
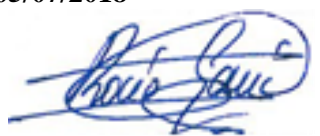


**MASTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS**  
**TRABAJO FIN DE MÁSTER 2017-2018**



**PROCESO DE VERIFICACIÓN DEL  
CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE-EN  
12663-1:2011+A1:2014 EN LA ESTRUCTURA DE  
UNA CAJA DE VIAJEROS**

<b>Aumno:</b> Alberto Algarra <b>A:</b> 05/07/2018	<b>Directora:</b> Rocío García <b>A:</b> 05/07/2018
<b>Firma:</b> 	<b>Firma:</b> 

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b><i>FICHA DE SOLICITUD DE ADMISIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER</i></b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b><i>GENERAL</i></b> .....	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b><i>Descripción</i></b> .....	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Objetivos</i></b> .....	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b><i>Alcance</i></b> .....	<b>7</b>
<b>2.4</b>	<b><i>Descriptivo de la caja</i></b> .....	<b>7</b>
<b>2.4.1</b>	<b><i>Material de la Caja</i></b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1.1</b>	<b><i>Estándares</i></b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1.2</b>	<b><i>Características</i></b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1.3</b>	<b><i>Resistencia al clima</i></b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1.4</b>	<b><i>Soldadura</i></b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1.5</b>	<b><i>Pintado</i></b> .....	<b>9</b>
<b>2.4.1.6</b>	<b><i>Propiedades del material</i></b> .....	<b>9</b>
<b>2.4.1.7</b>	<b><i>Detalles de la Caja</i></b> .....	<b>9</b>
<b>2.4.1.7.1</b>	<b><i>Bastidor</i></b> .....	<b>10</b>
<b>2.4.1.7.1</b>	<b><i>Testeros</i></b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.1.7.2</b>	<b><i>Paredes laterales</i></b> .....	<b>13</b>
<b>2.4.1.7.3</b>	<b><i>Techo</i></b> .....	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b><i>REFERENCIAS</i></b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Documentación evaluada</i></b> .....	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b><i>Normativa</i></b> .....	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b><i>METODOLOGÍA</i></b> .....	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b><i>PROCESO DE VERIFICACIÓN</i></b> .....	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Revisión de la documentación de diseño</i></b> .....	<b>18</b>
<b>5.1.1</b>	<b><i>Informe de Cálculo de la Estructura</i></b> .....	<b>18</b>
<b>5.1.1.2</b>	<b><i>Propiedades físicas de los materiales</i></b> .....	<b>18</b>
<b>5.1.1.3</b>	<b><i>Cargas de diseño</i></b> .....	<b>19</b>
<b>5.1.1.4</b>	<b><i>Hipótesis de Carga</i></b> .....	<b>21</b>
<b>5.1.1.5</b>	<b><i>Casos de Carga de fatiga</i></b> .....	<b>24</b>
<b>5.1.1.5.1</b>	<b><i>Espectro de carga útil</i></b> .....	<b>24</b>

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

5.1.1.5.2	<i>Carga inducida por la vía</i>	24
5.1.1.5.3	<i>Tracción y frenado</i>	25
5.1.1.5.4	<i>Combinación de los casos de cargas de fatiga</i>	25
5.1.1.6	<i>Carga Aerodinámica</i>	25
5.1.1.7	<i>Análisis</i>	25
5.1.1.7.1	<i>Demostración de la resistencia estática y de la estabilidad estructural</i>	25
5.1.1.7.2	<i>Requerimiento de resistencia o utilización</i>	26
5.1.1.7.3	<i>Resistencia a la rotura</i>	26
5.1.1.7.4	<i>Inestabilidad</i>	26
5.1.1.7.5	<i>Demostración de la resistencia a la fatiga</i>	26
5.1.1.7.6	<i>Modos naturales de vibración</i>	27
5.1.1.8	<i>Modelo de Cálculo</i>	27
5.2	<i>Protocolo de Pruebas</i>	29
5.2.1.1	<i>Cargas de compresión de acuerdo con la tabla 2 y tabla 9 de UNE EN 12663-1</i>	30
5.2.1.2	<i>Cargas de tracción de acuerdo con la tabla 5 de UNE EN 12663-1</i>	31
5.2.1.3	<i>Cargas de elevación de acuerdo con las tablas 10 y 11 de UNE EN 12663-1</i>	32
5.2.1.4	<i>La combinación de casos de carga más desfavorable indicada en la tabla 12.</i>	32
5.2.1.4.1	<i>Carga de Compresión de 2000kN aplicada en topes más carga máxima</i>	33
5.2.1.4.2	<i>Carga de Tracción de 1500kN aplicada en el gancho más carga máxima.</i>	34
5.2.1.5	<i>Ensayos adicionales</i>	34
5.2.1.5.1	<i>Carga de compresión de 500kN aplicada diagonalmente a la altura de topes.</i>	34
5.2.1.5.2	<i>Fuerza de compresión en los testers del vehículo.</i>	35
5.2.1.6	<i>Posicionamiento de galgas.</i>	36
5.2.1.7	<i>Evaluación protocolo del Ensayo Estático Caja Ref [7].</i>	38
5.3	<i>Asistencia a Ensayos</i>	39
5.3.1	<i>Pesaje de la Caja</i>	39
5.3.2	<i>Ensayo de Carga</i>	39
5.3.3	<i>Evaluación de los ensayos</i>	45
5.4	<i>Revisión del informe de ensayos.</i>	45
6.	<i>CONCLUSIONES</i>	47
7.	<i>APORTACIONES</i>	48

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

### 1. FICHA DE SOLICITUD DE ADMISIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER



MASTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS



<b>SOLICITUD DE ADMISIÓN DEL TRABAJO FIN DE MASTER (6 ECTS)</b> <b>(Entregar al Profesor Tutor de Prácticas en Comillas)</b>
---

#### Datos del alumno:

Apellidos: ALGARRA ALGARRA	
Nombre: JOSÉ ALBERTO	NIF: 04599176G

#### Datos del director del Trabajo:

Apellidos: GARCIA	
Nombre: ROCIO	NIF: 71879962V
Empresa: ECA BUREAU VERITAS	Dirección de la empresa: C/ VALPORTILLO PRIMERA Nº 22-24
e-mail: <a href="mailto:rocio.garcias@es.bureauveritas.com">rocio.garcias@es.bureauveritas.com</a>	Teléfono: 637.737.046

#### Datos del co-director del Trabajo (si procede):


#### Título del Trabajo Fin de Máster:

PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 – A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS.

#### Descripción breve:

En este trabajo se establecerá el proceso de verificación del cumplimiento de los requerimientos de la norma UNE-EN 12663-1:2011-A1 particularizada en una caja real de viajeros en base a los ensayos y estudios realizados por el fabricante.

#### Objetivos:

Los objetivos del presente trabajo es establecer y validar las fases en el proceso de verificación del cumplimiento de lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663-1 particularizado para una caja de viajeros en base a la revisión del análisis de la estructura de la caja, la asistencia a pruebas y la evaluación de los resultados obtenidos en los ensayos requeridos por dicha norma.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

**Aportaciones p revistas del Trabajo:**

Las aportaciones de este trabajo son:

1. Establecer las etapas de verificación en un proceso de validación de una caja de viajeros conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

En función del destino previsto de la caja del vehículo en cuestión establecer que estudios y/o ensayos son necesarios para que se realicen las comprobaciones necesarias acorde a dicha norma.

2. Comprobar que los estudios y/o ensayos así como los resultados obtenidos son acordes a lo establecido y no se superan los límites establecidos para los materiales.

Contrastar los valores obtenidos en los ensayos y/o estudios así como la ejecución y elaboración de los mismos han sido llevados a cabo de forma aceptable y acorde a la normativa de verificación.

**Planificación de tareas:**

Tarea	Fecha inicio	Fecha finalización	Duración (días)
TFM Estudio y validación del informe del cálculo de la estructura de caja	11 noviembre 2017	30 diciembre 2017	49
TFM Estudio y validación del informe de ensayo estructura de caja	03 enero 2018	03 febrero 2018	31
TFM Estudio y validación del informe de los resultados del ensayo estructura de caja.	15 marzo 2018	1 Abril 2018	15
TFM Escritura	15 Febrero 2018	1 Mayo 2018	75
TFM Presentación	1 Mayo 2018	3 Julio 2018	61

Alumno: JOSE ALBERTO ALGARRA  
Firma:



Director: ROCÍO GARCIA  
Firma:



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

## 2. GENERAL

### 2.1 Descripción

Dentro del diseño de vehículos ferroviarios, la estructura de caja es la parte más importante y de mayor responsabilidad. Por este motivo, se debe realizar un estudio exhaustivo por parte del constructor, validando el diseño completo de la estructura de caja del ferrocarril.

Para ello, deben emplearse modernas herramientas CAD-CAE, la documentación técnica necesaria y unos cálculos precisos, que deben realizarse mediante el método de elementos finitos, con objeto de garantizar el cumplimiento de las diferentes normas de seguridad.

Los trabajos de estructura caja deben abarcar todos los elementos que componen la citada estructura, desde el bastidor, costados, techos, testeros, traviesas pivote, hasta los soportes y refuerzos, tanto en acero como aluminio. Este tipo de trabajos son aplicables a todo tipo de vehículos ferroviarios, como pueden ser tranvías, metros ligeros, metros, cercanías y regionales, larga distancia y funiculares.

Con el objetivo de ofrecer un mejor servicio y un compromiso con la mejora continua en el sector ferrocarril, sería conveniente que las empresas que construyan este tipo de estructuras se encuentren certificadas respecto a la norma UNE-EN 15085, en el nivel CL4, para soldadura de componentes y vehículos ferroviarios. Esta certificación respecto a una norma europea garantiza que los ingenieros encargados del diseño están cualificados para diseñar estructuras ferroviarias, con la experiencia y los conocimientos técnicos específicos requeridos en soldadura y su aplicación. De este modo, se proporciona al cliente una garantía adicional de calidad y buen hacer en el desarrollo de los proyectos ferroviarios.

El presente documento recoge los resultados de las todas las actividades para llevar a cabo la verificación del cumplimiento de lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 “Aplicaciones ferroviarias. Requisitos estructurales de las cajas de los vehículos ferroviarios. Parte 1: Locomotoras y material rodante de viajeros (y método alternativo para vagones de mercancías) en la estructura de una caja de viajeros, construida con la finalidad de disponer de una caja de viajeros prototipo.

Esta caja prototipo se ha estudiado y diseñado, específicamente, para operar en el mercado de un país norteafricano. Por tanto, el diseño ha tenido en cuenta las especificaciones solicitadas por el operador de dicho país.

Cabe indicar que para llevar a cabo el TFM se ha utilizado la documentación aportada por las empresas que han participado en todo el proceso de fabricación y validación de la estructura de la caja en cuestión. Estas empresas\* se relacionan a continuación :

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

- COORDINADOR: Coordinación de las distintas actividades de fabricación.
- FABRICANTE: Diseño y fabricación de la Caja
- CALCULISTA: Realización del Cálculo de la Estructura de Caja.
- INGENIERIA: Elaboración del Protocolo e Informe del Ensayo de Carga.
- ENSAYISTA: Mediciones en el Ensayo de Carga.
- LABORATORIO: Cesión de las instalaciones y el banco para realización del ensayo de Carga.
- VALIDADOR: Verificación como tercera parte del proceso de validación de la caja.

*\*Los nombres reales de las empresas han sido omitidos con el objeto de salvaguardar sus identidades, tal y como se establece en el compromiso de confidencialidad acordado con dichas empresas.*

## 2.2 *Objetivos*

Los objetivos del presente trabajo es establecer y validar las distintas fases que se han de realizar de un proceso de verificación del cumplimiento de lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663:2001+A1.

Para que la realización del presente TFM no se limite a una mera descripción de las distintas normas de aplicación, se ha planteado el trabajo como una particularización de un caso real. Cabe destacar que se ha participado de forma activa en todas las fases del proceso.

Dicho estudio se ha efectuado en base a la revisión del análisis de la estructura de la caja, la asistencia a pruebas y la evaluación de los resultados obtenidos en los ensayos requeridos por dicha norma.

## 2.3 *Alcance*

El TFM comprende los resultados de la verificación del cumplimiento de lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663-1 2011 +A1 en la estructura de una caja de viajeros, diseñada y fabricada para su posible operación en un país norteafricano.

En este sentido, cabe indicar que se han tenido en cuenta las indicaciones de la citada norma y que se han efectuado los ensayos necesarios, que permiten respaldar los resultados obtenidos en los cálculos realizados durante la etapa de diseño estructural de la caja.

## 2.4 *Descriptivo de la caja*

La estructura de la caja ha sido diseñada para cumplir las especificaciones necesarias para la circulación por un país norteafricano.

Cada caja dispondrá de dos bogíes equipados con dos ejes de 22 Ton/eje y ancho de vía 1.435 mm. Se instalarán frenos con zapatas en todas las ruedas, equipados con sistema antideslizamiento.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Sobre la estructura se instalarán 4 puertas manuales de acceso (2 en cada lateral) y 12 ventanas en cada uno de los lados.

La longitud máxima de la caja será de 24.500 mm, con un ancho máximo de 2.842 mm. El gálibo de la caja ha sido calculado según lo dispuesto en la ficha UIC 505-1.

La caja será fabricada con acero COR-TEN de grado S355J2WP para espesores inferiores a 6 mm y grado S355J2W para espesores iguales o mayores a 6 mm. Se compone del bastidor, paredes finales, paredes laterales y el tejado. Las uniones entre estos elementos han sido soldados según los criterios de la norma UNE-EN 15085.

#### **2.4.1 Material de la Caja**

El tipo de acero utilizado para la fabricación de caja será acero resistente a la intemperie (COR-TEN).

##### **2.4.1.1 Estándares**

Estándar de referencia según EN10025, sección 5.

- S355J2WP para un grosor inferior a 6 mm.
- S355J2W para un grosor igual o mayor a 6 mm.

##### **2.4.1.2 Características**

- Soldadura: Excelente.
- Plegado: Excelente.
- Transformación: excelente.
- Mecanización: excelente.

##### **2.4.1.3 Resistencia al clima**

El acero corten o COR-TEN es un tipo de acero elaborado con una composición química, que hace que su oxidación tenga características particulares que protegen la pieza fabricada con este material frente a la corrosión atmosférica, sin perder prácticamente sus características mecánicas.

En la oxidación superficial del acero corten se crea una película de óxido impermeable al agua y al vapor de agua, que impide la oxidación del acero y su avance hacia el interior del material.

##### **2.4.1.4 Soldadura**

Excelentes características para los procesos utilizados en la soldadura de aceros estructurales.



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Para que el cordón de soldadura también sea resistente a la corrosión, es necesario utilizar una materia prima con un contenido de Ni de, aproximadamente, 2,5% o una compactación similar a la del metal base.

#### 2.4.1.5 Pintado

La superficie del acero resistente a la intemperie se puede pintar utilizando los mismos métodos aplicados en la pintura de aceros comunes. Como resultado de la aleación especial del acero, una capa de pintura puede durar el doble que una capa de acero común. Una ventaja del uso de acero resistente a la intemperie en condiciones húmedas es que, en el caso de los efectos locales en el recubrimiento de pintura, la corrosión en el lugar progresa más lentamente que el acero común.

#### 2.4.1.6 Propiedades del material

Las propiedades del material vienen recogidas en las siguientes tablas:

Steel Grades		Heat Treatment								
Steel grades and their approximate correspondence for weather resistance.			Temperature °C							
COR-TEN®	EN 10025-5:2004	Stress relieving	550 - 600 (target 580)							
COR-TEN® A	S355J0WP	Normalising	860 - 940 (target 910)							
COR-TEN® B	S355J0W and S355J2W									
			Treatment Time							
			Manner of cooling							
			2 minutes / mm thickness, minimum 30 minutes							
			Slow cooling in the furnace							
			1 minute / mm thickness, minimum 15 minutes							
			Free cooling in air atmosphere outside the oven.							
The yield strength is guaranteed as $R_{eL}$ for COR-TEN® steels and as $R$ for COR-TEN® steels and as $R_{eH}$ for weathering steel grades according to EN 10025-5:2004. A Charpy V impact test is carried out on standard steels equivalent to COR-TEN® B.										
Chemical Composition										
Content % (ladle analysis)										
	C	Si	Mn	P	S	Al	V	Cu	Cr	Ni
	Maximum			Maximum				Maximum		
COR-TEN® A	0.12	0.25 - 0.75	0.20 - 0.50	0.07 - 0.15	0.030	0.015 - 0.06	-	0.25 - 0.55	0.50 - 1.25	0.65
COR-TEN® B	0.19	0.30 - 0.65	0.80 - 1.25	0.035 max.	0.030	0.020 - 0.06	0.02 - 0.10	0.25 - 0.40	0.40 - 0.65	0.40
Mechanical properties and Thickness Range										
COR-TEN®	Thickness mm		Yield strength $R_{eL}$ N/mm <sup>2</sup>		Tensile strength $R_m$ N/mm <sup>2</sup>		Elongation $A_{50}$ %			
	Strip products		Plate products		Minimum		Minimum		Minimum	
COR-TEN® A	0.8 - 10.0		6.0 - 12.0		345(HR/RMP) 310(CR)		485(HR/RMP) 450(CR)		20(HR/RMP) 22(CR)	
COR-TEN® B	-		6.0 - 40.0		345		485		19	
EN 10025-5: 2004	Yield strength $R_{eH}$ N/mm <sup>2</sup>		Tensile strength $R_m$ N/mm <sup>2</sup>		Elongation $R_{50}$ %		$A_5$ % Minimum			
	Minimum Thickness mm		Minimum Thickness mm		Minimum Thickness mm		Thickness mm			
	2 - 16	(16) - 40	2 - (3)	3 - 40	2	(2) - 2.5	(2.5) - (3)	3 - 40		
S355J0WP	355	355	510 - 680	470 - 630	14	15	16	20		
S355J0W	-	355	-	470 - 630	14	15	16	20		
S355J2W	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabla 1: Tabla Propiedades de los materiales de la caja

#### 2.4.1.7 Detalles de la Caja

Las características más importantes de la caja vienen especificadas en la siguiente tabla:

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
<b>Longitud máxima</b>	24.500 mm
<b>Ancho máximo</b>	2.842mm
<b>Radio mínimo de Curva</b>	155m
<b>Máximo Gradiente en línea</b>	1.25:100
<b>Máxima elevación</b>	130mm

**Tabla 2: Tabla Propiedades de la caja**

La caja está constituida por los siguientes elementos principales:

- Bastidor
- Testeros
- Paredes laterales
- Techo

La caja debe estar diseñada para resistir las cargas verticales típicas de las condiciones de servicio, las fuerzas de compresión aplicadas al nivel de amortiguación, las tensiones de torsión experimentadas durante el recorrido de la curva, así como todas las fuerzas generadas en la operación por la interfaz con la vía.

El bastidor y la caja deben asegurar la protección máxima a los pasajeros. Así, las paredes y el marco deben estar ensamblados para resistir las fuerzas de corte horizontales en el plano superior del marco. Los parámetros de diseño y los resultados se comprobarán, minuciosamente, por medio del análisis de elementos finitos (FEA), con objeto de garantizar que el diseño de la estructura de la caja cumple con los niveles de seguridad requeridos para este tipo de elementos.

#### **2.4.1.7.1 Bastidor**

El bastidor inferior está formado por elementos soldados de acero al carbono, con tratamiento anticorrosión según EN 10025, perfilados o en rollos, diseñados de acuerdo con las cargas indicadas en el prospecto UIC 566 y EN 12663.

En particular, los elementos debajo del bastidor están hechos por perfiles formados por rodillos, según las técnicas desarrolladas en el comportamiento del material de acero al carbono con tratamiento anticorrosión.

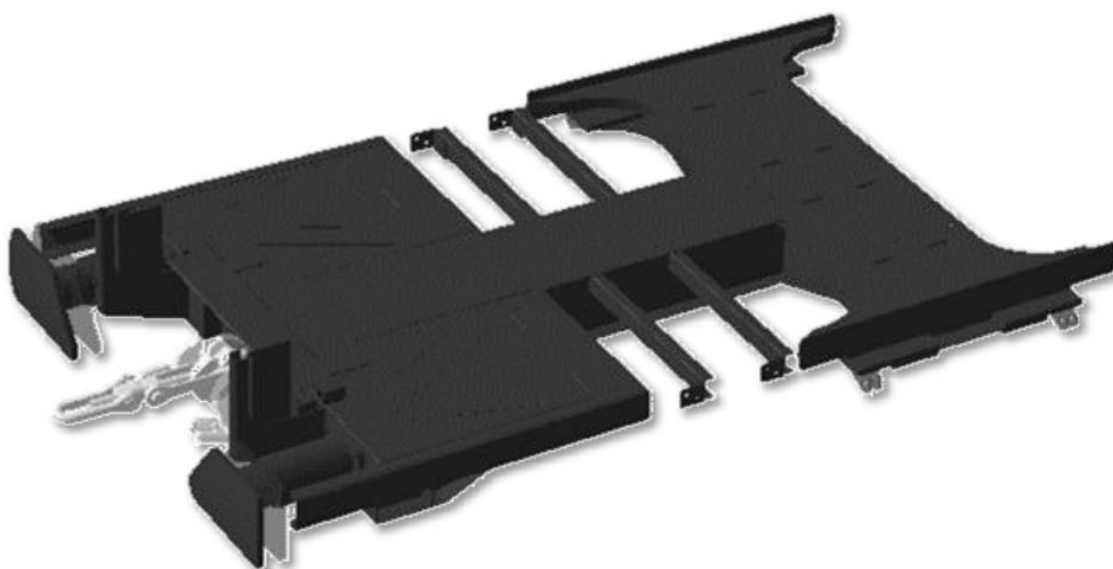
Los parámetros de diseño y los resultados se estudiarán por medio del análisis de elementos finitos (FEA).



**Ilustración 1: Detalle del Bastidor**

El bastidor está dividido en tres partes fundamentales de cara al proceso de fabricación: una parte central y dos extremos.

Ambos extremos son la parte más importante del bastidor. Consistirá en la traviesa principal, que se conectará al bogie y los cabeceros, donde se instalan los topes y la tracción. Por esa razón, esta parte ha sido diseñada para resistir a las altas fuerzas de tracción además de posibilitar que la estructura completa mantenga un nivel apropiado de flexibilidad.



**Ilustración 2: Detalle del Cabecero**

El área central del bastidor está construida utilizando como base dos perfiles longitudinales, conectados mediante travesaños soldados. La parte superior del bastidor está cubierta por un piso consistente en láminas de acero al carbono, corrugadas con tratamiento anticorrosión, unidas mediante soldadura

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

continua y de puntos. La resistencia de la lámina corrugada mejora el comportamiento de la estructura frente a las fuerzas de dirección normales.

Los parámetros de diseño y los resultados se estudiarán por medio del análisis de elementos finitos (FEA).



*Ilustración 3: Detalle de la estructura central del bastidor*

#### **2.4.1.7.1 Testeros**

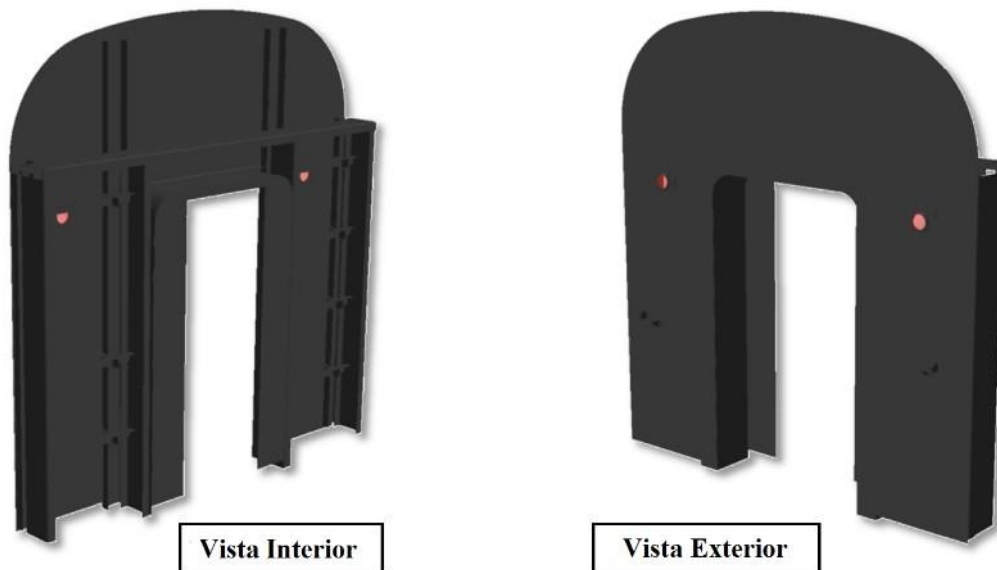
Los testeros del coche están diseñados para proteger a los pasajeros en caso de colisión. En este caso, la energía del impacto será absorbida por la deformación de las paredes de los extremos, donde los pasajeros no están habitualmente presentes.

El testero consiste, principalmente, en dos pilares verticales, soldados a los travesaños que están unidos al marco inferior, las paredes laterales y las estructuras del techo.

Los materiales utilizados serían, debido a la corrosión, acero al carbono mejorado (EN 10025), perfilado o en rollos, diseñados de acuerdo con las cargas indicadas en la ficha UIC 566 y la norma EN 12663.

Los parámetros de diseño y los resultados se estudiarán por medio del análisis de elementos finitos (FEA).

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--



*Ilustración 4: Detalle del Testero de Caja*

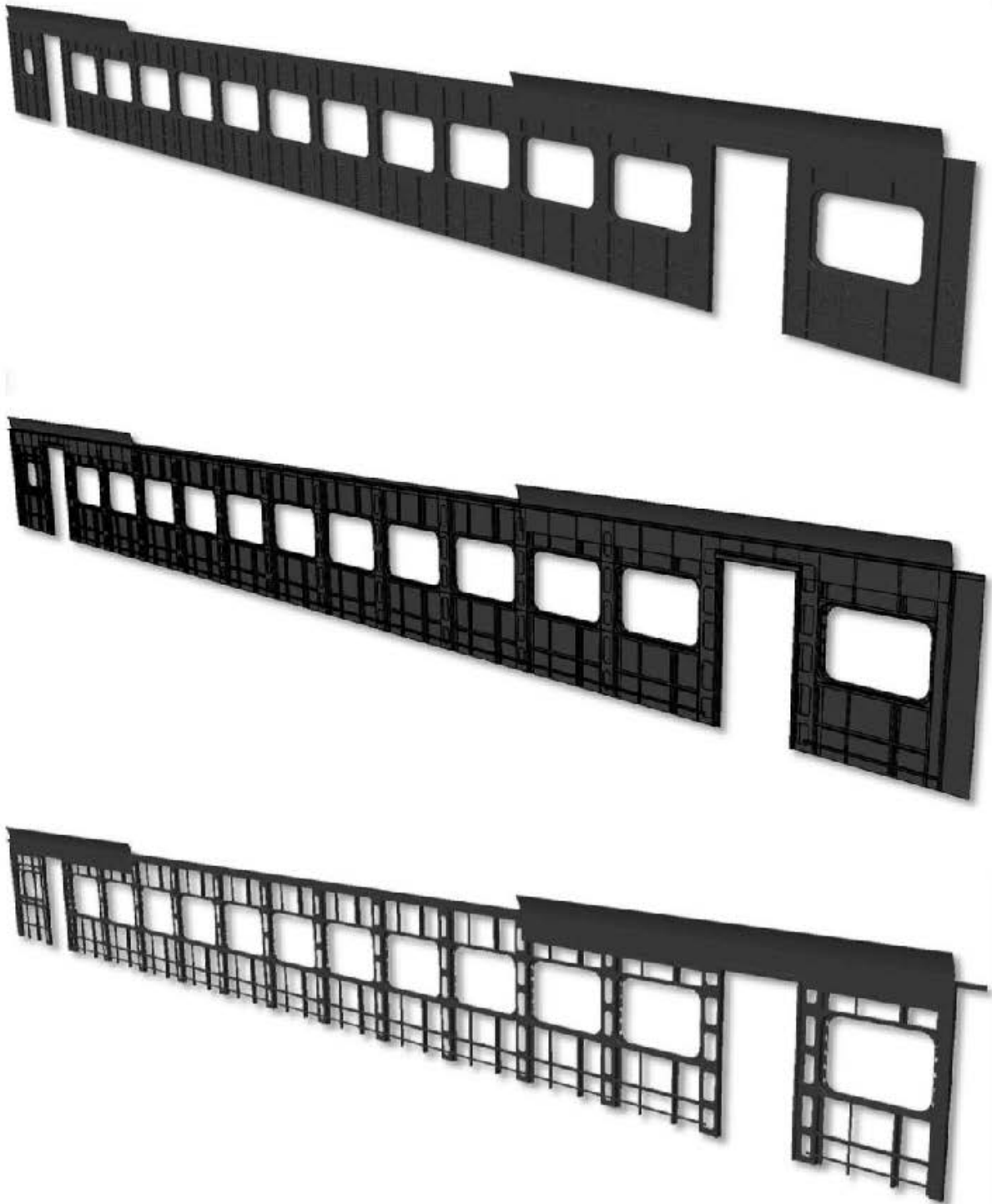
#### **2.4.1.7.2 Paredes laterales**

Las paredes laterales tienen una estructura modular que consiste en elementos transversales y perfiles verticales.

Estructuralmente, las barras transversales verticales están conectadas, tanto en la parte superior como en la inferior, a través de uniones soldadas. Los componentes que se cruzan entre elementos verticales y horizontales están reforzados por barras de refuerzo soldadas. Las láminas de pared lateral y otros componentes que forman parte de la estructura lateral del coche están hechos de acero al carbono, con tratamiento anticorrosión EN 10025, perfilado o en rollos, diseñados de acuerdo a las cargas indicadas en la ficha UIC 566 y la norma EN 12663.

Los paneles que envuelven el exterior de los lados están soldados a los elementos estructurales correspondientes por soldadura con puntos. Su grosor es suficiente para resistir los impactos de objetos pequeños sin rasguños, pliegues o cortes, durante la vida útil.

Los parámetros de diseño y los resultados se estudiarán por medio del análisis de elementos finitos (FEA).



*Ilustración 5: Detalles de los laterales de caja*

#### **2.4.1.7.3 Techo**

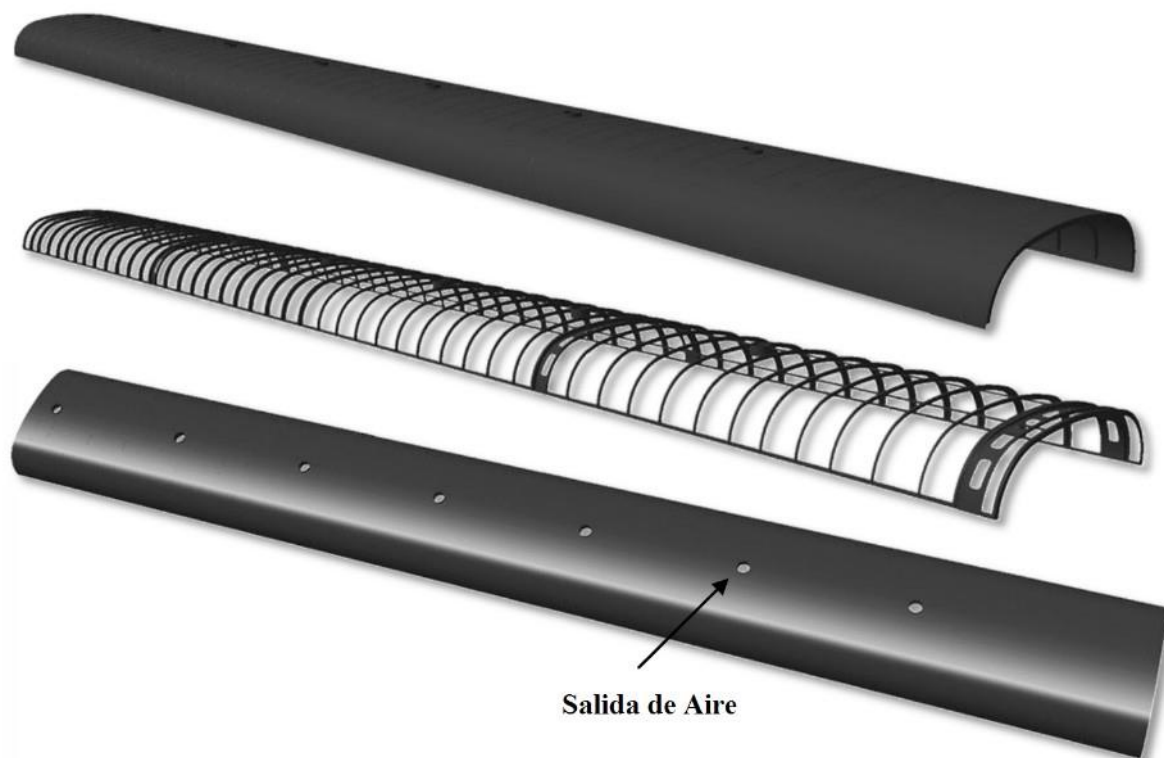
El techo está diseñado para ser un elemento estructural del conjunto y con la finalidad de aumentar, más aún, la fuerza general de la estructura de caja.

El techo está formado por un acero al carbono, mejorado con tratamiento anticorrosión EN 10025, perfilado o en rollos, diseñado según las cargas indicadas en la ficha UIC 566 y la norma EN 12663.

La estructura del techo ha sido diseñada para permitir la instalación de los conductos que facilitarán la extracción de aire mediante ventilación forzada.

En el área exterior y en su unión con la estructura del lateral, se instalará una canaleta para conducir el agua hasta los extremos del coche.

Los parámetros de diseño y los resultados se estudiarán por medio del análisis de elementos finitos (FEA).



*Ilustración 6: Detalle del techo de la caja*

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

### 3. REFERENCIAS

#### 3.1 Documentación evaluada

Nº:	Título documento
[1].	Technical Specification For Carbodyshell & Equipments. OPERADOR
[2].	Planos FABRICANTE Reinforced Carbody
[3].	Carbody Structure Calculation Report Ref. IFM 16060. REV. 05
[4].	Carbody Structure Calculation Annex C. Ref. IFM 16060-02. REV. 00 06/03/18
[5].	Carbody Structure Calculation Annex D. Ref. IFM 16060-02. REV. 00 28/03/18
[6].	Estudio de Cargas. INGENIERIA. Carta 11 enero de 2018
[7].	COR-TEN Carbody Shell Static Test Program Ref. 08-17 Rev 5.
[8].	COR-TEN Carbody Shell Static Test Report Ref. 05-16 Rev. 0
[9].	Pesado Diploris. Email justificativo por parte de COORDINADOR de 25/04/2018
[10].	Pesado de la caja 11/12/17

#### 3.2 Normativa

[a] UNE-EN 12663-1:2011 + A1:2014 Aplicaciones ferroviarias. Requisitos estructurales de las cajas de los vehículos ferroviarios. Parte 1: Locomotoras y material rodante de viajeros (y método alternativo para vagones de mercancías).

[b] UNE-EN 15663:2010 Aplicaciones ferroviarias. Definición de las masas de referencia de los vehículos.

[c] UNE-EN 13749:2012 Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Métodos para especificar los requisitos estructurales de los bastidores de bogie.

[d] EN 16404:2014, Aplicaciones ferroviarias. Requisitos relativos a reencarrilamiento y recuperación de vehículos ferroviarios.

[e] EN 1993-1-9: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue.

[f] Norma ISO 17025 – Requisitos para laboratorios de ensayo y calibración



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

#### 4. METODOLOGÍA

El programa de validación especificado tiene como objetivo asegurar que el diseño de la estructura de la caja del vehículo puede soportar la carga máxima exigida, en función de los requisitos de explotación y llegar hasta el final de la vida útil, en condiciones normales de explotación y con una adecuada probabilidad de supervivencia.

Según se indica en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1, se debe demostrar por cálculo o ensayos, o bien por una combinación de ambos, que no ocurrirá con los casos de carga prescritos ninguna deformación permanente significativa o rotura de la estructura en su conjunto, o de cualquiera de sus componentes individuales.

Al tratarse de un nuevo diseño de caja se ha optado por la siguiente opción de validación, recogida en la tabla 19 de la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1:

Tabla 19 – Resumen del programa de validación

	Análisis estructural completo	Análisis estructural comparativo local o global	Ensayos estáticos	Ensayos de fatiga y/o de servicio
Nuevo diseño	sí	no aplicable	sí	requeridos únicamente si otros métodos no demuestran suficientemente la seguridad

En función del programa de validación indicado, se han realizado las siguientes actividades:

1. Revisión de la documentación disponible para la fase de análisis de diseño de la caja (especificaciones técnicas, planos, cálculos, etc.), con objeto de verificar que en el citado diseño se han tenido en cuenta las indicaciones de la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1
2. Comprobación de que las instalaciones disponibles eran las adecuadas para verificar, como tercera parte independiente, que los ensayos en banco de la caja de pasajeros podrían realizarse de forma acorde a los requisitos fijados en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.
3. Asistencia a los ensayos de pesaje de la caja y al resto de ensayos requeridos en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.
4. Análisis y Evaluación del informe final de ensayos realizado.

En base al resultado de cada una de estas actividades se evalúa tanto el diseño previsto, como el desarrollo, ejecución y resultados de los ensayos, respecto a lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

Todas las evidencias documentales necesarias durante el desarrollo del proyecto han sido aportadas por el COORDINADOR.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

## 5. PROCESO DE VERIFICACIÓN

### 5.1 Revisión de la documentación de diseño

Según se indica en el apartado anterior, se ha revisado la documentación con el objeto de verificar:

#### 5.1.1 Informe de Cálculo de la Estructura

Se ha revisado el informe nº [3]. que contiene el Cálculo de la Estructura de la Caja fabricada por FABRICANTE (Proyecto 02002).

En el documento se incluye el análisis estructural de caja basado en los casos de carga y criterios de validación requeridos por la UNE-EN 12663-1:2011+A1 para un vehículo de viajeros P-I, de acuerdo con la distribución de cargas diseñado como coche intermedio.

#### 5.1.1.2 Propiedades físicas de los materiales

El informe nº IFM16060 CARBODY STRUCTURE CALCULATION ha considerado las siguientes propiedades físicas de los materiales usados, acordes al material seleccionado:

	Densidad $\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Young E(N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Poisson $\nu$
<b>Acero</b>	7800	210000	0,3
<b>Acero Inoxidables</b>	7800	210000	0,3

**Tabla 3: Propiedades Físicas de los Aceros Usados**

Y en cuanto a las propiedades mecánicas:

			Propiedades Mecánicas				
			Material Plano		Material Soldado		Alargamiento
Producto	Aleación	Espesor e (mm)	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\Lambda$ % min
Chapa	AISI 301L MT		340-460	690			40
Chapa	S355J2WP	≤6	355	490	320	440	14
Chapa	S355J2W	>6	355	490	320	440	17

**Tabla 4: Propiedades Mecánicas de las aleaciones empleadas**

Además, en el caso del acero se ha considerado un factor de reducción de un 10% para las zonas soldadas.

Se han revisado estas consideraciones, verificando su corrección respecto a los materiales utilizados para la fabricación de la caja, descritos anteriormente en la **Tabla 1**.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

### 5.1.1.3 Cargas de diseño.

El informe [3] particulariza las cargas de diseño requeridas en la norma según lo dispuesto en la siguiente tabla:









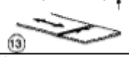

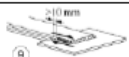


Definición	Símbolo EN12663	Masa (kg) Simulación
Masa de diseño de la caja en orden de marcha	m <sub>1</sub>	23791  13195 kg(Peso Caja) +10596 (Estimación interiorismo)
Masa de diseño de la un bogie o de los órganos de rodadura	m <sub>2</sub>	5600
Carga útil normal de diseño	m <sub>3</sub>	7680
Carga útil excepcional	m <sub>4</sub>	12800

**Tabla 5: Cargas de Diseño consideradas en Simulación**

Se han verificado las cargas consideradas para los cálculos, comprobando que son acordes a lo especificado en la norma UNE-EN 15663:2009, solicitada por la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

Asimismo el CALCULISTA ha determinado los límites de cargas de fatiga en función del tipo de detalle/unión y la dirección de la tensión. Estos límites se indican en la siguiente tabla:

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Type of detail / joint	Stress direction	Sketch	Detail	Fatigue Limit (N/mm <sup>2</sup> )		
				Cycles		
				2·10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>
Plain Material			160-1	160	103	64
Plain Material oxicorte			125-5	125	81	51
T-joint	Longitudinal		100-7	100	64	40
	Transversal		80-1	80	51	32
Stiffener T-joint	Longitudinal		80 (L≤50) 56 (L>100)	80 56	51 35	32 23
	Transversal		71-6,7	71	45	29
T-joint discontinuous	Longitudinal		80	80	51	32
Butt weld (Y)	Longitudinal		112-10	112	72	45
	Transversal		36-13	36	23	14
Butt weld (V)	Longitudinal		112-4	112	72	45
	Transversal		71	71	45	29
Welded overlap joints			80	80	51	32
Stress transmitted in base material			90	90	57	36

**Tabla 6: Límites de Fatiga según detalle/unión.**

Estas cargas han sido obtenidas suponiendo que el detalle/junta se ve sometido a varios recorridos tensionales diferentes, asociados cada uno de ellos con el número de ciclos determinado ( $10^7$ ), por lo que se ha aplicado la regla de Palmgren-Miner para obtener el coeficiente de daño acumulado.

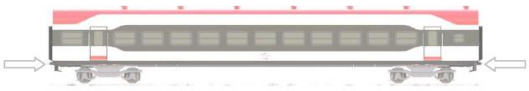
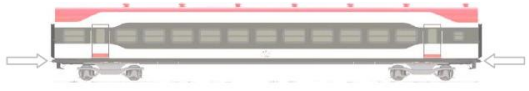
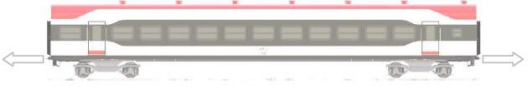

Adicionalmente se ha considerado un coeficiente de minoración para la resistencia a la fatiga ( $\gamma_{MF}$ ) de 1,35.

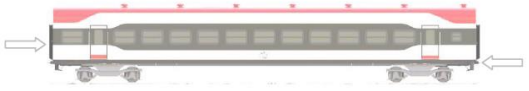


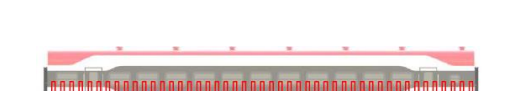
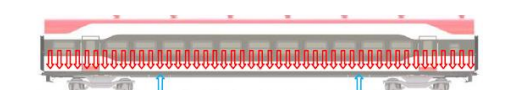
Esta situación se encuentra conforme a lo especificado en la tabla 3.1 del apartado 3 y el apartado 7.1 de la norma Eurocode 3 EN 1993-1-9 [e].

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

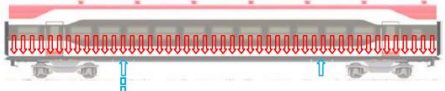
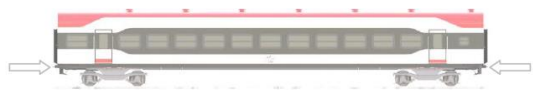
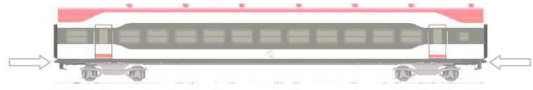
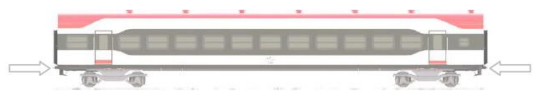
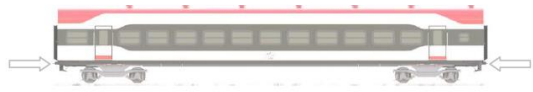
#### 5.1.1.4 Hipótesis de Carga.

A continuación, se muestra una tabla resumen donde se recogen los casos de carga de diseño requeridos por la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para una caja de estas características y su correspondencia en el informe de Cálculo de la Estructura de CALCULISTA documentos [7] y [8]:



Apartado Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1	Nº Test IFM16060	Especificación de Cargas	Comentarios
<b>6.2 Cargas estáticas longitudinales en la caja del vehículo</b>			
6.2.2 Fuerza de compresión a la altura de los topos y/o enganches	Test 1	 $F_x=2000\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	
6.2.2 Fuerza de compresión aplicada diagonalmente a la altura de los topos	Test 2	 $F_x=500\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	
6.2.2 Fuerza de tracción en zona de enganche	Test 3	 $F_x=1500\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	
6.2.3 Fuerza de compresión 150 mm por encima del piso de la caja en el testero de cabeza	Test 4	 $F_x=400\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	

Apartado Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1	Nº Test IFM16060	Especificación de Cargas	Comentarios
6.2.3 Fuerza de compresión a nivel del larguero de refuerzo (parte inferior de la ventana)	Test 5	 $F_x=300\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	
6.2.3 Fuerza de compresión a nivel del larguero de techo	Test 6	 $F_x=300\text{kN}$ $F_z=m_1 \cdot g$	
<b>6.3 Cargas estáticas verticales en la caja del vehículo</b>			
6.3.1 Carga máxima de explotación	Test 7	 $F_z=1,3 \cdot (m_1+m_4) \cdot g$	
6.3.2 Elevación y sobreelevación de un extremo del vehículo por los puntos específicos	Test 8	 $F_z=1,1 \cdot (m_1+m_2) \cdot g$	
6.3.2 Elevación del conjunto del vehículo por los puntos específicos de levante	Test 9	 $F_z=1,1 \cdot (m_1+2 \cdot m_2) \cdot g$	

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

<b>Apartado Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1</b>	<b>Nº Test IFM16060</b>	<b>Especificación de Cargas</b>	<b>Comentarios</b>
6.3.3 Elevación y sobreelevación con soporte desplazado	Test 19	 $F_z = 1,1 \cdot (m_1 + 2 \cdot m_2) \cdot g$ $D_z = +10\text{mm}$	Incluido en [4]
<b>6.4 Superposición de casos de carga estática en la caja del vehículo</b>			
6.4 Fuerza de compresión y carga vertical	Test 10	 $F_x = 2000\text{kN}$ $F_z = (m_1 + m_4) \cdot g$	
6.4 Fuerza de compresión y carga vertical +sobrecarga vertical 30%.*	Test 10 + Sobrecarga 30%	 $F_x = 2000\text{kN}$ $F_z = (m_1 + m_4) \cdot g \cdot 1,3$	Incluido en [5]
6.4 Fuerza de tracción y carga vertical	Test 11	 $F_x = 1000\text{kN}$ $F_z = (m_1 + m_4) \cdot g$	
6.4 Fuerza de tracción y carga vertical + sobrecarga vertical 30%.	Test 11 + Sobrecarga del 30%	 $F_x = 1000\text{kN}$ $F_z = (m_1 + m_4) \cdot g \cdot 1,3$	Incluido en [5]
<b>6.5.1 Casos de carga de prueba para la conexión caja – bogie</b>			

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Apartado Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1	Nº Test IFM16060	Especificación de Cargas	Comentarios
6.5.1 a) la aceleración máxima del bogie en la dirección-x categoría P-I	Test 12	 $F_x = \pm 5 \cdot g \cdot m_2$ $F_z = g \cdot m_1$	
6.5.1 b) la fuerza lateral por bogie aceleración de 1 g aplicada a la masa $m_2$ del bogie, tomando el valor más elevado.	Test 13	 $F_y = \pm g \cdot m_2$ $F_z = g \cdot m_1$	

**Tabla 7: Hipótesis de Carga Estática**

\*Adicionalmente a lo requerido por la Norma UNE-EN 12663-1: 2011+A1 y por indicación del cliente final (operadora norteafricana), se han analizado los test 10 y 11 con una sobrecarga vertical del 30%. A la vista de los resultados de este informe [5], cabe indicar que esta sobrecarga produce valores de presión y alargamiento superiores a los de los ensayos de superposición de cargas solicitados por la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1, pero siempre dentro de los valores establecidos.

Estos casos abarcan todas las hipótesis solicitadas por la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

#### 5.1.1.5 Casos de Carga de fatiga

##### 5.1.1.5.1 Espectro de carga útil

Para el espectro de carga útil ha sido seleccionado el valor de  $m_3$ , que se corresponde con la carga útil normal de diseño, tal y como se solicita en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para todo el ciclo de vida útil, para la categoría P-I (Test 14).

##### 5.1.1.5.2 Carga inducida por la vía

Para la carga dinámica equivalente, en un análisis de daños acumulativos con los niveles de aceleración fijados, se ha tomado:



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

- Reacciones laterales en los topes de las balonas del bogie. Aceleración en dirección-y de  $\pm 0,15 \cdot g \cdot (m_1 + m_3)$ .
- Carga vertical normal con variaciones de  $\pm 15\%$ . Aceleración en dirección-z  $(1 \pm 0,15) \cdot g \cdot (m_1 + m_3)$ .

Estos valores de carga se corresponden con lo indicados en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1, concretamente en las tablas 16 y 17. Este se corresponde con el test 15 del informe de CALCULISTA.

#### **5.1.1.5.3 Tracción y frenado**

La carga longitudinal debida a la tracción y el frenado ha sido estimada como indica la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 ( $\pm 0,15 \cdot g \cdot (m_1 + m_3)$ ). Se corresponde con el test 16.

#### **5.1.1.5.4 Combinación de los casos de cargas de fatiga**

El daño obtenido de los casos anteriores de fatiga se ha tenido en cuenta usando el Método del Daño Acumulado (Miner) indicado en el apartado 6.8 de la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 en aquellas áreas donde el rango límite de esfuerzo cortante es superado. Test 17.

#### **5.1.1.6 Carga Aerodinámica**

Se ha considerado una presión cuasi estática de 2,5 kPa, uniformemente aplicada por toda la superficie exterior de la caja. Los resultados se reflejan en el test 20. Esta prueba es conforme a lo indicado en el apartado 6.6.5 de la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

#### **5.1.1.7 Análisis**

Los cálculos han sido llevados a cabo por parte del CALCULISTA, con el software de Cálculo de Elementos Finitos Abaqus 2016, siendo chequeados todos los casos.

Cabe destacar que en el alcance de esta verificación no se encuentra la comprobación de la introducción de las hipótesis de carga y condiciones de contorno, así como la veracidad de la salida de los cálculos usados para llevar a cabo el informe.

#### **5.1.1.7.1 Demostración de la resistencia estática y de la estabilidad estructural**

El informe de CALCULISTA pretende demostrar, mediante cálculos, que no existirá deformación permanente ni rotura de la estructura en su conjunto, o de ningún elemento individual o de las sujeciones de los equipos, en los casos prescritos de carga de diseño.

Este requisito se debe cumplir satisfaciendo el límite elástico (de acuerdo con 5.4.2 de la UNE-EN 12663-1:2011+A1). Si el diseño está limitado por la resistencia máxima a la rotura y/o la condición de

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

estabilidad (de acuerdo con 5.4.3 y/o 5.4.4 de la UNE-EN 12663-1:2011+A1), éstos también deben cumplirse.

#### **5.1.1.7.2 *Requerimiento de resistencia o utilización***

En el informe del CALCULISTA se establece que al comparar la tensión calculada con la tensión admisible, la utilización del componente (U) debe ser inferior o igual a 1 y que al verificarse sólo mediante cálculo,  $S_1$  se ha considerado 1,15 para cada caso de carga individual.

#### **5.1.1.7.3 *Resistencia a la rotura***

El CALCULISTA establece en su informe que ha introducido un margen de seguridad entre la carga máxima de diseño y la carga de rotura (factor de seguridad  $S_2= 1,5$ ), para asegurar que la utilización (U) sea mayor o igual a 1.

#### **5.1.1.7.4 *Inestabilidad***

El CALCULISTA establece en su informe que la estructura del vehículo incluye un margen de seguridad frente a una inestabilidad que pueda degenerar en un fallo general de la estructura bajo cargas excepcionales. Por tanto, la utilización debe ser inferior o igual a 1, cuando se compare la carga o la tensión calculada con la carga crítica de pandeo o la tensión crítica de pandeo.

#### **5.1.1.7.5 *Demostración de la resistencia a la fatiga***

El CALCULISTA indica que la resistencia a la fatiga de la estructura del bastidor se ha comprobado según EN 1993-1-9 (Ref. [e]), partiendo de hipótesis de que la vida requerida se logrará siempre que  $\Delta\sigma \leq 10^7$  ciclos.

Las consideraciones más relevantes que han sido tenidas en cuenta por CALCULISTA para la realización del estudio son:

- Los valores de las tensiones principales para los intervalos  $\Delta\sigma_i$  han sido calculados por elementos finitos. Las tensiones máximas y mínimas son las tensiones estructurales perpendiculares al plano de rotura esperado.
- Los valores de esfuerzo calculados deben encontrarse por debajo del límite de fatiga a los  $10^7$  ciclos. Las curvas S-N (Esfuerzo-Número de Ciclos) proporcionan un 97,7% de probabilidad de supervivencia, con un nivel de confianza del 95%, que se toma como base razonable para el diseño.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

- Para los valores obtenidos de  $\Delta\sigma$  que son mayores a los  $\Delta\sigma$ , correspondientes al límite de fatiga de  $10^7$  ciclos, el daño por fatiga no se han tenido en cuenta. Por el contrario, si  $\Delta\sigma > 10^7$ , puede producirse por fatiga y se obtiene el número máximo garantizado de ciclos  $N_i$ , para el rango de tensión dado a partir de la curva S-N correspondiente. Por lo tanto, el daño por fatiga es el resultado de aplicar una carga durante un  $\Delta\sigma$  en un número de ciclos  $n_i$  será:  $n_i/N_i$ .
- Finalmente, el daño total debido a los diferentes casos de carga aplicada se obtiene utilizando el criterio de Miner. La falla debida a la fatiga ocurre cuando  $\sum n_i / N_i \leq 1$ .

Este método empleado para la validación a fatiga se conoce como el método de daño acumulativo y se encuentra acorde con lo indicado el apartado 5.6.2.2 de la UNE-EN 12663-1:2011+A1.

#### 5.1.1.7.6 Modos naturales de vibración

Los modos naturales de vibración de la caja del vehículo en orden de marcha han sido comprobados. Según indica el informe, el modelo de elementos finitos usado para el cálculo de las frecuencias de flexión y torsión es similar al usado para la evaluación, tanto en los casos de carga estática como de fatiga. Estas se han obtenido en el test 18.

#### 5.1.1.8 Modelo de Cálculo

El CALCULISTA ha creado el modelo de elementos finitos con CATIA 3D R20, simplificando detalles que no afectan a la resistencia de los elementos. No obstante, la malla se ha generado con el software ABAQUS 2016, tomando de forma general un tamaño de elemento de 20mm, alcanzando un tamaño más pequeño en áreas más frágiles. El modelo preparado para el análisis ha sido creado en ABAQUS S3 y S4R.



**Ilustración 7: Modelo de Malla de la Caja**

Según informa el CALCULISTA la hipótesis del comportamiento elástico y deformaciones han sido consideradas para todos los cálculos.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

El modelo de elementos finitos está definido en el espacio respecto a los siguientes ejes de coordenadas:

Eje X: El eje longitudinal de la caja

Eje Z: El eje correspondiente al eje vertical con dirección positiva hacia arriba.

Eje Y: es el correspondiente a un sistema ortogonal de coordenadas.

Las características del modelo elegido son:

Nº de Elementos	837.411
Nº de Nodos	879.029

**Tabla 8: Características del Modelo**

### Condiciones de Contorno

Sin entrar en valoraciones cualitativas ni cuantitativas, se observa que se ha considerado como restricciones aplicadas al modelo la suspensión secundaria, puntos de levante y fijación del pivote, proporcionándole así un comportamiento de sólido isostático.

Estas condiciones de contorno son acordes a lo indicado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

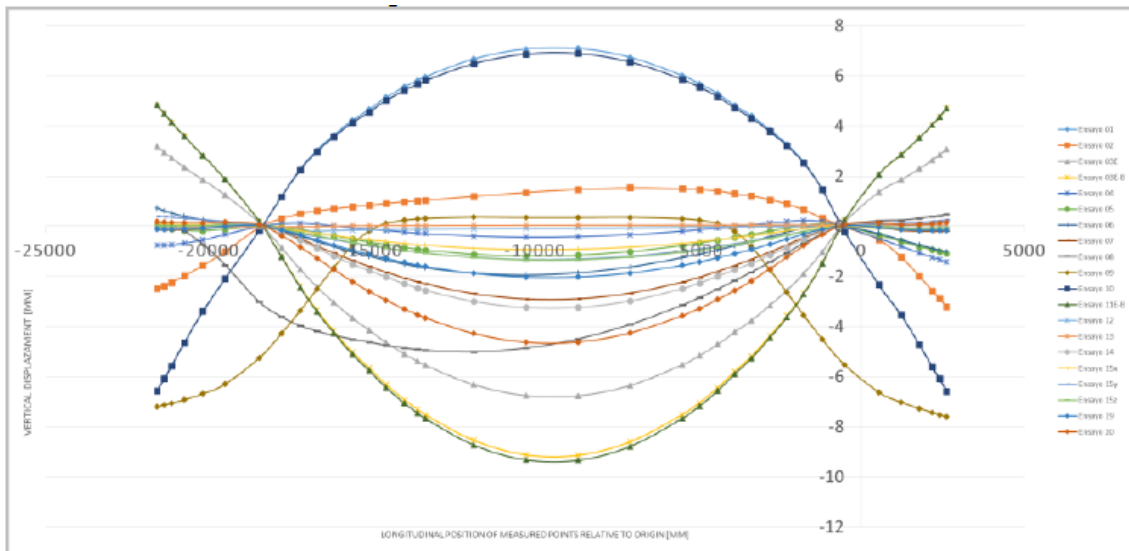
### Aplicación de la Carga

Según se indica en el informe, todas las cargas han sido aplicadas conforme a la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1, salvo la fuerza de tensión aplicada en el acoplamiento, para la que ha sido considerada la ficha UIC 566.

### **Resultado evaluación Cálculo de Estructura Caja (Referencias [3], [4] y [5]).**

A la vista de los resultados de los ensayos, realizados con las hipótesis de cargas estáticas indicadas en el apartado 0 del presente documento y recogidos en el informe de cálculo, se confirma que el diseño estructural de la caja alcanza tensiones y desplazamientos dentro de los límites admisibles, tanto en los test indicados por la norma, como en los realizados con sobrecarga vertical del 30%.

De igual forma, el máximo desplazamiento entre pivotes, correspondiente al test 11, indicado en el apartado 0 del presente de documento, es de 9,56mm. En cuanto al desplazamiento vertical máximo, se ha obtenido un valor de 14,17 mm.



**Ilustración 8: Detalle de los resultados de desplazamiento verticales en función del test efectuado.**

En base a los mostrados en todos los apartados anteriores, cabe indicar que tanto el contenido del informe del cálculo de la estructura de caja, como los resultados obtenidos en las simulaciones del programa, se ajustan a lo especificado en la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 y son, por tanto, conformes a la misma.

### 5.2 Protocolo de Pruebas

Siguiendo el plan de verificación indicado en el apartado “Metodología”, se continúa evaluando el protocolo de ensayos definido [6].

El objetivo de este documento es dar respuesta al requerimiento de los ensayos estáticos solicitados por el programa de validación indicado en los apartados 9 y 8.2.1 de la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

El primer paso es indicar las cargas:

<b>Definición</b>	<b>Símbolo EN12663</b>	<b>Masa (kg) Considerada para el ensayo</b>
Masas de diseño de la caja en orden de marcha	$m_1$	24900 (12100 ( $m_0$ ) + 7800 (interiores) + 5000 (equipamiento))
Masa de diseño de la un bogie o de los órganos de rodadura	$m_2$	5600

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Definición	Símbolo EN12663	Masa (kg) Considerada para el ensayo
Carga útil normal de diseño	$m_3$	7680
Carga útil excepcional	$m_4$	11880
Carga correspondiente al efecto dinámico	$m_5$	48594 $1,3 \cdot (m_1 + m_4)$

**Tabla 9 Cargas de Diseño consideradas para el ensayo**

Cabe indicar que el valor de la carga  $m_1$  ha sido ligeramente superior ( $\approx 1000$  kg) a lo considerado para la simulación [3], debido a que se han estimado distintos pesos para la caja y para el interiorismo. Teniendo en cuenta la escasa diferencia existente y que se ha establecido mayor carga para el ensayo que para la simulación, esta situación se considera aceptable.

Según se indica en el apartado 8.2.1 de la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1:

*“En un nuevo diseño de vehículo como mínimo, deben realizarse los siguientes ensayos para verificar, que no existe deformación permanente de la caja de vehículo o de sus elementos individuales cuando está sometida a los siguientes casos de carga de prueba:*

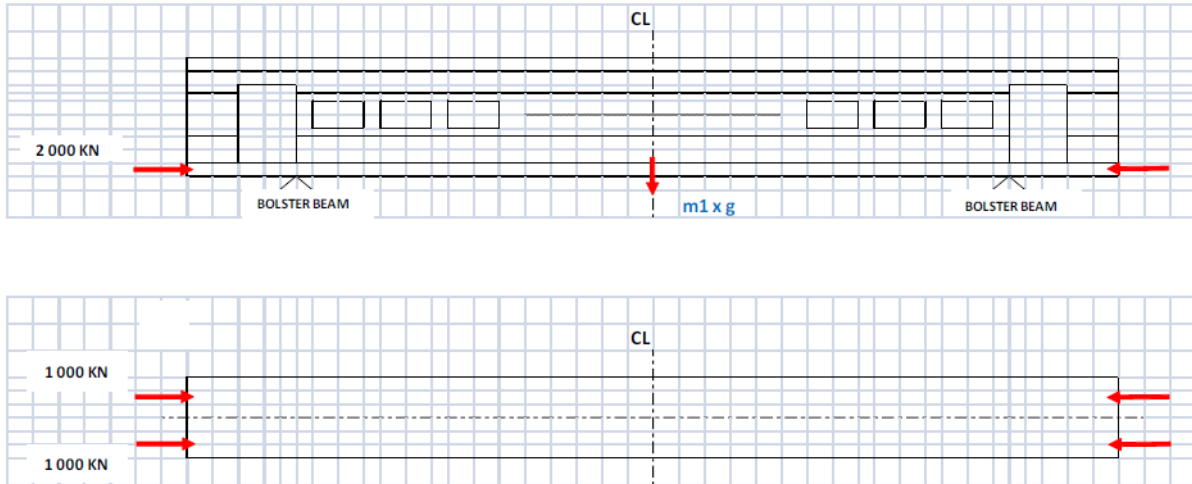
- a) cargas de compresión de acuerdo con la tabla 2;*
- b) cargas de tracción de acuerdo con la tabla 5;*
- c) cargas verticales de acuerdo con la tabla 9;*
- d) cargas de elevación de acuerdo con las tablas 10 y 11;*
- e) la combinación de casos de carga más desfavorable indicada en la tabla 12. “*

Por tanto, el objeto de este apartado será comprobar que, al menos, la realización de estos casos de carga de prueba se recoge en los apartados del protocolo. Dichos casos se detallan a continuación:

#### **5.2.1.1 Cargas de compresión de acuerdo con la tabla 2 y tabla 9 de UNE EN 12663-1.**

Este apartado se corresponde con el apartado 1.4.3 del protocolo de ensayos [7], en el que se plantea la realización del ensayo de carga a compresión de 2000kN a la altura de los topes, con la masa de diseño en orden de marcha. Esta carga se aplicará de forma escalonada (500, 1000, 1500 y 2000KN), observando las deformaciones en la flecha, diagonales, puertas y ventanas, además de la longitud de la caja.

Adicionalmente, se realizan mediciones antes y después de aplicar el esfuerzo de compresión.

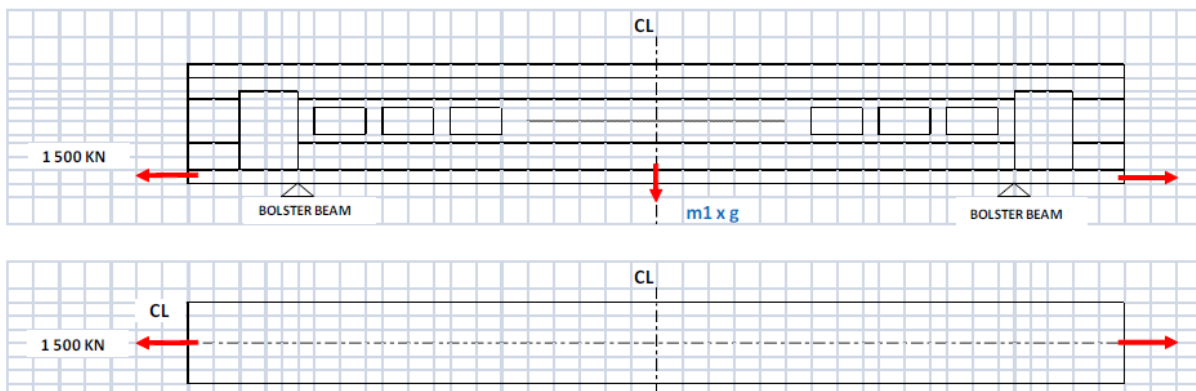


**Ilustración 9: Apartado 1.4.3 Carga de Compresión 2000 kN + m<sub>1</sub>**

La especificación del ensayo cubre con lo indicado en el apartado a) y c) del punto 8.2.1 de la UNE EN 12663-1:2011+A1.

### 5.2.1.2 Cargas de tracción de acuerdo con la tabla 5 de UNE EN 12663-1

Este apartado se corresponde con el apartado 1.4.4 del protocolo de ensayos [7], en el que se realiza el ensayo de carga a la altura de los topes, con la masa de diseño en orden de marcha. Esta carga se aplicará de forma escalonada (500, 1000 y 1500 kg), con lecturas de todos los traductores de tensión y alargamiento. Se debe realizar una medida inicial y final de ceros.

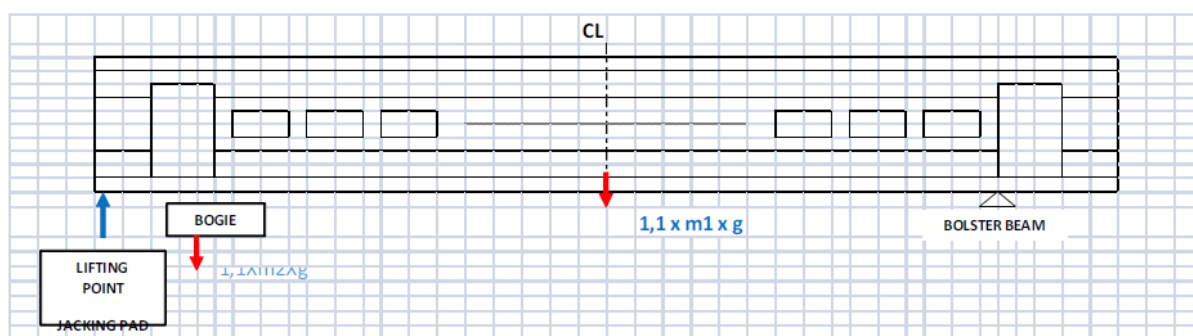


**Ilustración 10: Apartado 1.4.4 Carga de Tracción de 1500kN + m<sub>1</sub>**

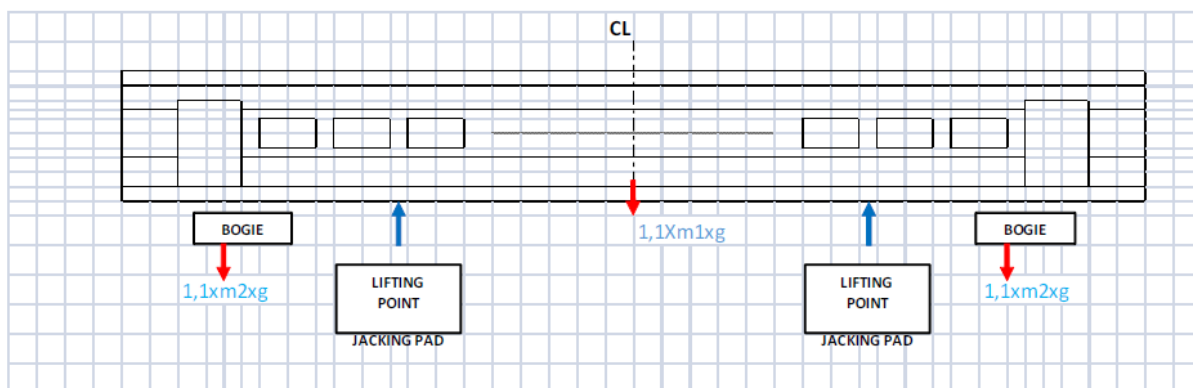
La especificación del ensayo cubre con lo indicado en el apartado b) del punto 8.2.1, en referencia a la posición de aplicación y valor de carga a considerar.

### 5.2.1.3 Cargas de elevación de acuerdo con las tablas 10 y 11 de UNE EN 12663-1

Las mediciones requeridas en estas tablas 10 y 11 son cubiertas por los ensayos de los apartados 1.4.7 y 1.4.8 del protocolo de ensayos [7], donde se lleva a cabo la elevación y sobreelevación de un extremo del vehículo y elevación del conjunto del vehículo por los puntos específicos de levante, respectivamente, empleando las condiciones de carga vertical indicadas en el apartado 6.3.2 y 6.3.3 de la norma UNE EN 12663-1:2011+A1. Se deben leer todas las galgas de presión y transductores instalados.



**Ilustración 11: Apartado 1.4.7 Elevación de Caja con bogie suspendido**



**Ilustración 12: Elevación del vehículo completo con los bogies suspendidos**

Se ha comprobado que ambos apartados cubren los requerimientos especificados para el apartado d) punto 8.2.1 de la UNE EN 12663-1:2011+A1.

### 5.2.1.4 La combinación de casos de carga más desfavorable indicada en la tabla 12.

Teniendo en cuenta lo indicado en el apartado 8.2.1 y según se indica en el apartado 6.4 de la norma UNE –EN 12663-1:2011+A1:

*“Para demostrar que la resistencia estática es satisfactoria, se debe considerar como mínimo la superposición de los casos de carga estática indicada en la tabla 12.*



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Cada una de las partes de la estructura debe cumplir los criterios del apartado 5.4 con la peor combinación de los casos de carga especificados en el apartado 6.2 y en la tabla 12.”

Tabla 12 – Superposición de casos de carga estática en la caja del vehículo

Casos de superposición	Locomotoras Categoría L	Material rodante de viajeros Categorías P-I, P-II, P-III, P-IV, P-V	Carga en newtons	
			Vagones de mercancías Categorías F-I, F-II	
Fuerza de compresión y carga vertical	–	Tabla 2 y $g \times (m_1 + m_4)$	Tabla 2 y $g \times (m_1 + m_3)$	
			Tabla 3 y $g \times (m_1 + m_3)$	
Fuerza de tracción y carga vertical	–	Tabla 5 y $g \times (m_1 + m_4)$	Tabla 5 y $g \times (m_1 + m_3)$	

Sin embargo, el protocolo de ensayos en sus apartados 1.4.2.1 y 1.4.2.2, respectivamente, plantea la superposición de estos casos pero en vez de utilizar como carga vertical, la carga útil de diseño en orden de marcha más la útil excepcional se ha requerido el uso de la carga correspondiente al efecto dinámico, que equivale a la requerida por la norma mayorada un 30%.

En principio, esta situación se considera aceptable ya que es más desfavorable que la indicada por la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 tal y como se ha podido comprobar en el informe [5].

Los esquemas de estos ensayos se muestran a continuación:

#### 5.2.1.4.1 Carga de Compresión de 2000kN aplicada en topes más carga máxima

Las mediciones requeridas para el caso de superposición de compresión indicado en la tabla 12 son cubiertas por el ensayo del apartado 1.4.2.1. Las cargas de compresión se aplicaran en los escalones de 500, 1000, 1500 y 2000kN.

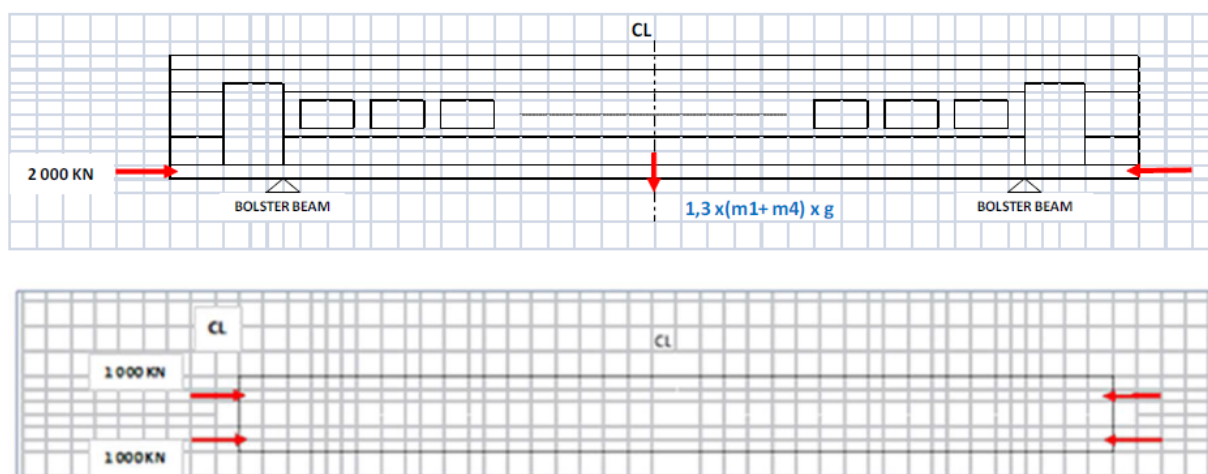
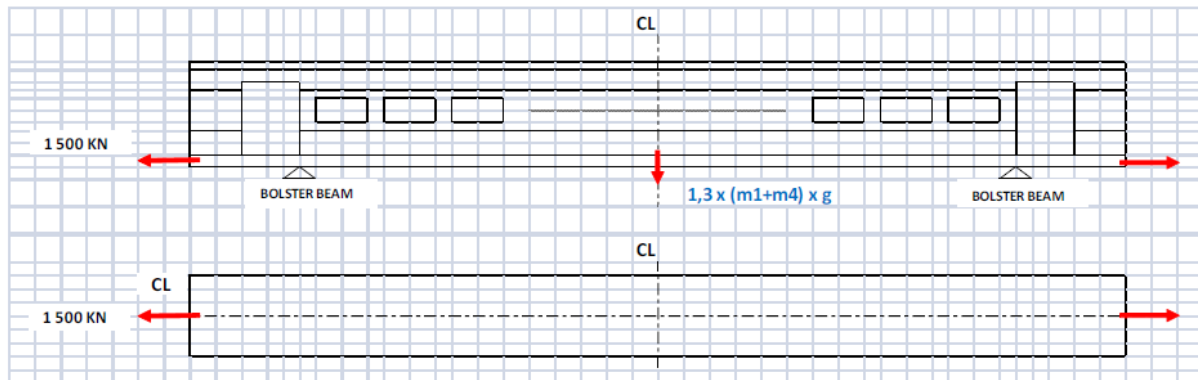


Ilustración 13: Superposición de fuerza de compresión de 2000kN + carga vertical ms en los topes.

#### 5.2.1.4.2 Carga de Tracción de 1500kN aplicada en el gancho más carga máxima.

Las mediciones requeridas para el caso de superposición de tracción indicado en la tabla 12 son cubiertas por el ensayo del apartado 1.4.2.2. Las cargas de tracción se aplicaran en los escalones de 500, 1000 y 1500kN.



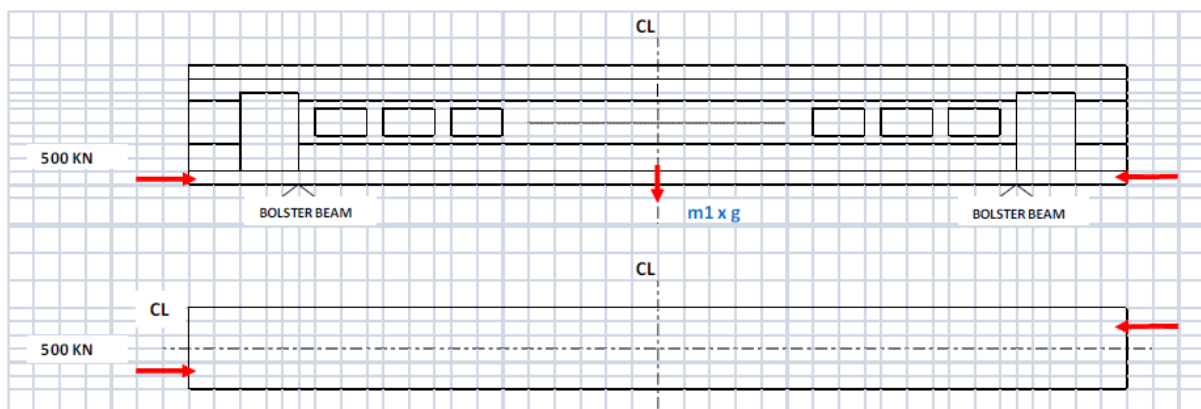
**Ilustración 14: Superposición de fuerza de tracción de 1500kN + carga vertical  $m_5$  en los topes.**

#### 5.2.1.5 Ensayos adicionales

Complementariamente a los ensayos requeridos por el plan de validación solicitado en la norma, INGENIERIA plantea la realización de los siguientes ensayos:

##### 5.2.1.5.1 Carga de compresión de 500kN aplicada diagonalmente a la altura de topes.

El ensayo recogido en el apartado 1.4.5 del protocolo de ensayos establece la comprobación de la fuerza de compresión aplicada diagonalmente en los topes indicados de 500kN.



**Ilustración 15: Carga de compresión de 500kN aplicada diagonalmente a la altura de los topes.**

Además, la carga vertical considerada es la correspondiente a la masa de diseño de la caja en orden de marcha,  $m_1$ .

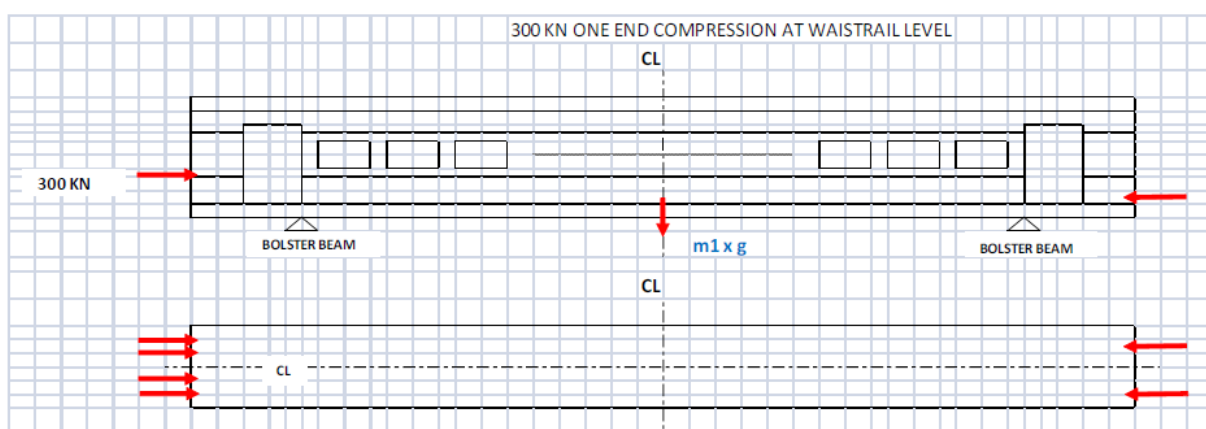
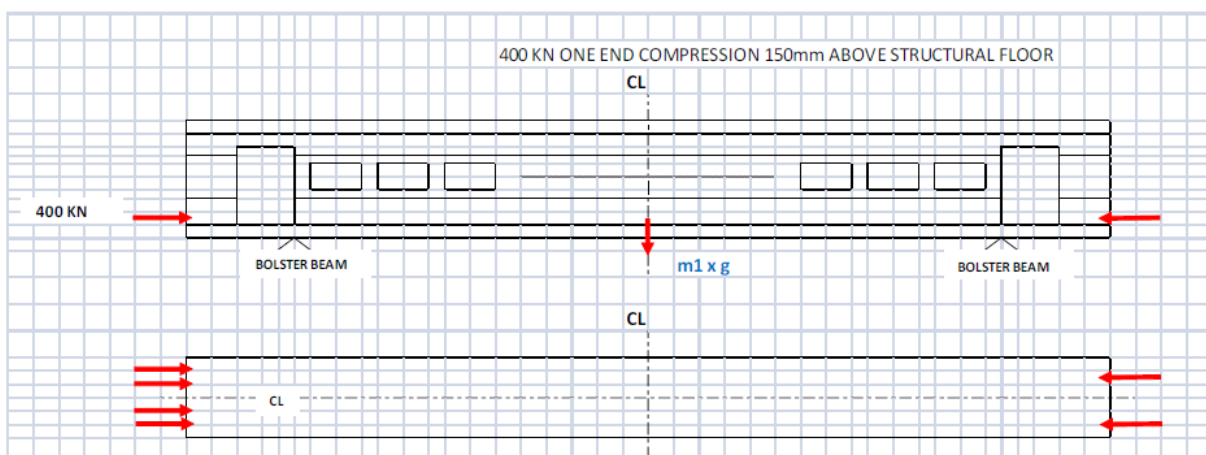
Esta situación se corresponde con lo especificado en la Tabla 4 del apartado 6.2.2 de la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para material rodante de viajeros categoría P-I.

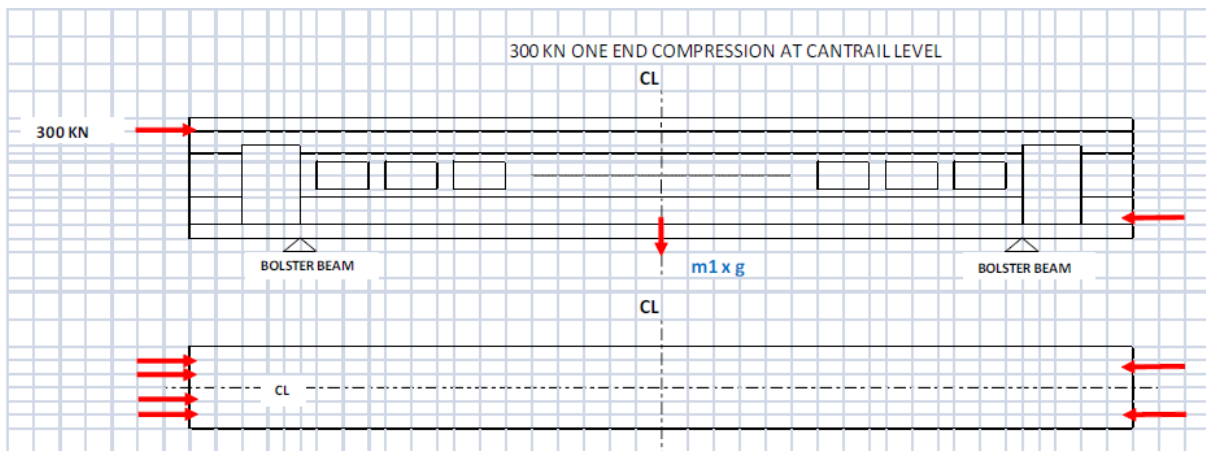
### 5.2.1.5.2 Fuerza de compresión en los testeros del vehículo.

Las fuerzas de compresión se aplicarán a tres niveles diferentes en un testero de la caja inmovilizando la caja a la altura de los topes en el testero contrario con carga vertical  $m_1$ . Este ensayo se corresponde con el apartado 6.2.3 de la Norma UNE-EN 12663-1:2011. Las cargas de compresión en el testero se aplican de la siguiente manera:

- 400 kN aplicados a 150 mm por encima del piso de la caja en el testero de cabeza.
- 300 kN aplicados a nivel del larguero de refuerzo (parte inferior de la ventana)
- 300 kN aplicados a nivel del larguero de techo.

Esta situación se esquematiza en los siguientes gráficos:





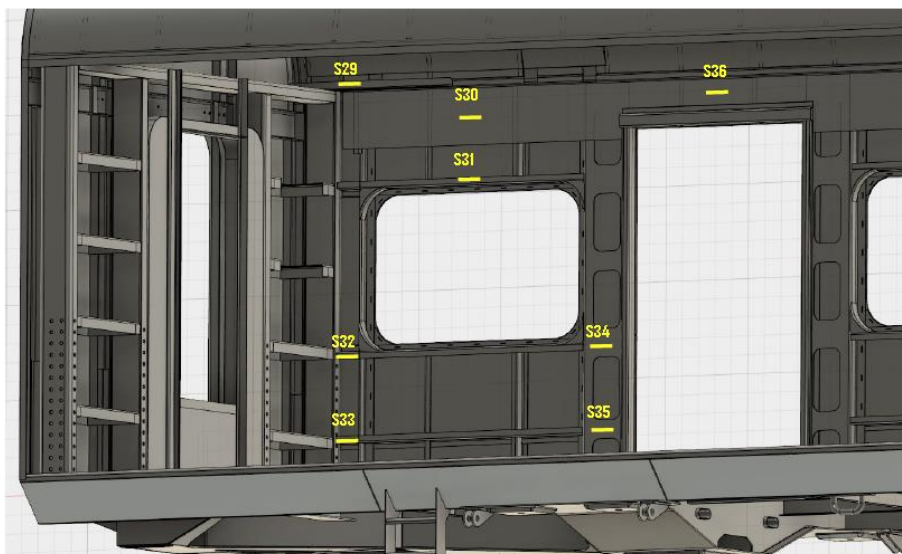
**Ilustración 16: Fuerza de compresión en los testeros del vehículo.**

### 5.2.1.6 Posicionamiento de galgas.

En los apartados 1.6 al 1.9 se especifican cómo se van a llevar a cabo las mediciones de las singularidades:

- Variaciones en las diagonales de puertas y ventanas
- Variaciones de flecha a lo largo de toda la caja.
- Variación de la longitud de la caja.
- Variación del desplazamiento en traviesa central de la caja.

En el apartado 2 se muestran esquemas de la colocación de un total de 222 galgas con el objeto de obtener estas variaciones. A modo de ejemplo se muestran las siguientes:



**Ilustración 17: Localización galgas extensiométricas en interior caja lado 1.**

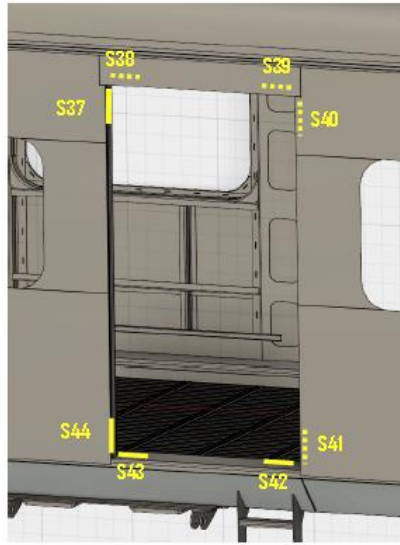


Ilustración 18: Localización galgas extensiométricas en exterior caja lado 1.

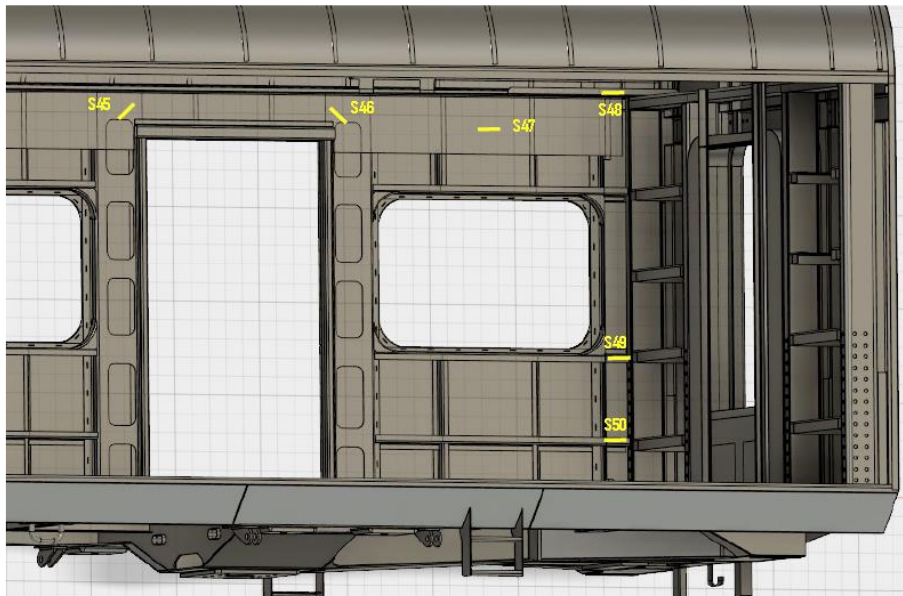
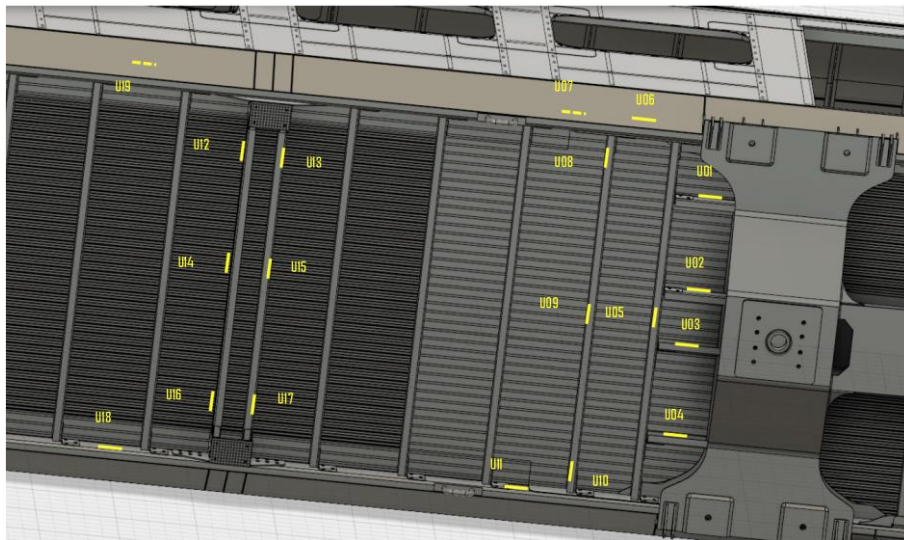


Ilustración 19: Localización galgas extensiométricas en interior caja lado 2.



**Ilustración 20: Localización galgas extensiométricas bajo bastidor de caja.**

La colocación de los distintos traductores y sistemas de medición se consideran acordes a la necesidades especificadas por el protocolo, en función de las zonas más cargadas de cálculo estructural y la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

#### **5.2.1.7 Evaluación protocolo del Ensayo Estático Caja Ref [7].**

A la vista de los apartados anteriores cabe indicar que el protocolo de pruebas especificado para la verificación del ensayo extensiométrico de esta caja Ref [7] es acorde a lo requerido por la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 y por tanto conforme a dicha norma.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

### 5.3 *Asistencia a Ensayos*

#### 5.3.1 *Pesaje de la Caja*

Como parte de la validación de la caja se ha considerado la asistencia por parte del VALIDADOR a los ensayos de pesaje de la caja y ensayo de test de carga puesto que el laboratorio de ensayos escogido para llevar a cabo el protocolo no dispone de la acreditación correspondiente como laboratorio conforme a la norma Norma ISO 17025 – Requisitos para laboratorios de ensayo y calibración por un organismo competente [f].

El día 11 de diciembre de 2017 fue llevada a cabo el pesaje de la caja. Para llevar a cabo esta medición se dispusieron 4 células de carga calibradas colocando una en cada extremo de la caja.

Una vez comprobados los certificados de calibración de las células de carga, se realizaron 3 medidas obteniéndose los siguientes valores:

Medida 1: 12700 kg.

Medida 2: 12800 kg.

Medida 3: 12700 kg.

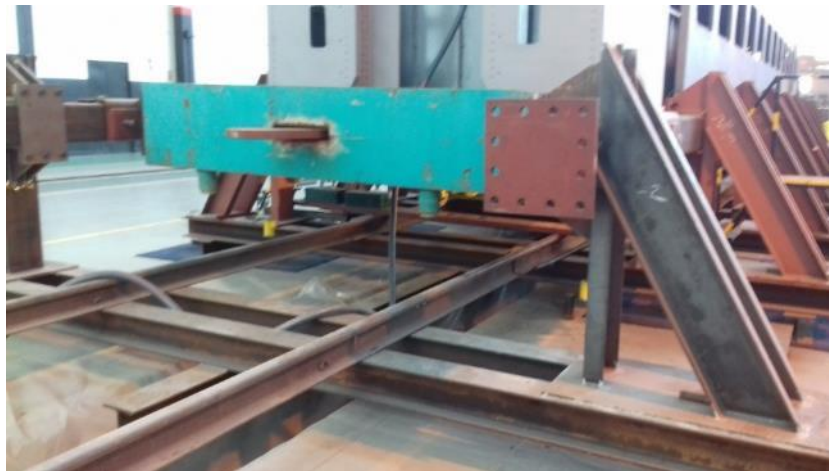
Por tanto, el peso de la caja considerado para el informe de cálculo [3] es similar al obtenido en el pesaje. Sin embargo, el estimado en el protocolo de ensayos es ligeramente inferior. Este valor no se considera relevante además de que esta diferencia se termina absorbiendo y superando en los ensayos con una estimación del peso del interiorismo superior (10596 kg frente a 12800kg).

#### 5.3.2 *Ensayo de Carga*

Durante las semanas 5 y 6 del año 2018, se ha supervisado los ensayos estáticos de caja en las instalaciones de LABORATORIO. En estas instalaciones, LABORATORIO dispone de un banco de pruebas para efectuar dicho ensayo y que fue especialmente adaptado para la ocasión debido a la longitud excepcional de la caja.

Cabe indicar que durante la visita no se observó marca o etiqueta física alguna que identifique la estructura de la caja a evaluar. Se indica a COORDINADOR que esta situación debería tenerse en cuenta puesto que en el caso de que FABRICANTE continúe fabricando esta caja sería conveniente que fuera posible la identificación de la misma.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--



**Ilustración 21: Banco de Pruebas LABORATORIO.**

El ENSAYISTA junto con la INGENIERIA ha colocado las galgas extensiométricas, los transductores de desplazamiento lineal, etc. en función de las posiciones definidas en el protocolo de ensayos. El ENSAYISTA también ha proporcionado la unidad de adquisición y los acondicionadores de datos, células de carga, etc. y cuyas propiedades vienen recogidas en el informe de ensayos [8].

Para simular la carga vertical se han colocado tableros y piscinas en el interior que se llenan o vacían de agua con una bomba en función de la carga a simular. El peso de estos elementos rondan los 2100kg.

La INGENIERIA ha incorporado este peso como parte de la carga de la estructura de caja, incrementando por tanto a  $m_1$  (masa de diseño de la caja del vehículo en orden de marcha) como al resto de las masas consideradas. Por tanto, las cargas con las que se efectuó finalmente el ensayo fueron las siguientes:

<b>Definición</b>	<b>Símbolo EN12663</b>	<b>Masa (kg) Considerada para el ensayo</b>
Masas de diseño de la caja en orden de marcha	$m_1$	27000 (14200 ( $m_0$ ) + 7800 (interiores) + 5000 (equipamiento))
Masa de diseño de la un bogie o de los órganos de rodadura	$m_2$	5600
Carga útil normal de diseño	$m_3$	7680
Carga útil excepcional	$m_4$	11880
Carga correspondiente al efecto dinámico	$m_5$	50540 $1,3 \cdot (m_1 + m_4)$

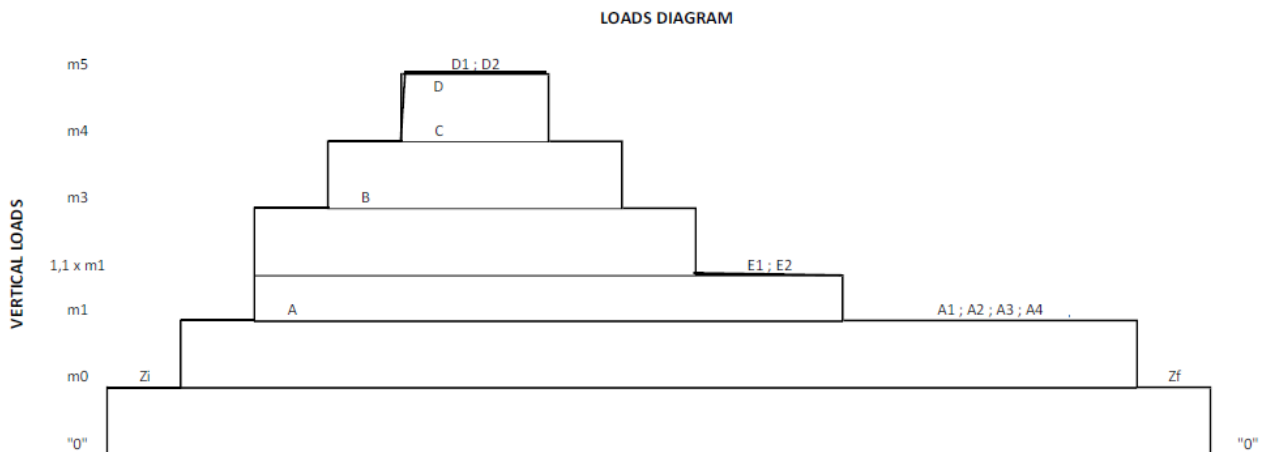
**Tabla 10 Cargas de Diseño utilizadas para el ensayo**



MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

A la vista de los resultados de la simulación mostrada en el informe de cálculo [4] esta situación se considera más desfavorable por lo que esta situación se puede considerar aceptable.

En base a la optimización de las cargas – descargas de agua de las piscinas se sigue el diagrama de las cargas – ensayos que fue seguido durante los ensayos que se muestra a continuación:



### Cargas Verticales

$m_0$  – masa de la estructura de caja

$m_1$  – masa de la caja en orden de marcha

$m_3$  – carga útil normal de diseño

$m_4$  – carga útil excepcional

$m_5$  – carga máxima de operación

### Ensayos

$D_1$  – Compresión de 2000kN en topes

$D_2$  – Tracción de 1500kN en zona del gancho

$E_1$  – Elevación de un extremo con bogie suspendido

$E_2$  – Elevación del vehículo con bogies suspendidos

$A_1$  – Compresión de 2000kN en topes

$A_2$  – Tracción de 1500kN en zona del gancho

$A_3$  – Compresión de 500kN diagonalmente en topes

$A_4$  – Carga compresión en tres puntos de la zona de testero

$Z_i, Z_f$  – Mediciones al Inicio y final de los test

### **Ilustración 22: Detalle esquemático de los ensayos-cargas indicados en el protocolo.**

Las actividades realizadas para la elaboración de este trabajo durante el ensayo fueron las siguientes:

- Comprobación de la ubicación de las galgas y los distintos elementos de medición se encuentran colocados en la posición indicada en el protocolo del ensayo de carga [7].

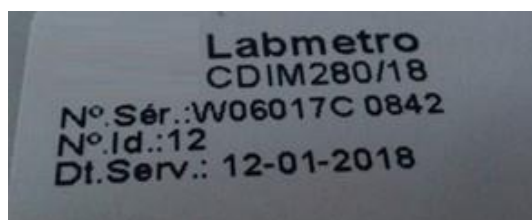
MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Cabe indicar que debido a las dificultades de accesibilidad a la caja algunas de ellas no pudieron ser comprobadas. No obstante, no se detectó incidencia alguna en las galgas que fueron revisadas.



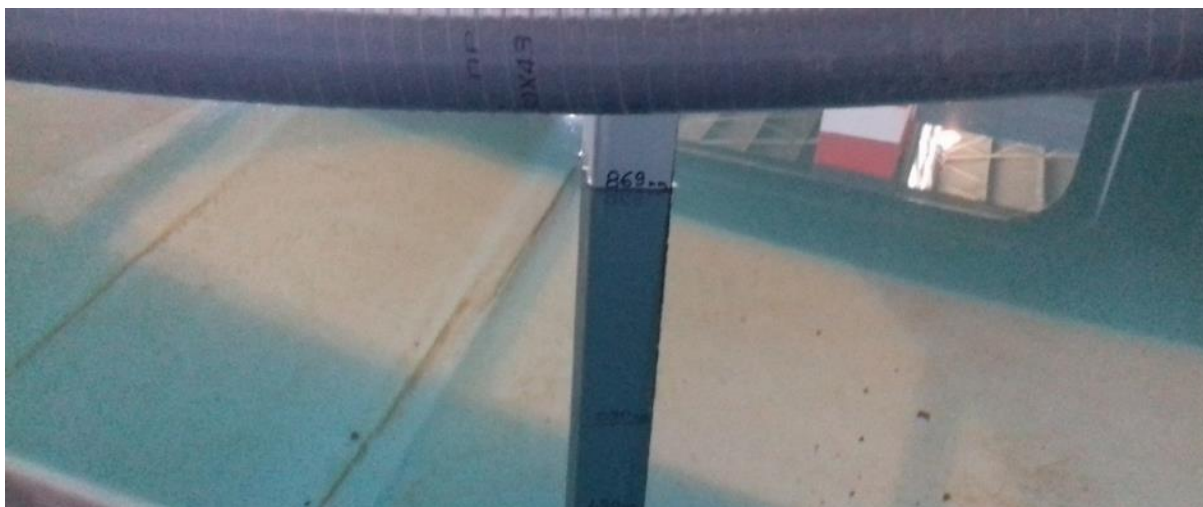
**Ilustración 23: Detalle de la colocación de las LVDT en la puerta exterior izquierda junto baño.**

- Comprobación de la calibración de las galgas, células de carga y resto de equipos de medición. Antes de comenzar los ensayos se comprobó que todos los equipos sujetos a calibración, que se iban a utilizar para las mediciones, disponían de sus correspondientes certificados y éstos se encontraban en vigor.



**Ilustración 24: Detalle fecha de calibración del LVDT W06017C 0842.**

- Verificación de la carga vertical. Durante los ensayos se verificó el nivel de agua en las piscinas era el correspondiente a la carga a simular a lo requerido en el protocolo para cada ensayo.



**Ilustración 25: Verificación del nivel de agua en la piscina carga ms.**

- Verificación del registro de los datos. En la supervisión de la adquisición de datos y en las mediciones llevadas a cabo se realizaba una revisión previa de los registros obtenidos .

Durante dicha revisión se observó, entre otras anomalías, que el 6,3% (14 de 222) de los sensores instalados no se obtuvieron valores acordes a las tensiones y deformaciones correspondientes. En la siguiente tabla donde se recoge el seguimiento del avance de los ensayos así como un breve resumen de las incidencias acontecidas:

Day	Protocol	Estimated Time (h)	Time	Description	Start	End	Time	Comments
30/01/2018	1.3	2	9	Preparation - Initial zero(m0) - Data collection (228)	10:30	13:00	+30min	Se recogen datos de 3 mediciones ( $m_0, m_1, m_2$ ) y se observan que existen múltiples galgas (sobre 8%) con valores dudosos. ISQ estudiará mañana la afección de esas medidas al resultado del ensayo.
	1.4.1.	4		Water load to M1 - Data Collection (228)	13:20	18:20	+1 hora	
	1.4.1.	3		Water load to M3 - Data Collection (228)	18:20	21:40	+20min	
31/01/2018	1.4.1.	3	12,5	Water load to M4 - Data Collection (228)	9:00	12:30	+30min	Se observan varias galgas que dan valores no correctos que no se pueden cambiar. ISQ justificará que la ausencia de estas medidas no son determinantes para validar el ensayo. Se demora el ensayo de descompresión para el día siguiente. Se deja la caja con carga máxima. Aplicación de Cargas de Compresión: 47,9 Tn / 91,8 Tn / 168,3 Tn / 205 Tn
	1.4.1.	4		Water load to M5 - Data Collection (228)	12:30	18:30	+30min	
	1.4.2.1	0,5		Compresion 50 Tn - Data Collection (60)	18:30	18:45	-15min	
	1.4.2.1	0,5		Compresion 100 Tn - Data Collection (60)	18:45	19:00	-15min	
	1.4.2.1	0,5		Compresion 150 Tn - Data Collection (60)	19:00	19:25	-5min	
	1.4.2.1	2		Compresion 200 Tn - Data Collection (228)	19:25	0:10	+3,5h	
	1.4.2.1	2		Descompresion - Data Collection (228)	10:25	13:00	+1d	
01/02/2018	1.4.2.2	1	11	Preparation bench test for traction	14:00	15:00	0min	Medidas de tracción 50%. Se intentará retirar agua para aligerar la carga y se realizarán las medidas de de tracción mañana. ISQ indica que los datos que dispone para la tracción son suficientes y pasamos a los levantes.
	1.4.2.2	0,5		Traction 50 Tn . Data Collection (60)	15:00	15:15	-15 min	
	1.4.2.2	0,5		Traction 100 Tn . Data Collection (60)	15:15	15:30	-15min	
	1.4.2.2	2		Traction 150 Tn . Data Collection (228)	15:30	18:15	+45min	
	1.4.2.2	2		Destraction - Data Collection (228)	18:15	20:08	--	
02/02/2018	1.4.7	2	7	Lifting at one end - Data Collection (228)	8:30			Se procede a la descarga del agua por gravedad ya que bomba rota. Adicionalmente, se intentará realizar el apartado 6.3.3 de la norma que no estaba previsto en los ensayos. Posiblemente a primera hora.
	1.4.7/1.4.8	2	10,25	Unlifting at one end - Data Collection (228)	8:30	11:40	3:10	Se utiliza el mismo cero para el ensayo final del 1.4.7 y el cero inicial del ensayo 1.4.8 Ensayo de Lifting alineación tiene una diferencia de +/- 2mm Ensayo de Lifting con displaced support desalineación es de 11mm
1.4.8	2,5	Lifting at two sides - Data Collection (228)		11:40	13:20	1:40		
1.4.8	2,5	Lifting and jacking with displaced support		13:20	16:00	2:40		
1.4.8	2,25	Unlifting at two sides - Data Collection (228)		16:00	--	--		
1.4.4	1	Water unload to M1 and preparation of test bay		--	--	--		
06/02/2018	1.4.4.	2	12,49	Water unload to M1 - Data collection (228)	8:30	10:50	2:20	Nivel del agua en los tanques: 306mm Aplicación de Cargas de Tracción: 50,2 Tn / 105 Tn / 151 Tn
	1.4.4.	0,25		Traction 50 Tn . Data Collection (60)	10:50	10:55	0:05	
	1.4.4.	0,25		Traction 100 Tn . Data Collection (60)	10:55	11:00	0:05	
	1.4.4.	2		Traction 150 Tn . Data Collection (228)	11:00	13:20	2:20	
	1.4.4.	2		Destraction - Data Collection (228)	13:20	--	--	
	1.4.3	3		Preparation of test bay	--	--	--	
	1.4.3.	0,33		Compresion 50 Tn - Data Collection (60)	--	--	--	
	1.4.3.	0,33		Compresion 100 Tn - Data Collection (60)	--	--	--	
	1.4.3.	0,33		Compresion 150 Tn - Data Collection (60)	--	--	--	
	1.4.3.	2		Compresion 200 Tn - Data Collection (228)	--	--	--	
07/02/2018	1.4.3.	2	13	Descompresion - Data Collection (228)	8:30	11:30	3:00	ISQ hizo el cambio del extensómetro E15 antes del ensayo de compresión a 3 niveles Compresion 40 Tn at floor - Aplicación de Cargas de Compresión: 20,7 Tn (side 1) + 18,3 Tn (side 2) = 39,9 Tn ≈ 40 Tn
	1.4.6.	4		Preparation bench test for compression 3 levels	9:00	13:00	4:00	
	1.4.6.	2,5		Compresion 40 Tn floor- Data Collection (228)	13:00	--	--	
	1.4.6.	2		Descompresion - Data Collection (228)	--	--	--	
	1.4.6.	0,5		Compresion 15 Tn - Data Collection (60)	--	--	--	
08/02/2018	1.4.6.	2	12	Compresion 30 Tn top- Data Collection (228)	--	--	--	Compresion 30 Tn at middle - Aplicación de Cargas de Compresión: 18,6 Tn (side 1) + 16,3 Tn (side 2) = 34,9 Tn Compresion 50 Tn Diagonal - Aplicación de Cargas de Compresión: 10,6 Tn / 15,8 Tn / 25 Tn / 40 Tn / 50,4 Tn
	1.4.6.	0,5		Compresion 15 Tn - Data Collection (60)	10:50	11:00	0:10	
	1.4.6.	2		Compresion 30 Tn middle- Data Collection (228)	11:00	12:40	1:40	
	1.4.6.	2		Descompresion - Data Collection (228)	12:40	16:55	4:15	
	1.4.5	3		Preparation of test bay	13:00	17:00	4:00	
	1.4.5	0,25		Compresion 15 Tn Diagonal - Data collection (60)	17:00	17:30	0:30	
	1.4.5	0,25		Compresion 30 Tn Diagonal - Data collection (60)	17:30	18:00	0:30	
09/02/2018	1.4.5	2	6	Compresion 50 Tn Diagonal - Data collection (228)	18:00	--	--	
	1.3	2		Descompresion - Data Collection (228)	8:30	11:50	3:20	
	1.3	2		Unload to M0	11:50	13:10	1:20	
	1.3	2		Data Colection (228)	14:50	17:20	2:30	

Ilustración 26: Hoja de Seguimiento de los ensayos.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

### 5.3.3 Evaluación de los ensayos

Durante la supervisión de los ensayos que a pesar de las anomalías y/o deficiencias indicadas en los apartados anteriores los ensayos han sido realizados conforme al protocolo indicado Ref [7] y por tanto conformes a la Norma UNE-EN 12363-1:2011+A1.

### 5.4 Revisión del informe de ensayos.

La INGENIERIA ha emitido en informe correspondiente al ensayo extensiométrico de la caja de viajeros construida por FABRICANTE para un operadora de un país norteafricano.

Durante los ensayos no se pudo verificar que los diploris que se utilizaron para la simulación de los bogies en los levantamientos tuvieran un peso acorde a lo indicado en la especificación [1], es decir, 5600kg. Posteriormente, el COORDINADOR facilitó a través de correo electrónico las evidencias de la realización del pesaje en el que se puede observar que el peso de los diploris es de 6000kg, aproximadamente. Esta situación se considera aceptable puesto que este caso es más desfavorable.

#### PESAGEM DE UM DIPLORI

Componente	Célula Pesagem	Leituras (kN)				Total(kN)	Total (ton)	OBS
		A	B	C	D			
Diploris	1	0	12,2	25,9	20,6	58,70	5,99	
	2	0	11,4	26,7	22,5	60,60	6,18	
<b>Média</b>							<b>6,09</b>	

#### Ilustración 27: Registro de pesaje de los diploris.

Según se ha podido observar en los resultados del informe de ensayos:

- El valor máximo de tensión obtenido de la galga extensiométrica U7 ha sido de 251 MPa obtenido con un coeficiente  $U < 1$  y factor de seguridad  $S = 1,4$  ampliamente inferior al máximo considerado (ver Tabla 2 del TFM). Además el factor de seguridad que considera la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para el límite elástico es de 1,15 inferior al considerado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 y por tanto cubierto por el valor obtenido durante las pruebas.

Por tanto, en todos los casos, las tensiones residuales se han mantenido por debajo de los límites establecidos tras la liberación de cargas, con lo que se considera que no existe deformación permanente bajo ninguna hipótesis de carga.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

- En relación a los resultados no acordes a lo esperado que fueron observados durante las pruebas (ver ilustración 16), se ha realizado un análisis detallado de los mismos del cual se han podido extraer las siguientes conclusiones:
  - Existen fallos sistemáticos en las galgas con número S08; E17; E23; R08; D06; D36; D40; D64; D67; U08; U32 and U33.
  - Las otras galgas presentan errores por daños ocasionales en algunas pruebas, sin embargo en las otras presentan un valor correcto de acuerdo con lo esperado.
  - Las galgas E8 y E21 no pudieron ser reemplazadas puesto que la estructura secundaria de la puerta de intercomunicación se encontraba ya montada en la caja.
  - La galga E23 fue cambiada inmediatamente después de realizar el ensayo de levante con los dos bogies, lo que implica que solo se deben tener en cuenta sus medidas para las pruebas de compresión y tracción con  $m_1$ , compresiones en los topes en diagonal y la del testero.

Si bien esta situación no es conforme a lo indicado en el protocolo de ensayos puesto que requiere de su comprobación, el no disponer de estas mediciones no afecta al resultado final del ensayo.

Por tanto, el resultado de las mediciones ha puesto de manifiesto que las tensiones residuales máximas en todos los casos e hipótesis de cargas ensayados es conforme a lo indicado en la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

## 6. CONCLUSIONES

La realización de este TFM recoge los resultados de la revisión del Cálculo Estructural para la estructura existente de una caja de viajeros fabricada para un operadora de un país norteafricano. También se recogen los resultados de la revisión del protocolo, su ejecución e informe de los ensayos realizados conforme a lo dispuesto en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

De la revisión de los documentos y de la asistencia a ensayos se cree conveniente destacar que:

- Las diferencias en la estimación de cargas en los diferentes ensayos y documentos y a la vista de los resultados de los mismos no son relevantes para la validación de la caja conforme a la norma UNE –EN 12663-1:2011+A1.
- La consideración de la carga correspondiente al efecto dinámico ( $m_5=1,3 \cdot (m_1+m_4)$ ) en vez de la carga útil excepcional ( $m_1+m_4$ ) que es requerida en la Tabla 12 de la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para los ensayos de superposición de carga es justificada en el informe de simulación [5] ya que al ser más desfavorable la discrepancia quedaría validada.
- Los valores no disponibles debido a los errores acontecidos en las galgas que se dañaron durante los ensayos no se han considerado relevantes para el resultado final del ensayo ya que estas mediciones no afectan a las zonas de máxima tensión de la caja.
- Tanto el contenido del informe del cálculo de la estructura de caja como los resultados obtenidos en las simulaciones se ajusta a lo especificado en la Norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.
- El protocolo de pruebas especificado para efectuar el ensayo extensiométrico y el pesaje de la caja se consideran acordes a lo indicado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 ya que cubre el mínimo de los ensayos requeridos por ella para este tipo de caja (P-I).
- El valor máximo de tensión obtenido de la galga extensiométrica U7 ha sido de 251 MPa obtenido con un coeficiente  $U < 1$  y factor de seguridad  $S = 1,4$  ampliamente inferior al máximo considerado (ver Tabla 2 del TFM). Además, el factor de seguridad que considera la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 para el límite elástico es de 1,15 inferior al considerado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1 y por tanto cubierto por el valor obtenido durante las pruebas.
- En todos los casos, las tensiones residuales obtenidas en los ensayos estáticos en banco se han mantenido por debajo de los límites establecidos tras la liberación de cargas, con lo que se considera que no existe deformación permanente bajo ninguna hipótesis de carga.

MÁSTER EN SISTEMAS FERROVIARIOS – TRABAJO FIN DE MÁSTER		PROCESO DE VALIDACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE – EN 12663-1:2011 + A1 EN LA ESTRUCTURA DE UNA CAJA DE VIAJEROS
---	---	--

Por tanto, teniendo en cuenta todas estas consideraciones junto al resto que se encuentran recogidas en el TFM se ha podido contrastar que el caso particular es conforme a las disposiciones establecidas en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1.

## 7. APORTACIONES

Se ha puesto de manifiesto en los apartados anteriores que la aportación principal del TFM ha sido la de establecer las etapas de verificación que conlleva un proceso de validación de estructura de una caja de viajeros conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1:2014.

Adicionalmente, se pueden considerar también las siguientes:

- Se ha verificado que en el diseño estructural de la caja se han tenido en cuenta las indicaciones de la citada norma y que se han realizado los ensayos necesarios, que permiten respaldar los resultados obtenidos en los cálculos realizados durante la etapa de diseño.
- Se han expuesto todos los parámetros y acciones a verificar en cada una de las fases de los ensayos y/o estudios que se deben validar y analizar en base a las indicaciones de la normativa de aplicación expuesta.
- Se ha determinado que los estudios y/o ensayos llevados a cabo por cada una de las entidades participantes durante el proceso de validación de la estructura de caja se han ejecutado de forma acorde a dicha normativa.
- Este proceso de validación llevado a cabo como tercera parte permite dar una garantía adicional del cumplimiento del estándar solicitado, en este caso la norma UNE-EN 12663-1:2011+A1:2014.
- Gracias a todo lo anterior, este TFM permite disponer de una referencia detallada de un proceso de validación de una estructura de caja para llevar a cabo trabajos similares de una forma más óptima.