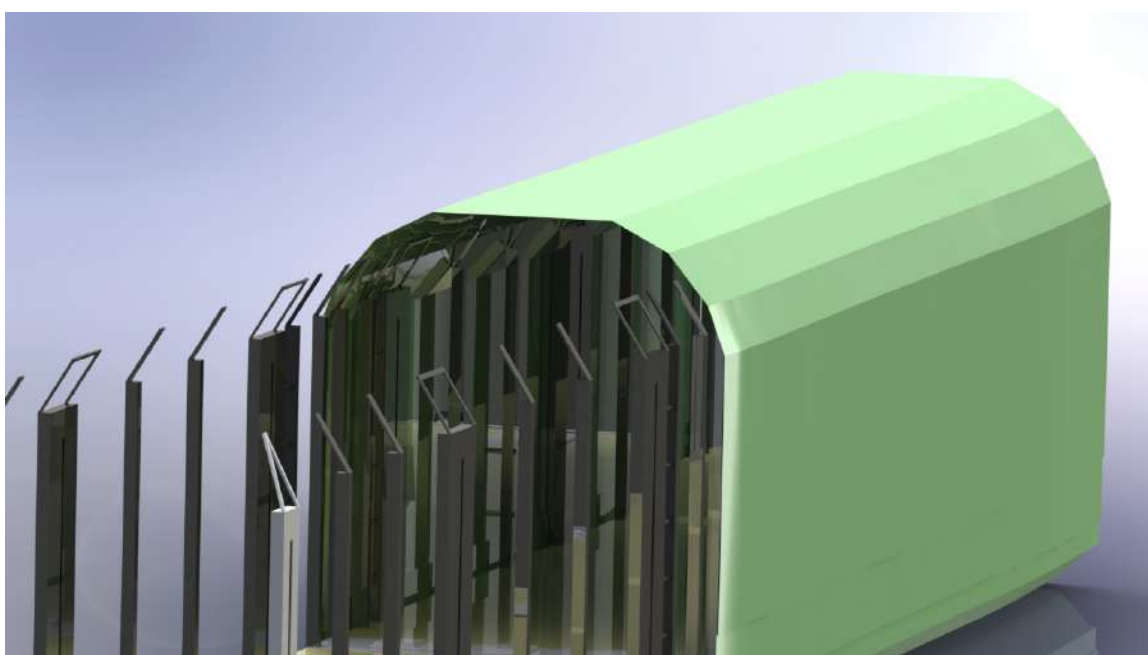


Figura 52 - Interfaz de diseño entre el vagón, el gálibo y los montantes

La Figura 53 muestra el diseño de los montantes a lo largo del vagón según los parámetros expuestos a lo largo de este punto. Se pueden diferenciar claramente los montantes que sujetarán el piso, los soportes intermedios para la colocación de las defensas anti-vandálicas y las escaleras para subir al piso superior.

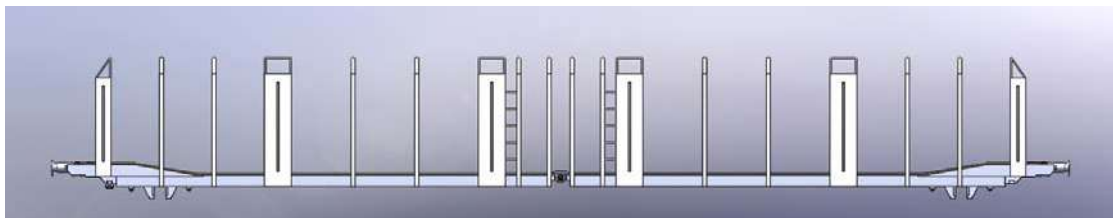


Figura 53 - Montantes a lo largo del vagón

Este resultado final se puede apreciar mejor en la recreación de la Figura 54.

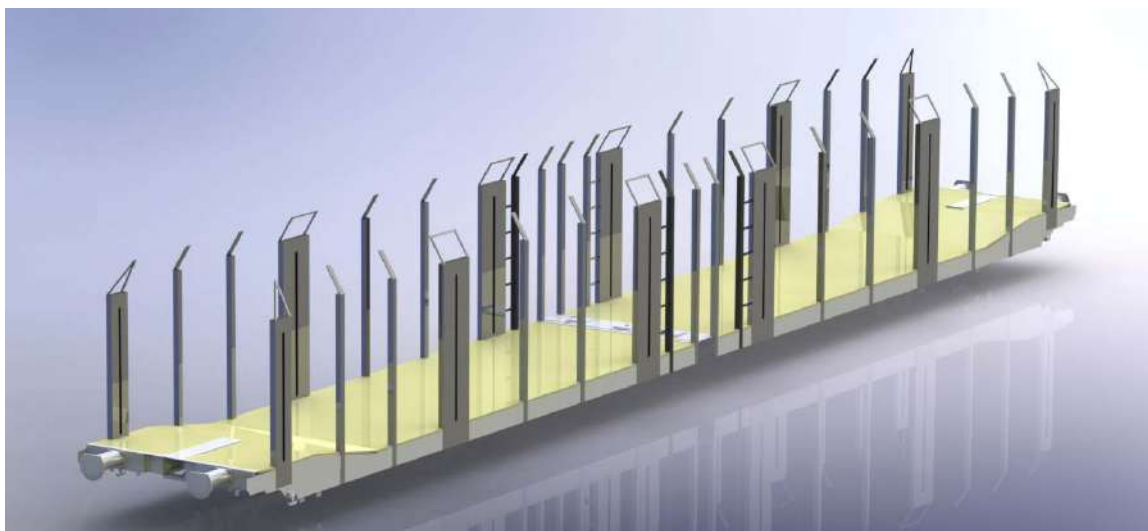


Figura 54 - Recreación 3D de los montantes sobre el vagón sin bordes

Todos los montantes son iguales a excepción de los situados en los cabeceros. Lo mismo sucede con los soportes de las protecciones anti-vandálicas, que son más cortas en los extremos del vagón. Todas estas sujeciones se soldarían al larguero que recorre el piso inferior del piso para que todos los esfuerzos producidos se transmitan a este larguero y puedan absorberse a lo largo de la estructura que forma el bastidor del vagón. La Figura 55 muestra en detalle estas uniones.

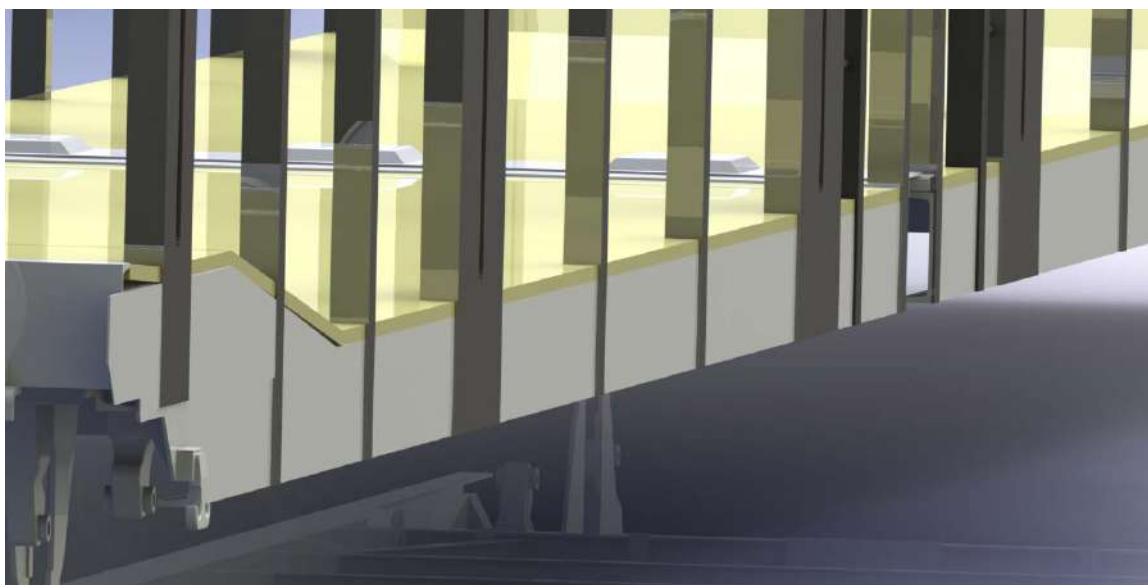


Figura 55 - Detalle de la fijación de los montantes y soportes en el piso inferior del vagón

4.7.3 Protecciones Anti-Vandálicas. Elección y diseño.

Este tipo de protecciones como su propio nombre indica, se colocan para evitar que objetos lanzados desde el exterior puedan llegar a impactar contra los vehículos. Aunque pueda parecer algo excesivo, la realidad es que tras el transporte de los vehículos, muchos aparecen con la carrocería dañada como resultado de estos lanzamientos. Y es el transportista quien debe asumir los gastos que supongan el arreglo de estos desperfectos, suponiendo un gasto adicional no previsto y en consecuencia, una disminución del

margen de ganancias. Antiguamente estas protecciones no estaban colocadas favoreciendo la carga en paralelo de los vehículos, como ya se indicó en el apartado 2.3.3. Hoy en día aún quedan vagones antiguos como el de la Figura 48 que no poseen estas protecciones. Pero en el diseño de una modificación actual, la colocación de estas protecciones se hace indispensable.

Existen dos tipos de protecciones: las de rejilla metálica (ver Figura 47) y las de policarbonato (ver Figura 56). La Tabla 20 recoge las ventajas e inconvenientes de ambas soluciones.



Figura 56 - Porta-autos con protecciones de policarbonato

Tabla 20 - Ventajas e inconvenientes entre protecciones anti-vandálicas

	Ventajas	Inconvenientes
Rejillas metálicas	<p>Robustas</p> <p>Duraderas</p> <p>No necesitan mantenimiento</p> <p>Absorbe mejor las vibraciones</p>	<p>Tienen un mayor peso</p>
Paneles de policarbonato	<p>Menos peso</p> <p>Mayor superficie de protección</p> <p>Ocultan los coches que se transportan</p>	<p>No tan robustas.</p> <p>Pueden ser agujereadas con el lanzamiento de objetos.</p>

Ambas soluciones son buenas y como se ve en las imágenes, ambas se montan hoy en día. Por el ahorro en el coste de mantenimiento y la durabilidad que demuestran, teniendo en cuenta que para el tipo de carga transportada el peso no es un problema limitante, se emplearán paneles protectores de rejillas metálicas para la modificación a efectuar en el vagón objeto.

Estas rejillas serán de la misma forma que los montantes y soportes diseñados en el apartado 4.7.2, de manera que en el extremo superior dispongan de un soporte a modo de barandilla para evitar la caída de los operarios que manipulen los vehículos. Como a lo largo de todo el apartado de diseño, se procura montar protecciones que sean iguales. Para ello previamente se dispuso de esta separación igual entre los distintos soportes. La

Figura 57 muestra como quedarían el conjunto de los soportes laterales a colocar en el vagón.

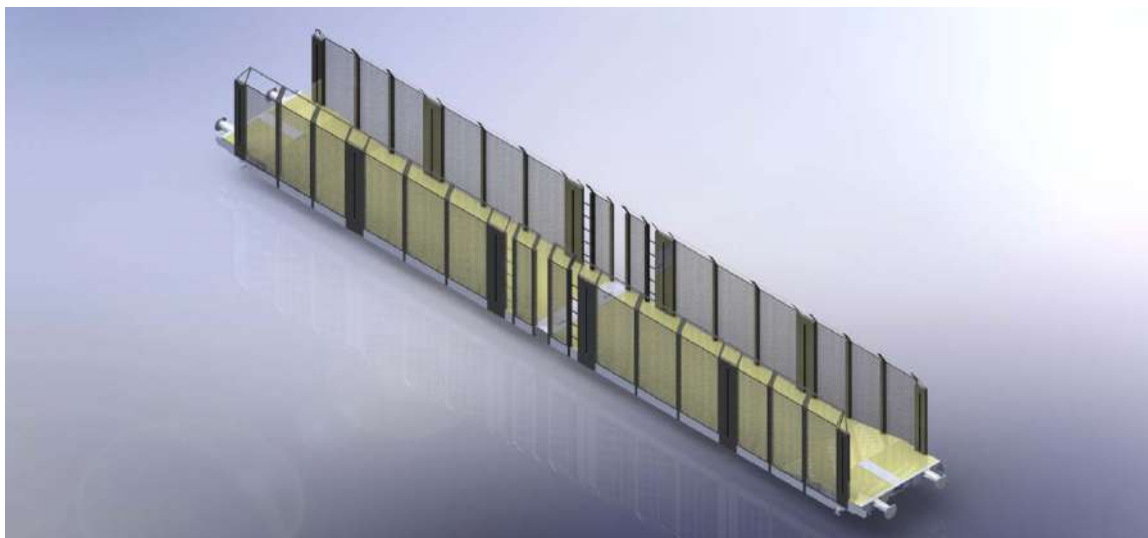


Figura 57 - Soportes laterales tras la modificación

4.8 Diseño final de la modificación

La unión de todos los diseños realizados a lo largo del capítulo 4 forma el conjunto de la modificación. La Figura 58 muestra como quedaría finalmente el vagón objeto con las modificaciones llevadas a cabo.

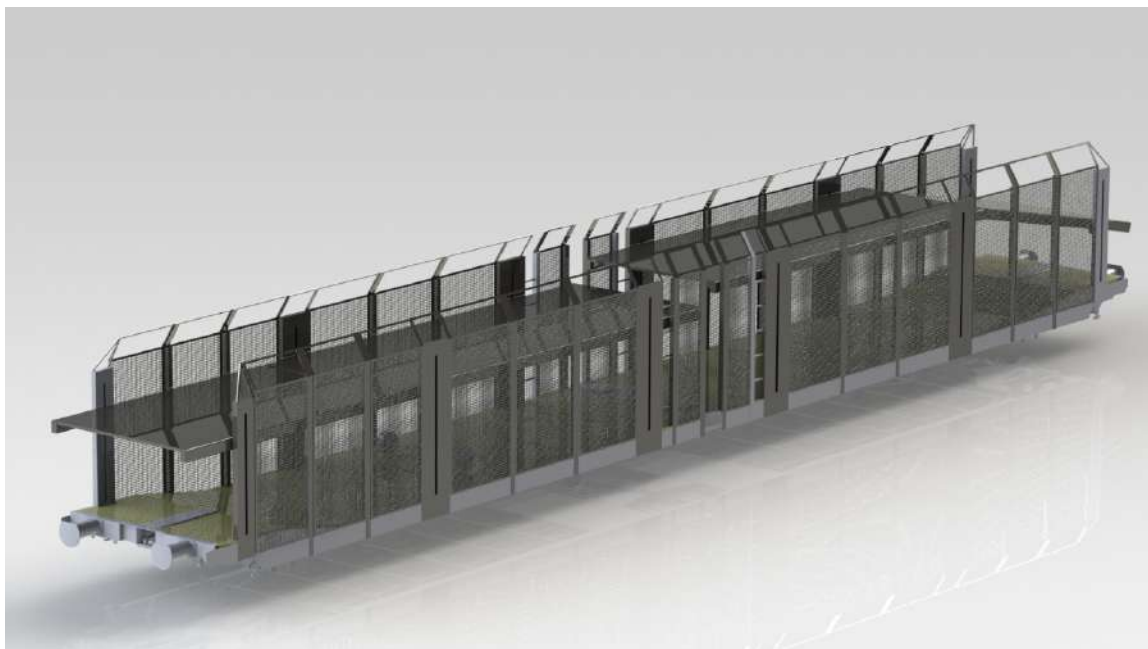


Figura 58 - Recreación en 3D del vagón modificado

Capítulo 5

Análisis

5.1 Requisitos a verificar según la normativa

En el 4.3 hacía referencia a la normativa de aplicación respecto de los requisitos que eran necesarios para abordar el diseño. Como se recoge en la, dicha norma es la UNE-EN 12663, Pero dicha norma también es la encargada de restringir y verificar las pruebas que hay que realizar a las diferentes estructuras del vagón

Como se recoge en la Tabla 7, la norma de aplicación para comprobar los requisitos estructurales a los que está sometido el vagón es la norma UNE-EN 12663 [19]. Y como se explicó en el apartado 4.6.2, esta norma se complementaba para cubrir las características especiales del vehículo objeto con la ficha UIC 571-3. En su punto 4.1.2.2, esta ficha establece los requisitos de carga debidos al transporte de automóviles que debe soportar tanto el piso inferior como el superior.

El punto 3 de la norma UNE-EN 12663 establece los requisitos estructurales que se deben aguantar. A continuación se transcribe dicho apartado.

Las estructuras de los vehículos ferroviarios deben soportar cargas máximas según sus requisitos de explotación y alcanzar la vida en servicio requerida en condiciones de funcionamiento normales con una probabilidad adecuada de supervivencia.

La capacidad de la estructura del vehículo ferroviario para no adquirir deformación permanente y rotura se debe demostrar por cálculo y/o ensayo. La valoración se debe basar en los siguientes criterios:

- a) Carga excepcional definiendo la carga máxima que se debe resistir asegurando el mantenimiento del conjunto en condiciones de explotación.
 - b) Margen aceptable de seguridad, dentro del cual si se supera la carga excepcional, no se produciría colapso o rotura catastrófica.
 - c) Rigidez, como la deformación bajo carga y las frecuencias naturales de la estructura que cumple los límites σ_1 y como determinan los requisitos de explotación.
 - d) Cargas cíclicas y de servicio que se soportan durante la vida definida sin detrimento de la seguridad estructural.
- (...) Cuando el desarrollo de la estructura de un vehículo sea evolución de un diseño anterior cuya seguridad se haya demostrado y se apliquen condiciones similares de servicio, se podrán utilizar los datos relativos al diseño anterior, siempre que se hayan respaldado con ensayos comparativos. Las áreas que supongan un cambio significativo deben volver a analizarse y/o someterse a ensayo.

Tomando en consideración este el último apartado del punto 3 de la norma UNE-EN 12663, se alega que por semejanza entre el vehículo con la modificación y los vehículos referenciados al inicio de este documento, apartados 2.5.1 y 2.5.2, sólo se realizarán los cálculos correspondientes a las cargas solicitadas en el piso superior, ya que el resto de cargas de la caja se dan por aceptadas con la anterior homologación del vehículo al tratarse del mismo tipo de vagón.

El punto 3.4 de la norma UNE-EN 12663 [19] hace referencia a la demostración de la resistencia estática y de la estabilidad. Se debe demostrar por cálculo y/o ensayo, que no existe deformación permanente ni rotura de la estructura en su conjunto o de ningún elemento individual, en los casos de carga de diseño prescrita. Para el caso que se estudia, las cargas que deberá soportar la superficie de rodadura del vagón se establecen en el apartado 4.1.2.2 de la ficha UIC 571-3. Además se deberá soportar el propio peso de la estructura, multiplicando la masa del piso superior por el valor de la gravedad que el apartado 3.1 de la norma UNE-EN 12663 define como $g = -9,81 \text{ m/s}^2$.

La verificación del límite elástico se realiza según el apartado 3.4.2 de la norma UNE-EN 12663 [19], “en los casos en que el diseño se realice sólo mediante cálculo, S_1 debe ser de 1,15 para cada caso de carga individual.” Por tanto, se debe cumplir que :

$$\frac{R}{\sigma_c} \geq S_1$$

donde

- R representa el límite elástico (R_{ei}) o el 0,2% del esfuerzo de prueba, (R_{p02}), en N/mm^2 ;
- σ_c representa el esfuerzo calculado, en N/mm^2 .

En cuanto a la resistencia última debe comprobarse según se indica en el apartado 3.4.3 de la norma UNE-EN 12663 [19], que siendo $S_2 = 1,5$ se cumple que:

$$\frac{R_m}{\sigma_c} \geq S_2$$

donde

R_m representa el esfuerzo último del material, en N/mm²;

σ_c representa el esfuerzo calculado, en N/mm².

Para la demostración de la resistencia a la fatiga se seguirá el apartado 3.6 de la norma UNE-EN 12663 [19].

5.2 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0

Al igual que en el Capítulo 4 todo el diseño fue elaborado con el programa SolidWorks, ahora se usará el software Pro/ENGINEER (también llamado ProE) para realizar el análisis requerido para comprobar las especificaciones impuestas por la normativa.

Pro/ENGINEER es un producto de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora de PTC Corporation. Es un software de diseño paramétrico. Este es muy popular entre diseñadores mecánicos aunque un poco costoso, pero más económico que otros de su mismo rango como CATIA o Unigraphics. Una de las fortalezas de este software es la implementación de una suite para diseño mecánico, análisis de comportamiento (esfuerzos, térmicos, fatiga, eléctrico) y creación de archivos para la fabricación asistida por computadora. Ofrece amplias prestaciones en diseño y análisis con la finalidad de reducir los errores, ahorrar tiempo, y recortar costes debidos al uso de distintas herramientas sin conexión entre sí.

En cuanto al **Diseño**, este software ofrece una amplia variedad de herramientas que hacen posible la generación de una representación digital completa del producto que está siendo diseñado. Además de las herramientas generales de diseño, ofrece también la posibilidad de generar geometrías de otras disciplinas de diseño integradas, tales como tuberías industriales y estándares y definiciones completas de cableado. Entre las prestaciones completas de geometría también se incluyen el modelado de sólidos, chapa y conjuntos, creación de superficies técnicas y de forma libre, piezas soldadas, estructuras metálicas y mecanismos.

Dentro de los **Análisis** posibles en ProE, se encuentran herramientas capaces de realizar análisis térmicos, estáticos, dinámicos y de fatiga, junto con otras herramientas diseñadas para ayudar con el desarrollo del producto. Estas herramientas incluyen por ejemplo factores humanos, tolerancias de fabricación o flujo del molde.

La capacidad de **Manufactura** de ProE reside en las soluciones de Control Numérico y de herramientas de ProE que permiten a los fabricantes crear herramientas, trayectorias de herramientas de CN y programas de inspección mientras se realiza el trabajo de diseño de productos. Al compartir y usar directamente los diseños de ProE, los ingenieros de producción y de creación de herramientas participan en el proceso en una fase temprana y pueden influir en los diseños antes de su finalización.

Al tratarse un programa paramétrico al igual que SolidWorks, la exportación de archivos de un programa a otro se realiza sin mucha dificultad. Hay multitud de archivos para hacer este intercambio. Ambos programas ofrecen la opción de guardarlos con la extensión del otro. Pero puesto que tras las primeras pruebas que se realizaron, este método daba ciertos errores, se decidió seleccionar otro tipo de archivos para la exportación. El tipo de archivo seleccionado se denomina “Parasolid” y su extensión es .x_t. Este tipo de archivo ha sido desarrollado por Siemens PLM Software, los desarrolladores de SolidEdge.

5.3 Análisis por elementos finitos

5.3.1 Generalidades

La Teoría de la Elasticidad establece para un problema dado las relaciones matemáticas exactas en forma diferencial, y plantea su integración cerrando el problema con condiciones iniciales y de contorno para obtener las funciones que definen las variables representativas del comportamiento de la estructura.

El método de elementos finitos se trata de una simplificación de dichas ecuaciones, ya que su forma diferencial se sustituye por un conjunto discreto de ecuaciones y de sus respectivas condiciones de contorno para su posterior resolución.

La discretización del problema en el caso de un medio continuo se lleva a cabo mediante un proceso de modelización para convertirlo en un número finito de elementos ensamblados entre sí en puntos llamados nodos, planteando así las ecuaciones de desplazamientos para dichos nodos e imponiendo las condiciones de contorno requeridas.

De la resolución del mismo como un todo, se obtiene el campo de desplazamientos para cada uno de los nodos, y a partir de él, el campo tensional. El comportamiento en el interior del elemento se interpolará a partir de los desplazamientos nodales mediante funciones de forma.

La herramienta dentro de ProE que se encarga de realizar los análisis mecánicos es el módulo Mechanics. Este módulo es capaz de realizar análisis estáticos, modales, dinámicos y a fatiga y tiene implementados análisis para la optimización y mejora de los modelos a estudiar.

5.3.2 Etapa de calibración

Antes de la recopilación de los resultados satisfactorios que desprende un programa de elementos finitos, es de suma importancia la realización de una etapa de calibración de los parámetros de entrada de dichos análisis para obtener unos resultados que se puedan considerar como una aproximación veraz de la realidad. Esto sucede ya que la propia creación del mallado, es decir, los elementos de los que el programa luego calculará los desplazamientos y estado tensional, es una aproximación a la realidad del sólido en cuestión y como obviamente cabe pensar, a mayor número de elementos, mayor será la aproximación del modelo de elementos finitos con la realidad. Pero existe un problema

añadido a la creación de un gran número de elementos: el tiempo de cálculo. Un mayor número de elementos significa un mayor número de ecuaciones que resolver. Por lo que es necesario encontrar un compromiso entre los resultados del análisis y el tiempo que se tarda en obtenerlos. Ya que, como se vio en el apartado 4.1, los métodos actuales de diseño adquieren una ventaja importante en el tiempo que se ahorra respecto de un diseño clásico.

La única manera de encontrar este compromiso de calidad / tiempo es la realización de un gran número de análisis iniciales sin otro objetivo que el hallar tiempos de cálculo y diferencia en los resultados de los diferentes estudios. Este tiempo de estudio dependerá exclusivamente de dos parámetros iniciales:

- Número de elementos que se mallan
- Nivel de detalle en la resolución de las ecuaciones implicadas

Como se verá en detalle en el siguiente apartado, *Mechanica* posee diferentes aproximaciones a la hora de calcular las soluciones de las ecuaciones de los elementos mallados. Estas “pasadas” son iteraciones que permiten ir aproximando los resultados obtenidos a unos valores más reales a la vez que se aumenta el grado resolutivo de la ecuación.

Por lo tanto, de nada sirve aumentar el número de los elementos mallados para mejorar la solución si más tarde dicha solución no se corresponde con la realidad. Así que existirá otro compromiso a tener en cuenta entre elementos / grado de las ecuaciones.

Muchos programas de elementos finitos sabiendo de estas limitaciones, incorporan módulos de simetría para permitir resolver de una manera mucho más rápida el problema en cuestión, considerando sólo la mitad del mismo o mediante la utilización de simetría radial. Puesto que una gran parte de las piezas que se usan en la realidad son simétricas respecto alguno de sus planos tanto geoméricamente como en sus condiciones de contorno (cargas, restricciones...), es muy conveniente el uso de estas técnicas de “aligerado” del problema para poder ganar tiempo y emplear ese tiempo en mejorar la calidad de los resultados obtenidos.

Y como muchas piezas, el caso que ocupa también contempla piezas que son simétricas respecto de uno de sus planos con unas condiciones de contorno también simétricas, en este caso respecto del plano longitudinal. Además, ya sea la plataforma o el piso móvil, estas son muy largas por lo que la creación de gran número de elementos en la malla es inevitable. La aplicación del análisis a la mitad de la estructura imponiendo la restricción de espejo (*mirror*) es básica según reflejan los datos de la Tabla 21.

Tabla 21 - Comparación entre análisis con y sin simetría

MISMO ANÁLISIS REALIZADO CON PARÁMETROS DE SIMETRÍA			
		Ensayo Plataforma Entera	Ensayo Mitad de la plataforma y aplicación de simetrías
PESO	Peso semi parte (Kg)	-	659,66
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	1319,34	1319,32
MALLA	Elementos de la malla	124310	61121
	Nodos de la malla	39157	19425
MÉTODO	Método de ensayo	Simple-Pass	Simple-Pass

	Convergencia	-	-
	Plotting	4	4
RMS	Stress Error (MPa)	1,03	1,85
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,4% of 2,42e8	0,5% of 3,7e8
TIEMPO	Tiempo inicio	17:29:20	18:56:16
	Tiempo fin	18:13:11	19:09:47
	Tiempo Total	0:43:51	0:13:31
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	225	273,95
	Tensión Máx. Principal (MPa)	86,2	84,57
	Desplazamiento Máx. (mm)	2,16	3,39

Se observa como existe la mitad de elementos creados respecto de una pieza a otra, lo que ya de por sí mejorará el tiempo de cálculo al ser menos elementos de los que se tienen que calcular la solución tensional. Puede verse como aunque se trata de la mita de elementos aproximadamente, el tiempo empleado para la resolución no es la mitad, sino que es inferior. De hecho, es tiempo empleado (con los mismo parámetros de cálculo y en el mismo ordenador) se reduce 2/3 de un análisis a otro. Lo que justifica la elección del método de la simetría para realizar todos los análisis.

Además también es importante resaltar la variación existente en los resultados. La no despreciable cantidad de 50 MPa aproximadamente. Esto se debe al proceso por el que Mechanics define la malla. Este proceso es de forma automática y el programa (en este caso el ProE) define los elementos aleatoriamente considerando el contorno del mismo. Esto implica la nula obligatoriedad de que el diseño de la malla sea simétrico, grave error si consideramos que la realidad es totalmente distinta. Por ello, como existen distintas mallas respecto del plano de simetría, en los puntos clave de concentración de tensiones pueden darse diferencias muy significativas en los resultados como ocurre en este caso. Por lo que la aplicación del análisis usando simetría genera unos resultados más veraces.

En definitiva la aplicación de la simetría conlleva:

- Menor tiempo de cálculo
- Mayor veracidad y precisión de los resultados

Con lo que los análisis que se realicen serán a piezas simétricas de la forma que define la Figura 61.

La precisión de las pasadas o el método en sí que se usará para los análisis se comentará al inicio de cada análisis, puesto que no se trata de algo general aplicable en igual medida a todos los análisis que se realicen, a diferencia del caso de la simetría. Lo que debe quedar claro es que en todo tipo de análisis realizado se realizarán previamente calibraciones del mismo con un gran número de ensayos para conocer como afecta el método de cálculo seleccionado a los resultados desprendidos del mismo y cuánto tiempo tarda en llevarlo a cabo, para encontrar una solución de compromiso que garantice buenos resultados en el menor tiempo posible.

Todos los análisis a llevar a cabo se realizarán sobre la plataforma de descarga (ver Figura 42) ya que es la pieza más pequeña (menos elementos luego menor tiempo de cálculo) que se debe analizar, pero que en cambio tiene el mismo patrón estructural que el piso móvil. Combinado con que la distribución de esfuerzos por metro es similar, se concluye que todo cambio que se precise para la plataforma se copiará automáticamente

para el piso móvil. Pero además de una cuestión de tiempo, se considera que la plataforma, debido a la situación de sus apoyos, posee más posibilidades de generar puntos de esfuerzos máximos que los que se puedan generar en el piso, donde los apoyos están distribuidos bajo su superficie de una manera más o menos homogénea. Por ello en la metodología que se definió en la Figura 13 se parte de la plataforma para luego aplicar los cambios correspondientes al piso móvil.

5.4 Análisis estático

5.4.1 Requisitos para el análisis estático. Cargas aplicadas

La sollicitación a la que se encuentra el piso superior viene establecida en el punto 4.1.2.2 de la ficha UIC 571-3 [ref] y como se muestra en la Tabla 15 son:

- 7 kN/ rueda, para el piso inferior
- 5 kN/ rueda, para el piso superior

Además de esos valores hay que considerar el peso propio de la estructura sobre la que se colocarán los vehículos, como se plantea en el apartado 5.1.

La Figura 49 desprende un valor total para el piso superior del semivagón de 12970mm. La Tabla 16 establecía que un coche estándar tenía una longitud aproximada de 4m. Por lo tanto en el piso superior del semivagón no pueden entrar más de 3 automóviles. El diagrama de carga que se muestra en la Figura 59 para un modelo de coche utilitario sobre un vagón tipo 4270 (características idénticas a las del vagón en estudio) demuestra esta afirmación.

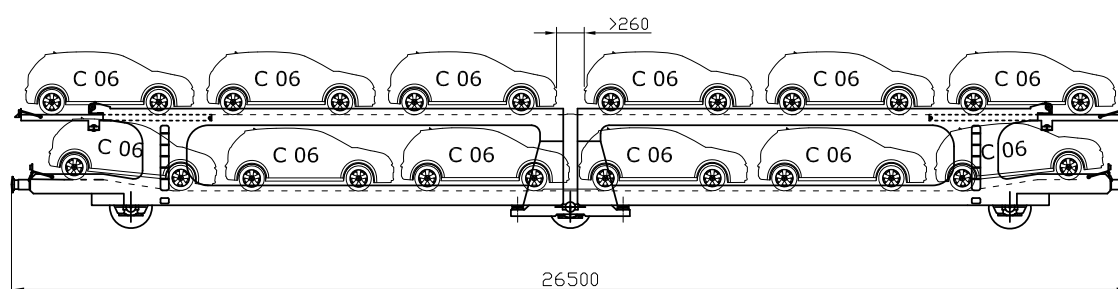


Figura 59 - Diagrama de carga de un vagón tipo 4270

Aunque la ficha UIC 571-3 considera un valor por rueda de 5 kN, se tomará el valor más restrictivo de 7 kN/rueda establecido para el piso inferior. Según esto, 3 coches por semivagón suponen 12 ruedas o lo que es lo mismo, 84 kN. Esto supone que en la plataforma móvil se ejerce una fuerza de 28 kN mientras que en el piso móvil el esfuerzo es el de 56 kN. Puesto que el piso superior es casi un metro más grande que la longitud de nuestros coches estándar, se decide multiplicar el valor más restrictivo de 7 kN/rueda pero suponiendo que pueda entrar un cuarto de coche más. Lo que supone un incremento de 3,5 kN. Por lo que se considerará una aplicación de 32 kN sobre la plataforma de descarga. Este hecho totalmente imposible toma fuerza cuando pensamos en la nueva generación de vehículos “micro”, por lo que puede que en lugar de llevar 6 automóviles se puedan cargar 7, pero con un peso menor.

Aunque la norma no establece ninguna superficie de concentración de la fuerza como podría considerarse el área de contacto de las ruedas, se establecerá para mayor seguridad tanto para el piso móvil como para la plataforma de descarga, que la carga distribuida se aplica en 2 superficies de un metro de ancho a cada lado de la estructura respecto del plano longitudinal, de forma que se emule la superficie de rodadura por la que circula el automóvil y en donde estadísticamente se estará aplicando esa fuerza distribuida. La Figura 60 muestra lo anteriormente planteado.

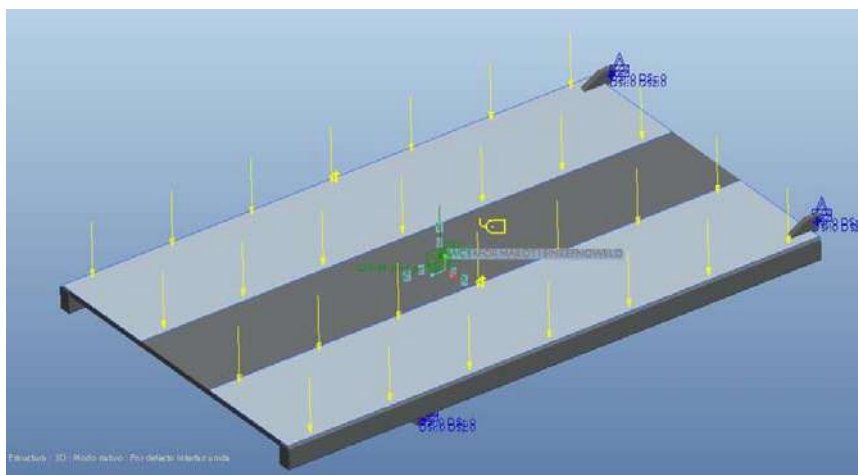


Figura 60 - Distribución de las fuerzas sobre la superficie del piso superior

El piso móvil además de la carga de sollicitación de los vehículos que soporta, recibe en su rótula extrema la reacción que ejerce la plataforma como punto que para ella es de apoyo. Si se realiza un análisis estático, se determina que la reacción que la plataforma transmite a la rótula del piso móvil es 10,41 kN. Como se tratan de dos rótulas (una a cada lado), el esfuerzo aplicado en cada rótula será de 5,21 kN.

La Tabla 22 recoge todos los esfuerzos que deben considerarse a la hora de realizar el estudio estático.

Tabla 22 - Esfuerzos requeridos

	Esfuerzo total	Esfuerzo en cada lado
Piso móvil	56 kN +g + 10,41	28 kN +g/2 + 5,21
Plataforma de descarga	32 kN +g	16 kN +g/2

5.4.2 Realización del análisis en el Pro/ENGINEER

A lo largo de este punto se procede a la muestra gráfica mediante una serie de imágenes del proceso para llevar a cabo el análisis de nuestra pieza, desde la misma importación de la pieza de diseño desde el SolidWorks, hasta las ventanas de resultado obtenidos en el ProE.

Como se explica en el apartado 5.3.2, la pieza a exportar al ProE será únicamente la representación simétrica de la pieza que real, para conseguir una disminución del tiempo de cálculo y una aproximación más precisa de los resultados. De ese modo, la pieza a exportar se muestra en la Figura 61.

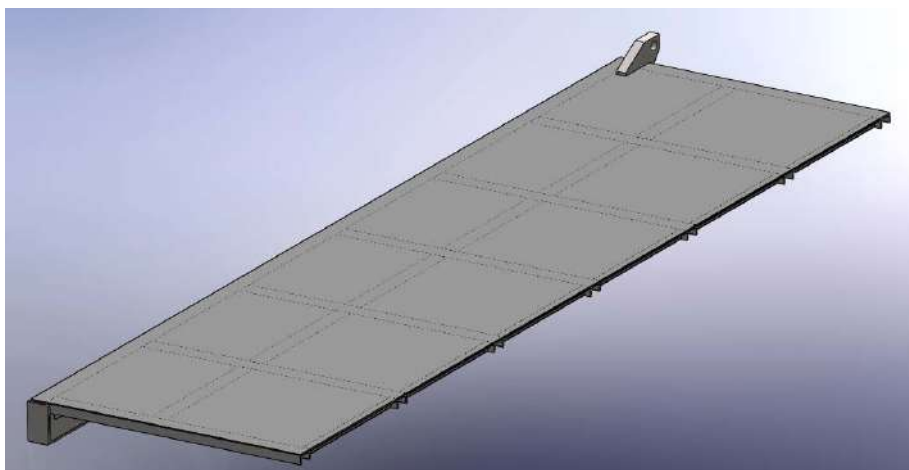


Figura 61 - Modelo en SolidWorks a exportar al ProE para realización de ensayos

Lo primero que a de realizarse es el guardado de la pieza siguiendo los parámetros que expone el punto 5.2 con respecto a la exportación (ver Figura 62).

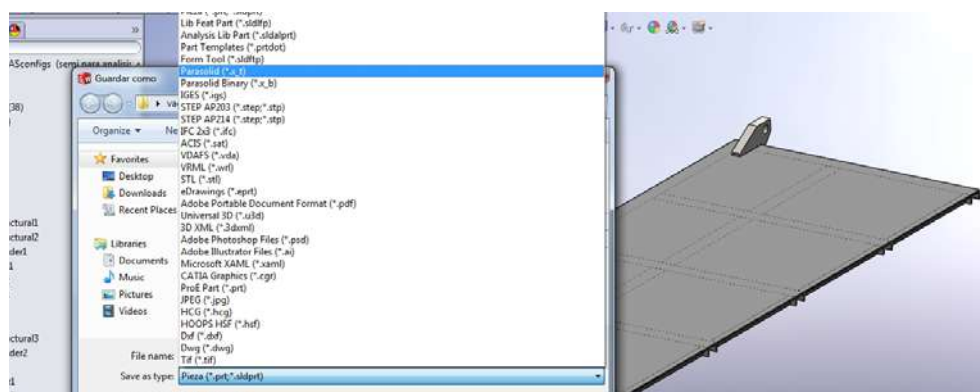


Figura 62 - Guardado en Parasolid de la pieza del SolidWorks

La pieza guardada se debe abrir con el ProE seleccionando para ello la opción de lectura de piezas con extensión .x_t de parasolid (ver Figura 63).

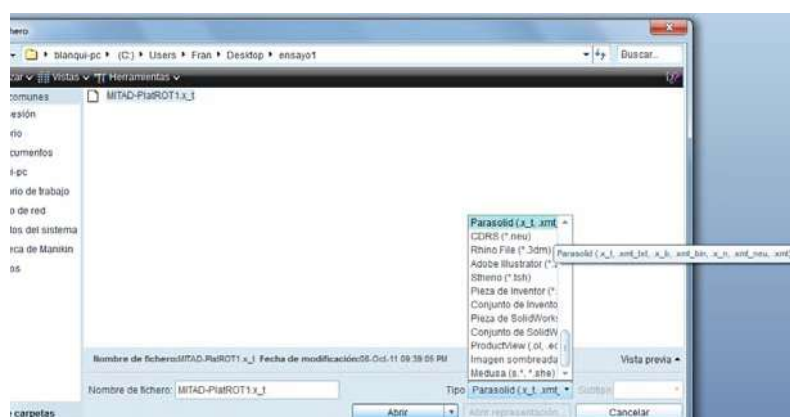


Figura 63 - Selección de Parasolid en el ProE

Al darle abrir aparecerá un cuadro de dialogo para que se seleccione como se quiere realizar la exportación. Normalmente ProE, que hace una lectura previa del archivo parasolid, preselecciona la que considera correcta, pero hay muchas veces que piezas multisólido son consideradas ensamblajes cuando realmente no lo son. En este caso como se muestra en la Figura 64, la exportación de la plataforma la realizaremos como pieza.

Es conveniente proceder al guardado en formato propio del ProE para facilitar la lectura de los datos que realizará el programa.

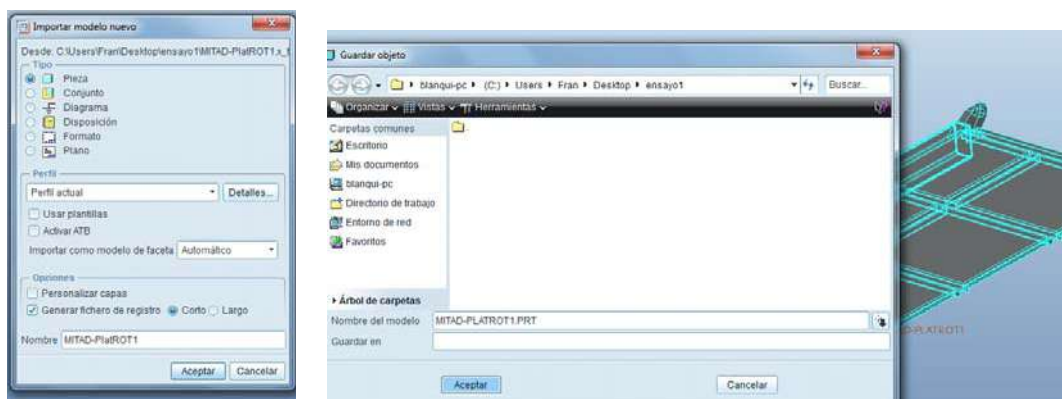


Figura 64 -Parámetros de importación y guardado con formato de ProE

Para comprobar que la importación se ha realizado de manera correcta, hay que seleccionar la opción de revisar geometría dentro del menú de información (ver Figura 65).

El modelo del cual se realiza el análisis da como posible error la exportación de la geometría circular de las rótulas. En este caso, el programa informa de que una superficie la ha dividido en dos.

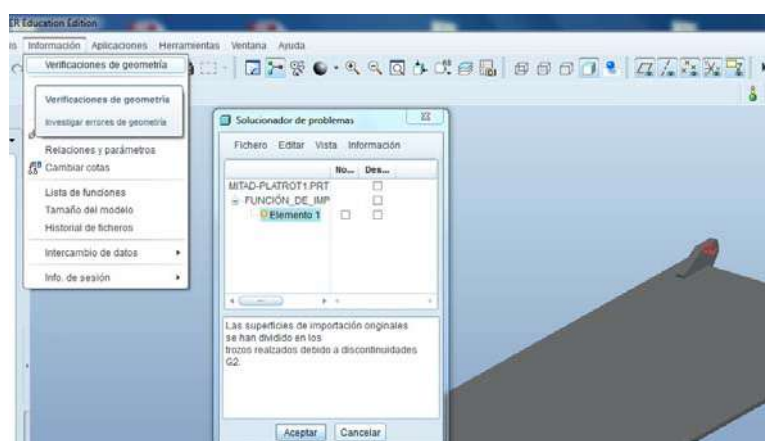


Figura 65 - Revisar la geometría del modelo

El siguiente paso mostrado en la Figura 66 es la activación del módulo de Mechanics. Con ello nos aparece un cuadro con diferentes opciones, dependiendo de cómo sea la pieza y de cómo queramos que la considere. En este caso se debe de seleccionar la opción de 3D pues la pieza en estudio posee un volumen en el espacio. El otro cuadro se puede seleccionar es el que define como se va a considerar la unión entre los sólidos que se encuentren colindantes. Hay opción de que sea libre, en superficie o unido (*bonded*). Para el caso estudiado se considera que todas las uniones estarán soldadas, por lo que se elige la opción de *bonded*.

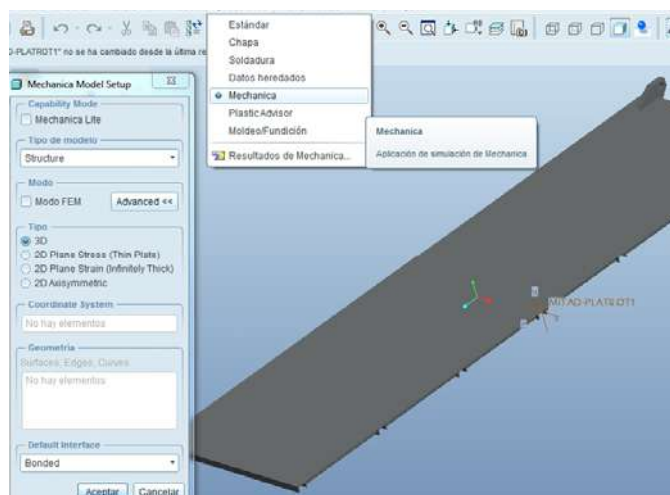


Figura 66 - Selección del tipo de modelo en Mechanica

Una vez realizado este procedimiento se llega a la pantalla del Mechanica. Es totalmente imprescindible revisar que el modelo con las funciones establecidas de la Figura 66 se puede crear correctamente. Para ello se selecciona dentro del menú AutoGEM la opción de revisión de geometría (ver Figura 67).

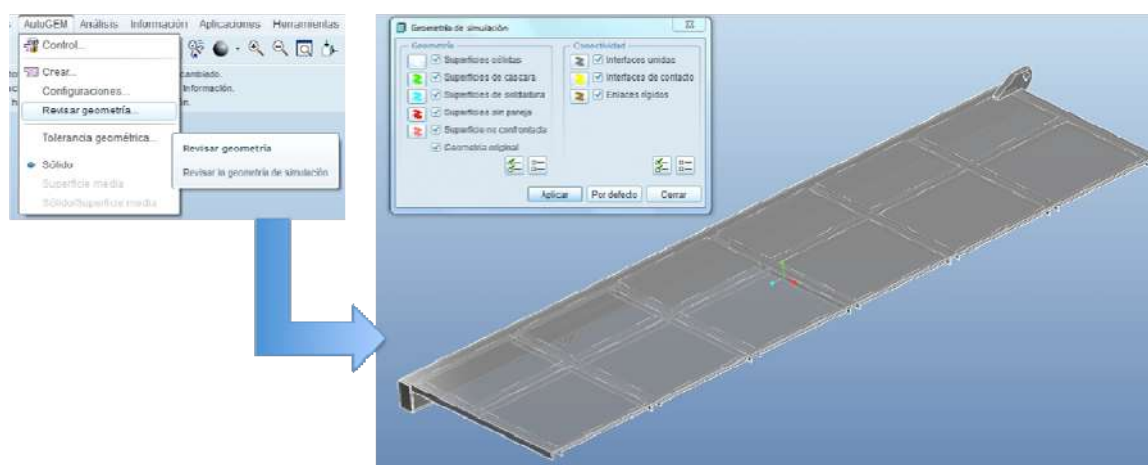


Figura 67 - Revisión de la geometría con AutoGEM

Dentro de la nueva barra de menús laterales de Mechanica, han aparecido unos comandos referentes a la creación, selección e importación al modelo del material que se quiera usar. Los datos introducidos son los correspondientes al material que en el apartado 4.6.2 se definió para nuestros componentes. Según el punto 5.1 de la norma UNE-EN 12663, se introducen los datos mínimos del acero seleccionado extraídos de la tabla 7 de la norma UNE-EN 10025:2006 [20] la cual se recoge en el anexo F (ver Figura 68).



Figura 68 - Definición del acero S275 en el ProE

Una vez introducido el material en el estudio hay que introducirlo en el modelo según se muestra en la Figura 69.

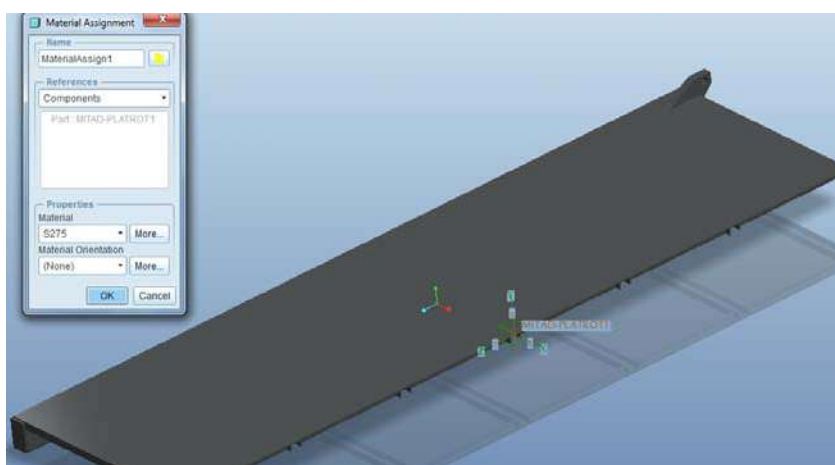


Figura 69 - Asignación del material en el modelo

Ahora llega el momento de establecer las restricciones necesarias para poder realizar el análisis. Se añade en primer lugar la restricción de espejo (*mirror*) por la cual se ha podido simplificar el análisis (ver Figura 70).

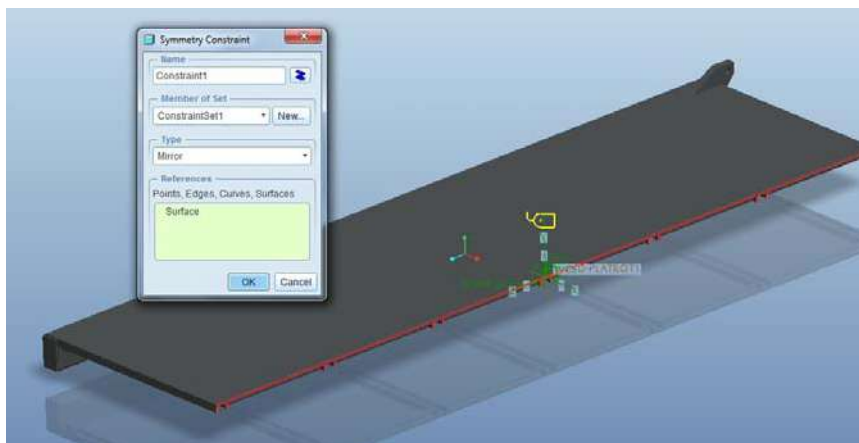


Figura 70 - Restricción *mirror*

El otro conjunto de restricciones es el que forman los apoyos, tanto de unión con el piso móvil como de sustentación sobre el montante de cabecero. La restricción a introducir es de tipo rótula (restricción de pin).

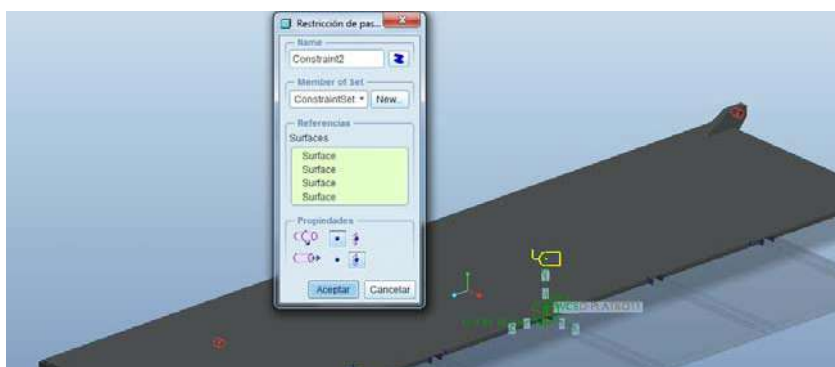


Figura 71 - Restricción de pin

Para asemejarla con la realidad se bloquea el desplazamiento pero se permite el giro. Hay que tener en cuenta que si no se bloquea el desplazamiento no se sumarían las restricciones necesarias para formar una estructura isostática (ver Figura 71).

Ahora se procede a la incorporación al modelo de los esfuerzos descritos en la Tabla 22. En primer lugar se añade la gravedad, tomando $g = -9,81 \text{ m/s}^2$, tal y como obliga el apartado 3.1 de la norma UNE-EN 12663 (ver Figura 72).

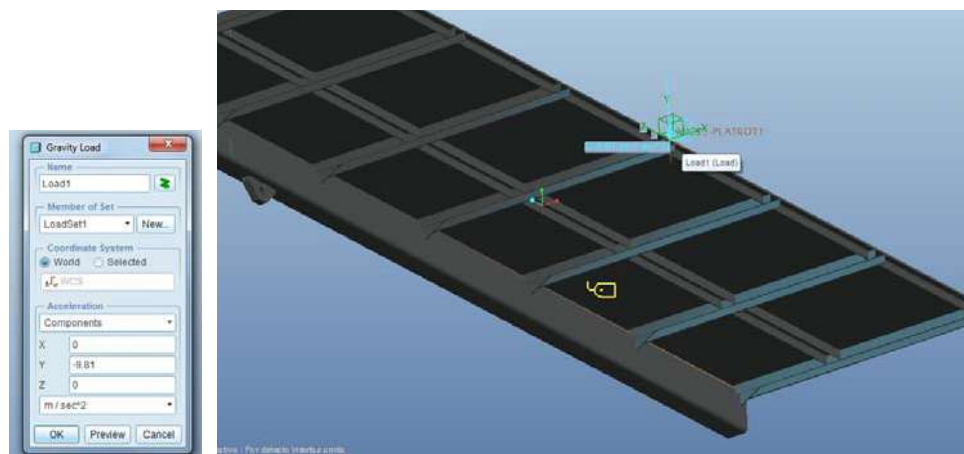


Figura 72 - Fuerza de la gravedad

Por último sólo queda la incorporación de la fuerza distribuida a lo largo del piso. Como se explica en el apartado 5.4.1, se va a aplicar esta carga sobre una superficie de un metro de ancho en la chapa lagrimada. Para ello, en primer lugar se define el croquis de la superficie. Esta operación se lleva a cabo mediante la herramienta esbozo como muestra al Figura 73.

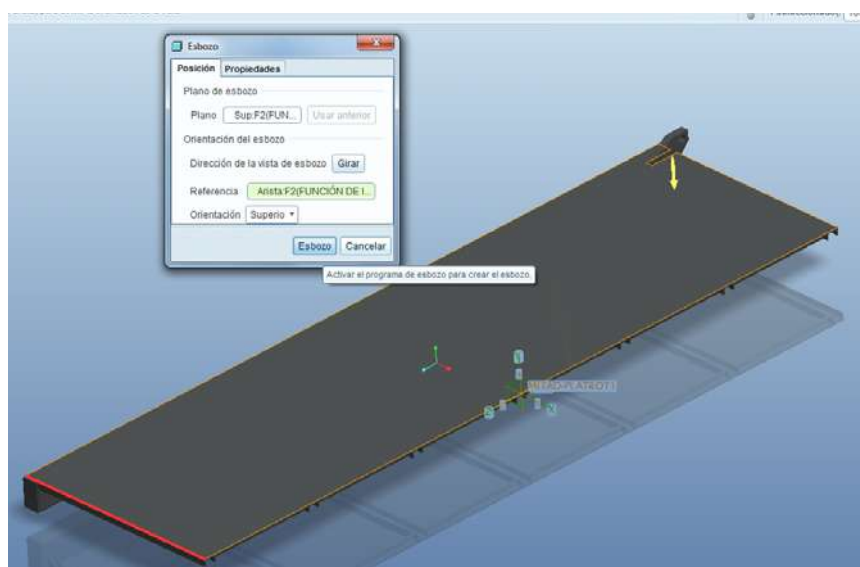


Figura 73 - Selección de la herramienta esbozo

A continuación la visualización cambia para que podamos dibujar en un plano normal a la superficie seleccionada. Antes de dibujar el esbozo hay que fijar con líneas de referencia el lugar donde se fija el croquis. Después ya se puede dibujar el cuadrado de un metro de ancho sobre la superficie de la chapa lagrimada (ver Figura 74).

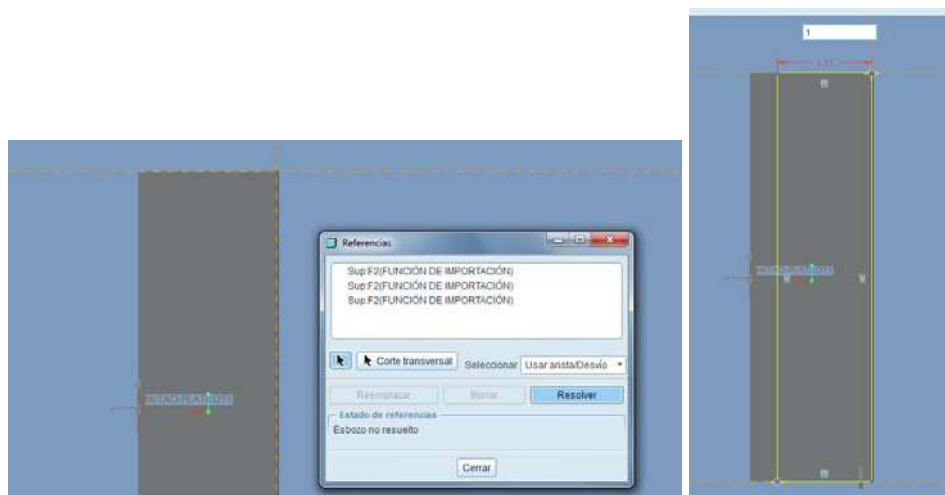


Figura 74 - Fijación de las líneas de referencia del esbozo y dibujo del cuadrado

Para definir la superficie se debe seleccionar la opción de Región de Superficie, para convertir el cuadrado del esbozo en una superficie más del modelo (ver Figura 75).

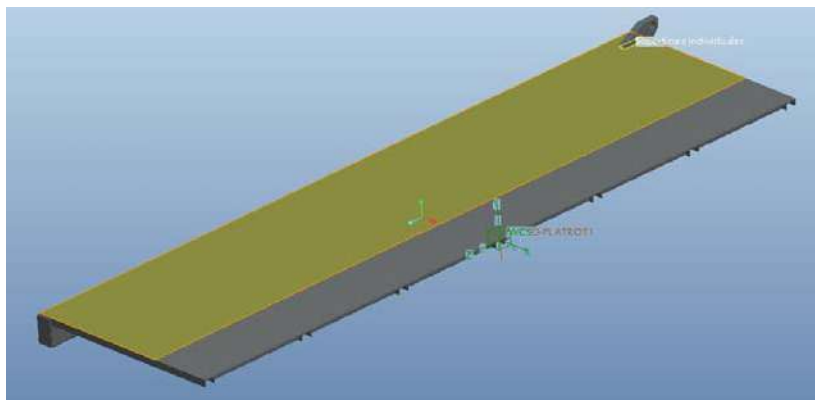


Figura 75 - Creación de la superficie de rodadura

Ahora ya se puede sobre esta superficie establecer las cargas representativas de los vehículos cargados con los valores de la Tabla 22 (ver Figura 76).

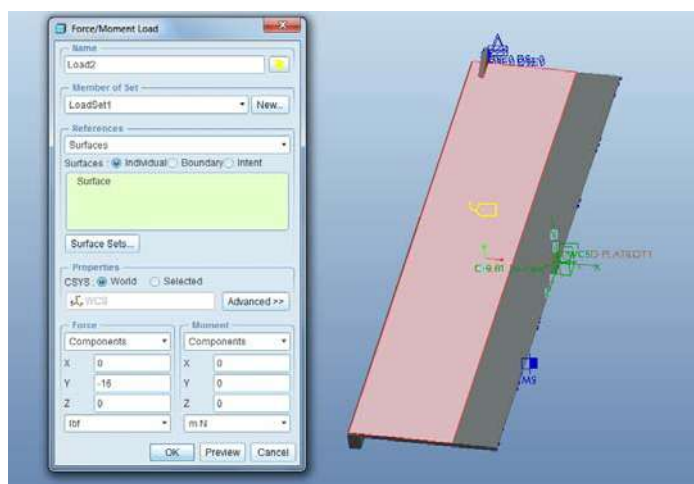


Figura 76 - Esfuerzos en la superficie de rodadura

El sistema de restricciones y cargas ya está definido sobre la pieza. Pero antes de comenzar el análisis hay que mallar dicha pieza. El mallado en el ProE se realiza de manera automática siempre que no se le impongan restricciones en este aspecto. La creación de la malla se realiza según la Figura 77.

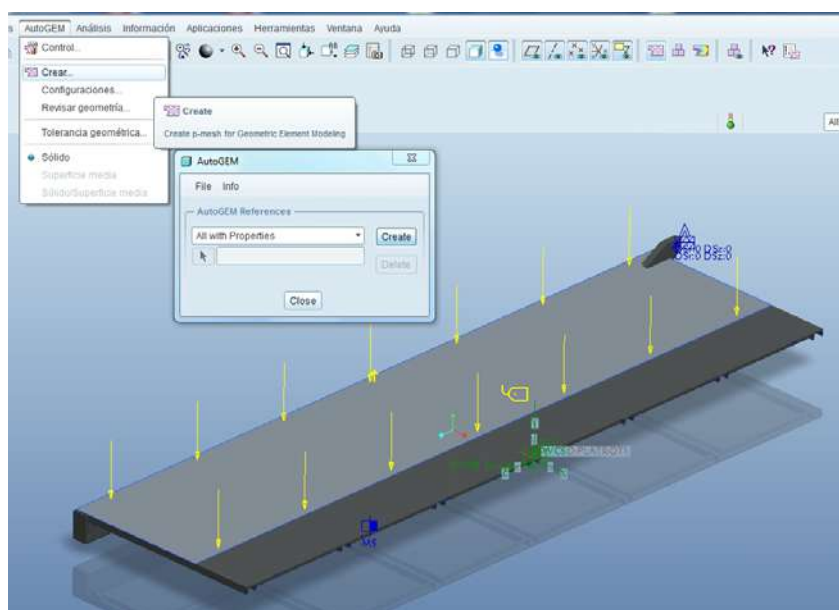


Figura 77 - Comandos para la creación de la malla

Una vez que le da a crear y tras unos minutos de espera, se obtiene el modelo mallado tal como aparece en la Figura 78.

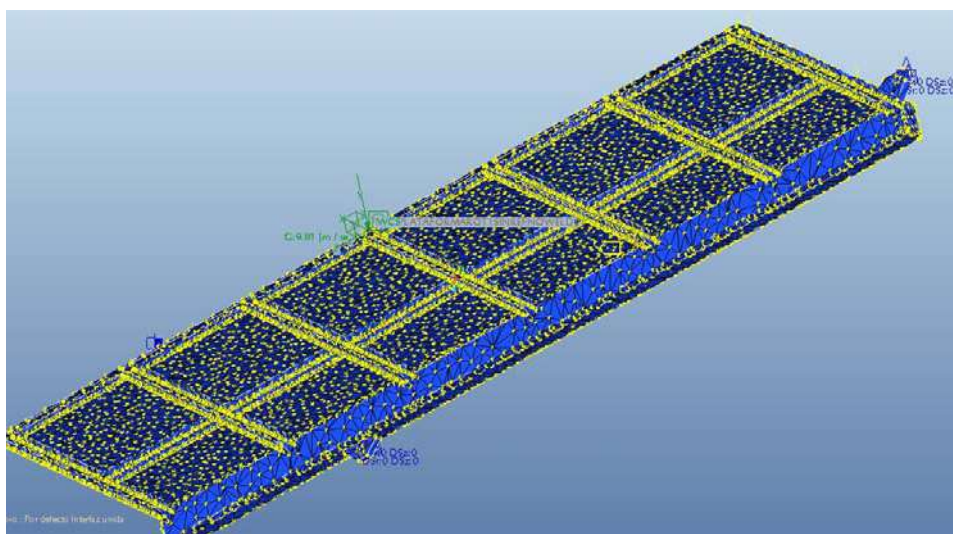


Figura 78 - Malla de la plataforma para el estudio

Una vez definidas todas las variables del problema se define el análisis que se quiere realizar. El análisis estático en ProE examina aspectos del comportamiento estructural del modelo definido. Con él se pueden calcular deformaciones, tensiones y esfuerzos tras especificar cargas y restricciones como se ha comentado en apartados anteriores. Una vez pulsada la pestaña de nuevo análisis se obtiene el cuadro mostrado en la Figura 79.

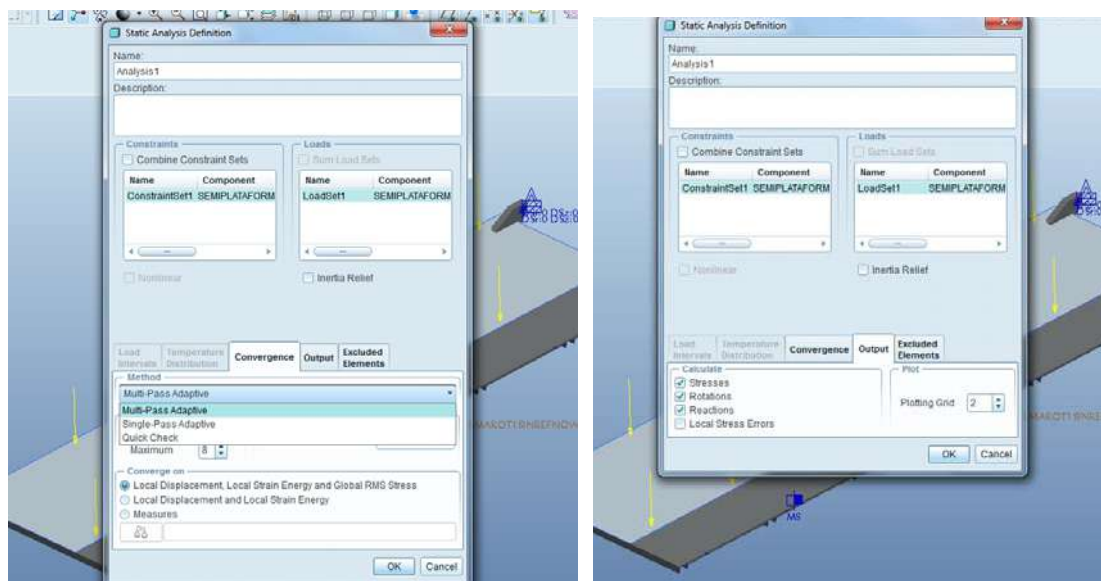


Figura 79 - Selección del tipo de análisis

A continuación, debido a su importancia, se van a definir los conceptos incluidos en las pestañas *Convergence* y *Output*.

- Pestaña *Convergence*

En esta pestaña se ofrece la posibilidad de elegir entre tres métodos para calcular los resultados y determinar la precisión de los mismos. Los tres métodos de convergencia son **Multi-Pass Adaptive**, **Single-Pass Adaptive** y **Quick Check**.

En el análisis **Multi-Pass Adaptive**, el programa realiza los cálculos y va aumentando el orden de los polinomios para cada elemento de borde hasta que los criterios de convergencia seleccionados se cumplan.

Es necesario entonces definir el mínimo y el máximo orden de polinomio, así como el porcentaje de convergencia. El programa converge cuando la diferencia en los resultados del paso actual y el anterior es menor que el porcentaje especificado.

En el análisis **Single-Pass Adaptive**, el programa comienza con una primera resolución con polinomio de orden 3 y determina un error de estimación en la tensión local. Usando este error de estimación, el módulo de *Mechanica* determina una nueva distribución de orden de polinomio y realiza un paso final. *Mechanica* muestra la estimación del error (*RMS error estimate*) en un documento resumen, por lo que se puede comprobar la calidad de la solución.

En caso de que el error estimado del análisis **Single-Pass Adaptive** fuera demasiado grande, y no aceptable, entonces sería aconsejable realizar el análisis **Multi-Pass Adaptive** en su lugar estudiando las diferentes posibilidades de convergencia.

Por último, el análisis **Quick Check** es un sencillo análisis que se aconseja para verificar que se han definido bien las condiciones del problema. *Mechanica* realiza una resolución rápida con polinomio de tercer orden.

- Pestaña *Output*

Otra de las opciones en la resolución de un cálculo estático es definir las magnitudes que se quieren calcular y la densidad de la red que determina dónde *Mechanica* calcula los resultados (*Plotting Grid*).

El valor de *Plotting Grid* representa el número de intervalos a lo largo de cada elemento que Mechanica utiliza para crear redes de trazado. Mechanica calcula los valores en las intersecciones de las líneas de la cuadrícula. El valor por defecto es 4, el programa lo define como adecuado para un análisis estándar, pero aconseja que si se encuentran variaciones rápidas de tensión o desplazamiento en un elemento, se especifique un refinamiento mayor para captar con más precisión los resultados pico.

Tras la realización de una calibración con gran número de ensayos previos como se indica en el apartado 5.3.2 para la definición del método de cálculo que deberá adoptarse, se obtiene la Tabla 23 que muestra la comparativa de estos ensayos de calibración para un ensayo en particular de una pieza (simetría de plataforma en este caso), todos realizados con las mismas condiciones de contorno y en el mismo ordenador. En rojo aparecen los elementos remarcables dentro de la comparación.

Tabla 23 - Comparativa entre diferentes métodos resolutivos

MISMO ANÁLISIS REALIZADO CON DISTINTOS MÉTODOS RESOLUTIVOS					
		Simple-Pass	Multiple-Pass 1-7	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-9
PESO	Peso semi parte (Kg)	662,75	662,75	662,75	662,83
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	1325,5	1325,5	1325,5	1325,66
MALLA	Elementos de la malla	66024	66024	66024	66024
	Nodos de la malla	20801	20801	20801	20801
MÉTODO	Método de ensayo	Simple-Pass	M-Pass 1-7	M-Pass 1-8	M-Pass 1-9
	Convergencia	-	8%	6%	6%
	Plotting	4	2	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	1,61	0,8	0,73	NO TERMINÓ EL ESTUDIO EN UN TIEMPO ASUMIBLE
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,5% of 3,12e8	0,3% of 2,94e8	0,2% of 3,44e8	
TIEMPO	Tiempo inicio	20:40:11	23:09:29	4:32:15	
	Tiempo fin	20:55:08	3:19:34	13:11:47	
	Tiempo Total	0:14:57	4:10:05	8:39:32	
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	267,00	256,46	225,00	
	Tensión Máx. Principal (MPa)	135	127,31	122	
	Desplazamiento Máx. (mm)	3,4	3,49	3,38	

Obviamente la malla y la masa de la pieza permanecen constantes ya que la calibración la realizamos sobre una misma pieza y estos son valores que permanecen inalterables. En cambio se observa como el error en el valor de la tensión (dato significativo de la precisión del análisis) que el propio programa calcula, se reduce en más de la mitad del primer método al último. Por otro lado si comparamos el tiempo resolutivo se observa como a mayor precisión aumenta el tiempo de cálculo, algo totalmente normal puesto que los resultados que obtiene se basan en ecuaciones con un mayor nivel de iteración. Por último se quiere hacer mención en la diferencia existente entre los resultados de la tensión máxima de Von Misses, parámetro éste crucial para dar validez a un estudio sobre otro a lo largo del proceso de optimización. Existe una diferencia de más de 40MPa entre el primer método y el último, y de más de 30MPa entre el segundo y el tercero, diferencia absolutamente significativa, lo que obliga a descartar el segundo método como método para la resolución de este tipo de análisis.

Por lo tanto, todos los análisis se llevan a cabo con los parámetros recogidos en la Tabla 24 que aseguran unos resultados fiables con un tiempo de cálculo aceptable.

Tabla 24 - Precisión del cálculo estático

MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%
	Plotting	2

5.5 Análisis a fatiga

5.5.1 Fundamentos de la mecánica de la Fatiga

Aunque el análisis con las curvas S-N sigue siendo ampliamente utilizado en análisis de fatiga, tiene una gran desventaja para aplicaciones CAE. El inicio de la fatiga está condicionado por zonas con tensiones plásticas locales, sin embargo, el análisis S-N utiliza la tensión elástica como entrada. Por esta razón, los métodos de tensión local son más adecuados. Los análisis de fatiga de Pro/ENGINEER utilizan el método E-N.

5.5.1.1 ENFOQUE DEL MÉTODO E-N

En un ensayo de fatiga, las probetas de diferentes tipos de materiales son sometidas a diversos tipos de cargas cíclicas, tales como: flexión, torsión, tracción y compresión. El método de E-N utiliza estas pruebas para medir la resistencia a fatiga. Los resultados se presentan en términos de esfuerzo (E) frente a ciclos hasta el fallo (N), en un diagrama como el que se presenta en la Figura 80.

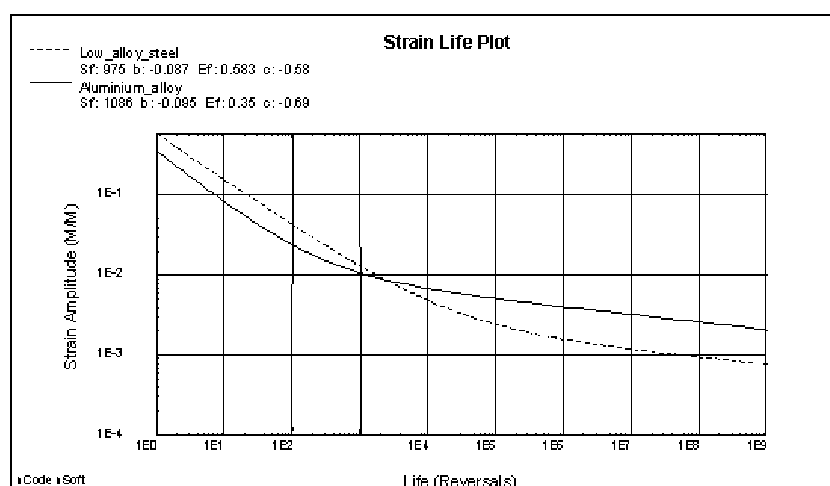


Figura 80 - Diagrama E-N para un acero de baja aleación una aleación de aluminio

Fatigue Advisor utiliza un conjunto genérico de propiedades de fatiga para modelar aceros de baja aleación, aceros no aleados, aleaciones de aluminio y aleaciones de titanio. Estas propiedades genéricas han sido recopiladas por Baumel Jr. y Seeger, y son

conocidas como la Ley Uniforme de Materiales. Si bien, no se puede esperar para dar vida muy precisa a fatiga, a efectos prácticos, son ideales para determinar si un componente es susceptible de sufrir problemas en fatiga, y si es necesario un análisis más exhaustivo de diseño antes de la puesta en marcha del mismo.

5.5.1.2 CICLOS DE TENSION

Es importante entender como el módulo de fatiga de *Mechanica* estudia y trata a las cargas. Para ello lo primero es describir los tres tipos de tensiones cíclicas que contribuyen al proceso de fatiga.

El primer tipo se trata de una tensión alternante pura, como muestra la Figura 81. Esta es la condición de carga típicamente encontrada en los ejes de rotación que funcionan a una velocidad constante sin sobrecarga. Este es también el tipo de carga utilizado en la mayoría de ensayos de fatiga.

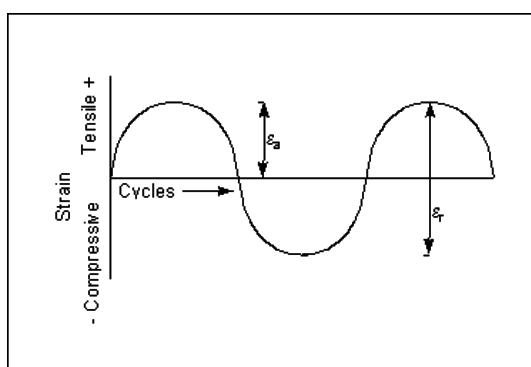


Figura 81 - Curva de una tensión alternante pura

Para este primer tipo de ciclo, la tensión máxima y mínima son de igual magnitud pero de signo opuesto, siendo así la tensión media nula. El rango de tensión, ϵ_r , es la diferencia algebraica entre la tensión máxima y la mínima. La amplitud de deformación, ϵ_a , es la mitad del rango de tensión.

El segundo tipo de carga se corresponde con la situación más general, es el caso de tensión fluctuante, donde la tensión media no es nula, como se ve en la Figura 82. En este caso ambos están a tracción y se define además una tensión media de compensación para la carga cíclica, ϵ_m .

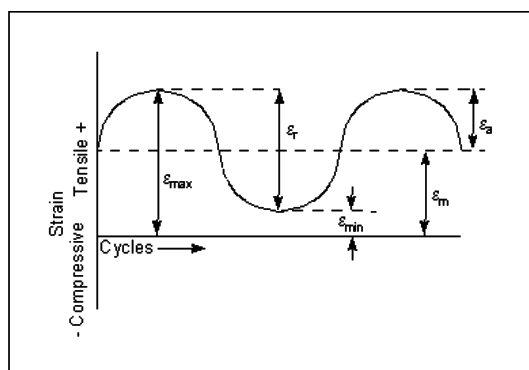


Figura 82 - Curva de una tensión fluctuante

El tercer y último caso es el caso de tensión fluctuante en el que la tensión media puede ser de tracción o de compresión. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los datos básicos de fatiga se recogen usando tensión alternante pura. Por lo tanto, estos datos no son directamente aplicables para ciclos de tensión con una tensión media distinta de cero. Con el fin de predecir realísticamente la estimación de vida para ciclos de tensión con tensión media de tracción o compresión, el resultado de las pruebas realizadas usando cargas de tensión alternante pura se corrigen. La elección del enfoque correctivo a utilizar depende de si la tensión media es principalmente de tracción o de compresión.

La razón de esto puede verse en el gráfico de la Figura 83 que ilustra esquemáticamente el efecto de la tensión media en la curva E-N. Visto conceptualmente, una tensión media de tracción actúa abriendo la fisura, mientras que una tensión media de compresión trabaja cerrándola.

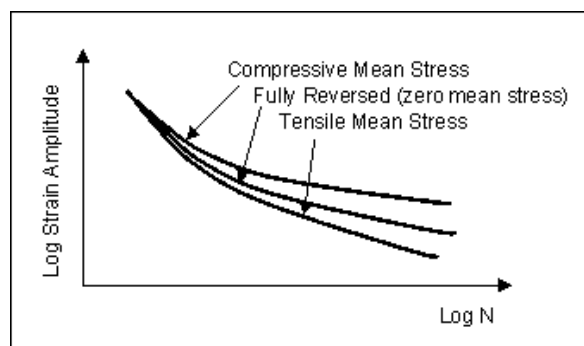


Figura 83 - Diferencia entre tensión media de tracción o compresión

Típicamente, los efectos se concentran a la derecha del diagrama, reduciendo la vida a fatiga en componentes con tensión media de tracción y alargando la vida a fatiga en componentes con tensión media de compresión.

5.5.1.3 EVALUACIÓN DEL DAÑO ACUMULADO

Dado que las pruebas requeridas para calcular las curvas E-N para una gama de tensiones medias son bastante caras, se han desarrollado varias relaciones empíricas para modelar el efecto de la tensión media. De todos los métodos propuestos, dos han sido los más ampliamente aceptados:

- El enfoque Smith, Watson, Topper: recomendado para secuencias de carga en las que predomina la tensión de tracción, ya que es más conservativa.
- La corrección de Morrow: se aconseja en el caso de cargas predominantemente compresivas, en especial para los ciclos de compresión total, ya que proporciona estimaciones de vida más realista.

Estos métodos se basan en la curva deformación-vida del material (Curva E-N), que presenta una relación válida para cualquier nivel de carga, y cuya representación se muestra en la Figura 84.

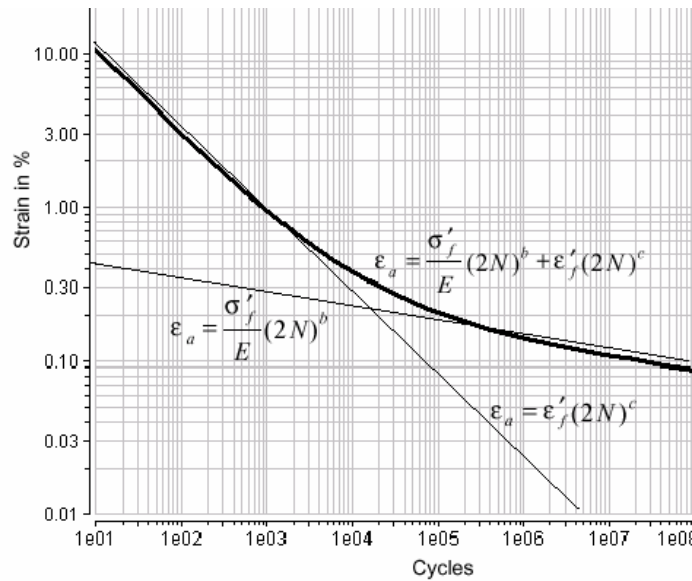


Figura 84 - Modelo de vida frente a amplitud de deformación

El paso siguiente consiste en definir un “parámetro de daño” que se sirve de la curva de amplitud de deformaciones frente a número de ciclos, para, aplicando las correcciones pertinentes, estimar el daño de un ciclo concreto de carga. A continuación se definen los parámetros de daño utilizados en los dos métodos definidos anteriormente.

- Parámetro Smith-Watson-Topper:

$$P_{SWT} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_m) \cdot \epsilon_a \cdot E} = \sqrt{\sigma_{\max} \cdot \epsilon_a \cdot E}$$

- Parámetro Morrow:

$$P_{Mor} = \frac{\sigma_a}{E \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f}\right)} + \epsilon_{a,p}$$

El último paso para estimar la vida total del componente ante una historia de sollicitaciones es componer el histograma de ciclos en amplitud. Una vez se dispone de éste, para cada grupo se aplica el parámetro de daño equivalente, y por medio de la “Regla de Miner” se obtiene el daño total como suma de los daños asociados a cada grupo de ciclos con una amplitud determinada.

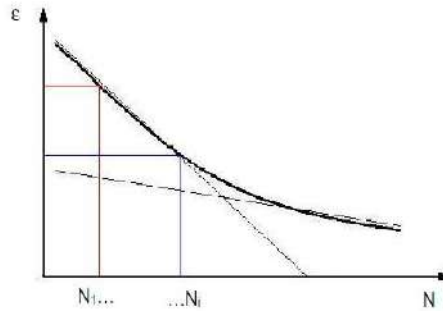


Figura 85 - Representación de la regla de Miner

Mechanica realiza el cálculo del daño acumulado mediante los dos métodos explicados y elige el más apropiado en cada análisis.

Para las cargas de amplitud variable, es necesario extraer los ciclos de fatiga perjudiciales de la señal y luego evaluar el daño realizado por cada ciclo. El daño total es la suma de los daños causados por cada ciclo individual. Cada ciclo de la fatiga se extrae mediante un proceso conocido como la captura del lazo de histéresis. La localización del estrés y la tensión se representan como se muestra en la Figura 86.

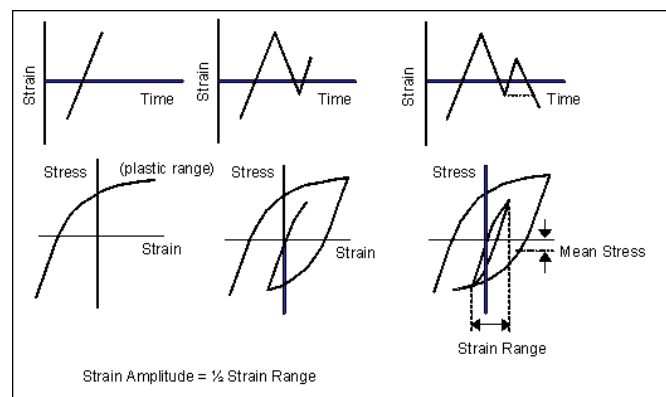


Figura 86 - Curva de histéresis

Cuando un ciclo de histéresis tensión-deformación se cierra, son devueltos el rango de deformación y la tensión media, también el daño calculado usando la curva E-N modificada por la corrección de tensión media. Este análisis se lleva a cabo sobre la señal de la tensión en función del tiempo hasta que todos los ciclos se han extraído y el daño total ha sido evaluado. El algoritmo que utiliza Mechanica para la estimación de vida a fatiga es el Método Rainflow.

Mechanica normalmente utiliza una solución elástico lineal para determinar las tensiones pseudo-elásticas en un componente. Posteriormente, antes de proceder con el análisis a fatiga, éstas se convierten automáticamente en tensiones reales usando la relación de Neuber:

$$\sigma_{npl} = \frac{\sqrt{\sigma_{\max}^* \cdot \varepsilon_{\max}^* \cdot E}}{K_t}$$

Esta ecuación relaciona la tensión nominal en el fondo de la fisura (σ_{npl}), con el alargamiento y la tensión máximos inducidos en el fondo de la fisura, ϵ_{max} * σ_{max} , respectivamente.

5.5.2 Cálculo a fatiga en el Pro/ENGINEER

El análisis a fatiga para unas solicitaciones dadas se crea de manera similar al estático. Eligiendo en el menú Analyses and Design Studies se selecciona File > New Fatigue como se muestra en la Figura 87.

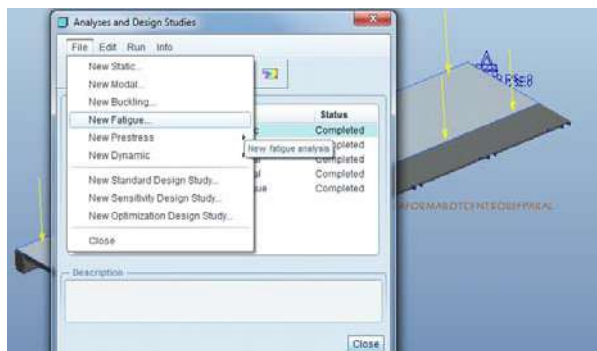


Figura 87 - Creación del estudio a Fatiga

Tras esto aparece la ventana de diseño del análisis con las variables de las que depende el análisis (Figura 88).

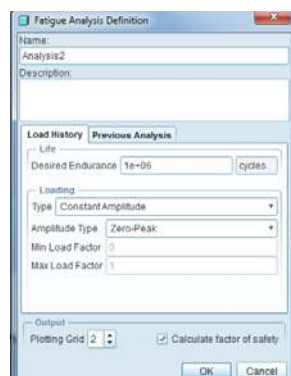


Figura 88 - Ventana de diseño del análisis a Fatiga

En ella se destacan los siguientes parámetros:

- Vida deseada: Si se desea un número de ciclos determinado para la vida del componente, se indica en el recuadro, y se marca la casilla *Calcular factor de seguridad* abajo a la derecha. Si no se introduce ningún número de ciclos y se activa igualmente la casilla, el programa calcula el factor de seguridad para vida infinita, es decir, 10^6 ciclos.

Para este análisis se ha introducido directamente el valor de 10^6 ciclos, así el planteamiento es el mismo que el seguido en la resolución analítica (10^6 ciclos = vida infinita).

- Tipo de carga: Es posible entrada de la carga de datos para el análisis de la historia de la fatiga usando uno de los tipos de carga siguientes:

- Carga constante (*Constant Amplitude*) – esta opción se utiliza para los modelos con la carga de amplitud constante. Esta es la manera más fácil a los datos de entrada la historia de carga y se selecciona de forma predeterminada. La carga constante proporciona tres opciones de amplitud:

Pico-Pico (*Peak-Peak*): utiliza un factor de carga mínima de -1,0 y un factor de carga máximo de 1,0. Equivale a decir que se va a simular una carga de tensión alternante pura.

Zero-Peak: utiliza un factor de carga mínima de 0 y un factor de carga máximo de 1,0.

Definida por el usuario (*User-Defined*): permite introducir valores para el factor de carga de mínimo y máximo factor de carga.

- Carga variable (*Variable Amplitude*): se utiliza esta opción para los modelos con la carga de amplitud variable. Se puede definir la variación de la amplitud de introducir manualmente los factores de carga para especificar los puntos de referencia de la curva de amplitud. Se puede introducir hasta 100 factores de carga.

Para la realización del análisis a Fatiga el programa obliga previamente a la realización de un análisis estático con las cargas y restricciones que se desee analizar. Por ello se puede ver como dentro del menú de diseño que muestra la Figura 88 hay una pestaña *Previous Analysis* en donde debemos de elegir el análisis estático previo que se ha realizado, como muestra la Figura 89.

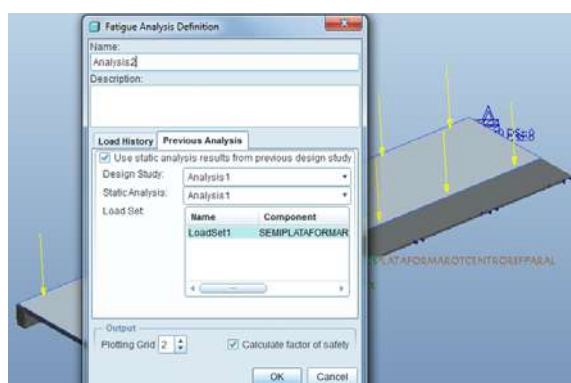


Figura 89 - Selección del análisis estático previo al de Fatiga

Esto coincide claramente con la metodología de diseño establecida y por la cual no tiene sentido realizar un ensayo a fatiga hasta que no tengamos un ensayo previo estático que desprenda unos resultados aceptables.

Para este caso no se realiza ningún tipo de calibración ya que la configuración del estudio tiene el mismo método resolutorio para todos los casos. Únicamente se puede seleccionar el *Plotting Grid* que para mantener la homogeneidad con los análisis estáticos anteriores se mantiene en 2.

5.5.3 Requisitos y estudios en ensayos a fatiga

El apartado 4.6 de la norma UNE-EN 12663 [19] establece los criterios de la carga a considerar en el estudio a fatiga. La Tabla 25 (que a su vez es la tabla 16 de la norma

UNE-EN 12663) refleja la aceleración que debe considerarse a la hora de calcular las cargas en el análisis a fatiga.

Tabla 25 - Aceleración en la dirección z en el ensayo a fatiga [tabla 16, UNE-EN 12663]

Aceleración en la dirección z							Aceleración en m/s ²
Vagones de carga		Material de pasajeros					
Categoría F-I	Categoría F-II	Categoría P-I		Categoría P-II	Categoría P-III	Categoría P-IV	Categoría P-V
		(locomotoras)	(coches)				
$(1 \pm 0,3) \times g^a$		$(1 \pm 0,25) \times g$	$(1 \pm 0,15) \times g$			$(1 \pm 0,15) \times g^b$	
^a Para vagones con suspensión de una sola etapa.							
^b Para las operaciones sobre raíles de garganta se recomienda incrementar la aceleración en un 20%.							

Ese $\pm 0,3$ representa el 30% de efectos dinámicos que se producen por la simple marcha del vagón sobre las vías férreas y las posibles desnivelaciones que pueden llegar a existir en el trazado. Este 30% de carga dinámica para la fatiga también se considera en la ETI de vagones, en su apartado CC.1.33 [8].

En el apartado 3.6 de la misma norma se establecen qué tipo de ensayos se pueden realizar, siendo el punto 3.6.2.2 el que establece, como método de cálculo, el método de daño acumulativo que se describe en el apartado 5.5.1 como el usado por Mechanica para el cálculo a fatiga. Por lo tanto, el análisis a fatiga con el módulo fatigue de Mechanica cumple con la normativa establecida.

Por lo tanto se realiza un estudio a fatiga considerando un $\pm 30\%$ de esfuerzos dinámicos a partir del análisis estático que previamente se deberá realizar. Por ello y según lo visto en el apartado 5.5.1 se realiza un análisis a fatiga de amplitud constante respecto del análisis estático como se muestra en la Figura 90.

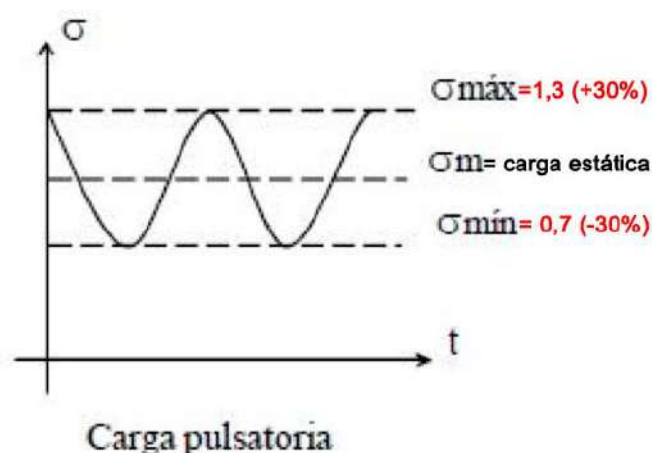


Figura 90 - Análisis a fatiga de carga pulsatoria

Los parámetros para definir este estudio dentro del módulo de fatiga del ProE se muestran en la Figura 91.

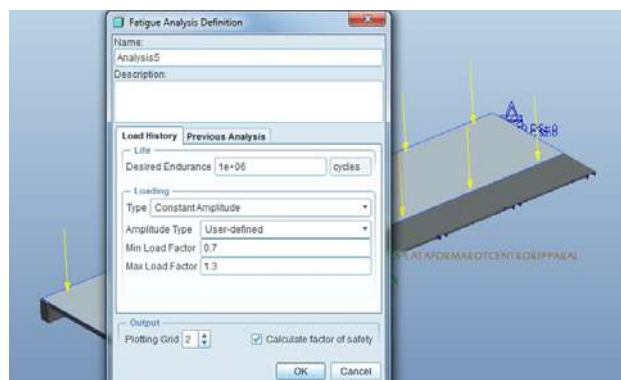


Figura 91 - Ventana del análisis a fatiga con el 30% de efectos dinámicos

Además de servir para cumplir la normativa, este análisis dará los ciclos que aguanta la estructura que hemos diseñado, dato que servirá para obtener cada cuanto es necesario el mantenimiento de la estructura en caso de no aguantar a vida infinita. En el apartado 7.5.3 se analiza este mantenimiento más en detalle.

De cara a garantizar un buen funcionamiento durante toda la vida útil del vagón y garantizar la seguridad de los operarios y de la carga transportada, un análisis a fatiga que también se realizará es aquel que analiza el ciclo de carga y descarga de automóviles que soporta la estructura. Este ciclo se define en la teoría como carga pulsatoria intermitente y se muestra en la Figura 92. Simplemente se trata de un estado que pasa de estar descargado a soportar la carga máxima definida en el estudio estático.

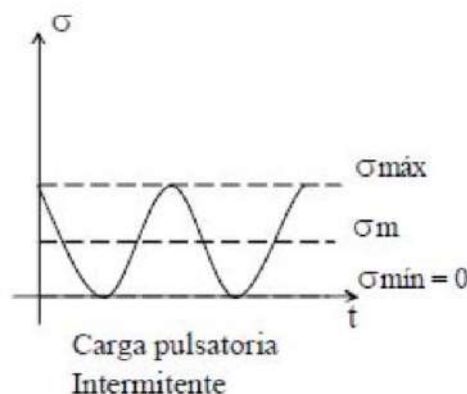


Figura 92 – Análisis a fatiga en los estados de carga y descarga

Este análisis se define dentro del módulo de fatiga del ProE como *Zero-Peak* como se muestra en la Figura 88.

Sólo se realizará el estudio a fatiga a los componentes del vagón cuando se obtenga la estructura final óptima tras la realización de los ensayos estáticos requeridos, como así se indicaba en el diagrama de la metodología a seguir (ver Figura 13).

Capítulo 6

Optimización

6.1 Metodología para el proceso de mejoras

En este capítulo 6 se desarrollan las mejoras que se aplican al diseño de la plataforma de descarga para obtener unos resultados aceptables según los requerimientos que se impusieron en el apartado 4.2 y 4.3. El proceso que se sigue es la exposición de los resultados del análisis estático para un diseño y en vista de esos resultados valorar la modificación del diseño analizado para mejorar el comportamiento tensional del mismo.

Por lo tanto, en este capítulo se toman las decisiones que se consideren necesarias en cuanto a la modificación de los diseños para el cumplimiento de los requerimientos marcados.

Este proceso se repite consecutivamente hasta que se encuentra un diseño que responda de una manera óptima los requerimientos impuestos. Esta metodología de optimización es la que se ya se definió en un principio en la Figura 13.

6.2 Resultado del primer estudio

Los datos que se obtienen de realizar el análisis descrito a lo largo del apartado 5.4.2 se muestran en la Tabla 26. Este análisis se efectúa del primer diseño de la plataforma que define la Figura 42 en el apartado 4.6.6.

Tabla 26 - Resultados del estudio estático de la plataforma

		Estudio 1: Plataforma Rotulas1 sin refuerzos
PESO	Peso semi parte (Kg)	-
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	-
MALLA	Elementos de la malla	35522
	Nodos de la malla	11815
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%
	Plotting	2
RMS	Stress Error (MPa)	1,19
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,2% of 5,74e8
TIEMPO	Tiempo inicio	20:12:07
	Tiempo fin	0:17:45
	Tiempo Total	4:05:38
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (MPa)	460
	Tensión Máx. Principal (MPa)	574
	Desplazamiento Máx. (mm)	5

Se observan unos resultados realmente pésimos del comportamiento de la estructura. Como muestra la Figura 93, la máxima tensión se produce en el apoyo de la rótula de unión entre la plataforma de descarga y el piso móvil. Se obtiene una tensión de Von Misses elevadísima justo en el apoyo de la rótula.

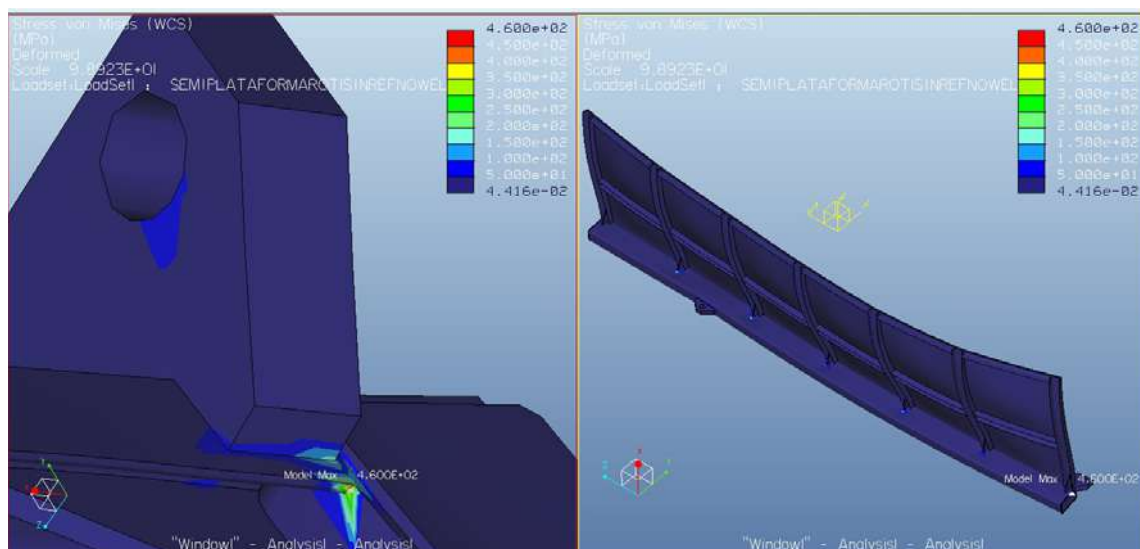


Figura 93 - Tensiones en la rótula de la plataforma

Viendo este resultado tan desfavorable se deberán de tomar medidas para la modificación de este diseño de la plataforma.

6.3 Modificación de la rótula de unión entre las dos estructuras

Se decide sustituir esta rótula por una nueva de mejor comportamiento ante las tensiones producidas en el piso. Evidentemente la incorporación de esta nueva rótula que enlace la plataforma con el piso móvil deberá ser una solución válida para ambas estructuras y deberá mantener la distancia a la que se encuentra la rótula propiamente dicha, es decir, mantener una distancia de 45mm del centro del corte cilíndrico al inicio del larguero.

Uno de los problemas de que los largueros de ambos pisos sean perfiles rectangulares reside en que tienen poca resistencia a la torsión transversal. Se plantea entonces usar las tensiones que se generan de la unión de los dos pisos en el propio beneficio de la estructura. Para ello se implanta una nueva rótula en el mismo plano que los largueros y que penetra dentro del propio perfil, transformando los esfuerzos que aparecen entre los dos pisos en rigidez, gracias a la transmisión de esos esfuerzos al interior del larguero. La Figura 94 muestra la nueva rótula en detalle.

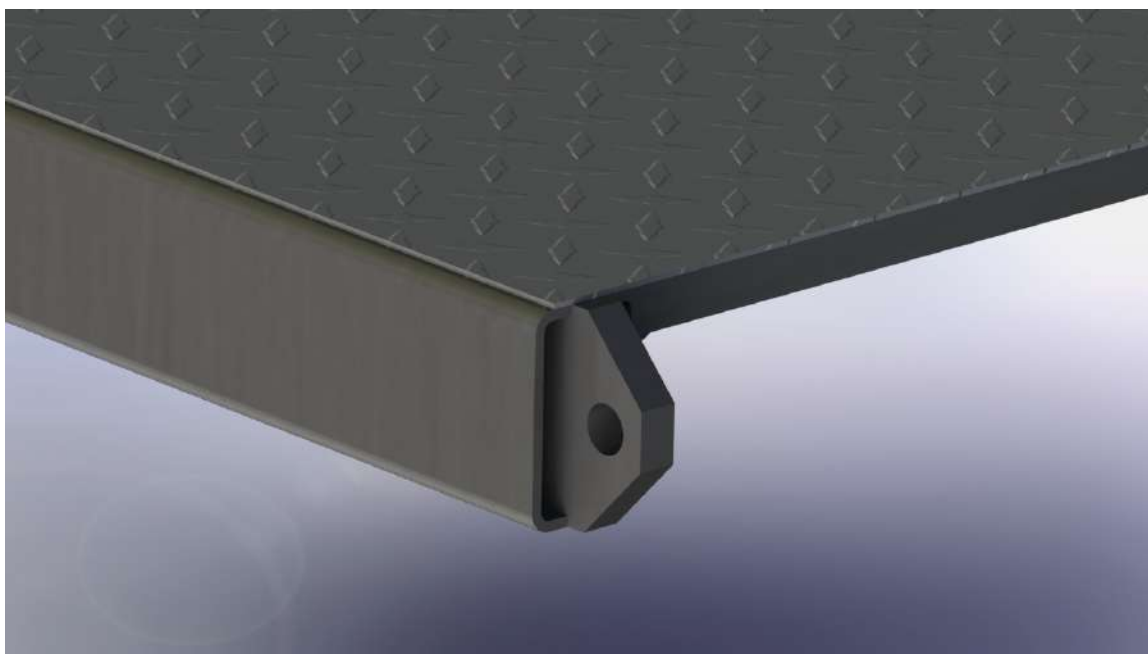


Figura 94 - Nueva rótula de unión entre ambos pisos

Se realiza un nuevo análisis estático similar al descrito en el apartado 5.4.2 pero con este nuevo diseño. La Tabla 27 recoge los resultados obtenidos comparados con los del primer análisis.

Tabla 27 - Comparación de los análisis estáticos entre los 2 tipos de rótulas

		Estudio 1: Plataforma Rotulas1 sin refuerzos	Estudio 2: Plataforma rótulas nuevas sin refuerzos
PESO	Peso semi parte (Kg)		638,12
	Peso TOTAL (Kg) - ProE		1276,24
MALLA	Elementos de la malla	35522	35224

	Nodos de la malla	11815	11714
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%	6%
	Plotting	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	1,19	0,972
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,2% of 5,74e8	0,3% of 3,16e8
TIEMPO	Tiempo inicio	20:12:07	2:03:11
	Tiempo fin	0:17:45	6:07:15
	Tiempo Total	4:05:38	4:04:04
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	460	238,72
	Tensión Máx. Principal (MPa)	574	125,44
	Desplazamiento Máx. (mm)	5	4,4

Se observa una disminución drástica en todos los valores de las tensiones, por lo que se considera la introducción de esta rótula como un éxito. Aún así se siguen produciendo tensiones elevadas. La Figura 95 muestra los puntos que están sometidos a una mayor tensión.

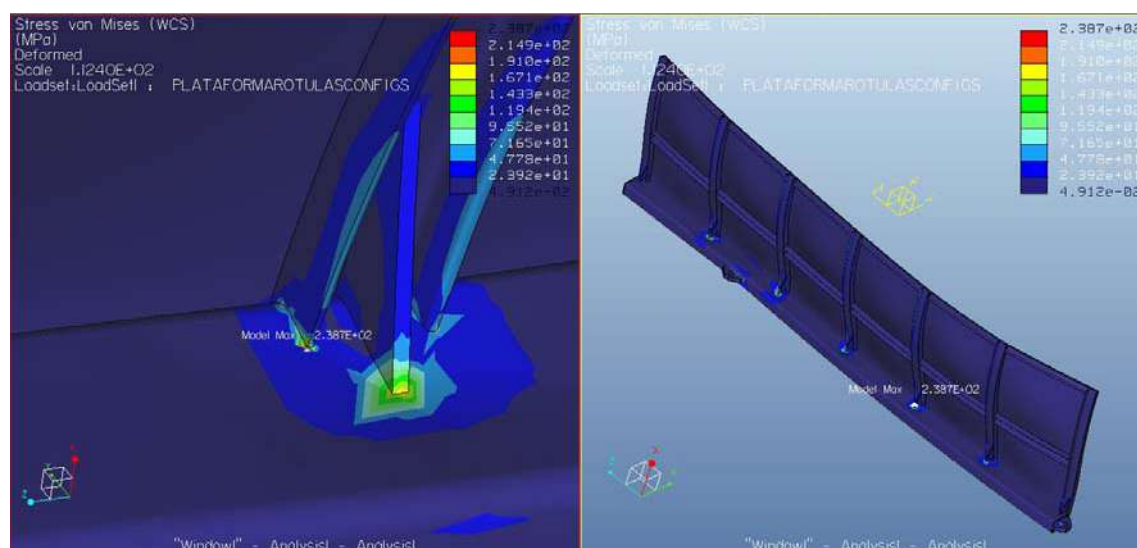


Figura 95 - Tensión máxima en el modelo con nueva rótula

6.4 Incorporación de refuerzos a la estructura

Se observa como la tensión, a pesar de ser mucho inferior que en el caso anterior previo, se concentra en las juntas del larguero con los travesaños. Por tanto se plantea un diseño que distribuya los esfuerzos de manera más uniforme a lo largo del larguero, es decir, con más puntos de contacto. La Figura 96 muestra este diseño en el que han sido incorporados unos refuerzos en forma de V.

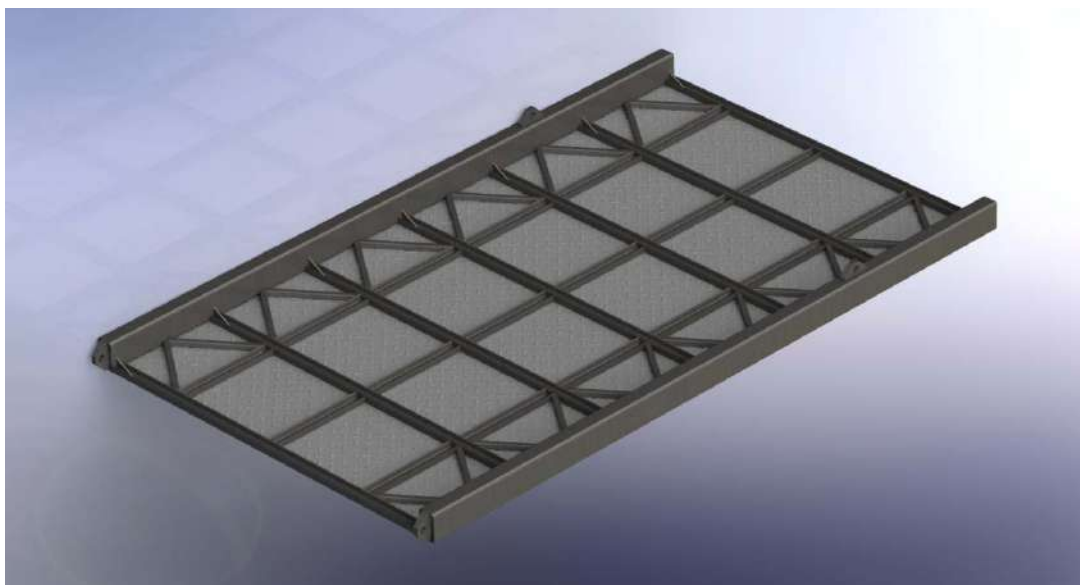


Figura 96 - Diseño de la plataforma con refuerzos en V

Para este diseño los resultados obtenidos del ensayo estático se muestran en la Tabla 28 junto con los del estudio 2 (plataforma con rótulas nuevas).

Tabla 28 - Resultado para la plataforma sin refuerzos y con refuerzos en V

		Estudio 2: Plataforma rótulas nuevas sin refuerzos	Estudio 3: Rotulas nuevas con refuerzos en V
PESO	Peso semi parte (Kg)	638,12	667,2
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	1276,24	1334,4
MALLA	Elementos de la malla	35224	63909
	Nodos de la malla	11714	20266
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%	6%
	Plotting	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	0,972	0,866
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,3% of 3,16e8	0,2% of 3,89e8
TIEMPO	Tiempo inicio	2:03:11	9:21:26
	Tiempo fin	6:07:15	18:22:44
	Tiempo Total	4:04:04	9:01:18
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	238,72	235,83
	Tensión Máx. Principal (MPa)	125,44	144,5
	Desplazamiento Máx. (mm)	4,4	3,55

Se produce un descenso casi insignificante de la tensión. La Figura 97 muestra en qué puntos se produce esta tensión máxima.

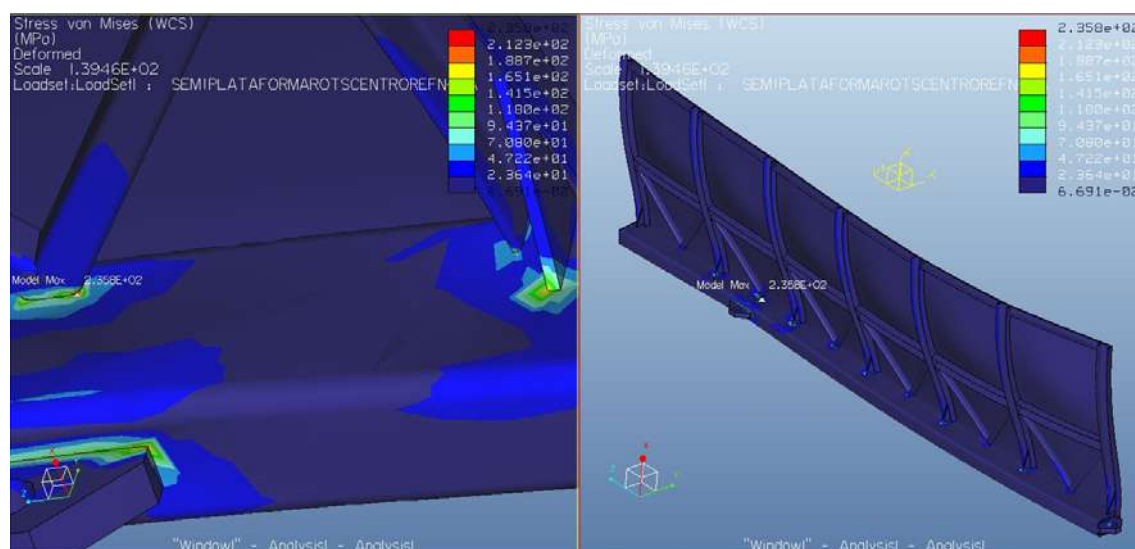


Figura 97 - Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos en V

Puesto que este último diseño no ha resultado funcionar tan bien como cabía esperar, se propone otro que, basándose en sus mismos principios, se diferencia en la distribución de los refuerzos, colocando para este nuevo diseño los refuerzos en paralelo con lo que se obtiene un punto nuevo sobre el larguero por el que evacuar esfuerzos en lugar de concentrarlos todos en un punto. Es diseño con los refuerzos en paralelo para la plataforma se muestra en la Figura 98.

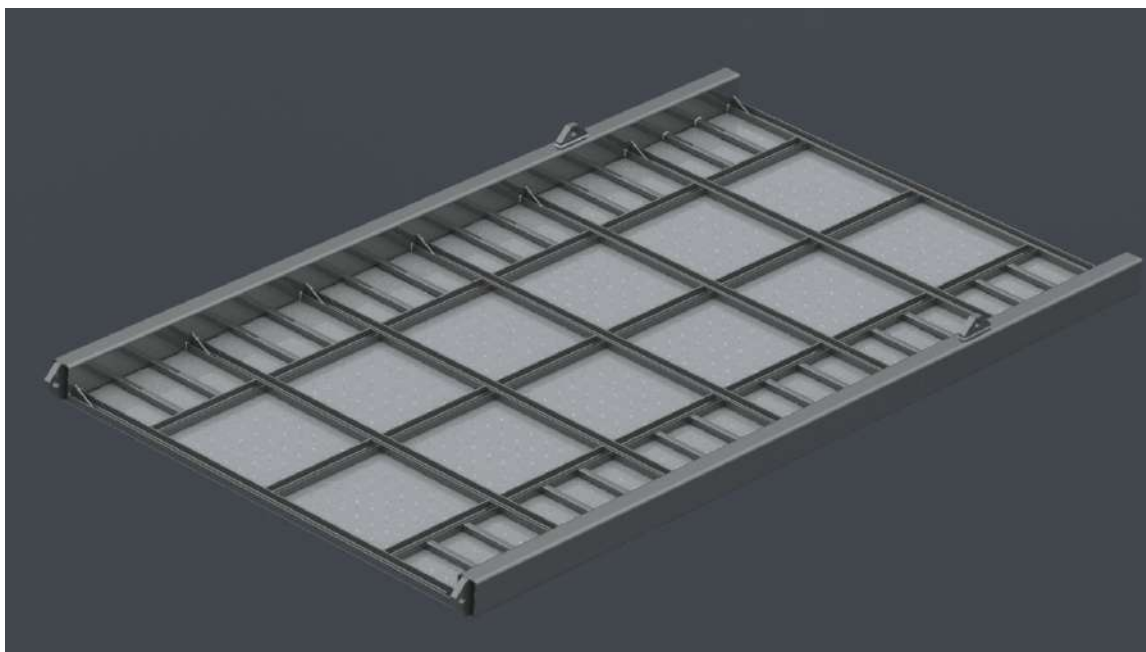


Figura 98 - Plataforma con refuerzos en paralelo

Los resultados del análisis de este diseño se recogen en la Tabla 29, junto con los anteriores resultados para refuerzos en V.

Tabla 29 - Resultados para la plataforma con refuerzos en paralelo y en V

		Estudio 3: Rotulas nuevas con refuerzos en V	Estudio 4: Rotulas nuevas con refuerzos en paralelo
PESO	Peso semi parte (Kg)	667,2	662,8
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	1334,4	1325,6
MALLA	Elementos de la malla	63909	61483
	Nodos de la malla	20266	19549
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%	6%
	Plotting	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	0,866	0,914
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,2% of 3,89e8	0,4% of 2,56e8
TIEMPO	Tiempo inicio	9:21:26	22:48:36
	Tiempo fin	18:22:44	2:59:49
	Tiempo Total	9:01:18	4:11:13
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	235,83	201,3
	Tensión Máx. Principal (MPa)	144,5	126,9
	Desplazamiento Máx. (mm)	3,55	3,38

En este caso, sí que se vuelve a observar una disminución plausible de la tensión, con un descenso de más de 30 MPa. Los resultados gráficos donde aparecen los puntos más tensionados de esta última estructura se muestran en la Figura 99.

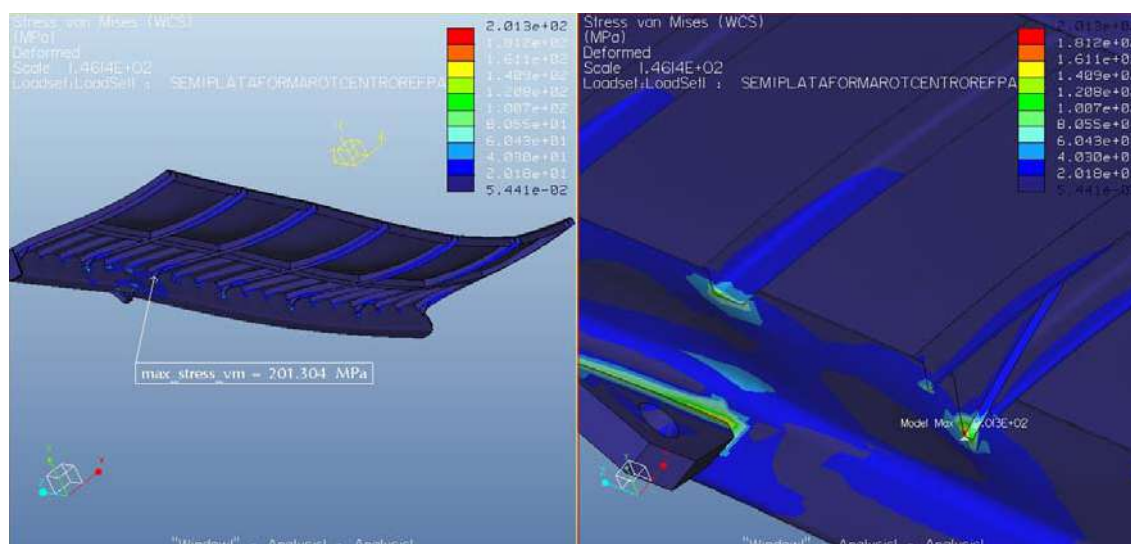


Figura 99 – Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos paralelos

Se considera que este diseño cumple de manera notable los requisitos a los que está sometida la plataforma.

6.5 Aporte de soldadura en las juntas

Se va a realizar un último ensayo utilizando el diseño anterior de refuerzos en paralelo pero añadiendo soldaduras en los extremos de las uniones, y así asemejarlo más a la realidad. Aún así, dependiendo de cómo resuelva el programa y malle la soldadura, se pueden obtener unos resultados menos verídicos, siempre que la soldadura se suponga como un pico sobre el que se aplica tensión. En ese caso claramente se produciría una concentración de tensiones que falsearía los resultados.

Los resultados obtenidos para este último caso en comparación con el caso de refuerzos en paralelo se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30- Resultados para la plataforma con refuerzos paralelos soldados y sin soldar

		Estudio 4: Rotulas nuevas con refuerzos en paralelo	Estudio 5: Rotulas nuevas con refuerzos paralelos y soldaduras
PESO	Peso semi parte (Kg)	662,8	662,8
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	1325,6	1325,6
MALLA	Elementos de la malla	61483	66024
	Nodos de la malla	19549	20801
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%	6%
	Plotting	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	0,914	0,735
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,4% of 2,56e8	0,2% of 3,44e8
TIEMPO	Tiempo inicio	22:48:36	4:32:15
	Tiempo fin	2:59:49	13:11:47
	Tiempo Total	4:11:13	8:39:32
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	201,3	225
	Tensión Máx. Principal (MPa)	126,9	122
	Desplazamiento Máx. (mm)	3,38	3,38

Como ya se había predicho, el redondeo supone más la incursión de puntos de concentración de tensiones, en lugar de una distribución más real de la tensión a lo largo del larguero, como en un primer momento se podría suponer. La Figura 100 muestra los resultados gráficos de este último análisis.

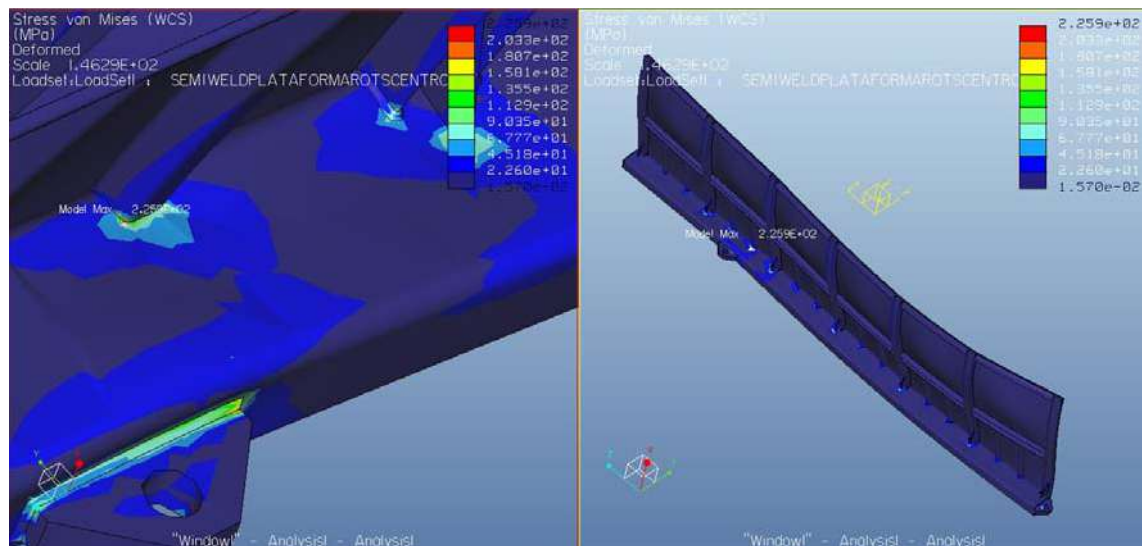


Figura 100 - Máximas tensiones en la plataforma con refuerzos paralelos y soldadura

Por lo tanto, el mejor resultado obtenido es el del estudio 4, esto es, para la plataforma con refuerzos paralelos. Será este patrón con el que se diseñará el piso móvil según lo dicho al inicio del apartado 5.4.2.

Capítulo 7

Resultados

7.1 Planteamiento inicial

Este capítulo recoge todos los resultados que se llevan a cabo a la hora del diseño del piso superior del porta-autos. En cierta manera y sin determinar ningún tipo de conclusión, en él se puede ver como la metodología de diseño que define la Figura 13 es aplicada siguiendo las pautas dadas en el inicio del documento.

Se obtienen dos grandes grupos de resultados:

- Resultados del ensayo estático
- Resultados del ensayo a fatiga

Y dentro de cada grupo obviamente se encuentran los resultados obtenidos para cada elemento de estudio:

- Plataforma de descarga
- Piso móvil

Como se especifica en el apartado 5.3.2 y en el diagrama de la metodología a seguir (ver Figura 13), es el diseño de la plataforma de descarga el que marca las pautas a seguir para el diseño del piso móvil. Por ello todas las optimizaciones que se realizan a lo largo del capítulo 6 están referidas a la plataforma, aunque se extrapolan al piso móvil de manera directa.

Por ello, sólo se obtienen los resultados estáticos de los diferentes tipos de diseños realizados para la plataforma, realizando los análisis al piso móvil una vez se ha definido el patrón de diseño que imponen los resultados previos de la plataforma.

De esta forma para el piso móvil sólo se tendrá unos resultados estáticos.

7.2 Análisis estáticos de la plataforma

La Tabla 31 recoge todos los ensayos realizados para los diferentes diseños llevados a cabo como proceso de optimización de los parámetros iniciales de diseño de la plataforma.

Tabla 31 – Resultados de los análisis estáticos realizados en la plataforma

COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES ENSAYOS ESTÁTICOS REALIZADOS SOBRE LA PLATAFORMA						
		Ensayo 1: Plataforma Rotulas1 sin refuerzos	Ensayo 2: Plataforma rótulas nuevas sin refuerzos	Ensayo 3: Rotulas nuevas con refuerzos en V	Ensayo 4: Rotulas nuevas con refuerzos en paralelo	Ensayo 5: Rotulas nuevas con refuerzos paralelos y soldaduras
PESO	Peso semi parte (Kg)		638,12	667,2	662,8	662,8
	Peso TOTAL (Kg) - ProE		1276,24	1334,4	1325,6	1325,6
MALLA	Elementos de la malla	35522	35224	63909	61483	66024
	Nodos de la malla	11815	11714	20266	19549	20801
MÉTODO	Método de ensayo	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8	Multiple-Pass 1-8
	Convergencia	6%	6%	6%	6%	6%
	Plotting	2	2	2	2	2
RMS	Stress Error (MPa)	1,19	0,972	0,866	0,914	0,735
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,2% of 5,74e8	0,3% of 3,16e8	0,2% of 3,89e8	0,4% of 2,56e8	0,2% of 3,44e8
TIEMPO	Tiempo inicio	20:12:07	2:03:11	9:21:26	22:48:36	4:32:15
	Tiempo fin	0:17:45	6:07:15	18:22:44	2:59:49	13:11:47
	Tiempo Total	4:05:38	4:04:04	9:01:18	4:11:13	8:39:32
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Misses (Mpa)	460	238,72	235,83	201,3	225
	Tensión Máx. Principal (MPa)	574	125,44	144,5	126,9	122
	Desplazamiento Máx. (mm)	5	4,4	3,55	3,38	3,38

De la anterior tabla, los valores importantes a partir de los cuales seleccionar un ensayo u otro son los que se recogen en el grupo de la solución. Para tener una vista global más clara de cada uno de ellos dependiendo del tipo de solución, se realizan unos gráficos que comparen en barras las ventajas de unos diseños de piso sobre los otros. Estos gráficos están formados por la Figura 101, Figura 102 y Figura 103.

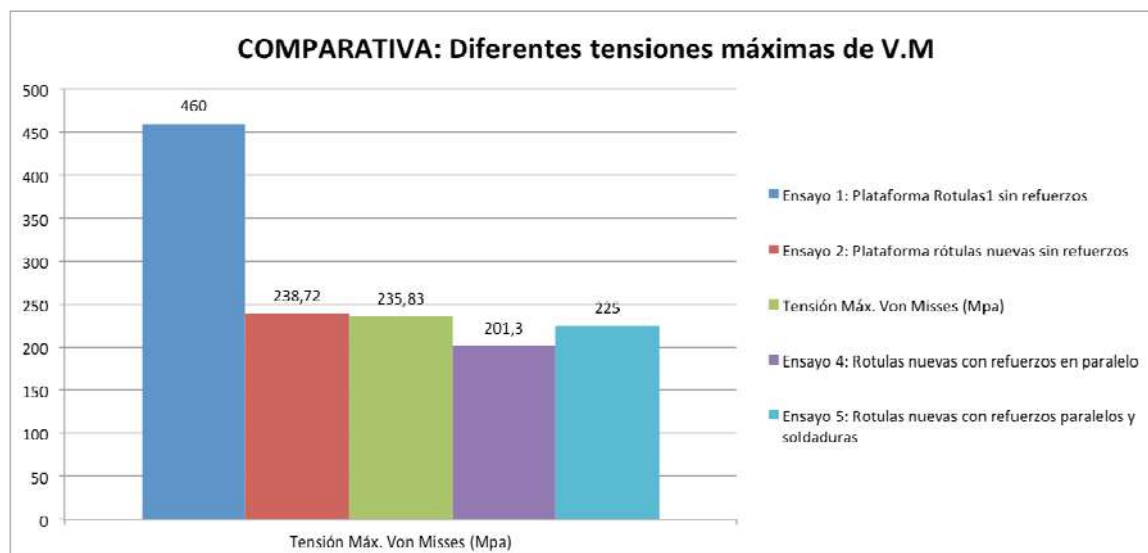


Figura 101 - Gráfica comparativa de las tensiones V.M en la plataforma

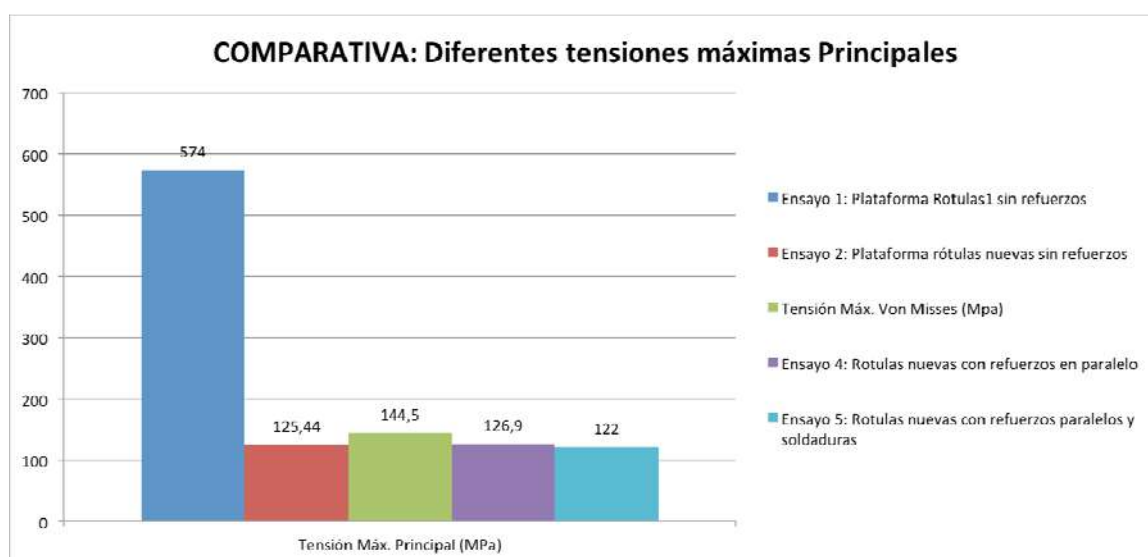


Figura 102 - Gráfica comparativa de las tensiones principales en la plataforma

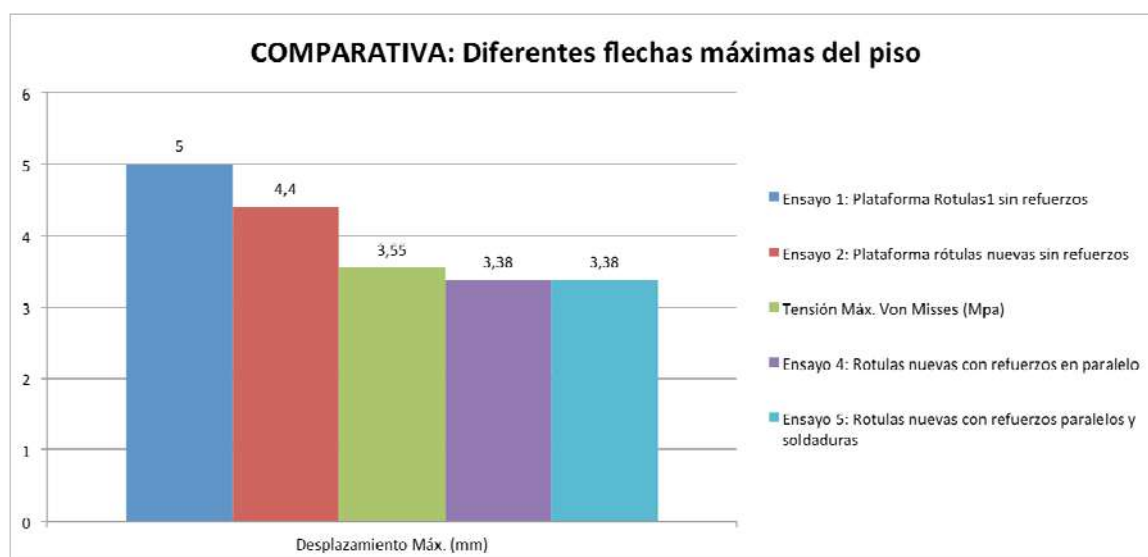


Figura 103 - Gráfica comparativa de la flechas de la plataforma

A la vista de estos resultados y tras las mejora realizadas por las diferentes optimizaciones, se decide seleccionar como modelo de diseño final el descrito en el ensayo 4, es decir, la plataforma con rótulas entre pisos mejoradas y disposición de refuerzos en paralelo que se muestra en la Figura 104.

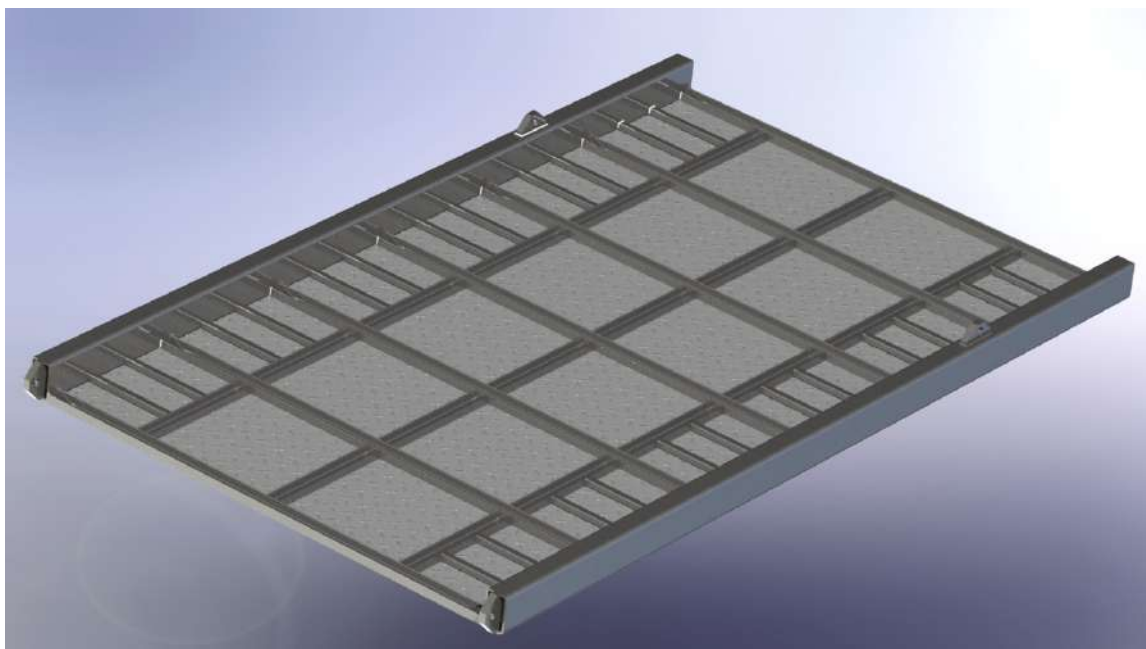


Figura 104 - Diseño de Plataforma Final

La distribución de cargas que se aplican a este diseño se muestra en la Figura 105.

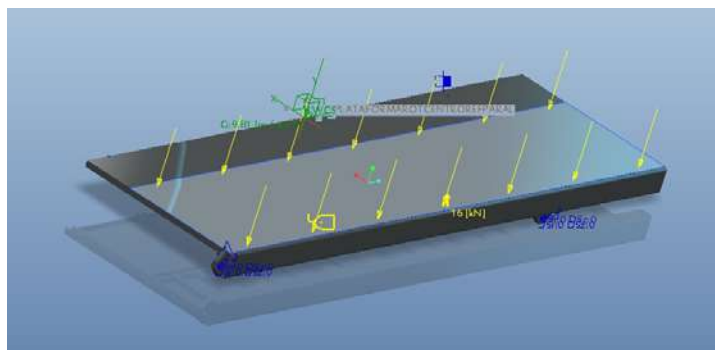


Figura 105 - Cargas sobre la plataforma final

Los resultados gráficos del análisis estático de la plataforma donde podemos ver de forma visual donde se producen los picos de mayor tensión y cuales son las zonas más sometidas a esfuerzos, se representan en la Figura 106 y Figura 107. Se observa como las zonas con una mayor sollicitación corresponden a la unión de los travesaños con los largueros, ya que lógicamente es en ese punto de unión donde se produce la transmisión de esfuerzos de los automóviles a los apoyos que sujetarán el piso superior. De hecho se puede ver como el punto de mayor sollicitación está junto a la rótula de apoyo del piso, situado en el extremo inferior de una de las cartelas que ayudan a distribuir los esfuerzos de forma más uniforme a lo largo de su superficie, evitando la concentración de tensiones en el apoyo sólo de los refuerzos y el travesaño.

También puede verse como existe una sollicitación en la rótula de unión entre plataforma y piso móvil, pero en ningún caso se producen la concentración de tensiones que ocurría con la primera rótula que se diseñó.

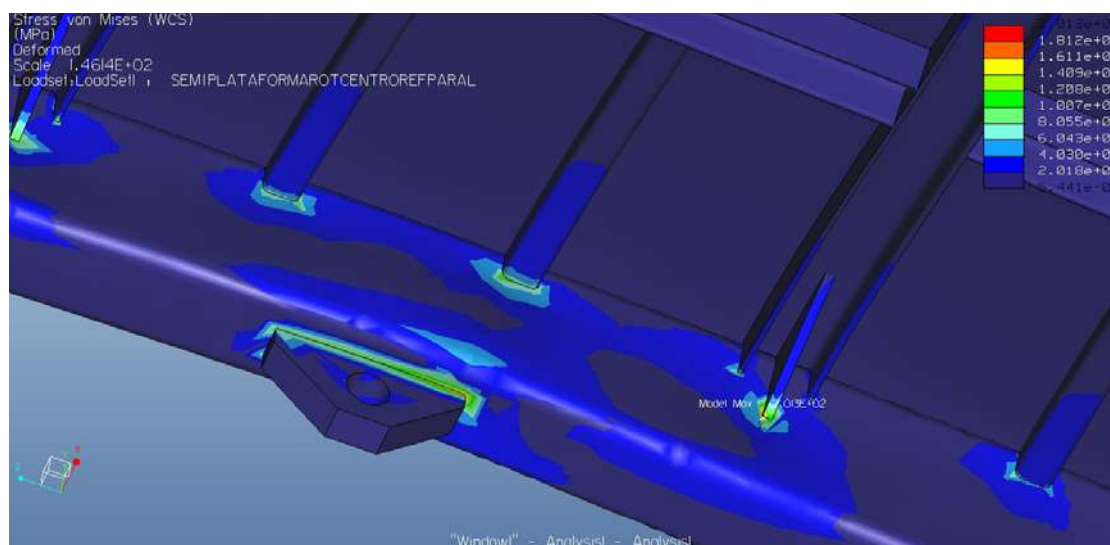


Figura 106 - Detalle de los esfuerzos sobre la plataforma final

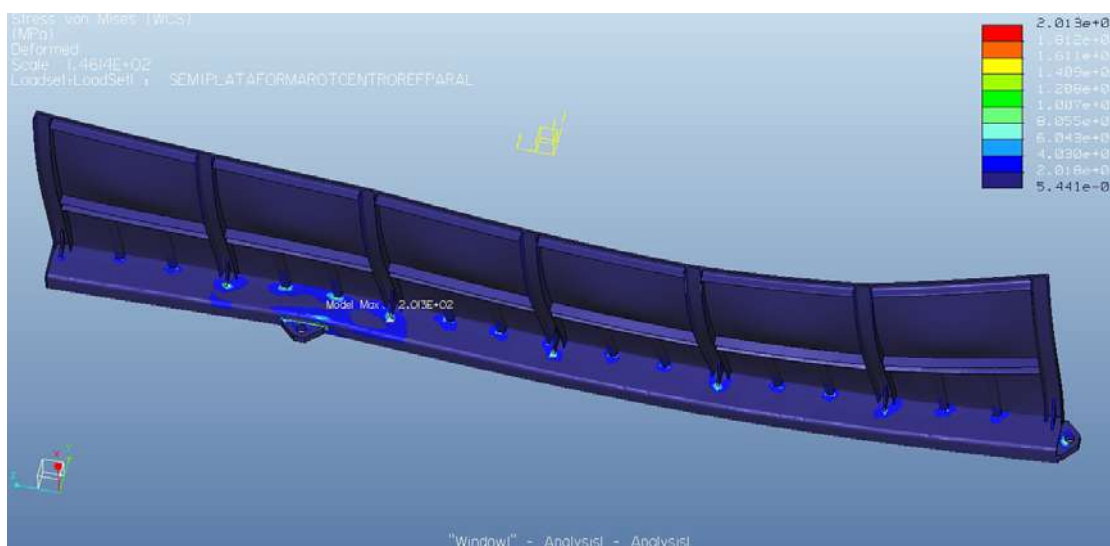


Figura 107 - Esfuerzos globales sobre la plataforma final

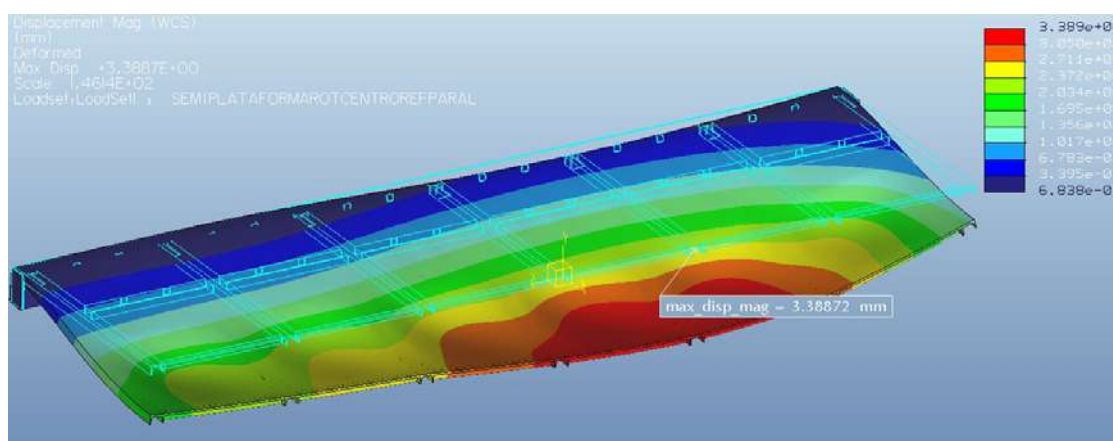


Figura 108 - Desplazamientos sobre la plataforma final

La Figura 108 muestra el punto exacto donde se produce la flecha máxima de la plataforma y que corresponde con la situación de uno de los perfiles UPN que sirven de travesaños.

7.3 Análisis estático del piso móvil

A partir del patrón definido por las mejoras del diseño de la plataforma (ver Figura 104) se optimiza el diseño del piso móvil definido previamente por la Figura 44 en el apartado 4.6.7. De esta forma se determina un nuevo diseño para el piso móvil como se muestra en la Figura 109.

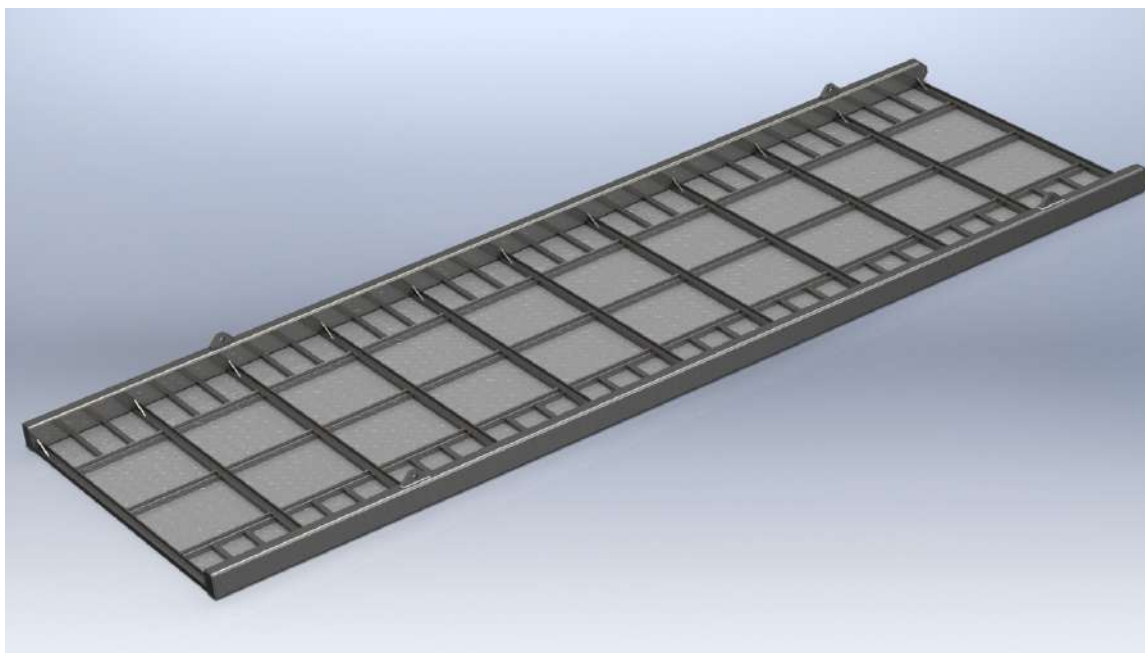


Figura 109 - Diseño definitivo de la estructura del piso móvil

Como ya se vio al final del apartado 5.4.2, antes de realizar un análisis estático se realiza una calibración para determinar que método resolutivo empleado por Mechanica ofrece unos resultados más veraces frente al tiempo que tarda en obtenerlos. Pero como se dedujo en el apartado 5.3.2, el piso móvil va a estar menos solicitado que la plataforma de descarga. Y aunque se podría optimizar este diseño para que no se produzca un sobredimensionamiento, la verdad es que para seguir los requisitos impuestos en el apartado 4.2.2 y más concretamente el requisito de tener todas las piezas iguales que forman tanto el piso como la plataforma (mejorando la economía de escala de su construcción) se decide mantener el mismo patrón que el empleado en la plataforma de descarga, es decir, colocar refuerzos paralelos a la misma distancia. Por lo tanto, no es necesario gastar mucho tiempo en realizar un ensayo muy detallado con los parámetros que se aplicaban para la plataforma (ver Tabla 24) y gastar tiempo, que al final es dinero, cuando se sabe que el piso móvil no tendrá problemas tensionales. Además viendo los resultados de la Tabla 23 de calibración de la plataforma, se puede observar como los resultados con menor detalle resolutivo siempre pecan de conservadores.

Por todo ello, el ensayo estático del piso móvil se hará con un nivel bajo de detalle resolutivo con el método de *Simple-Pass*.

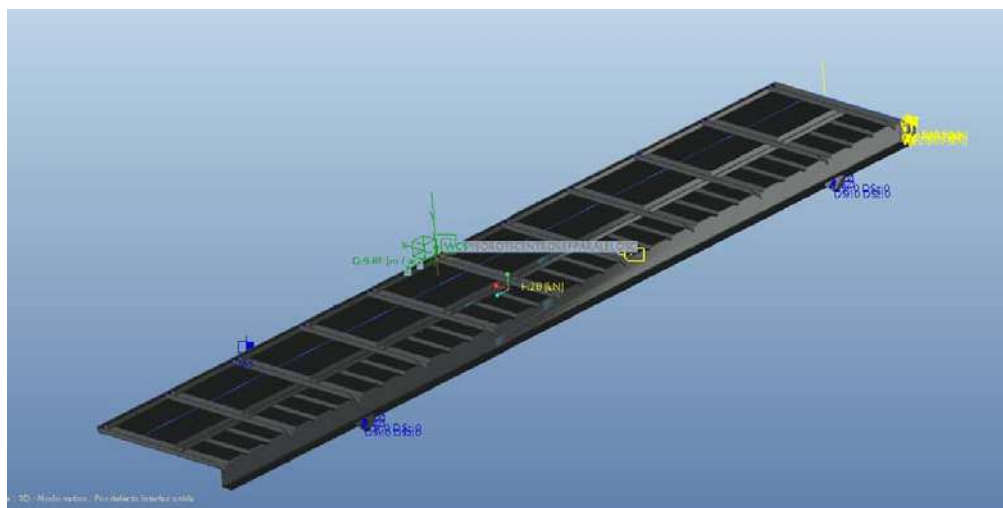
Los resultados del ensayo estático del piso móvil se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32 - Resultados del ensayo estáticos del piso móvil

		Piso Refuerzos Paralelos
PESO	Peso semi parte (Kg)	1087
	Peso TOTAL (Kg) - ProE	2174
MALLA	Elementos de la malla	108387
	Nodos de la malla	34384
MÉTODO	Método de ensayo	Simple-Pass
	Convergencia	-
	Plotting	4
RMS	Stress Error (MPa)	1,87
	% of Max. Princ. Stress (Pa)	0,9% of 2,18e8
TIEMPO	Tiempo inicio	21:42:17
	Tiempo fin	22:05:00
	Tiempo Total	00:22:43
SOLUCIÓN	Tensión Máx. Von Mises (Mpa)	161
	Tensión Máx. Principal (MPa)	126
	Desplazamiento Máx. (mm)	5,21

Como era de esperar y a pesar de ser unos resultados conservadores por el método resolutivo empleado, se obtiene una tensión Von Mises máxima inferior en 40 MPa al resultado que se obtenía para el diseño de la plataforma, por lo que se acepta absolutamente este diseño de piso móvil superior.

La distribución de cargas sobre el piso para la realización del análisis estático se muestran en la Figura 110. Estas cargas son las solicitadas por la normativa y que anteriormente se recogieron en la Tabla 22

**Figura 110 - Cargas aplicadas sobre el piso móvil para el análisis estático**

Los resultados gráficos de la tensión que se obtiene del análisis estático sobre el diseño del piso, se muestran en la Figura 111 y Figura 112. Al igual que pasaba con la plataforma, se observa como la concentración de solicitaciones se produce a lo largo del larguero en su unión con los travesaños.

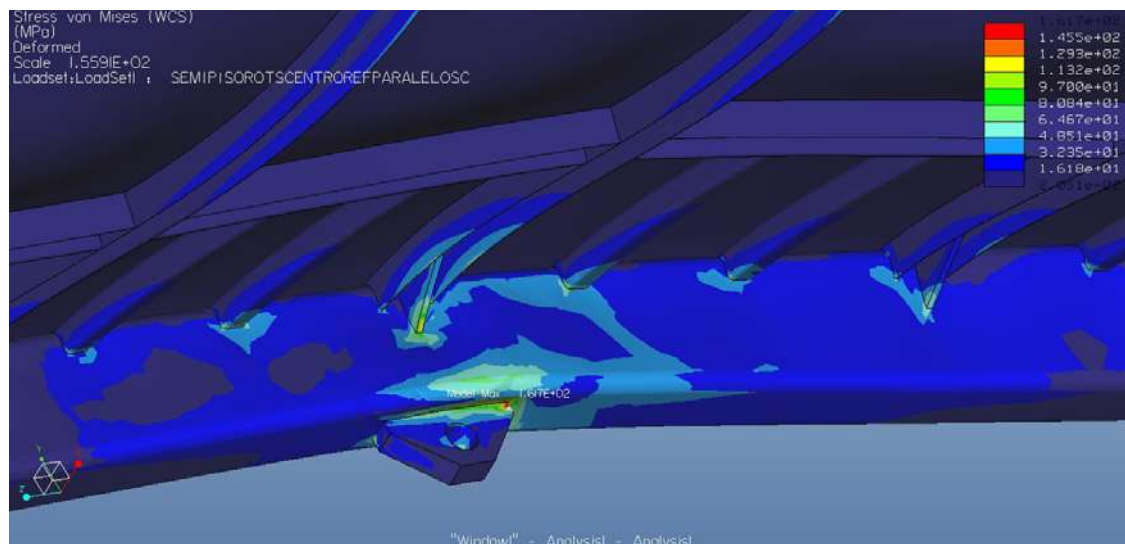


Figura 111 - Detalle del punto máximo tensional en el piso móvil

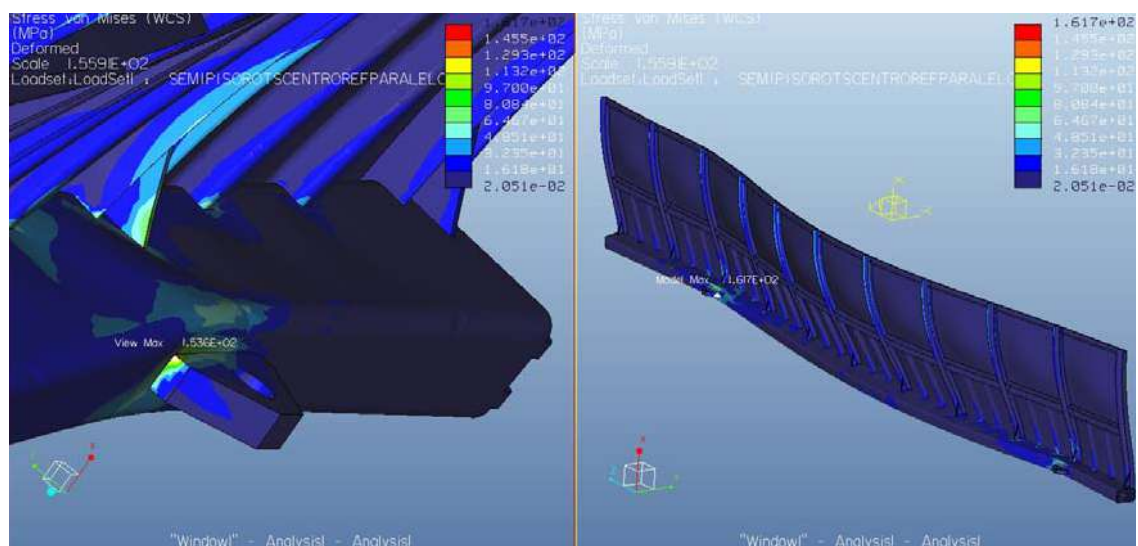


Figura 112 - Detalle de la otra rótula y vista general del estado tensional del piso móvil

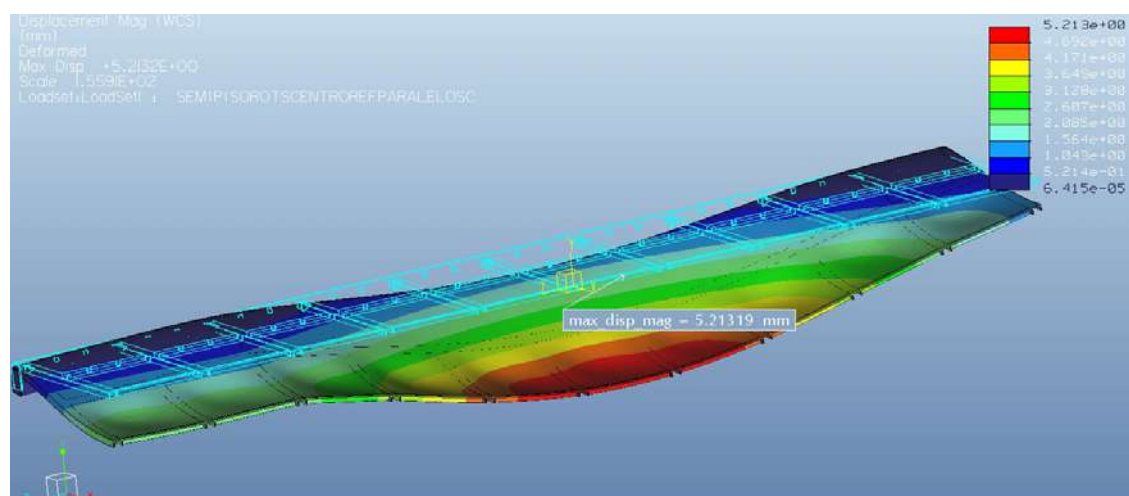


Figura 113 - Desplazamientos sobre el piso móvil

Los desplazamiento se ven en la Figura 113. Se observa como la flecha máxima a diferencia de lo que ocurría en el caso de la plataforma, sí que se produce aproximadamente en la mitad de la luz del piso, ligeramente desplazada hacia el lado en que el apoyo está más cercano al extremo del piso. La flecha de 5mm entra dentro del límite que establece la normativa para este valor.

7.4 Planteamiento del ensayo a Fatiga

En el apartado 5.5 se definió la manera de realizar este ensayo como proceso posterior a la obtención de unos resultados estáticos satisfactorios. Más que como un mero estudio para determinar el cumplimiento de la normativa, este ensayo tiene un calado importantísimo pues a partir de él se puede sacar el número de ciclos que aguantan los componentes que se han diseñado y establecer si fuera necesario un plan de mantenimiento para solucionar los problemas que se derivaran de su uso. El conocimiento de esta vida del material ofrece una garantía al comprador de que los parámetros de seguridad que conciernen a los operarios y al material transportado están garantizados mientras que se cumplan estos periodos de mantenimiento, siempre y cuando sean necesarios.

Por otro lado evidentemente, el cumplimiento de los parámetros a los que obliga la normativa garantizan de por sí una vida estimada de 10^6 ciclos.

Se realizan dos estudios a fatiga por cada componente de estudio:

- Ensayo a fatiga para cargas cíclicas dinámicas del $\pm 30\%$.
- Ensayo a fatiga para ciclos de carga y descarga de los automóviles.

El ensayo para cargas cíclicas del 30% representa los esfuerzos a los que se puede ver sometido el conjunto del piso superior durante el transporte de los vehículos. De él se podrá concluir cuantos ciclos de transporte de material aguantan las estructuras diseñadas. Este es el diseño que como recoge el apartado 5.5.3 estipula la normativa para verificar que se cumplen los parámetros mínimos para garantizar la seguridad.

El ensayo a fatiga para los ciclos de carga y descarga, es decir, ciclos de 0 a carga máxima (*Zero-Peak*), mostrará una estimación de cuantos ciclos de carga de los vehículos soporta la estructura del piso.

Se considera que con estos dos tipos de estudios a fatiga se engloban todos los posibles ciclos de carga periódica que pueden establecerse en el vagón y más concretamente en el piso superior.

7.5 Ensayo a fatiga con factor del 30%

7.5.1 Fatiga con factor del 30% en la plataforma

Tras someter a la plataforma seleccionada en el apartado 7.2 a un análisis a fatiga considerando un $\pm 30\%$ de cargas dinámicas, la Tabla 33 recoge los resultados obtenidos.

Tabla 33 - Resultados a fatiga con factor del 30% para la plataforma

FATIGA PARA UN FACTOR DEL $\pm 30\%$ DE CARGAS CÍCLICAS			
		PLATAFORMA PUNTO 1 (CRÍTICO)	PLATAFORMA PUNTO 2
FATIGA	LOG LIFE	7,662	8,769
	N ($N=10^{\wedge}\text{LOGLIFE}$) [CICLOS]	45.919.801,28	587.489.352,5
	FACTOR DE SEGURIDAD	1,879	2,298

La tabla hace distinción entre el punto crítico global que se obtiene del análisis a fatiga y el segundo punto más crítico fuera del radio de acción del primero. Esta distinción se lleva a cabo puesto que el punto crítico se da en la rótula de unión entre la plataforma y el piso, siendo dicho punto totalmente intrascendente puesto que no supone un grave peligro el que el agujero del bulón que forma la rótula pueda ensancharse unos milímetros. En cambio un punto que nos interesa por el compromiso de solicitaciones que tiene es el punto dos, que se encuentra en el extremo inferior de la cartela junto a la rótula de sustentación.

En la Figura 114 y Figura 115 se verifica de forma gráfica a través de los resultados del programa lo dicho anteriormente.

La Figura 116 y Figura 117 muestra visualmente el factor de seguridad que se obtiene en esos puntos críticos.

Mientras que la Figura 118 refleja la confianza de vida que existe a lo largo de toda la plataforma. En este caso la confianza es absoluta, registrándose un valor mínimo de 3, que es el máximo de la escala.

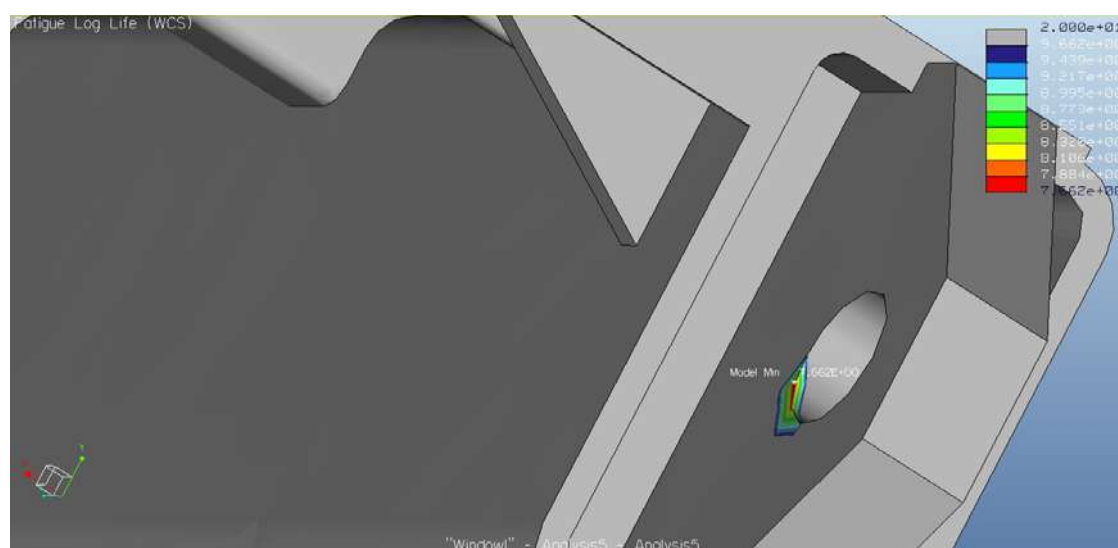


Figura 114 - Detalle de la vida a fatiga con factor del $\pm 30\%$ de la plataforma

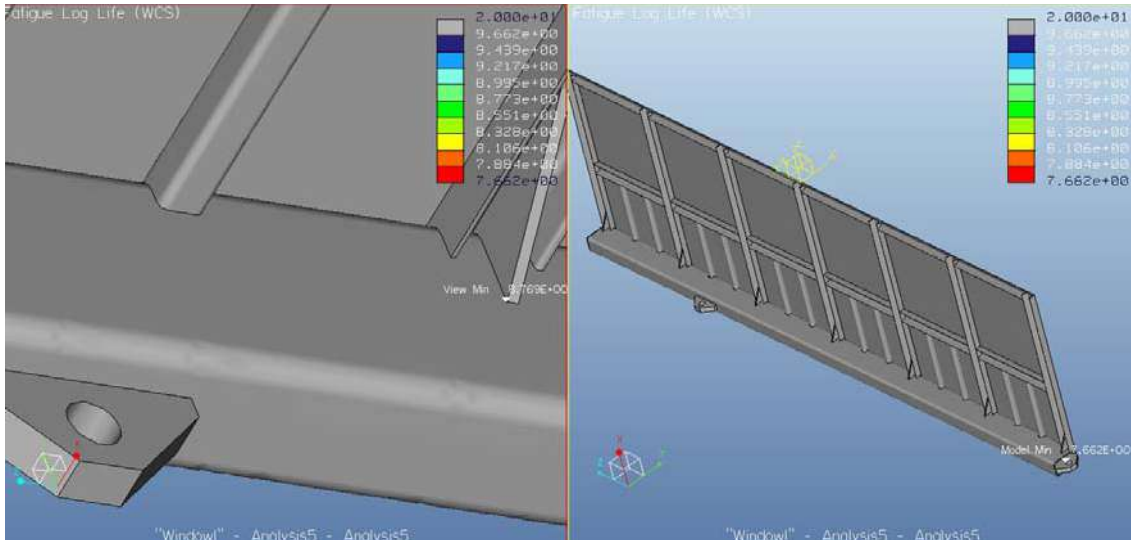


Figura 115 - Detalle del siguiente punto con menor vida a fatiga y visión general de toda la plataforma

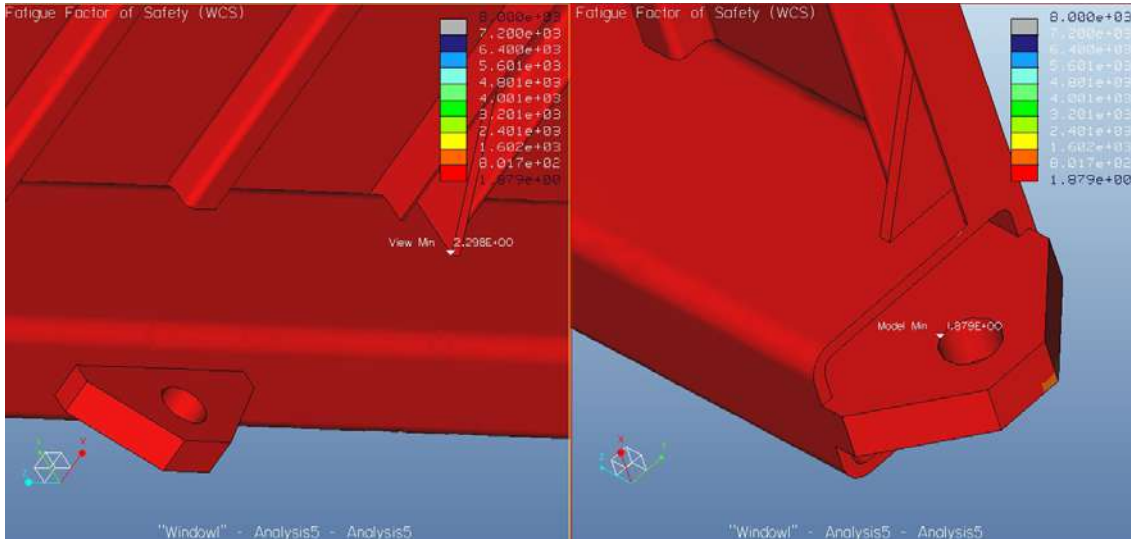


Figura 116 - Detalle del factor de seguridad para un factor de 30% en la plataforma

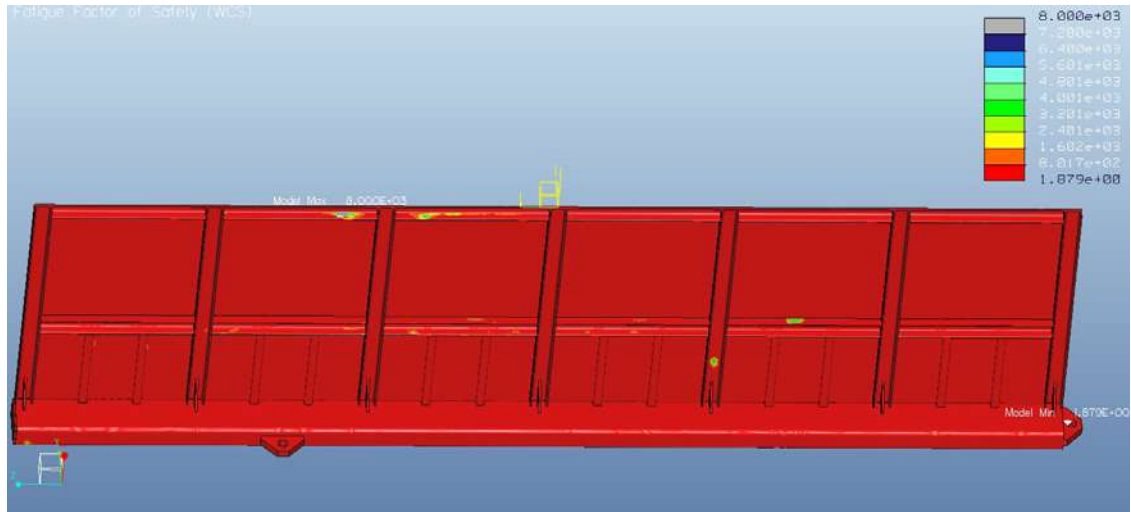


Figura 117 - Factor de seguridad global para un factor del 30% en la plataforma

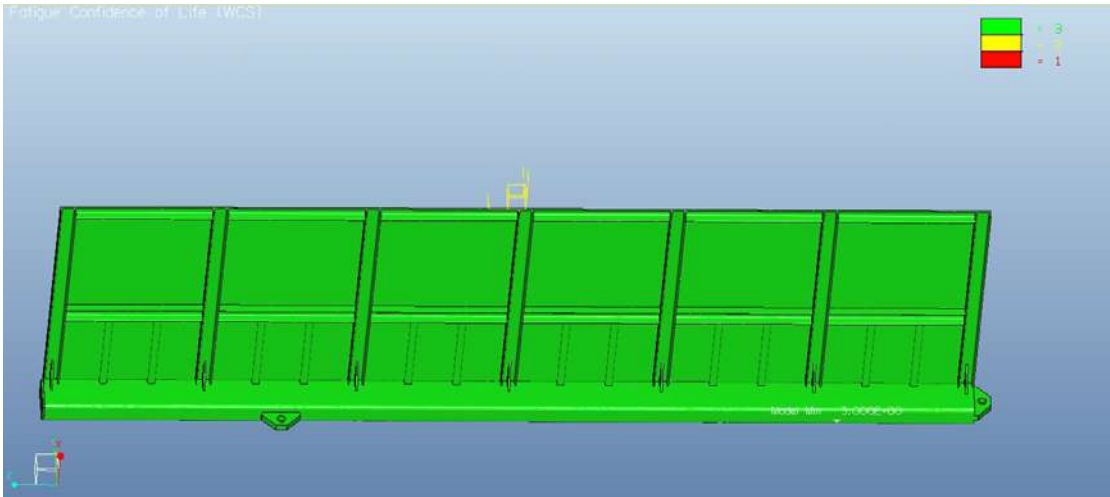


Figura 118 - Confianza de vida para un factor del 30% en la plataforma

7.5.2 Fatiga con factor del 30% en el piso móvil

De igual forma que en el apartado 7.5.1, se muestran a continuación los resultados que se obtienen de efectuar el análisis a fatiga con un ciclo del $\pm 30\%$ de carga al piso móvil. La Tabla 34 recoge los valores de los ciclos y el factor de seguridad.

Tabla 34 - Resultados a fatiga con factor del 30% para el piso

FATIGA PARA UN FACTOR DEL $\pm 30\%$ DE CARGAS CÍCLICAS		
		Piso
FATIGA	Log Life	8,585
	N ($N=10^{\text{LogLife}}$) [ciclos]	384.591.782
	Factor de seguridad	2,42

En este caso no es necesario hacer ningún tipo de distinción entre los puntos de mínima vida a fatiga, ya que este valor se da en el punto esperado donde también concurría la mayor concentración de tensiones.

La Figura 119 y la Figura 120 muestran los resultados obtenidos del análisis. En ellas se puede ver como es en el cambio de sección donde se produce la mínima vida, debido este hecho a la concentración de tensiones que se establece en ese punto.

La Figura 121 y la Figura 122 muestran en cambio la distribución del factor de seguridad que se produce en el componente, ampliado para mejorar la visibilidad en el punto de unión donde se producía la menor vida, que es el punto donde reside también el mínimo factor de seguridad, aún así mucho mayor que en el caso de la plataforma.

La Figura 123 muestra la confianza global del piso. De nuevo, como ocurría en la plataforma, se obtiene una confianza mínima de 3, que es el valor máximo posible, por lo que la confianza del piso es total.

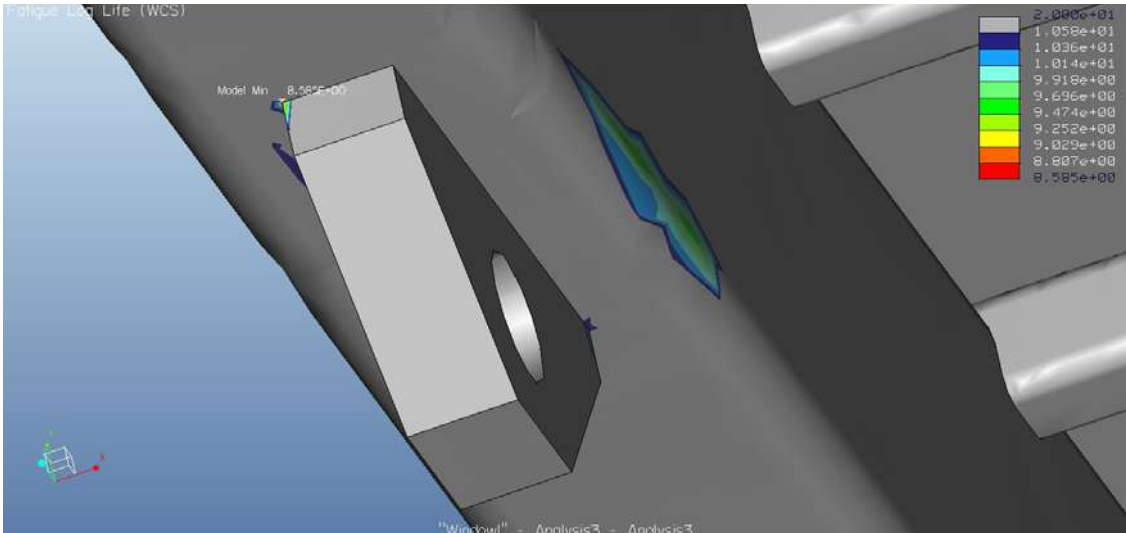


Figura 119 - Detalle de la vida a fatiga con factor de 30% en el piso móvil

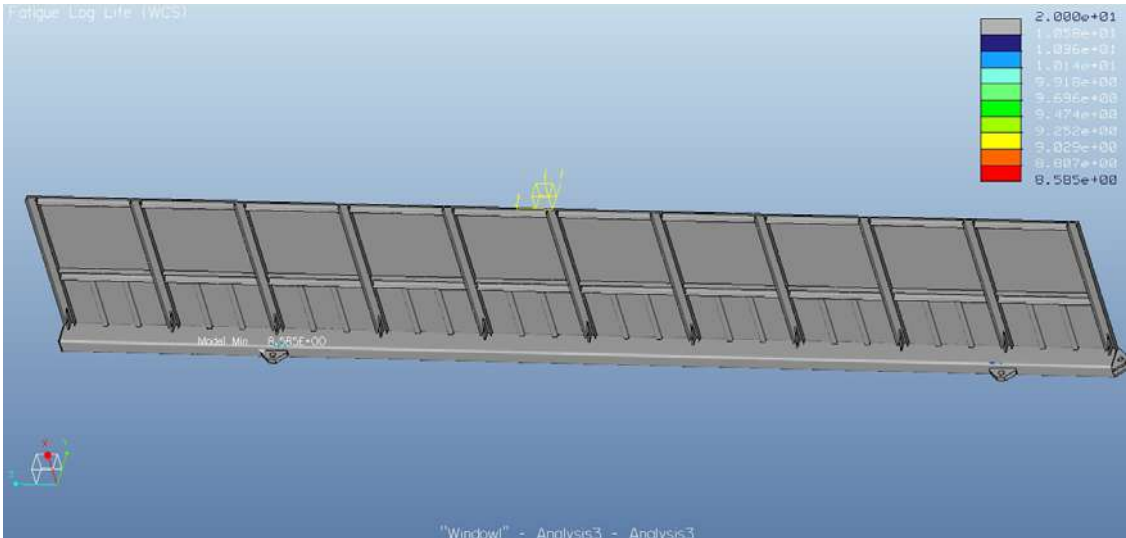


Figura 120 - Vida a fatiga global con factor de 30% en el piso móvil

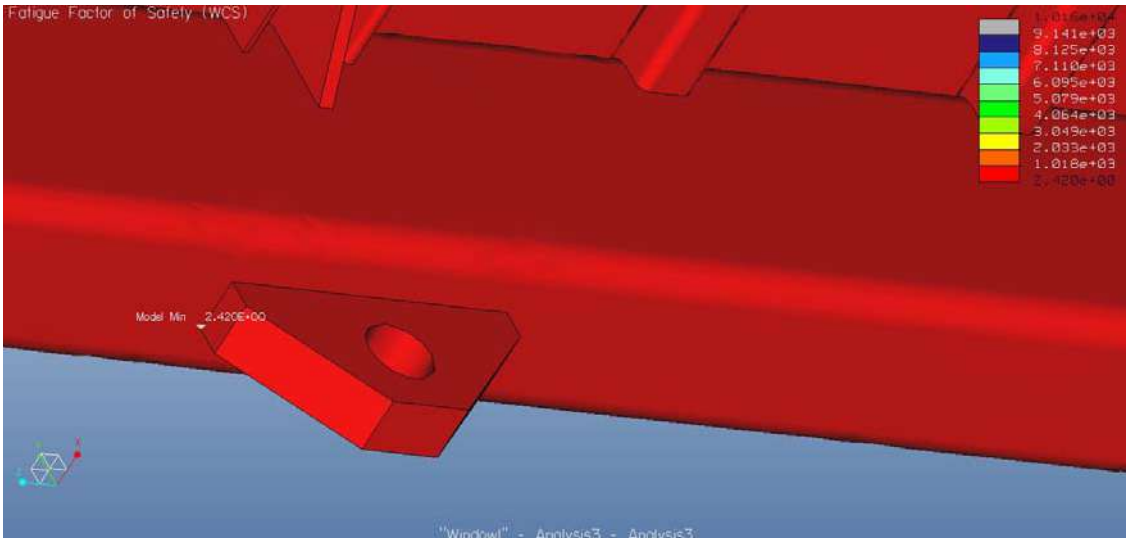


Figura 121 - Detalle del factor se seguridad para un factor del 30% en el piso

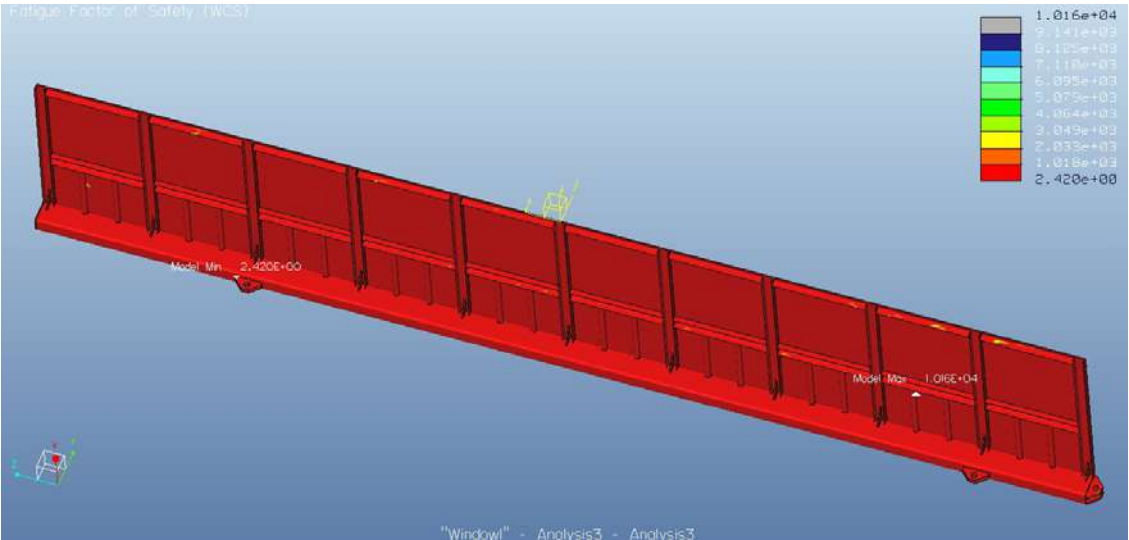


Figura 122 - Factor de seguridad global para un factor del 30% en el piso

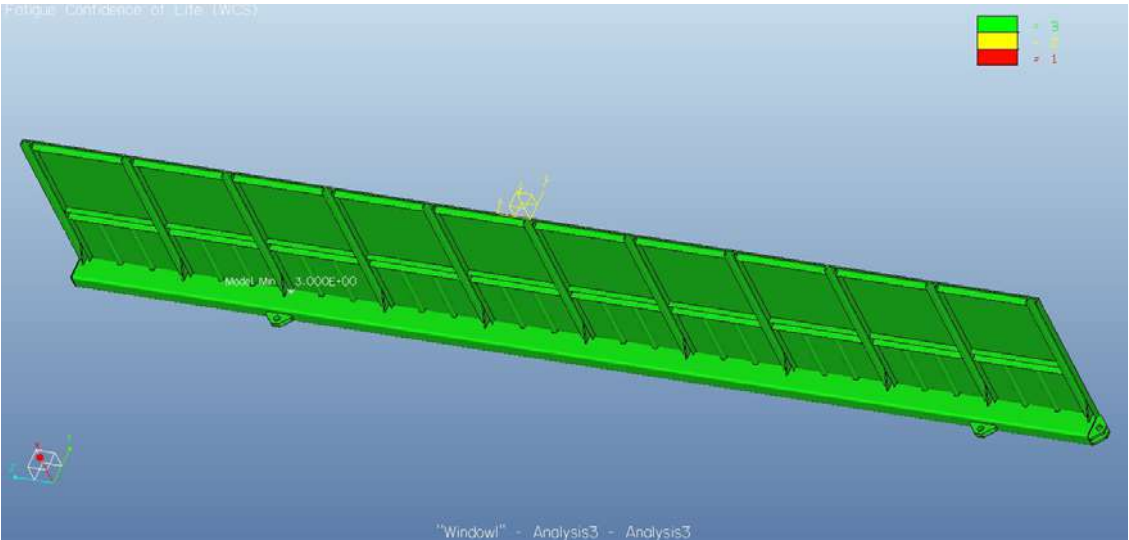


Figura 123 - Confianza global para un factor de 30% en el piso

7.5.3 Estimación del mantenimiento debido al 30% de esfuerzos dinámicos

La Tabla 35 recoge los datos de la Tabla 33 y Tabla 34 para realizar una comparativa entre los ciclos que soporta cada elemento constructivo bajo unos ciclos de cargas dinámicas del 30%.

Tabla 35 - Comparativa entre la plataforma y el piso para un factor del 30%

COMPARATIVA: FATIGA PARA UN FACTOR DEL ±30% DE CARGAS CÍCLICAS				
		Plataforma PUNTO 1 (Crítico)	Plataforma PUNTO 2	Piso
FATIGA	Log Life	7,662	8,769	8,585
	N (N=10^LogLife) [ciclos]	45.919.802	587.489.353	384.591.782

	Factor de seguridad	1,879	2,298	2,42
--	---------------------	-------	-------	------

En primer lugar estos datos arrojan una superación clara de los límites impuestos por la normativa, por lo que se considera que con este tipo de diseño para la plataforma y el piso móvil se cumple con la normativa actualmente establecida e impuesta a través de la norma UNE-EN 12663 [19].

Como se dijo anteriormente, el punto crítico de la plataforma puede ser desestimado por carecer de importancia constructiva un posible alargamiento del hueco del bulón de la rótula. Por lo que sólo consideraremos el punto 2 de la plataforma y el punto de mínima vida del piso.

De entre los dos, la vida limitante la tiene el piso con 384.591.782 ciclos que soporta.

Si se considera una frecuencia natural del 20 Hz del piso superior (esta frecuencia oscilatoria no se elige arbitrariamente, sino que se obtiene como el modo principal de oscilación en un análisis modal de la estructura del piso móvil) se puede determinar el tiempo que aguanta.

Por lo tanto $384.591.782 \text{ ciclos} / 20 \text{ Hz} = 19.229.590 \text{ segundos}$.

Es decir, 5.341,55 horas.

Esta vibración sólo se obtiene cuando el vagón circula a su máxima velocidad, esto es $V_{\max} = 100 \text{ km/h}$, por lo que podemos hallar el número de kms hasta los cuales se mantiene en perfecto estado el piso superior:

$5.341,55 \text{ horas} \times 100 \text{ km/h} = \mathbf{534.156 \text{ kms}}$

Por lo tanto, se debería establecer un mantenimiento en la zona de los apoyos de sustentación cada 500.000 kms para así garantizar la seguridad estructural del piso superior y con ello maximizar la seguridad de los operarios que realizan labores de carga y descarga, así como de la propia mercancía.

7.6 Ensayo a fatiga para ciclos de carga máxima

7.6.1 Fatiga de carga máxima en la plataforma

La Tabla 36 muestra los resultados que se obtienen para el análisis a fatiga desarrollando ciclos de carga máxima sobre la plataforma. Estos ciclos de carga representaban los ciclos reales que tendrá que aguantar la plataforma a lo largo de las maniobras de carga y descarga de los vehículos.

Tabla 36 - Resultados a fatiga para ciclos de carga máx. en la plataforma

FATIGA PARA CICLOS DE CARGA MÁXIMA

		PLATAFORMA
FATIGA	Log Life	6,738
	N ($N=10^{\wedge}\text{LogLife}$) [ciclos]	5.470.159,629
	Factor de seguridad	1,299

Como en el anterior análisis de fatiga, se representa la vida a fatiga de forma visual en la Figura 124 y Figura 125



Figura 124 - Detalle de la vida a fatiga con carga máxima en la plataforma

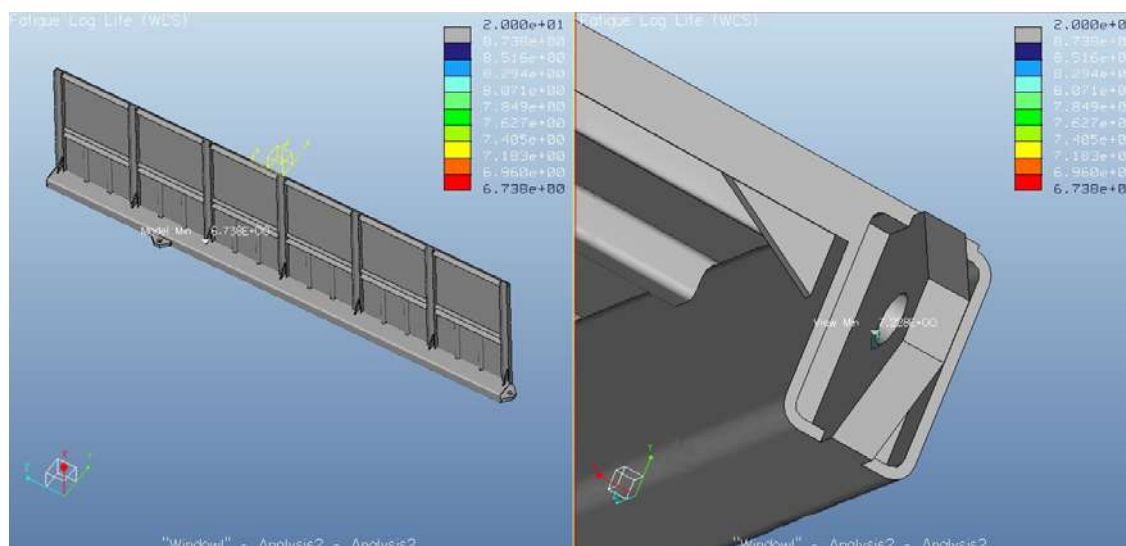


Figura 125 - Detalle y global de la vida a fatiga con carga máx. en la plataforma

La Figura 126 representa el factor de seguridad que desprenden los resultados del análisis a fatiga para la plataforma. De igual forma se puede ver en la Figura 127 la confianza de la vida. Este resultado vuelve a ser óptimo, alcanzándose un valor mínimo global de 3 que a su vez es el máximo de confianza posible.

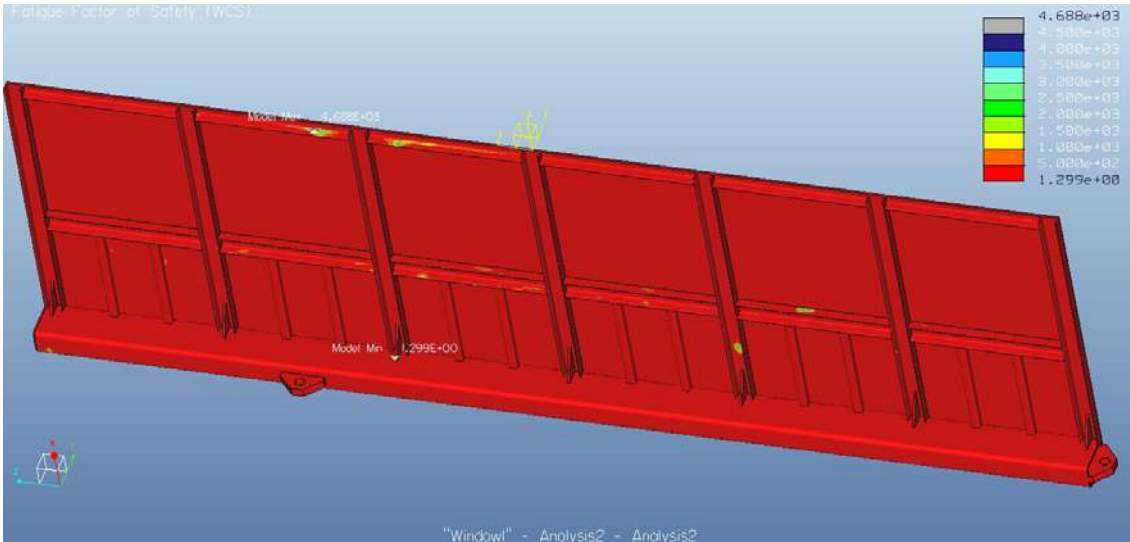


Figura 126 - Factor de seguridad de la fatiga con carga máx. en la plataforma

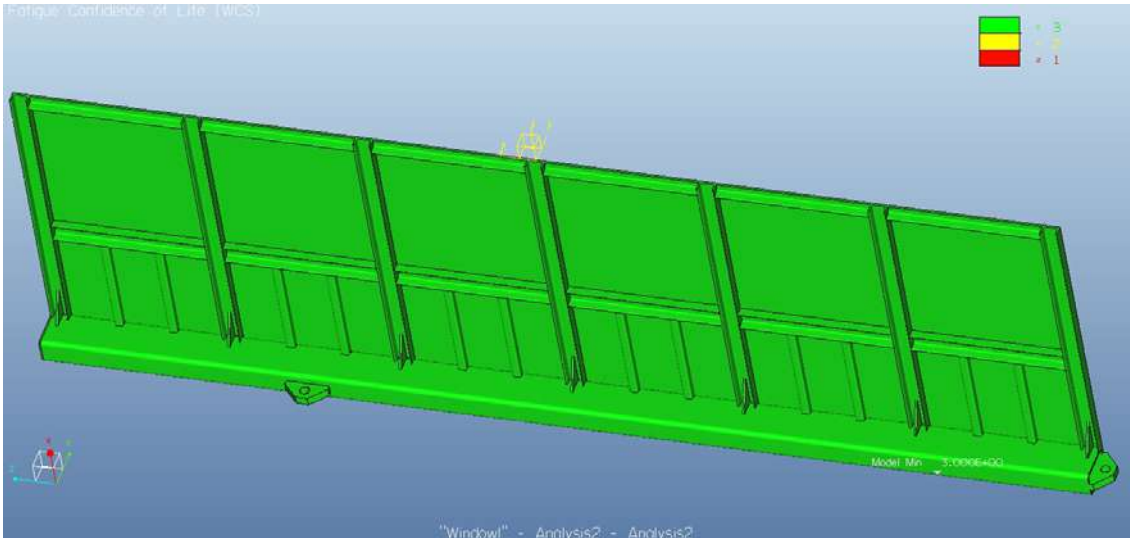


Figura 127 - Confianza de fatiga para carga máx. en al plataforma

7.6.2 Fatiga de carga máxima en el piso móvil

Se recogen los resultados del análisis a fatiga para un sistema de cargas cíclicas desde tensión nula a carga máxima realizado sobre la superficie del piso en la Tabla 37.

Tabla 37 - Resultados a fatiga para ciclos de carga máx. en el piso

FATIGA PARA CICLOS DE CARGA MÁXIMA		
		PISO
FATIGA	Log Life	7,148
	N ($N=10^{\wedge}\text{LogLife}$) [ciclos]	14.060.475,24
	Factor de seguridad	1,473

La Figura 128 y Figura 129 muestran visualmente estos resultados. En detalle se observa la vida mínima, la cual ocurre en el punto de unión entre el larguero del piso y la

rótula de sustentación. También se muestra el valor mínimo que se recoge para la vida en la otra rótula y como los valores pico se vuelven a registrar en las cercanías de la unión del apoyo con el larguero.

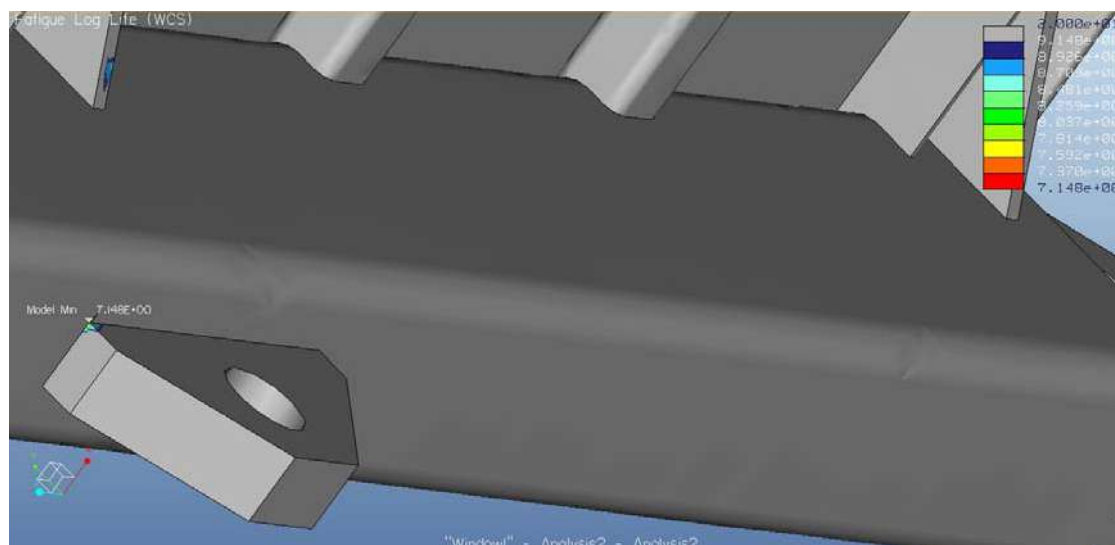


Figura 128 - Detalle de la vida a fatiga para carga máx. en el piso

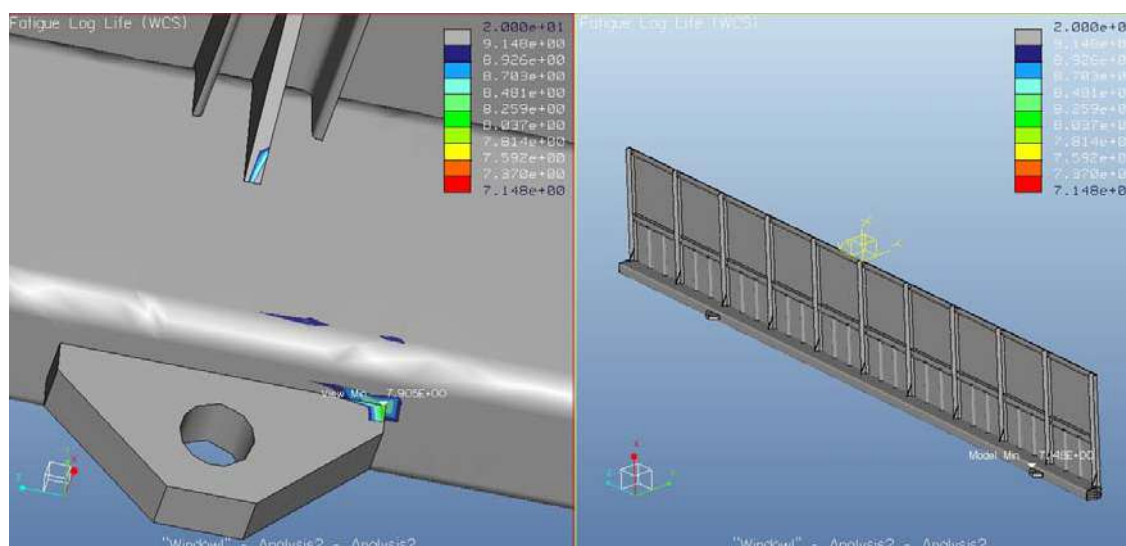


Figura 129 - Vida a fatiga global para carga máx. en el piso

El factor de seguridad mínimo se obtiene como es evidente en el punto donde se establecía la vida mínima que puede soportar el piso. Esto junto con una visión general del reparto del factor de seguridad a lo largo del piso se muestra en la Figura 130 y Figura 131.

La confianza vuelve a obtener, como ha ocurrido en todos los análisis efectuados de fatiga, un valor óptimo de 3, siendo el máximo que se puede obtener en todos los puntos del piso. Esto se muestra en la Figura 132.

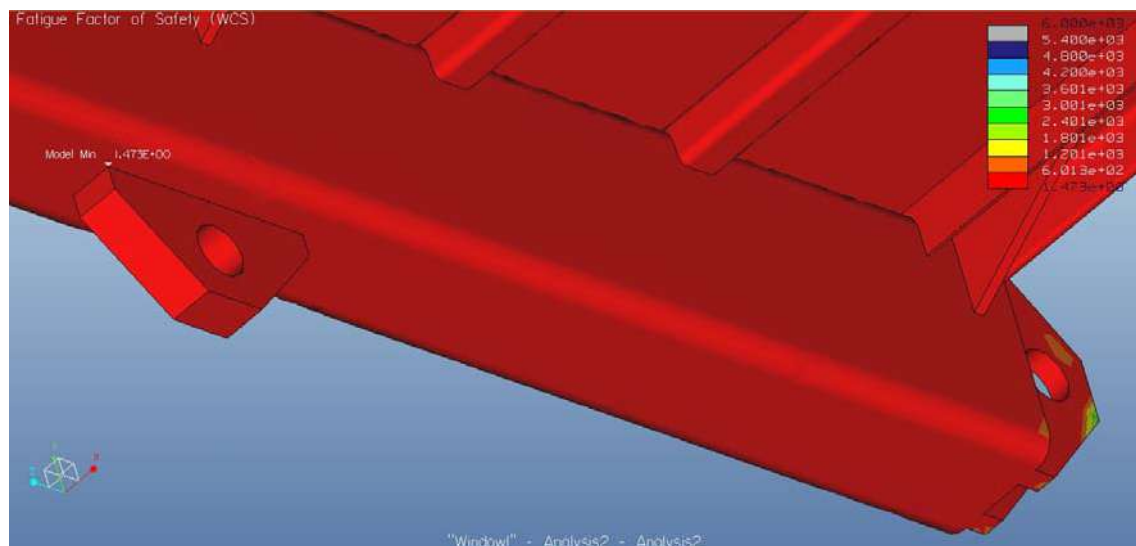


Figura 130 - Detalle del factor de seguridad para carga máx. en el piso

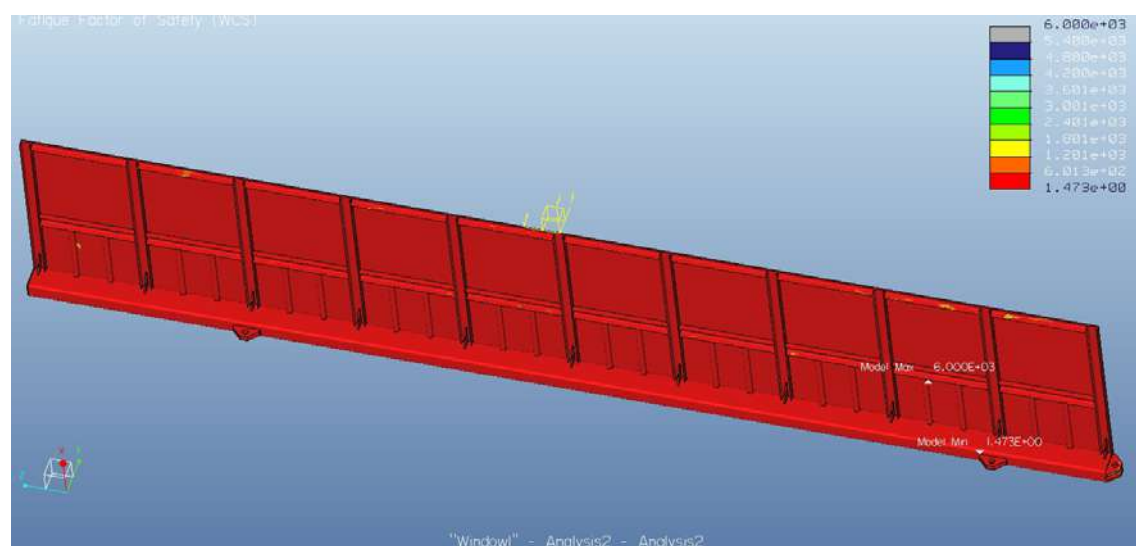


Figura 131 - Factor de seguridad para carga máx. en el piso

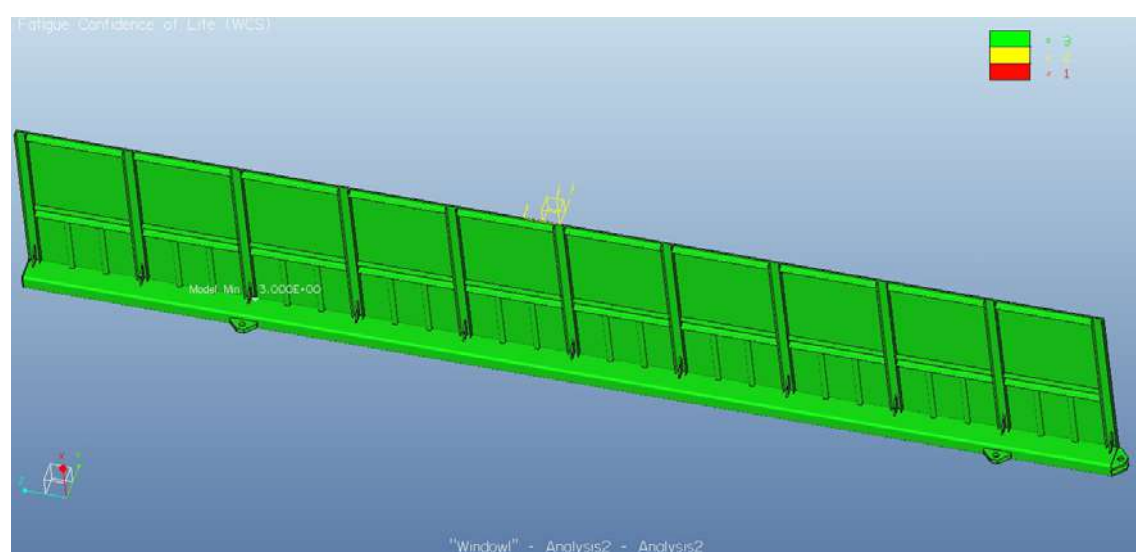


Figura 132 - Confianza para carga máx. en el piso

7.6.3 Estimación del mantenimiento debido a la situación de carga y descarga

La Tabla 38 recoge los resultados de la Tabla 36 y Tabla 37 para poder realizar una comparación entre los valores obtenidos para cada estructura.

Tabla 38 - Comparativa entre la plataforma y el piso para ciclos de carga máx.

COMPARATIVA: FATIGA PARA CICLOS DE CARGA MÁXIMA			
		PLATAFORMA	PISO
FATIGA	Log Life	6,738	7,148
	N ($N=10^{\text{LogLife}}$) [ciclos]	5.470.160	14.060.476
	Factor de seguridad	1,299	1,473

Se ve preciso recordar que esta situación de carga no es exigida por la normativa y sólo se realiza para cerrar todos los casos de posibles cargas que pueden acontecer del transporte de vehículos sobre el vagón porta-autos. Dichos ciclos representan la situación de carga y descarga que de manera obliga hay que realizar de la mercancía, en este caso coches, una vez realizado el traslado de éstos por vía férrea de un lugar a otro.

Se puede observar como el valor limitante para los ciclos de vida se da en la plataforma, con una vida estimada de 5.470.160 ciclos.

Al igual que se hizo en el apartado 7.5.3, si se establece la frecuencia con que se establecen estos ciclos, se puede determinar cuándo ocurrirá el fallo por fatiga y tratar de poner solución antes de que este ocurra mediante mantenimiento preventivo.

Para este estado carga, se establece como valor máximo (y absolutamente poco real) de la frecuencia, una carga / descarga de 2 veces diarias. Por lo tanto, la frecuencia a considerar sería = 2 ciclos/ día.

La relación entre los ciclos soportados y la frecuencia quedaría como:

$5.470.160 \text{ ciclos} / 2 \text{ ciclo cada día} = 2.735.080 \text{ días}$, o lo que es lo mismo, **7.683 años**.

A la vista de estos resultados se puede asegurar sin miedo a error que respecto de esta situación de carga, el piso superior no necesita de ningún tipo de mantenimiento preventivo.

Por lo que el único mantenimiento que se deberá tener, será cada 500.000kms como se estableció en el apartado 7.5.3, debido a las cargas cíclicas dinámicas que se generan en el transporte.

Capítulo 8

Conclusiones

- La primera conclusión básica que debe ser considerada es que el diseño propuesto cumple con la normativa vigente. Por lo tanto, garantiza totalmente la seguridad tanto de las personas que en el desempeño de su trabajo se vean con la necesidad de lidiar con este tipo de material, así como de la mercancía y de la propia seguridad en la circulación.
- Se ha realizado una optimización significativa del proceso de diseño por la que se han implantado las restricciones de contorno que afectaban al diseño en el propio programa donde se realiza el diseño, otorgando una velocidad de respuesta enorme en comparación con anteriores métodos utilizados hasta la fecha. De esa forma no sólo se puede realizar las correcciones oportunas sobre la marcha, sino que se puede ir más allá y optimizar el diseño exterior del vagón hasta límites no existentes anteriormente, aprovechando cualquier resquicio que ofrezca el gálibo máximo constructivo una vez parametrizado en 3D.
- Este anterior punto conlleva no sólo una ventaja constructiva excepcional, sino que además representa una mejora sustancial en el tiempo empleado para el diseño, gracias a poder realizar los cambios oportunos desde de la misma aplicación de diseño. Y todo lo que supone un ahorro de tiempo, supone un ahorro de costes y crea una ventaja competitiva clara con respecto a otros sistemas de diseño, confiriendo valor al producto en sí. Con ello se certifica la reducción de costes en el diseño impuestos como condición para la realización real de este proyecto.

- Se ha implantado una metodología para la creación de cualquier diseño en el futuro que garantice unos procesos de diseño óptimos así como unos flujos de trabajos específicos que permitan la detección de errores a través del análisis de los diseños realizados.
- Se establece una vida estimada para los componentes fabricados con una larga duración, estableciendo periodos de mantenimiento de 500.000kms en el peor de los casos, cumpliéndose de esta manera el objetivo de crear sistemas duraderos que fueran capaces de soportar todas las exigencias a las que están sometidos. Además en caso de fallo, dicha rotura nunca supondría un peligro para la seguridad, ya que se ha diseñado para que no se desprenda sino que perfore el propio material, con lo que se garantiza la seguridad en todo momento.
- Se ha establecido un sistema de anclaje de toda la estructura del piso superior totalmente versátil, en donde se puede aplicar el sistema de elevación que se crea más conveniente dependiendo de las necesidades específicas de carga y trabajo a las que vaya a ser sometido el vagón.
- Se han mejorado diseños anteriores mejorando los tiempos necesarios para la fabricación de estos diseños gracias al empleo de la mínima superficie de soldadura, al uso siempre de piezas y perfiles normalizados y al esfuerzo de querer fabricar estos elementos con el máximo número de piezas iguales.
- Todas las decisiones que se han tomado, como por ejemplo la elección de la superficie de rodadura de los vehículos, se han realizado en base a unos parámetros que garanticen la operatividad pero que a su vez sea la opción más competitiva en cuanto a coste.
- Este esfuerzo también se traduce en un ahorro de coste de fabricación puesto que es posible obtener una mejor economía de escala en la adquisición de los componentes necesarios para la construcción y en los repuestos de los mismos, así como un ahorro en tiempo de mano de obra para soldar y unir los diferentes componentes que componen el diseño final.
- Se ha diseñado un sistema derivado de la incorporación del piso superior como son las protecciones laterales que además de ofrecer seguridad a los trabajadores gracias a la incorporación de agarraderas superiores, evita los daños que puedan producirse sobre los automóviles transportados por el lanzamiento de cualquier objeto desde fuera del vagón.
- Finalmente el autor afirma sin miedo a equivocarse, que en su opinión, aunque no exista el porta-autos perfecto, la perfección estará más cerca si se cumplen los tres parámetros que conferirían valor al vagón: volumen de carga, interoperabilidad y versatilidad, y sobre todo si se consigue optimizar este último parámetro con un sistema de regulación a cualquier altura del piso superior, consiguiendo con ello el aprovechamiento máximo del espacio disponible. Y esto es lo que se ha logrado con los diseños efectuados.

Capítulo 9

Trabajos Futuros

- Como ya se estableció en el alcance del proyecto, no se ha querido ir más allá del diseño estructural necesario, por lo que se deja abierta la selección, estudio, diseño y análisis de un sistema de elevación que permita la elevación a la altura deseada del piso superior sin pasar por taller.
- Estudio y diseño del sistema de freno del vagón como parte de la homologación del material rodante. El sistema de freno del vagón está determinado para una tara y unas cargas específicas, por lo que tras la modificación del vagón ambos parámetros cambian, siendo necesaria la modificación del sistema de frenado.
- Realización de un informe de riesgos exigido por la normativa, que incluya los principales riesgos y las formas de subsanarlos.
- Realización del nuevo plan de mantenimiento del vagón, ya que el antiguo debe ser modificado para recoger los nuevos elementos que forman parte del vagón.
- La posible instalación de nuevas tecnologías (neumática, electricidad...), su adaptación e impacto en el sector del transporte de mercancías por ferrocarril.

Glosario

DGF	<i>DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES</i>
ADIF	<i>ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS</i>
RC	<i>RESOLUCIÓN CIRCULAR</i>
ETH	<i>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE HOMOLOGACIÓN</i>
ETI	<i>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE INTEROPERABILIDAD</i>
RP	<i>PERFIL DE REFERENCIA</i>
IGF	<i>INTRUCCIÓN DE GÁLIBOS FERROVIARIOS</i>

Referencias

- [1] Diccionario de la Real Academia Española. Versión Online.
http://buscon.rae.es/draeI/SrvltGUIBusUsual?TIPO_HTML=2&TIPO_BUS=3&LEMA=vag%C3%B3n
- [2] Orden FOM/233/2006, de 31 de enero, por la que se regulan las condiciones para la homologación del material rodante ferroviario y de los centros de mantenimiento y se fijan las cuantías de la tasa por certificación de dicho material.
- [3] Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario.
- [4] Real Decreto 2387/2004, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Sector Ferroviario.
- [5] <http://www.cotizalia.com/en-exclusiva/espana-transporta-mercancias-trenes-vagones-kilometros-20100918-58330.html>
- [6] Plan estratégico para el impulso del transporte ferroviario de mercancías en España. Ministerio de Fomento. Septiembre 2010.
- [7] Especificación Técnica de Homologación de Material Rodante Ferroviario: Vagones. Resolución del 10 de julio de 2009, de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias.
- [8] Especificación Técnica de Interoperabilidad referente al subsistema “material rodante-vagones de mercancías”. Reglamento 2006/861/CE. Decisión de la comisión Europea. 28 de julio de 2006.
- [9] Ficha UIC 438-2

- [10] Ficha UIC 571-3
- [11] <http://noticias.coches.com/noticias-motor/tren-chevrolet-vega-transportaba-coches-en-vertical/40249>
- [12] Ficha UIC 572
- [13] Resolución Circular 1/2011 sobre el procedimiento de validación de vehículos ferroviarios modificados, conforme a lo dispuesto en la orden FOM/233/2006, de 31 de enero, de material rodante
- [14] Norma UNE-EN 14363.
- [15] Instrucción general nº4. RENFE.
- [16] Norma UNE-EN 15273-1. Aplicaciones ferroviarias. Gálíbos. Parte 1: Generalidades. Ed. Mayo 2011. AENOR.
- [17] Instrucción de Gálíbos Ferroviarios. Ed. Borrador 1. Noviembre 2010.
- [18] Ficha UIC 505-1. Railway transport stock. Rolling stock construction gauge. 10th edition. May 2006.
- [19] Norma UNE-EN 12663.
- [20] Norma UNE-EN 10025-2:2006

BIBLIOGRAFÍA

VARONA CANO, Daniel. Diseño de bogie y vagón destinados a ser utilizados como tova de carbón. PFC. 2000.

ÁLVAREZ DEL TESO, Raquel. Diferencias al calcular el gálibo cinemático empleando la simulación y los criterios de la UIC. PFC. 2004.

MARCO ESTEBAN, Eva. Metodología para el análisis a fatiga mediante el código Pro/Engineer: Aplicación a un eje ferroviario. PFC. 2010.

ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, Julio. Parametrización del gálibo de material ferroviario. Tesis Doctoral. 2006. Universidad Carlos III de Madrid.

SÁNCHEZ MUÑOZ, Miguel. Análisis a fatiga de un eje ferroviario mediante el código Pro/Enginner. PFC. 2011.

Normas de explotación de vehículos. GEFCO España.

<http://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

http://es.wikipedia.org/wiki/Creo_Elements/Pro

Anexo A

DIAGRAMA DEL VAGÓN 4219 LADKS



PORTA-AUTOS 1 PISO 26,5m

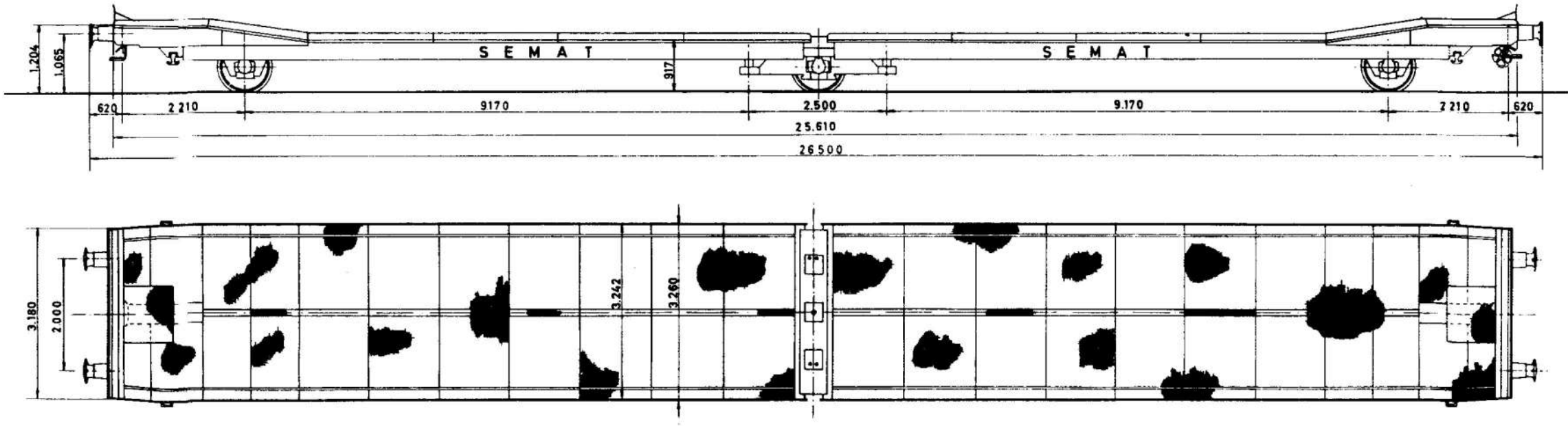
Ladks



Tráfico
Peninsular

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tara: 20.200 kg	Altura máxima de vehiculo: 3.383mm									
Carga máxima: 15,5 t										
Velocidad máxima: 100 km/h										
Código de eje: N90200										
Longitud entre topes: 26,500 m										
Empate: 9,170 m										
Altura de piso a vía: 0,917÷1,204 m										
Longitud de carga: 25,610 m										
<table><tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>S</td><td colspan="3">15,5 t</td></tr></table>		A	B	C	S	15,5 t				Cantidad: 74
	A	B	C							
S	15,5 t									



Anexo B

RESOLUCIÓN CIRCULAR 1/2011



RESOLUCIÓN CIRCULAR 1/2011 SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS MODIFICADOS, CONFORME A LO DISPUESTO EN LA ORDEN FOM/233/2006, DE 31 DE ENERO, DE MATERIAL RODANTE

El Título II (“Validación de vehículos ferroviarios”) de la “*Orden FOM/233/2006, de 31 de enero, por la que se regulan las condiciones para la homologación del material rodante ferroviario y de los centros de mantenimiento y se fijan las cuantías de la tasa por certificación de dicho material*”, establece el procedimiento de validación de un vehículo ferroviario, previo a la obtención de la autorización de puesta en servicio.

Al regular dicho procedimiento, la citada orden, en su artículo 9, establece los requisitos de comunicación del procedimiento de validación para la obtención de la preceptiva autorización de puesta en servicio, lo que hace que dicho precepto sea aplicable de forma general para todo tipo de vehículos, nuevos o modificados, introduciéndose únicamente para estos últimos la obligatoriedad de añadir, además, a la documentación a presentar por el solicitante, “*un informe del organismo de certificación en el que se indiquen, en opinión de dicho organismo, las modificaciones efectuadas sobre éste que, en su caso, deben ser validadas de nuevo*” (Artículo 9.1.b.9º).

En la contestación que en el marco del citado procedimiento debe realizar la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, ésta indicará al solicitante, previo informe del ADIF, “*la necesidad o no de obtener una nueva autorización de puesta en servicio, de acuerdo con las exigencias de las ETH (o ETI) y en función de los informes del organismo de certificación(...)*” (Artículo 9.2.b).

Con la finalidad de aclarar el tratamiento aplicable a las modificaciones de vehículos ya autorizados, la antigua Dirección General de Ferrocarriles emitió, con fecha 10 de diciembre de 2008, la Resolución Circular 10/2008. Tras varios años en su aplicación se ha visto la necesidad de matizar y aclarar alguno de los aspectos en ella contenidos para facilitar su interpretación.

Por otro lado, a partir del 19 de julio de 2010 es aplicable el “*Reglamento 352/2009 de la Comisión Europea, de 24 de abril de 2009 relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo con arreglo a lo dispuesto en el artículo 6, apartado 3, letra a), de la Directiva 2004/49/CE*”, que impone la necesidad de realizar análisis y evaluaciones de riesgos en todos aquellos cambios significativos de los distintos subsistemas ferroviarios. En particular, es de aplicación para:

- "a) todos los cambios significativos que afecten a vehículos, tal y como se definen en el artículo 2, letra c), de la Directiva 2008/57/CE;
- b) todos los cambios significativos relativos a subsistemas estructurales cuando así lo exija el artículo 15, apartado 1, de la Directiva 2008/57/CE o una ETI."



Ante estas condiciones, esta Dirección General ha considerado oportuno la revisión de la citada resolución circular 10/2008, a fin de incorporar todos estos nuevos aspectos y aclarar las dudas que han surgido durante su aplicación.

Por cuanto antecede, esta Dirección General, al amparo de las competencias en materia de seguridad en la circulación ferroviaria asignadas por el Reglamento sobre seguridad en la circulación de la Red Ferroviaria de Interés General, aprobado por el Real Decreto 810/2007, de 22 de junio, y de la disposición adicional décima de la citada Orden FOM/233/2006, sobre material ferroviario, HA RESUELTO en relación con el procedimiento a aplicar en el caso de material rodante modificado lo siguiente:

I. Ámbito de aplicación

La presente resolución es aplicable a aquellos vehículos que van a ser objeto de modificación y que disponen de autorización de puesta en servicio de acuerdo a lo establecido en la Orden FOM/233/2006, así como a aquel otro material rodante ferroviario que, por encontrarse ya autorizado antes de la entrada en vigor de la citada orden o incluido en el régimen transitorio de la misma, únicamente dispone de autorización de circulación.

Queda excluido del ámbito de aplicación de esta resolución circular el material histórico.

II. Requerimiento de una nueva autorización de puesta en servicio:

El material rodante modificado, autorizado previamente, sólo requerirá una nueva autorización de puesta en servicio que sustituya a la anterior, de acuerdo con el procedimiento establecido en el artículo 9 de la Orden FOM 233/2006, cuando se dé alguno de los supuestos siguientes:

- a. Que en el caso de autorización previa de puesta en servicio de primer nivel, la modificación afecte a la declaración "CE" de conformidad o de idoneidad para el uso de algún componente de interoperabilidad, siempre que el nivel global de seguridad del vehículo pueda verse afectado.
- b. Que se superen los umbrales que se establezcan en las propias Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETIs) o Especificaciones Técnicas de Homologación (ETHs) de aplicación, de forma que sea necesaria una nueva reevaluación del diseño del vehículo.
- c. Que la modificación afecte a la compatibilidad del vehículo con la infraestructura.
- d. Que la modificación introducida en el vehículo suponga una variación de las prestaciones que tenía en su estado inicial o un cambio de la categoría en la que fue encuadrado el vehículo en su autorización de puesta en servicio inicial.
- e. Que la modificación exija un cambio de la numeración europea del vehículo.
- f. Que el vehículo modificado, por sus nuevas características básicas, pueda considerarse como un "Tipo" diferente al que sirvió de base para su autorización inicial.



III. Consideración de modificaciones significativas.

Independientemente de la necesidad o no de emisión de una nueva autorización de puesta en servicio para el vehículo modificado, las alteraciones introducidas en el material rodante ferroviario que ya dispusiera de autorización, tendrán la consideración de modificaciones significativas cuando, afectando a alguno de los equipos o componentes recogidos en el Anexo de esta resolución, concorra alguna de las siguientes características:

- a. Que las consecuencias derivadas de un fallo de los elementos modificados, considerando la existencia de barreras de seguridad fuera de los mismos, puedan suponer graves daños a personas, infraestructuras o al propio material.
- b. Que se trate de una modificación de gran complejidad técnica o con un grado elevado de innovación tecnológica en su implementación.
- c. Que se trate de un cambio que se considere irreversible.
- d. Que existan dificultades para el seguimiento del comportamiento de la modificación a lo largo de la vida útil del vehículo.
- e. Cualesquiera otras que estén consideradas modificaciones significativas de forma expresa por la normativa de aplicación.

Para la evaluación de los citados criterios se tendrá en cuenta el efecto acumulativo de las sucesivas modificaciones que ha podido sufrir el vehículo durante su vida en explotación, en relación con el estado original que sirvió de base a su autorización de puesta en servicio.

Corresponde al titular del vehículo existente por sí o, a través de delegación realizada a la empresa ferroviaria o fabricante (en lo sucesivo, el “solicitante”), la valoración de estos aspectos y el pronunciamiento, basándose en el juicio de expertos, sobre si las modificaciones pueden considerarse o no significativas.

En el caso en que el solicitante no dispusiera de un sistema de gestión de la seguridad regulado en el Reglamento sobre seguridad en la circulación de la Red Ferroviaria de Interés General, aprobado por el Real Decreto 810/2007, de 22 de junio, la consideración de la modificación como no significativa deberá contar necesariamente con la conformidad, previa a la implantación de la modificación, de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, que solicitará informe del ADIF -que se presumirá favorable si no lo emite en el plazo establecido por la citada Dirección General-; salvo que el solicitante aporte un informe favorable de un evaluador independiente de seguridad a este respecto.

IV. Elaboración y presentación de la solicitud de modificación de material rodante ferroviario”

1. El **solicitante**, una vez haya adoptado la decisión de introducir cualquier modificación en un vehículo que ya dispusiera de la correspondiente autorización de puesta en servicio, deberá presentar una solicitud de modificación de material rodante ferroviario, haciendo constar los siguientes datos y acompañándola de la documentación que asimismo se relaciona a continuación:



- a. Datos del solicitante.
- b. Datos identificativos de los vehículos afectados por la modificación.
- c. Conformidad del propietario del vehículo con la modificación.
- d. Informe técnico descriptivo de la modificación, al que se adjuntarán los siguientes documentos:
 - d.1. Las características técnicas de los equipos y/o componentes fundamentales correspondientes a sus estados original y modificado previsto.
 - d.2. Los planos, esquemas, u otros documentos técnicos definitivos de la modificación.
 - d.3. El número o identificador de la modificación. Para cada uno de los vehículos del apartado 1.b. de este apartado, se aportará su historial de modificaciones.
 - d.4. El Plan de fabricación y el Plan de ensayos, cuando proceda.
 - d.5. Repercusión previsible de la modificación sobre el plan de mantenimiento del vehículo.
- e. Cuando la modificación suponga afección a alguno de los componentes o conceptos fundamentales de seguridad incluidos en el Anexo de esta resolución, se aportará asimismo el pronunciamiento del solicitante, basándose en el juicio de expertos, sobre si la modificación puede considerarse significativa o no. Asimismo, el solicitante aportará una propuesta de aquellas características y/o ensayos que van a requerir nueva validación, que será llevada a cabo por parte de un organismo de certificación. Los expertos serán personas con la capacidad técnica necesaria y experiencia en los tipos de tecnología que sean necesariamente de aplicación en las modificaciones, avaladas por un historial profesional a incluir en la solicitud de modificación.

En el caso en que el solicitante no dispusiera de un sistema de gestión de la seguridad regulado en el Reglamento sobre seguridad en la circulación de la Red Ferroviaria de Interés General, tanto la consideración de la modificación como no significativa como la propuesta de características y/o ensayos a validar, deberán contar con la conformidad, previa a la implantación de la modificación, de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, que solicitará informe del ADIF -que se presumirá favorable si no lo emite en el plazo establecido por la citada Dirección General-; salvo que el solicitante aporte un informe favorable de un evaluador independiente de seguridad a este respecto.

En caso de que la modificación se considerase significativa, se acompañará de un análisis de riesgos derivados de la implementación de la modificación propuesta y del informe del evaluador independiente sobre el proceso de análisis y evaluación del riesgo, de acuerdo con lo establecido en el *"Reglamento 352/2009 de la Comisión Europea, de 24 de abril de 2009 relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo con arreglo a lo dispuesto en el artículo 6, apartado 3, letra a), de la Directiva 2004/49/CE"*. Dicho



informe podrá completarse una vez finalizado el proceso de validación de la modificación.

- f. Cuando los solicitantes dispongan de un sistema de gestión de la seguridad regulado en el Reglamento sobre seguridad en la circulación de la Red Ferroviaria de Interés General, la solicitud deberá contener la conformidad de la Dirección de Seguridad, u órgano responsable de la seguridad en la circulación ferroviaria de la empresa.
- g. Informe de conclusiones del solicitante, que irá suscrito por un responsable, debidamente acreditado para estas competencias por su organización, en el que, a su juicio y en congruencia con los documentos antes mencionados, se concluya la necesidad, o no, de someter el material modificado a una nueva autorización de puesta en servicio, según los criterios de esta resolución circular.

2. La solicitud de modificación de material rodante ferroviario se remitirá en todos los casos, independientemente de la consideración final acerca de la necesidad o no de nueva autorización de puesta en servicio, a la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias antes de iniciar el proceso de implantación de la modificación; remitiéndose, así mismo, de forma simultánea una copia completa de aquélla al ADIF.

V. Modificaciones que precisan nueva autorización de puesta en servicio.

En el caso en que en la solicitud de modificación de material rodante el solicitante concluyese que es necesaria una nueva autorización de puesta en servicio, se seguirá el procedimiento general regulado en los artículos 9, 10, 11 y 12 de la Orden FOM 233/2006 de material rodante. A tal efecto, dicha solicitud equivaldrá a la comunicación exigible conforme al artículo 9 de la Orden para iniciar el procedimiento.

A los efectos de esta resolución, la certificación a que se refiere el artículo 10 de la citada Orden, emitida por un organismo de certificación, que acredita el cumplimiento de las características y/ o ensayos exigidas por la normativa técnica de aplicación, ETI ó ETH, para la solicitud de la nueva autorización de puesta en servicio, sólo abarcará a aquellas características a las que se refiere el apartado IV.1.e. de esta resolución circular.

Cuando se inicie la implantación de la modificación en el vehículo, quedarán suspendidas las autorizaciones de puesta en servicio y de circulación correspondientes al mismo. En el caso de lotes de vehículos, estas suspensiones se realizarán paulatinamente, a medida que entran en el proceso de modificación de acuerdo con el programa de trabajos de implantación de la modificación que el interesado presentó en su solicitud.

VI. Modificaciones que no requieren nueva autorización de puesta en servicio:

En caso de que el solicitante, en su petición de modificación, concluyera que no es necesaria una nueva autorización de puesta en servicio, seguirá vigente la autorización ya existente, sin ningún trámite adicional ni necesidad de comunicación aprobatoria por parte de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, siendo incorporada la petición al historial del vehículo. En tal caso será suficiente que el solicitante remita a la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias y al ADIF:

- a. La documentación técnica final de la modificación.
- b. Los resultados de las pruebas o informes de validación del organismo de certificación de las características afectadas por la modificación.
- c. El nuevo plan de mantenimiento. En caso de no considerarse necesaria la modificación de dicho plan se justificará debidamente.

La documentación relativa a los apartados a, b y c antes citados deberá ser comunicada a la DGIF y al ADIF tras la finalización material de las modificaciones y siempre con antelación a que el vehículo vuelva a circular. Si, de acuerdo con el citado apartado IV.1.e., el informe del evaluador independiente sobre el proceso de análisis y evaluación del riesgo se completa una vez finalizado el proceso de validación de las modificaciones, se añadirá a la documentación a aportar.

La documentación citada en el párrafo anterior se entregará sólo para el primer vehículo del lote. Para el resto de vehículos del lote únicamente será necesaria la comunicación de la finalización material de la modificación, junto a los resultados de las pruebas o informes del apartado b.

Lo anterior es sin perjuicio de que la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias pueda solicitar las informaciones adicionales o aclaratorias que pudiera estimar necesarias, y asimismo suspender y revocar, en cualquier momento, la autorización precedente de puesta en servicio si del análisis de la documentación remitida considerara que la citada autorización no queda adecuadamente justificada en la nueva situación, consecuencia de la modificación introducida.

Igualmente, seguirá vigente la autorización de circulación preexistente emitida por ADIF quien, de forma motivada y a la vista de la solicitud de modificación, podrá pedir información adicional al interesado de la que se remitirá copia a la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, y formulará a ésta las consideraciones que estime pertinentes en relación a la autorización de circulación del vehículo si considera que la misma, a su juicio, resulta afectada gravemente por la modificación introducida.

Además, para velar por la correcta observancia y el adecuado cumplimiento del proceso, la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias y ADIF podrán realizar auditorías periódicas de las solicitudes de las modificaciones que hayan concluido que no era necesaria una nueva autorización de puesta en servicio. Las conclusiones de dichas auditorías servirán para que la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias pueda, si así lo considera, completar o modificar los componentes fundamentales recogidos en el Anexo de esta resolución.

VII. Modificaciones experimentales o prototipos

A los efectos de aplicación de la presente Resolución, no tendrán la consideración de vehículos modificados, aquellos en los que, de manera temporal y para comprobar su funcionamiento, se les hayan realizado modificaciones para instalar elementos nuevos con fines experimentales.



En el caso de que después del periodo de prueba, se decidiera no volver a reponer el vehículo a su configuración inicial, sí sería aplicable esta resolución circular y debería presentarse el expediente correspondiente.

VIII. Conjuntos de modificaciones durante la fase de fabricación

En el caso de ajustes sucesivos producidos en los vehículos durante la fase de fabricación para subsanar defectos, anomalías o introducir mejoras, surgidas como consecuencia del periodo de rodaje, y efectuados sobre la totalidad de los vehículos del lote, no se requerirá una nueva autorización de puesta en servicio para los vehículos del lote que ya cuenten con dicha autorización.

Si la fase de fabricación se prolongase más allá de 7 años desde la autorización del primer vehículo del lote, se requerirá autorización expresa de la DGIF para acogerse a este apartado.

Si la modificación en cuestión afectase a alguna de las características de las normas de homologación (ETI o ETH), éstas deberán ser validadas de nuevo por el organismo certificador que esté participando en el proceso de validación.

A lo largo este periodo, y a fin de mantener actualizado el tipo de referencia, se presentarán uno o varios expedientes agrupando un número significativo de estos cambios. En principio, salvo que la magnitud de las modificaciones fuera tal que se incurriese en alguno de los supuestos del apartado II de esta resolución circular, no se requerirá una nueva autorización de puesta en servicio.

IX. Sustitución de componentes durante el mantenimiento

Queda excluido del ámbito de esta resolución circular la sustitución de componentes durante el mantenimiento. Con carácter general, no tendrá la consideración de modificación del vehículo la sustitución de los componentes, elementos o piezas que constaban en el vehículo inicialmente validado por otros equivalentes técnica y funcionalmente, siempre que un experto dictamine que cumplen los mismos requisitos técnicos exigidos inicialmente al componente sustituido y los estándares técnicos existentes para ese componente, salvo que la magnitud de la sustitución sea tal que se incurriese en alguno de los supuestos contemplados en el apartado II de esta resolución circular.

X. Concepto de “Evaluador independiente de seguridad”.

A los efectos de esta resolución, se entiende por “evaluador independiente de seguridad” aquel que cumpla los requisitos establecidos en el anexo II del *Reglamento (CE) N° 352/2009 relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo con arreglo a lo dispuesto en el artículo 6, apartado 3, letra a), de la Directiva 2004/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo* y esté debidamente reconocido por la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, en su condición de Autoridad Responsable de la Seguridad, para desempeñar esta actividad en un determinado ámbito de aplicación.



Tendrán la consideración de "evaluador independiente de seguridad" sin necesidad de reconocimiento adicional, los organismos de certificación, definidos en la Orden FOM/233/2006. Requerirá, no obstante, el reconocimiento de la DGIF estableciendo el ámbito de aplicación correspondiente.

En el caso de empresas ferroviarias y del ADIF, el cumplimiento de los requisitos para disponer de un evaluador independiente de seguridad integrado dentro de su organización, podrá justificarse a través de su sistema de gestión de la seguridad y, por tanto, la aceptación de la autoridad responsable de la seguridad de dicho evaluador, podrá realizarse a través del certificado de seguridad o autorización de seguridad.

Las empresas ferroviarias con certificado de seguridad en vigor acreditativo de la existencia de un sistema propio de gestión de la seguridad, así como el ADIF, podrán solicitar de la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, el reconocimiento de su competencia para acreditar como evaluador independiente de seguridad, a aquellos órganos o dependencias de su organización que cumplan los siguientes requisitos:

- a. Disponibilidad de personal de plantilla con la capacidad técnica necesaria.
- b. Experiencia documentada en la aplicación de las normas EN 50126 y 50129 al material rodante ferroviario
- c. Autonomía orgánica y funcional del evaluador, de las unidades de la empresa o entidad encargadas de la ejecución material de la modificación o promotoras de la misma.
- d. Justificación de que las condiciones anteriores se han mantenido en el tiempo durante un plazo suficiente y que, asimismo, podrán mantenerse en el futuro.

Una vez que la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias haya reconocido al citado órgano o dependencia como "evaluador independiente de seguridad", éste deberá quedar integrado, como tal, en el sistema de gestión de la seguridad de la empresa ferroviaria o, en su caso, del ADIF, en el momento en que se lleve a cabo la primera renovación obligatoria de su certificado o autorización de seguridad.

Los Evaluadores independientes de seguridad que fueron reconocidos por la Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias al amparo de lo establecido en la Resolución Circular 10/2008, deberán aportar la documentación establecida en este apartado antes de que transcurran 6 meses desde la entrada en vigor de esta Resolución Circular, al objeto de poder continuar con su actividad.

XI. Anulación de resoluciones anteriores.

Esta resolución circular sustituye en su totalidad a la Resolución 10/2008, de 10 de diciembre de 2008, del entonces Director General de Ferrocarriles sobre el *procedimiento de validación en los casos de solicitud de autorización de puesta en servicio de material rodante modificado, conforme a la Orden FOM/233/2006 sobre condiciones de homologación de material rodante ferroviario*, que queda anulada y sin efecto. Queda igualmente anulada y sin efecto cualquier otra Resolución anterior del citado Director General que se oponga a lo previsto en esta Resolución en cuanto fuera contradictoria con ella.



XII. Vigencia temporal.

Esta resolución circular se aplicará desde el día siguiente al de su fecha, siendo de aplicación a las modificaciones que sean comunicadas a la DGIF con posterioridad a dicha fecha.”

Madrid, **25** de febrero de 2011

EL DIRECTOR GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

Carlos María Juárez Colera

Destinatarios: ADMINISTRADORES DE INFRAESTRUCTURA, EMPRESAS FERROVIARIAS, CENTROS DE MANTENIMIENTO DE MATERIAL FERROVIARIO, ENTIDADES ENCARGADAS DEL MANTENIMIENTO, ORGANISMOS DE CERTIFICACIÓN, ORGANISMOS NOTIFICADOS, EVALUADORES INDEPENDIENTES DE SEGURIDAD, FABRICANTES, POSEEDORES Y PROPIETARIOS DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS.



ANEXO

LISTADO DE COMPONENTES Y EQUIPOS, CUYA MODIFICACIÓN PUEDE TENER LA CONSIDERACIÓN DE SIGNIFICATIVA Y, POR TANTO, REQUERIR UN INFORME DE UN EVALUADOR INDEPENDIENTE DE SEGURIDAD RELATIVO AL ANÁLISIS DE RIESGOS CORRESPONDIENTE

1. BOGIE / ÓRGANO DE RODADURA

- 1.1. EJE MONTADO COMPLETO
- 1.2. SUSPENSIÓN PRIMARIA
- 1.3. SUSPENSIÓN SECUNDARIA
- 1.4. BASTIDOR DEL BOGIE / YUGO
- 1.5. RODAL
- 1.6. AMORTIGUADORES
- 1.7. REDUCTOR
- 1.8. SILENTBLOCKS
- 1.9. SISTEMA CAMBIO DE ANCHO

2. ACOPLAMIENTOS

- 2.1. SISTEMA ENGANCHE AUTOMÁTICO, FRONTAL E INTERMEDIO (Incluye comunicación eléctrica)
- 2.2. CONJUNTO DE TRACCIÓN
- 2.3. SISTEMA UNIÓN CAJA-BOGIE
- 2.4. ENGANCHES / TOPES DE EMERGENCIA

3. CAJA / VARIOS

- 3.1. ESTRUCTURA DE CAJA (incluyendo testero)
- 3.2. SISTEMA DE BASCULACIÓN (incluyendo software)
- 3.3. SISTEMAS DE SUJECCIÓN DE CARGAS
- 3.4. CONJUNTO DE CHOQUE
- 3.5. PUERTAS EXTERIORES (incluyendo software)
- 3.6. RAMPAS, ESTRIBOS Y ESCALERAS DE ACCESO
- 3.7. LUNAS FRONTALES
- 3.8. LUNAS LATERALES
- 3.9. ASIDEROS Y PASAMANOS
- 3.10. ABRAZADERAS DE SEGURIDAD

4. SISTEMA DE FRENO

- 4.1. EQUIPO DE FRENO, CUALQUIERA DE SUS COMPONENTES
- 4.2. SISTEMA CONTROL DE FRENO
- 4.3. TIMONERÍA DE FRENO
- 4.4. ZAPATAS Y GUARNICIONES
- 4.5. TIRADORES DE ALARMA
- 4.6. DISCOS DE FRENO
- 4.7. INTERFACES CON EL SISTEMA DE FRENO
- 4.8. VALVULA DE PESADA
- 4.9. SOFTWARE



5. SISTEMAS DE CONTROL Y SUPERVISION

- 5.1. SISTEMAS DE:
 - 5.1.1. DETECCION DE CALDEO
 - 5.1.2. DETECCION DE INESTABILIDAD
 - 5.1.3. CAMBIO DE ANCHO
 - 5.1.4. ANTIBLOQUEO
 - 5.1.5. ANTIDESLIZAMIENTO
 - 5.1.6. BLENDING
 - 5.1.7. CONTROL DE SUSPENSION/BASCULACIÓN
- 5.2. SOFTWARE
- 5.3. RED TCN

6. ALTA TENSIÓN Y RETORNO POR TIERRA

- 6.1. PANTÓGRAFO
- 6.2. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA
- 6.3. RESISTENCIAS DE FRENO
- 6.4. FRENO RECUPERACION

7. EQUIPOS SEGURIDAD

- 7.1. REGISTRADORES JURIDICOS Y DE EVENTOS
- 7.2. ASFA
- 7.3. ERTMS
- 7.4. LZB
- 7.5. EBICAB
- 7.6. ATP
- 7.7. TREN – TIERRA U OTROS EQUIPOS DE COMUNICACIONES DEL PUESTO DE CONDUCCION
- 7.8. HOMBRE MUERTO
- 7.9. OTROS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN
- 7.10. APARATOS DE ALARMA DE VIAJEROS

8. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

- 8.1. SISTEMA DE CONTROL DE INCENDIOS(incluyendo software)
- 8.2. MATERIALES: DE INTERIORISMO, CABLEADOS, ETC
- 8.3. PINTURAS PARA INTERIOR
- 8.4. SISTEMA DE COMUNICACION(incluyendo software)
- 8.5. COMPARTIMENTACION
- 8.6. BARRERAS
- 8.7. EXTINTORES
- 8.8. ILUMINACION DE EMERGENCIA

9. EQUIPO DE TRACCION

- 9.1. TRANSFORMADOR PRINCIPAL
- 9.2. CONVERTIDOR DE TRACCION
- 9.3. MOTORES DE TRACCIÓN



- 9.4. EQUIPO ELECTRÓNICO DE POTENCIA Y CONTROL
- 9.5. FILTROS DE ENTRADA
- 9.6. CONVERTIDORES PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A SISTEMAS AUXILIARES
- 9.7. DISYUNTOR EXTRA-RÁPIDO
- 9.8. SOFTWARE DE SEGURIDAD EN LOS EQUIPOS DE TRACCIÓN.

10. OTROS CONCEPTOS Y SISTEMAS

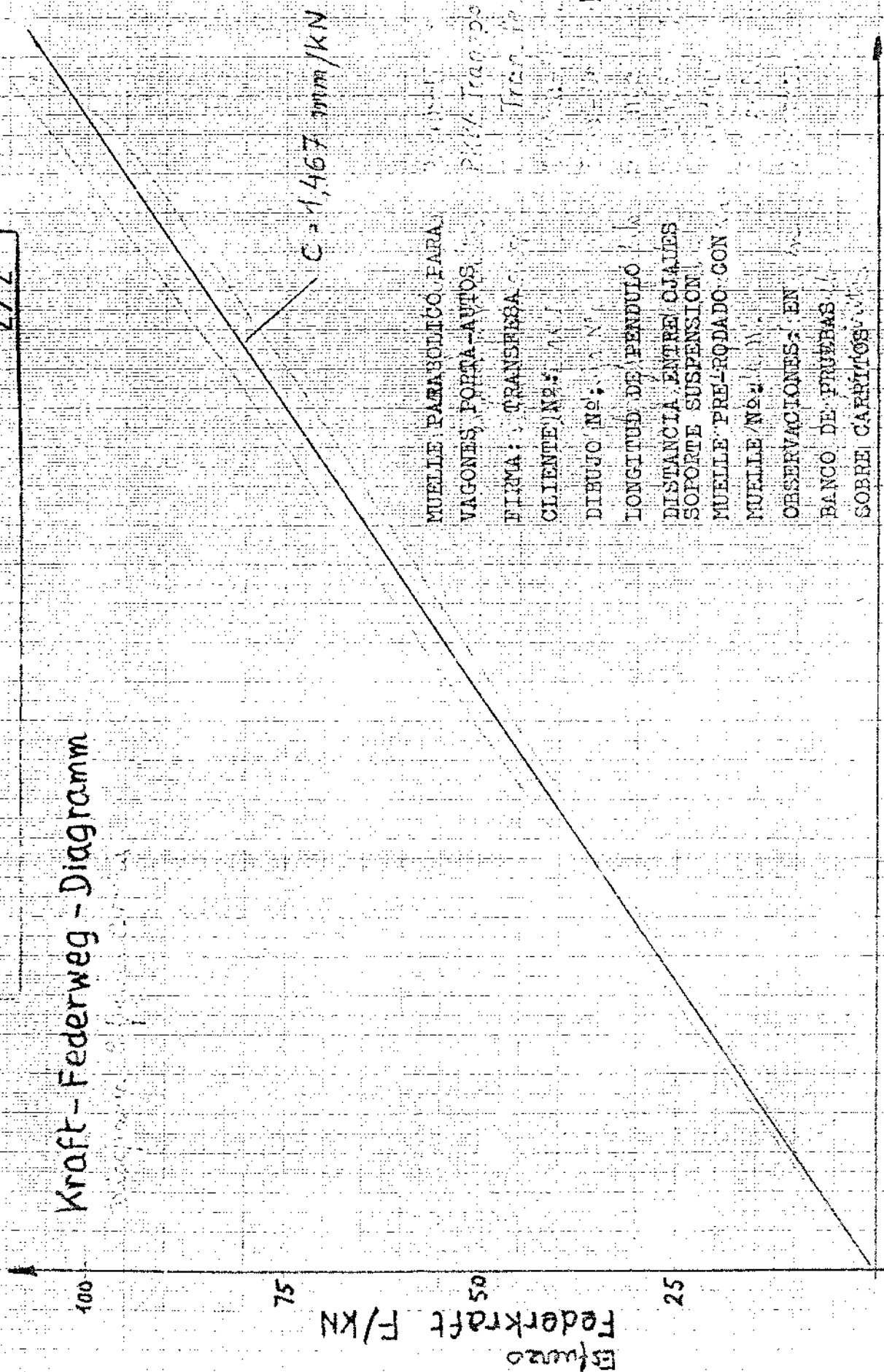
- 10.1. GALIBO
- 10.2. DINAMICA DE MARCHA
- 10.3. SEGURIDAD ELECTRICA
- 10.4. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES
- 10.5. SEÑALES FRONTALES
- 10.6. SEÑALES DE COLA
- 10.7. ESPEJOS RETROVISORES
- 10.8. BOCINAS
- 10.9. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA
- 10.10. CORRIENTES ARMONICAS
- 10.11. DISTRIBUCION DE PESOS POR EJE
- 10.12. ACCESO Y UBICACIÓN DE P.M.R.'s
- 10.13. MEGAFONÍA

Anexo C

PLANO DEL MUELLE

REF. TAFESA: 00.910.02.060 HOJA 2/2

Kraft - Federweg - Diagramm



MUELLE PARABOLICO PARA

VAGONES PORTA-AUTOS

FIRMA: TRANSFERSA

CLIENTE: N° 111

DIBUJO N°: 111

LONGITUD DE PENDULO

DISTANCIA ENTRE OJALES

SOPORTE SUSPENSION

MUELLE PRE-RODADO CON

MUELLE N°: 111

OBSERVACIONES: EN

BANCO DE PRUEBAS

SOBRE CARRITOS

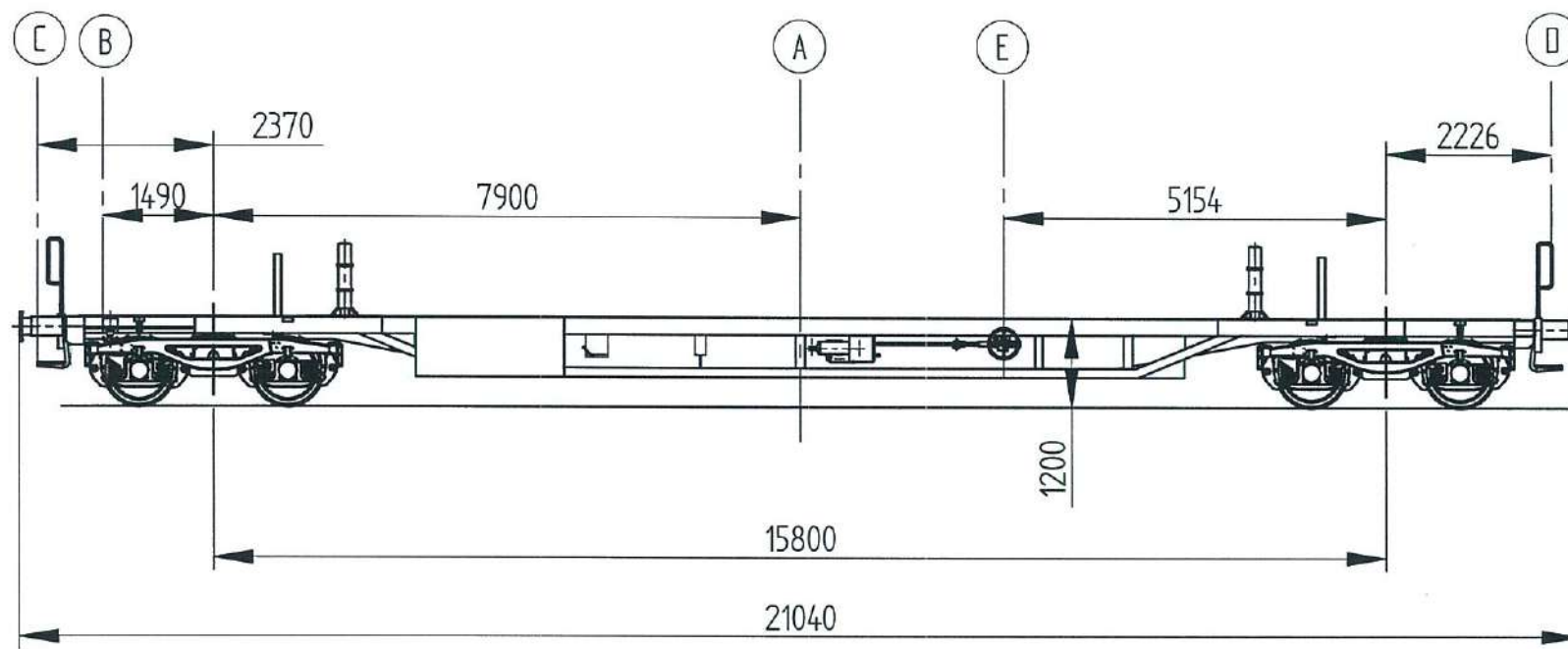
Fe 484.400.01

Rollwagen

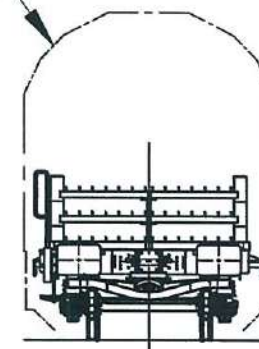
50 100 150
Federweg s/mm

Anexo D

CÁLCULO DEL GÁLIBO CLÁSICO



Gabarit cinématique
UIC 505-1



- (A) MILIEU DU WAGON
Réduction à 7900 mm de l'axe pivot
- (B) CROCHET DE HALAGE
Réduction à 1490 mm de l'axe pivot
- (C) MARCHEPIED GAUCHE
Réduction à 2370 mm de l'axe pivot

- (D) POIGNEE ELASTIQUE (grande)
Réduction à 2226 mm de l'axe pivot
- (E) VOLANT FREIN A VIS
Réduction à 5154 mm de l'axe pivot



Ateliers d'Occitanie

11101 NARBONNE CEDEX - FRANCE

REDUCTION DE GABARIT

	Nom	Date
Etabli	UAO	
Dessiné	PAILHAS.F	17/06/05
Vérifié	JOLLY	

Format

1/11

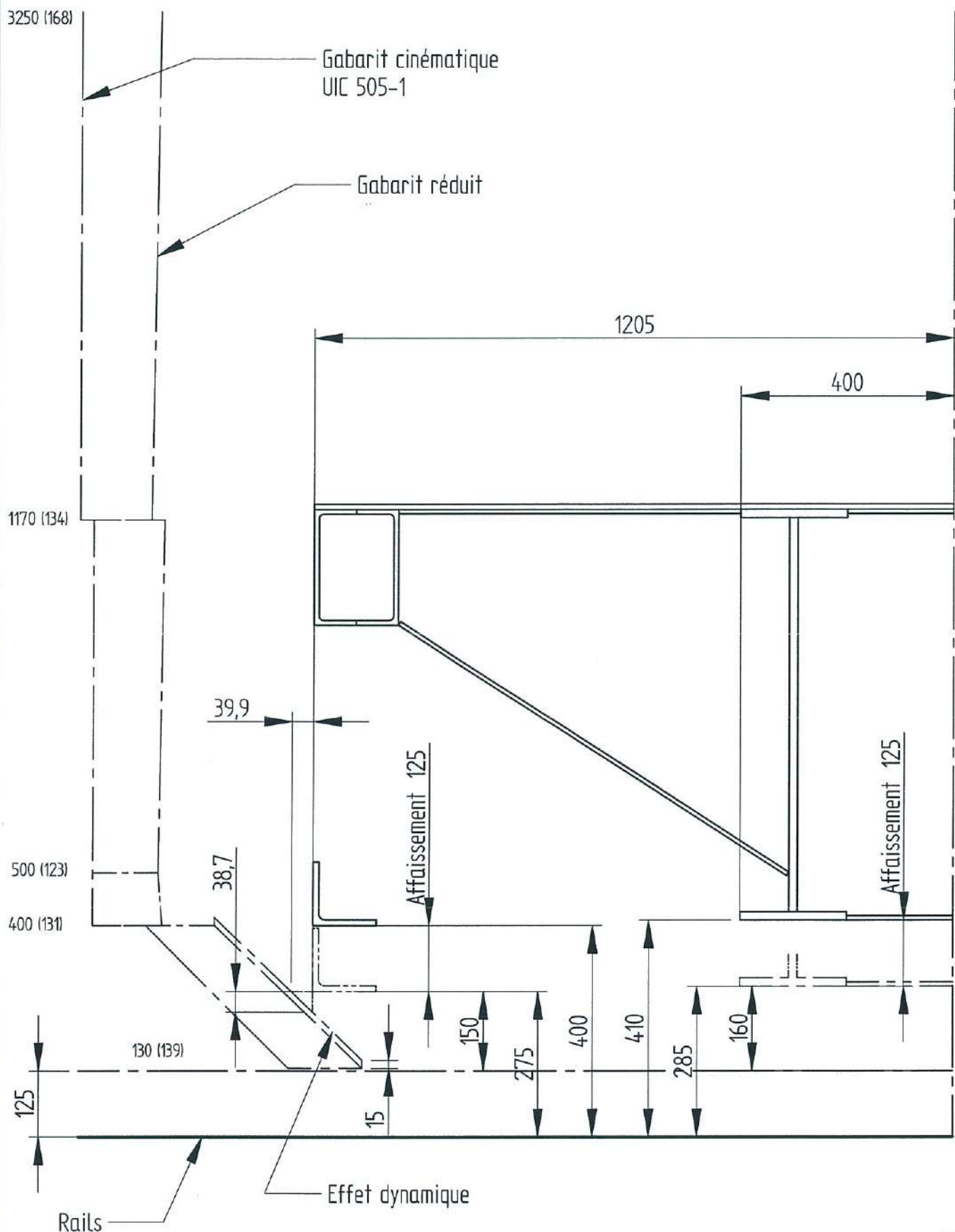
N° AO 7-1-377 Ind A du 11/07/05

A4

(A)

MLIEU DU WAGON

Réduction à 7900 mm de l'axe pivot



Les cotes entre parenthèses sont les valeurs calculées de la réduction de gabarit

N° A0 7-1-377

Ind A du 11/07/05

Format

A4

CALCUL GABARIT UIC 505-1

Gabarit cinématique réduit, d'un wagon à bogies

1 - Caractéristiques du wagon :

- Longueur de la superstructure	L =	19.800	m
- Entraxe des pivots de bogie	a =	15.800	m
- Empattement des bogies	p =	2.000	m
- Jeu aux lisoirs	j =	14	mm
- Entraxe des lisoirsEl = 2 bg.....	El =	1.700	m

Variables:

2 - Caractéristiques de déplacement transversal :

- Ecartement extérieur des boudins, mesuré à 10 mm en contrebas des cercles de roulement, boudins à limite d'usure	d =	1.410	m
- Déplacement latéral possible entre coussinets et fusées + jeu latéral entre les plaques de garde ou le châssis et les boîtes d'essieux à partir de la position médiane (organes à limite d'usure)	q =	11.5	mm
- Déplacement latéral possible des pivots de bogie ou des traverses danseuses	w =	0	mm
- Hauteur au-dessus du plan de roulement de l'axe de roulis	hc =	0.500	m
- Coefficient de souplesse	S =	0.13	
- Dissymétrie due aux tolérances de construction et de réglage, et à l'inégalité éventuelle de la répartition des charges	no =	1.00 °	

Variables:

3 - Caractéristiques des tableaux :

n : Distance de la section à l'axe du pivot le plus proche.

(Porte-à-faux $n < 0$ - Partie centrale entre pivots $n > 0$)

h : Hauteur du point de calcul / rails.

z : Ecart par rapport à une position médiane en voie dû à un excès ou à une insuffisance de dévers de 0,05 m et une dissymétrie éventuelle $> 1^\circ$.
z correspond à un jeu au lisoir > 5 mm (formule page 74 ou 136).

E : Réduction de gabarit appliquée à une demi-largeur.

lg : Demi-largeur maxi du gabarit cinématique.

lr : Demi-largeur disponible après réduction.

Section A située entre les pivots : Milieu wg

ni = 7.900 m du Pivot						
h (mm)	z (m)	Xi (m)	Ei (m)	lg (mm)	lr (mm)	Réduction
4 310	0.0621	0.000	0.185	525	340	185
4 010	0.0572	0.000	0.181	1 120	939	181
3 700	0.0522	0.000	0.175	1 425	1 250	175
3 250	0.0448	0.000	0.168	1 645	1 477	168
1 170.1	0.0109	0.000	0.134	1 645	1 511	134
1 170.0	0.0109	0.000	0.134	1 620	1 486	134
500	0.0000	0.000	0.123	1 620	1 497	123
400.1	0.0028	0.000	0.131	1 620	1 489	131
400.0	0.0028	0.000	0.131	1 520	1 389	131
130	0.0104	0.000	0.139	1 250	1 111	139
115	0.0108	0.000	0.139	1 212	1 073	139

(B)

CROCHET DE HALAGE

Réduction à 1490 mm de l'axe pivot

3250 (108)

Gabarit cinématique
UIC 505-1

Gabarit réduit

29

1519

1170 (74)

500 (63)

400 (71)

60

130 (79)

1046,9

Rails

Les cotes entre parenthèses sont les
valeurs calculées de la réduction de gabarit

N° AO 7-1-377

Ind A du 11/07/05

Format

A4

CALCUL GABARIT UIC 505-1

Gabarit cinématique réduit, d'un wagon à bogies

Transfesa train porteur de rails

Commande:05/5366

1 - Caractéristiques du wagon :

- Longueur de la superstructure	L =	19.800	m
- Entraxe des pivots de bogie	a =	15.800	m
- Empattement des bogies	p =	2.000	m
- Jeu aux lisoirs	j =	14	mm
- Entraxe des lisoirsEl = 2 bg.....	El =	1.700	m

Variables:

2 - Caractéristiques de déplacement transversal :

- Ecartement extérieur des boudins, mesuré à 10 mm en contrebas des cercles de roulement, boudins à limite d'usure	d =	1.410	m
- Déplacement latéral possible entre coussinets et fusées + jeu latéral entre les plaques de garde ou le châssis et les boîtes d'essieux à partir de la position médiane (organes à limite d'usure)	q =	11.5	mm
- Déplacement latéral possible des pivots de bogie ou des traverses danseuses	w =	0	mm
- Hauteur au-dessus du plan de roulement de l'axe de roulis	hc =	0.500	m
- Coefficient de souplesse	S =	0.13	
- Dissymétrie due aux tolérances de construction et de réglage, et à l'inégalité éventuelle de la répartition des charges	no =	1.00 °	

Variables:

3 - Caractéristiques des tableaux :

n : Distance de la section à l'axe du pivot le plus proche.

(Porte-à-faux $n < 0$ - Partie centrale entre pivots $n > 0$)

h : Hauteur du point de calcul / rails.

z : Ecart par rapport à une position médiane en voie dû à un excès ou à une insuffisance de dévers de 0,05 m et une dissymétrie éventuelle $> 1^\circ$.
z correspond à un jeu au lisoir > 5 mm (formule page 74 ou 136).

E : Réduction de gabarit appliquée à une demi-largeur.

lg : Demi-largeur maxi du gabarit cinématique.

lr : Demi-largeur disponible après réduction.

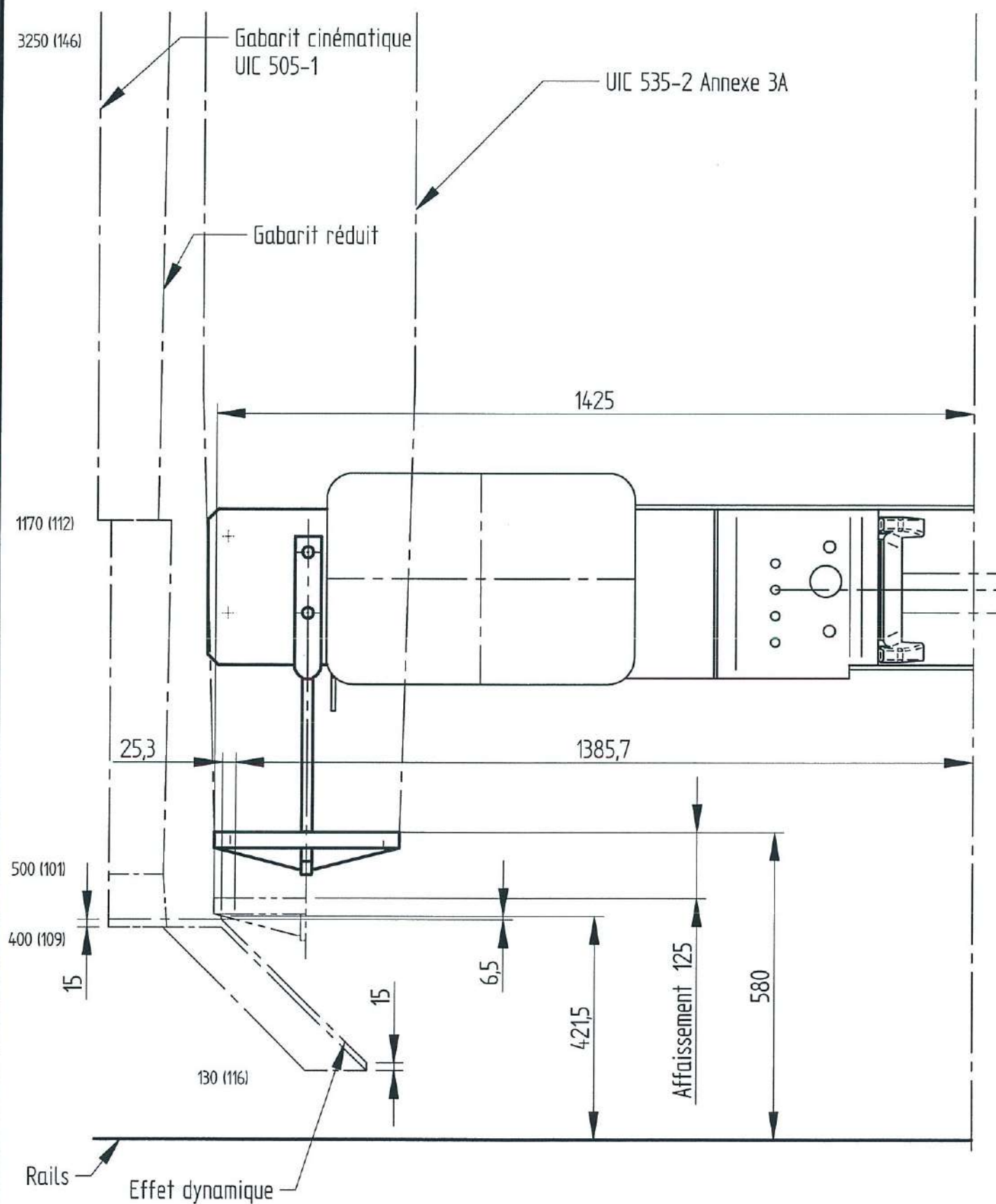
Section B située en porte-à-faux au-delà des bogies : Crochet de halage

na = 1.490 m du Pivot						
h (mm)	z (m)	Xa (m)	Ea (m)	lg (mm)	lr (mm)	Réduction
4 310	0.0621	0.000	0.125	525	400	125
4 010	0.0572	0.000	0.120	1 120	1 000	120
3 700	0.0522	0.000	0.115	1 425	1 310	115
3 250	0.0448	0.000	0.108	1 645	1 537	108
1 170.1	0.0109	0.000	0.074	1 645	1 571	74
1 170.0	0.0109	0.000	0.074	1 620	1 546	74
500	0.0000	0.000	0.063	1 620	1 557	63
400.1	0.0028	0.000	0.071	1 620	1 549	71
400.0	0.0028	0.000	0.071	1 520	1 449	71
130	0.0104	0.000	0.079	1 250	1 171	79
115	0.0108	0.000	0.079	1 212	1 133	79



MARCHEPIED GAUCHE

Réduction à 2370 mm de l'axe pivot



Les cotes entre parenthèses sont les valeurs calculées de la réduction de gabarit

N° A0 7-1-377

Format

1 - Caractéristiques du wagon :

- Longueur de la superstructure	L =	19.800	m
- Entraxe des pivots de bogie	a =	15.800	m
- Empattement des bogies	p =	2.000	m
- Jeu aux lisoirs	j =	14	mm
- Entraxe des lisoirsEl = 2 bg.....	El =	1.700	m

Variables:

2 - Caractéristiques de déplacement transversal :

- Ecartement extérieur des boudins, mesuré à 10 mm en contrebas des cercles de roulement, boudins à limite d'usure	d =	1.410	m
- Déplacement latéral possible entre coussinets et fusées + jeu latéral entre les plaques de garde ou le châssis et les boîtes d'essieux à partir de la position médiane (organes à limite d'usure)	q =	11.5	mm
- Déplacement latéral possible des pivots de bogie ou des traverses danseuses	w =	0	mm
- Hauteur au-dessus du plan de roulement de l'axe de roulis	hc =	0.500	m
- Coefficient de souplesse	S =	0.13	
- Dissymétrie due aux tolérances de construction et de réglage, et à l'inégalité éventuelle de la répartition des charges	no =	1.00 °	

Variables:

3 - Caractéristiques des tableaux :

n : Distance de la section à l'axe du pivot le plus proche.

(Porte-à-faux $n < 0$ - Partie centrale entre pivots $n > 0$)

h : Hauteur du point de calcul / rails.

z : Ecart par rapport à une position médiane en voie dû à un excès ou à une insuffisance de dévers de 0,05 m et une dissymétrie éventuelle $> 1^\circ$.
z correspond à un jeu au lisoir > 5 mm (formule page 74 ou 136).

E : Réduction de gabarit appliquée à une demi-largeur.

lg : Demi-largeur maxi du gabarit cinématique.

lr : Demi-largeur disponible après réduction.

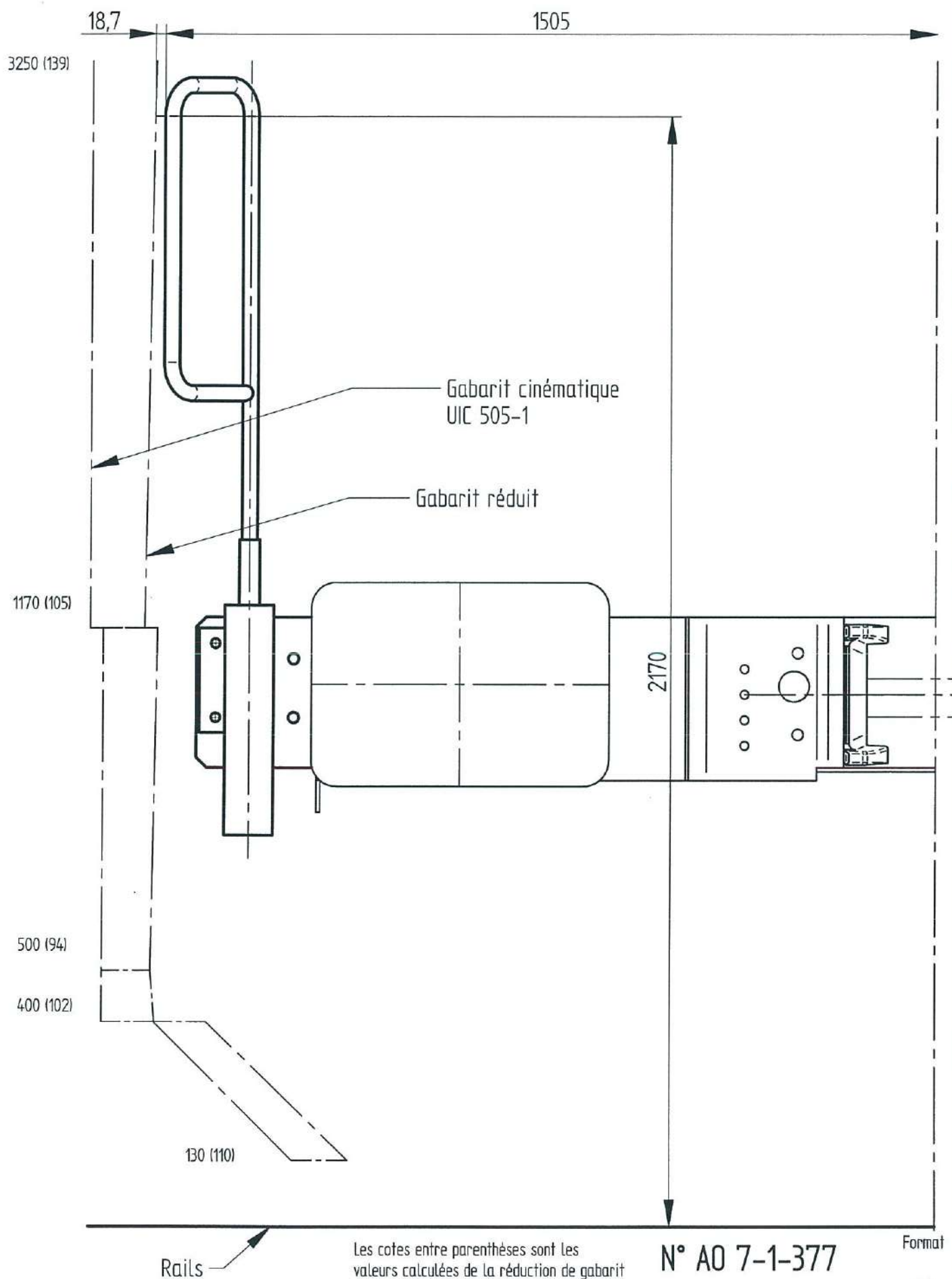
Section C située en porte-à-faux au-delà des bogies : Marchepied gauche

na = 2.370 m du Pivot						
h (mm)	z (m)	Xa (m)	Ea (m)	lg (mm)	lr (mm)	Réduction
4 310	0.0621	0.000	0.163	525	362	163
4 010	0.0572	0.000	0.158	1 120	962	158
3 700	0.0522	0.000	0.153	1 425	1 272	153
3 250	0.0448	0.000	0.146	1 645	1 499	146
1 170.1	0.0109	0.000	0.112	1 645	1 533	112
1 170.0	0.0109	0.000	0.112	1 620	1 508	112
500	0.0000	0.000	0.101	1 620	1 519	101
400.1	0.0028	0.000	0.108	1 620	1 512	108
400.0	0.0028	0.000	0.109	1 520	1 411	109
130	0.0104	0.000	0.116	1 250	1 134	116
115	0.0108	0.000	0.116	1 212	1 096	116



POIGNEE ELASTIQUE (grande)

Réduction à 2226 mm de l'axe pivot



N° AO 7-1-377

Ind A du 11/07/05

Format

A4

CALCUL GABARIT UIC 505-1

Gabarit cinématique réduit, d'un wagon à bogies

Transfesa train porteur de rails

Commande:05/5366

1 - Caractéristiques du wagon :

- Longueur de la superstructure	L =	19.800	m
- Entraxe des pivots de bogie	a =	15.800	m
- Empattement des bogies	p =	2.000	m
- Jeu aux lisoirs	j =	14	mm
- Entraxe des lisoirsEl = 2 bg.....	El =	1.700	m

Variables:

2 - Caractéristiques de déplacement transversal :

- Ecartement extérieur des boudins, mesuré à 10 mm en contrebas des cercles de roulement, boudins à limite d'usure	d =	1.410	m
- Déplacement latéral possible entre coussinets et fusées + jeu latéral entre les plaques de garde ou le châssis et les boîtes d'essieux à partir de la position médiane (organes à limite d'usure)	q =	11.5	mm
- Déplacement latéral possible des pivots de bogie ou des traverses danseuses	w =	0	mm
- Hauteur au-dessus du plan de roulement de l'axe de roulis	hc =	0.500	m
- Coefficient de souplesse	S =	0.13	
- Dissymétrie due aux tolérances de construction et de réglage, et à l'inégalité éventuelle de la répartition des charges	no =	1.00 °	

Variables:

3 - Caractéristiques des tableaux :

n : Distance de la section à l'axe du pivot le plus proche.

(Porte-à-faux $n < 0$ - Partie centrale entre pivots $n > 0$)

h : Hauteur du point de calcul / rails.

z : Ecart par rapport à une position médiane en voie dû à un excès ou à une insuffisance de dévers de 0,05 m et une dissymétrie éventuelle $> 1^\circ$.
z correspond à un jeu au lisoir > 5 mm (formule page 74 ou 136).

E : Réduction de gabarit appliquée à une demi-largeur.

lg : Demi-largeur maxi du gabarit cinématique.

lr : Demi-largeur disponible après réduction.

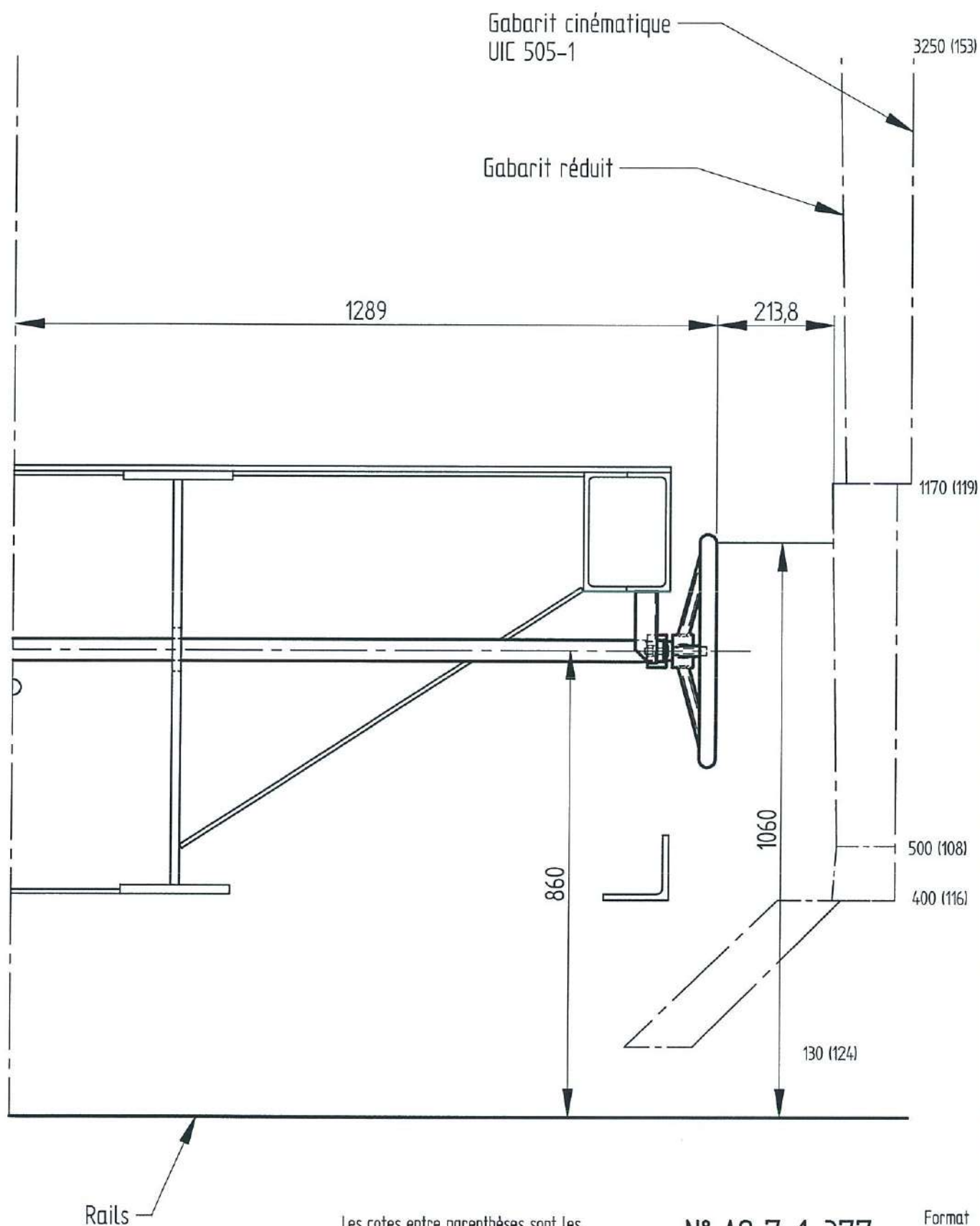
Section D située en porte-à-faux au-delà des bogies : Poignée montoire grande

na = 2.226 m du Pivot						
h (mm)	z (m)	Xa (m)	Ea (m)	lg (mm)	lr (mm)	Réduction
4 310	0.0621	0.000	0.156	525	369	156
4 010	0.0572	0.000	0.152	1 120	968	152
3 700	0.0522	0.000	0.147	1 425	1 278	147
3 250	0.0448	0.000	0.139	1 645	1 506	139
1 170.1	0.0109	0.000	0.105	1 645	1 540	105
1 170.0	0.0109	0.000	0.105	1 620	1 515	105
500	0.0000	0.000	0.094	1 620	1 526	94
400.1	0.0028	0.000	0.102	1 620	1 518	102
400.0	0.0028	0.000	0.102	1 520	1 418	102
130	0.0104	0.000	0.110	1 250	1 140	110
115	0.0108	0.000	0.110	1 212	1 102	110

(E)

VOLANT FREIN A VIS

Réduction à 5154 mm de l'axe pivot



Les cotes entre parenthèses sont les valeurs calculées de la réduction de gabarit

N° AO 7-1-377

Ind A du 11/07/05

Format

A4

CALCUL GABARIT UIC 505-1

Gabarit cinématique réduit, d'un wagon à bogies

1 - Caractéristiques du wagon :

- Longueur de la superstructure	L =	19.800	m
- Entraxe des pivots de bogie	a =	15.800	m
- Empattement des bogies	p =	2.000	m
- Jeu aux lisoirs	j =	14	mm
- Entraxe des lisoirsEl = 2 bg.....	El =	1.700	m

Variables:

2 - Caractéristiques de déplacement transversal :

- Ecartement extérieur des boudins, mesuré à 10 mm en contrebas des cercles de roulement, boudins à limite d'usure	d =	1.410	m
- Déplacement latéral possible entre coussinets et fusées + jeu latéral entre les plaques de garde ou le châssis et les boîtes d'essieux à partir de la position médiane (organes à limite d'usure)	q =	11.5	mm
- Déplacement latéral possible des pivots de bogie ou des traverses danseuses	w =	0	mm
- Hauteur au-dessus du plan de roulement de l'axe de roulis	hc =	0.500	m
- Coefficient de souplesse	S =	0.13	
- Dissymétrie due aux tolérances de construction et de réglage, et à l'inégalité éventuelle de la répartition des charges	no =	1.00 °	

Variables:

3 - Caractéristiques des tableaux :

n : Distance de la section à l'axe du pivot le plus proche.

(Porte-à-faux $n < 0$ - Partie centrale entre pivots $n > 0$)

h : Hauteur du point de calcul / rails.

z : Ecart par rapport à une position médiane en voie dû à un excès ou à une insuffisance de dévers de 0,05 m et une dissymétrie éventuelle $> 1^\circ$.
z correspond à un jeu au lisoir > 5 mm (formule page 74 ou 136).

E : Réduction de gabarit appliquée à une demi-largeur.

lg : Demi-largeur maxi du gabarit cinématique.

lr : Demi-largeur disponible après réduction.

Section E située entre les pivots : Volant frein à vis

ni = 5.154 m du Pivot						
h (mm)	z (m)	Xi (m)	Ei (m)	lg (mm)	lr (mm)	Réduction
4 310	0.0621	0.000	0.170	525	355	170
4 010	0.0572	0.000	0.165	1 120	955	165
3 700	0.0522	0.000	0.160	1 425	1 265	160
3 250	0.0448	0.000	0.153	1 645	1 492	153
1 170.1	0.0109	0.000	0.119	1 645	1 526	119
1 170.0	0.0109	0.000	0.119	1 620	1 501	119
500	0.0000	0.000	0.108	1 620	1 512	108
400.1	0.0028	0.000	0.116	1 620	1 504	116
400.0	0.0028	0.000	0.116	1 520	1 404	116
130	0.0104	0.000	0.124	1 250	1 126	124
115	0.0108	0.000	0.124	1 212	1 088	124

Anexo E

HOJAS DE CÁLCULO USADAS PARA EL CÁLCULO DEL GÁLIBO

CÁLCULO DEL GÁLIBO DE VAGONES (DIFERENTES SECCIONES PARA SOLIDWORKS)

CÁLCULO DE GÁLIBO IBÉRICO GHE16									
---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

OJO!! PARA Ea
es un $+ !!!$
 $a^n + n^2$

Xi o Xa sólo se usan para n elevados y siempre que el resultado sea positivo, sino no se tiene en cuenta (En los ejemplos de la 505-1 nunca lo usan)

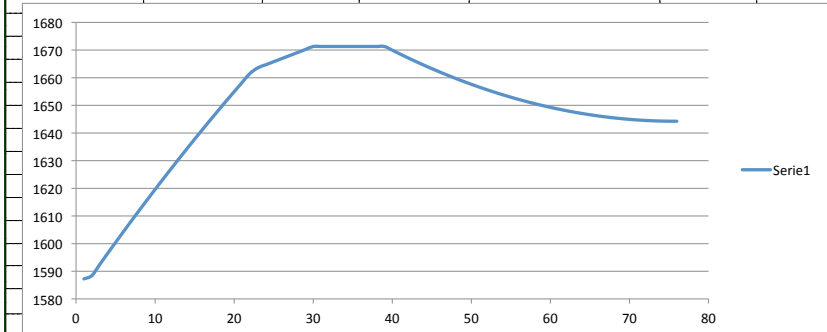
Ea

Ei

LAS CELDAS SOMBREADAS DENTRO DE Ea Y Ei SON LAS QUE HAY QUE ARRASTRAR PARA CALCULAR EL RESTO.

IMPORTANTE!! EL SOMBREADO (Y SU FÓRMULA ASOCIADA) DEBE LLEGAR HASTA:

- Para Ea: $an+n^2 \leq 5$ partes BAJAS
 $an+n^2 \leq 7.5$ partes ALTAS
- Para Ei: $an-n^2 \leq 5$ partes BAJAS
 $an-n^2 \leq 7.5$ partes ALTAS



Se colocan para meter la curva que forma el escalón en las 3 alturas del gálibo que lo tienen.

DATOS A EXPORTAR EN TXT POR CADA ALTURA AL SOLIDWORKS

PARTES ALTAS																														PARTES BAJAS																														EXTREMOS SUP E INF DE LA SUPERFICIE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4330										4100										3700										3320										1150 (con el semiancho de 3320)										1150										600 (con en el semiancho de 1150)										600										400 (con el semiancho de 600)										400										130										115										4330										0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch)	X (longitud)	Y (altura)	Z (semianch

Anexo F

TABLA 7 DE LA NORMA 10025-2:2010

Tabla 7 – Propiedades mecánicas a temperatura ambiente para productos planos y largos en tipos y grados de acero con valores de flexión por choque

Designación	Límite clásico mínimo ReH ^a MPa ^b										Resistencia a la tracción R _m ^a MPa ^b				
	Espesor nominal mm										Espesor nominal mm				
	≤ 16	≤ 40	≤ 63	≤ 80	≤ 100	≤ 150	≤ 200	≤ 250	≥ 250	≥ 3	≤ 100	≤ 150	≥ 150	≥ 250	≥ 400 ^c
Según las Normas EN 10025-1 y EN 10250	Según la Norma EN 10025-2														
S235JR	10030	235	235	235	235	235	235	235	235	235	360 a 510	360 a 510	340 a 430	—	—
S235J0	10030	235	235	235	235	235	235	235	235	235	360 a 510	360 a 510	340 a 430	—	—
S235J2	10030	235	235	235	235	235	235	235	235	235	360 a 510	360 a 510	340 a 430	340 a 430	340 a 430
S275JR	10030	275	275	275	275	275	275	275	275	275	430 a 580	430 a 580	400 a 540	—	—
S275J0	10030	275	275	275	275	275	275	275	275	275	430 a 580	430 a 580	400 a 540	—	—
S275J2	10030	275	275	275	275	275	275	275	275	275	430 a 580	430 a 580	400 a 540	380 a 540	380 a 540
S355JR	10030	355	355	355	355	355	355	355	355	355	510 a 680	510 a 680	450 a 600	—	—
S355J0	10030	355	355	355	355	355	355	355	355	355	510 a 680	510 a 680	450 a 600	—	—
S355J2	10030	355	355	355	355	355	355	355	355	355	510 a 680	510 a 680	450 a 600	450 a 600	450 a 600
S460J2	10030	460	460	460	460	460	460	460	460	460	570 a 680	570 a 680	450 a 600	450 a 600	450 a 600
S460J2	10030	460	460	460	460	460	460	460	460	460	570 a 680	570 a 680	450 a 600	450 a 600	450 a 600

^a Para chapas, perfiles y barras, donde ReH es el límite de fluencia y ReH_{0.2} es el límite de fluencia 0.2%.

^b Los valores aplican para los productos planos.

^c Aplicables solo a los productos largos.

^a Para el caso de bridas y perfiles soldados, con anchura ≥ 100 mm, los valores se aplican a la dirección transversal (o a la dirección longitudinal). Para los demás productos, los valores se aplican a la dirección paralela (o a la dirección en

^b 1 MPa = 1 N/mm²

^c Los valores aplican para los productos planos.

Aplicación sólo a los productos largos.

(Continúa)

Tabla 8 – Propiedades mecánicas a temperatura ambiente para productos planos y largos de acero en tipos y grados sin valores de flexión por choque

Designación	Límite mínimo elástico R_{eH}^a MPa ^b						Resistencia a tracción R_m^a MPa ^b			
	Espesor nominal mm						Espesor nominal mm			
	≤ 16	≤ 40	≤ 63	≤ 80	≤ 100	≤ 150	≤ 3	≤ 100	≤ 150	≤ 250
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260										
S185	185	175	175	175	165	145	310 a 540	290 a 510	280 a 500	270 a 490
F235	235	235	265	265	245	225	490 a 660	470 a 610	450 a 610	440 a 610
F355	355	355	365	365	295	265	590 a 770	570 a 710	550 a 710	540 a 710
F560	560	555	545	535	505	295	690 a 900	670 a 830	650 a 830	640 a 830

^a Para chapas, bandas y placas, así como para los valores que aplican a la dirección transversal (t) a la de laminación. Para los demás productos, los valores se aplican a la dirección longitudinal (l).

^b EN 10027-1 y EN 10028.

^c Estos valores se aplican particularmente para perfiles en L, ángulos y perfiles.

(Continúa)