



**Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROYECTO FINAL DE CARRERA

**TÍTULO: Ingeniería Inversa del TALGO-I**

**AUTORES: Mario Aragón Moya**

**Xavier García Torras**

**TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial, esp. Mecánica**

**DIRECTOR: Juan Jose Aliau Pons**

**DEPARTAMENTO: Expressió Gràfica a l'Enginyeria**

**FECHA: 23 de Junio de 2011**

**TÍTULO: Ingeniería Inversa del TALGO-I**

**APELLIDOS: Aragón Moya**

**NOMBRE: Mario**

**TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial**

**ESPECIALIDAD: Mecánica**

**PLAN: 95**

**DIRECTOR: Juan Jose Aliau Pons**

**DEPARTAMENTO: Expressió Gràfica a l'Enginyeria**

**QUALIFICACIÓN DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENTE**

**SECRETARIO**

**VOCAL**

**FECHA DE LECTURA:**

**Este Proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales:  Sí  No**

## PROYECTO FINAL DE CARRERA

### RESUMEN (máximo 50 líneas)

Esta iniciativa nace de la voluntad de Talgo y Renfe por recuperar el proyecto innovador del Talgo I, ideado por el Sr. Alejandro Goicoechea Omar. Actualmente, apenas se conservan documentos sobre el <<tren oruga>>, nombre por el que era conocido en la época, y cada vez son menos los testimonios a los que consultar. Algunas fotografías y artículos son el único material de archivo existente sobre un proyecto que revolucionó la historia del ferrocarril e hizo evolucionar al tren hasta llegar al que conocemos hoy en día.

En base a la poca información existente, y a partir de una ingeniería inversa sobre el Talgo I, se ha diseñado pieza a pieza todo el conjunto de cada uno de los cuatro vagones, a partir de técnicas de dibujo como la perspectiva cónica aplicada a las imágenes existentes y las medidas conocidas de los vagones. Ya modelada cada pieza por separado, se ha hecho un estudio para comprobar si las geometrías aplicadas eran correctas dependiendo de si en la época se hubieran podido fabricar y con qué se habrían construido.

Una vez obtenido el diseño final, se ha estudiado su posible proceso de fabricación para un correcto montaje. Cabe que destacar que se han tenido en cuenta las técnicas y recursos de la época en que fue construido el Talgo I.

Con todas las estructuras modeladas en tres dimensiones, con CATIA V5R18, se ha puesto a prueba su resistencia mediante el módulo de simulación de elementos finitos (FEM), primero con el peso único del vagón, y seguidamente añadiendo el peso de los viajeros. En las simulaciones se ha podido observar como la estructura con el simple peso del vagón estaba al borde del colapso, ya que las tensiones de Von Mises se acercaban al límite elástico del material utilizado (AISI 1015). Al añadir el peso de los viajeros las tensiones han sobrepasado el límite elástico. Por lo tanto, como solución se ha propuesto una mejora básica para optimizar el diseño creado.

Por último se ha acotado cada parte de los cuatro vagones modelados para poder dejar constancia de las dimensiones aproximadas obtenidas.

### Palabras clave (máximo 10):

Talgo I	Estructura tubular	Bogie	Conjunto rodadura
Conjunto suspensión	Conjunto unión vagones	Aligeramiento	Rueda dirigida
Centro de gravedad		CATIA V5 R18	

A la universidad y especialmente al tutor del proyecto, Joan José Aliau Pons  
por brindarnos la oportunidad de poder llevar a cabo tal proyecto.

# Ingeniería Inversa del TALGO-I

Realizado por:

Mario Aragón Moya

Xavier García Torras

SUMARIO

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>19</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>21</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>22</b>
<b>2. Memoria.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Introducción .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Antecedentes de la época.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1. Aligeramiento de vagones .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Existencia de la resistencia al cambio .....</b>	<b>28</b>
<b>3. Ingeniería Inversa del TALGO I.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Datos de partida.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. Obtención de características técnicas y geométricas.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1. Características técnicas y geométricas generales .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1.1. Aligeramiento .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1.1.1. Por empleo de la soldadura eléctrica.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1.1.2. Por empleo de la rueda dirigida .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.1.1.3. Por empleo de los “anillos” como estructura autoportante.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.1.2. Descenso del centro de gravedad .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1.3. La tracción en el nuevo sistema.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.1.4. Seguridad y confort .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.1.5. Otras ventajas del tren articulado ligero .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.1.5.1. Ruedas elásticas .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.1.5.2. Ventajas económicas.....</b>	<b>48</b>

<b>3.2.2.</b>	<b>Características técnicas y geométricas por secciones</b> .....	<b>49</b>
3.2.2.1.	Características técnicas de la locomotora .....	49
3.2.2.2.	Características técnicas de los vagones .....	51
3.2.2.2.1.	Vagones equipajes y buffet .....	52
3.2.2.2.2.	Vagones de doce plazas .....	53
3.2.2.2.3.	Vagones de dieciséis plazas.....	54
3.2.2.2.4.	Vagón salón .....	55
3.2.2.3.	Estructura tubular autoportante .....	57
3.2.2.3.1.	Tipo de tubo .....	58
3.2.2.3.1.1.	Tubo de perfil rectangular.....	58
3.2.2.3.1.2.	Tubos de perfil circular.....	59
3.2.2.3.1.3.	Tubos seccionados .....	60
3.2.2.3.2.	Tipos de estructura tubular.....	77
3.2.2.3.2.1.	Estructura del elemento Equipajes .....	78
3.2.2.3.2.2.	Estructura del elemento Buffet.....	78
3.2.2.3.2.3.	Estructura del elemento de doces plazas delantero.....	79
3.2.2.3.2.4.	Estructura del elemento de doce plazas trasero .....	79
3.2.2.3.3.	Tipo de rodadura .....	81
3.2.2.3.3.1.	Rueda dirigida .....	81
3.2.2.3.3.2.	Ejes de las ruedas .....	83
3.2.2.3.3.3.	Cojinetes.....	83
3.2.2.3.3.4.	Freno de tambor .....	83
3.2.2.3.4.	Tipo de suspensión.....	84
3.2.2.3.4.1.	1) Tubo interior vertical.....	84
3.2.2.3.4.2.	2) Tuerca de apriete .....	85
3.2.2.3.4.3.	3) Tuerca de fijación .....	85
3.2.2.3.4.4.	4) Arandela sufridera superior .....	85
3.2.2.3.4.5.	Arandela superior.....	85
3.2.2.3.4.6.	5) Muelle helicoidal .....	86
3.2.2.3.4.7.	Arandela inferior .....	86
3.2.2.3.4.8.	6) Arandela sufridera inferior.....	87
3.2.2.3.4.9.	7) Pieza de unión entre la suspensión y la rueda.....	87
3.2.2.3.4.10.	8) Arandela tope del amortiguador .....	87

3.2.2.3.4.11. 9) Tuerca inferior.....	88
3.2.2.3.5. Tipo de soporte para los amortiguadores.....	90
3.2.2.3.5.1. Piezas que componen el conjunto de soporte.....	90
3.2.2.3.6. Caja que cubre el habitáculo.....	92
3.2.2.3.6.1. Tablón lateral de madera.....	92
3.2.2.3.6.2. Tablón superior de madera.....	93
3.2.2.3.6.3. Tablón posterior de madera.....	93
3.2.2.3.7. Escuadra para fijar el amortiguador.....	94
3.2.2.3.7.1. 1) Pletina doblada.....	94
3.2.2.3.7.2. 2) Cilindro agujereado.....	95
3.2.2.3.8. Piezas de unión entre vagones.....	97
3.2.2.3.8.1. 1) Pletina.....	98
3.2.2.3.8.2. 2) Cilindros soldados a la pletina.....	98
3.2.2.3.8.3. 3) Pieza que permite el giro vertical.....	99
3.2.2.3.8.4. 4) Pieza que permite el giro horizontal.....	99
3.2.2.3.8.5. 5) Eje roscado.....	101
3.2.2.3.9. Suelo.....	104
3.2.2.3.10. Chapas.....	107
3.2.2.3.10.1. Chapas exteriores.....	107
3.2.2.3.10.2. Chapas interiores.....	109
3.2.2.4. Características técnicas de los materiales.....	112
<b>3.3. Detalles constructivos y para la fabricación.....</b>	<b>125</b>
<b>3.3.1. Estructura triangular 1941.....</b>	<b>125</b>
<b>3.3.2. Talgo 1.....</b>	<b>126</b>
3.3.2.1. Materia prima de la época.....	126
3.3.2.1.1. Tubos.....	127
3.3.2.1.1.1. Tubo de acero de perfil circular.....	127
3.3.2.1.1.2. Tubo de acero de perfil rectangular.....	127
3.3.2.1.2. Macizos.....	128
3.3.2.1.2.1. Macizos de acero de perfil circular.....	128
3.3.2.1.2.2. Macizos de acero de perfil prisma.....	128
3.3.2.1.3. Laminados en rollo de chapa.....	129
3.3.2.2. Locomotora.....	130

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

3.3.2.3.	Descripción de cada elemento del vagón .....	131
3.3.2.3.1.	Estructura tubular autoportante.....	131
3.3.2.3.1.1.	Tubo de perfil rectangular.....	132
3.3.2.3.1.2.	Tubo de perfil circular .....	133
3.3.2.3.1.3.	Pletinas .....	143
3.3.2.3.2.	Sistema de rodadura. ....	144
3.3.2.3.2.1.	Soporte superior amortiguador .....	144
3.3.2.3.2.2.	Elementos de suspensión.....	151
3.3.2.3.2.3.	Elementos de rodadura.....	159
3.3.2.3.3.	Conjunto de piezas para la unión entre vagones.....	162
3.3.2.3.3.1.	Pletina con dos cilindros soldados .....	162
3.3.2.3.3.2.	Rótula .....	164
3.3.2.3.3.3.	Pieza que permitia el giro horizontal .....	165
3.3.2.3.3.4.	Eje roscado .....	166
3.3.2.3.3.5.	Tornillos.....	167
3.3.2.3.3.6.	Tuercas .....	167
3.3.2.3.4.	Suelo.....	168
3.3.2.3.5.	Chapas .....	169
3.3.2.4.	Posible proceso de montaje de la estructura tubular.....	170
3.3.2.5.	Posible proceso de montaje del conjunto de rodadura .....	174
3.3.2.6.	Posible proceso de montaje del suelo y las chapas.....	176
<b>3.4.</b>	<b>Evolución del proceso de ejecución de la ingeniería inversa del Talgo-I .....</b>	<b>180</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>Comienzo.....</b>	<b>180</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>Estudio de características técnicas y geométricas .....</b>	<b>180</b>
<b>3.4.3.</b>	<b>Obtención de medidas aproximadas.....</b>	<b>181</b>
<b>3.4.4.</b>	<b>Obtención de medidas más exactas.....</b>	<b>182</b>
<b>3.4.5.</b>	<b>Diseño de la estructura tubular autoportante.....</b>	<b>183</b>
3.4.5.1.	Pruebas del modelaje con CATIA V5 R18 (módulo de superficies).....	183
3.4.5.1.1.	1ª prueba de estructura tubular (anillos + entramados) .....	184
3.4.5.1.2.	2ª prueba de estructura tubular (anillos + entramados) .....	185
3.4.5.1.3.	Diseño de los tubos que forman el habitáculo .....	186
3.4.5.2.	Estructura modelada con espesores .....	187

3.4.5.2.1.	Modelaje con tubos de perfil normalizado .....	188
<b>3.4.6.</b>	<b>Diseño del amortiguador.....</b>	<b>189</b>
<b>3.4.7.</b>	<b>Diseño del soporte superior para el amortiguador.....</b>	<b>190</b>
<b>3.4.8.</b>	<b>Diseño del soporte inferior para el amortiguador .....</b>	<b>191</b>
<b>3.4.9.</b>	<b>Diseño de la rueda y eje.....</b>	<b>192</b>
<b>3.4.10.</b>	<b>Diseño de la pieza de unión entre vagones .....</b>	<b>193</b>
<b>3.4.11.</b>	<b>Diseño de las chapas y el suelo.....</b>	<b>194</b>
<b>3.4.12.</b>	<b>Diseño de los asientos y mesas .....</b>	<b>195</b>
<b>3.4.13.</b>	<b>Ensamblaje de todas las partes de cada vagón por separado.....</b>	<b>197</b>
3.4.13.1.	Vagón equipajes .....	197
3.4.13.2.	Vagón Buffet.....	198
3.4.13.3.	Vagón de 12 plazas delantero.....	199
3.4.13.4.	Vagón de 12 plazas trasero.....	200
3.4.13.5.	Ensamblaje de los cuatro vagones modelados.....	201
<b>4.</b>	<b>Cálculos.....</b>	<b>202</b>
<b>4.1.</b>	<b>Cálculos justificativos.....</b>	<b>203</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Cálculo analítico .....</b>	<b>203</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Simulación CATIA V5R18 .....</b>	<b>208</b>
<b>4.2.</b>	<b>Cálculos de las estructuras tubulares mediante elementos finitos (FEM) .....</b>	<b>210</b>
<b>4.2.1.</b>	<b>Elemento de equipajes.....</b>	<b>212</b>
4.2.1.1.	Cálculo con el peso del elemento vagón equipajes .....	212
4.2.1.2.	Cálculo añadiendo el peso de los viajeros .....	215
<b>4.2.2.</b>	<b>Elemento buffet.....</b>	<b>217</b>
4.2.2.1.	Cálculo con el peso del elemento buffet.....	217
4.2.2.2.	Cálculo añadiendo el peso de los viajeros .....	219
<b>4.2.3.</b>	<b>Elemento de doce plazas delantero .....</b>	<b>221</b>
<b>4.2.4.</b>	<b>Elemento de doce plazas trasero .....</b>	<b>221</b>

<b>4.3.</b>	<b>Conclusiones de los cálculos.....</b>	<b>222</b>
4.3.1.	Cálculos con peso del vagón.....	222
4.3.2.	Cálculos con peso añadido de los viajeros.....	222
4.3.3.	Mejoras posibles .....	223
<b>5.</b>	<b>Pliego de condiciones .....</b>	<b>224</b>
5.1.	Objetivos de la ingeniería inversa .....	225
5.2.	Materiales .....	225
5.3.	Herramientas de diseño.....	226
5.4.	Herramientas de simulación y cálculos .....	226
5.5.	Presupuesto .....	226
5.6.	Herramientas secundarias .....	227
<b>6.</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>228</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>230</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>232</b>
<b>9.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>235</b>
9.1.	Anexo A: Técnica de la perspectiva cónica .....	235
9.2.	Anexo B: Biografía de Alejandro Goicoechea Omar .....	235
<b>10.</b>	<b>Planos .....</b>	<b>236</b>
10.1.	Conjunto cuatro vagones .....	236
10.1.1.	Vagón equipajes.....	236
10.1.1.1.	Chapa exterior .....	236
10.1.1.2.	Chapa interior .....	236
10.1.1.3.	Puertas .....	236
10.1.1.4.	Marco circular ventana.....	236
10.1.1.5.	Estructura tubular .....	236

<b>10.1.2. Vagón buffet y 12 plazas trasero .....</b>	<b>236</b>
10.1.2.1. Chapa exterior .....	236
10.1.2.2. Chapa interior .....	236
10.1.2.3. Marco ancho ventana.....	236
10.1.2.4. Tapa escotilla escamoteable .....	236
10.1.2.5. Suelo.....	236
10.1.2.5.1. Tablón extremo .....	236
10.1.2.5.2. Tablón central .....	236
10.1.2.5.3. Tapa.....	236
10.1.2.5.4. Chapa extremo .....	236
10.1.2.5.5. Chapa central .....	236
10.1.2.5.6. Chapa tapa .....	236
10.1.2.6. Estructura tubular .....	236
10.1.2.7. Conjunto rodadura .....	237
10.1.2.7.1. Rueda .....	237
10.1.2.7.2. Eje rueda .....	237
10.1.2.7.3. amortiguador .....	237
10.1.2.7.3.1. Barra vertical .....	237
10.1.2.7.3.2. Tuerca de apriete .....	237
10.1.2.7.3.3. Tuerca de fijación .....	237
10.1.2.7.3.4. Arandela sufridera.....	237
10.1.2.7.3.5. Arandela .....	237
10.1.2.7.3.6. Muelle .....	237
10.1.2.7.3.7. Guía .....	237
10.1.2.7.3.8. Tope.....	237
10.1.2.7.3.9. Tuerca inferior.....	237
10.1.2.7.4. Soporte superior amortiguador .....	237
10.1.2.7.5. Soporte inferior escuadra .....	237
10.1.2.7.6. Caja cubre habitáculo.....	237
10.1.2.7.6.1. Tablón superior .....	237
10.1.2.7.6.2. Tablón lateral .....	237
10.1.2.7.6.3. Tablón trasero .....	237

10.1.2.7.7.	Conjunto unión vagones .....	237
10.1.2.7.7.1.	Pletina con cilindros .....	237
10.1.2.7.7.2.	Rótula .....	237
10.1.2.7.7.3.	Pieza giro horizontal.....	237
10.1.2.7.7.4.	Eje roscado .....	237
10.1.2.7.7.5.	Tornillo pasador .....	237
10.1.2.7.7.6.	Tuerca.....	237
<b>10.1.3.</b>	<b>Vagón 12 plazas delantero .....</b>	<b>238</b>
10.1.3.1.	Chapa exterior .....	238
10.1.3.2.	Chapa interior .....	238
10.1.3.3.	Puertas .....	238
10.1.3.4.	Marco alargado ventana .....	238
10.1.3.5.	Estructura tubular .....	238

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## Capítulo 2

Figura 2.1: Bogie.....	25
Figura 2.2: Rueda dirigida.....	25
Figura 2.3: Pirámide de la resistencia al cambio.....	28

## Capítulo 3

Figura 3.1: Primer ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.....	36
Figura 3.2: Segundo ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.....	37
Figura 3.3: Tercer ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.....	37
Figura 3.4: Ángulos de ataque de la pestaña con el carril en el antiguo sistema pesado y en la rueda orientada del tren ligero.....	39
Figura 3.5: La rueda orientada o dirigida del nuevo sistema.....	39
Figura 3.6: El rodal pesado antiguo.....	40
Figura 3.7: Triángulo isósceles representado en la estructura.....	41
Figura 3.8: Estructura tubular interior.....	41
Figura 3.9: Estructura tubular modelada en tres dimensiones (vagón buffet).....	42
Figura 3.10: Comparativa de tamaños entre los diferentes sistemas.....	43
Figura 3.11: Comparativa del desplazamiento vertical de las ruedas.....	44
Figura 3.12: Comparación de secciones de ambos sistemas.....	45
Figura 3.13: Sección de un vagón donde aparece el centro de gravedad.....	46
Figura 3.14: Coeficiente de seguridad entre los diferentes sistemas ferroviarios.....	47
Figura 3.15: Automotor Ganz antiguo (9155).....	49
Figura 3.16: Locomotora del Talgo I.....	49
Figura 3.17: Estructura triangular articulada.....	51
Figura 3.18: Distribución de los vagones de equipajes y buffet.....	52

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.19: Distribución de los vagones de doce plazas.....	53
Figura 3.20: Distribución de los vagones de doce plazas.....	54
Figura 3.21: Distribución del vagón salón. ....	55
Figura 3.22: Comparativa de alturas entre un hombre y el Talgo I.....	55
Figura 3.23: Vista isométrica del tubo de perfil rectangular. ....	58
Figura 3.24: Tubos de perfil rectangular situados a cuatro metros de distancia entre caras. ....	58
Figura 3.25: Tubo doblado de referencia. ....	59
Figura 3.26: Conjunto de tubos formando las “costillas” de la estructura. ....	59
Figura 3.27: Tubo cortado inferiormente. ....	60
Figura 3.28: Conjunto de tubos de perfil rectangular y circular montado.....	61
Figura 3.29: Espacio para ventanas. ....	62
Figura 3.30: Tubo cortado que albergaba las ventanas. ....	62
Figura 3.31: Conjunto de tubos de perfil rectangular y tubos seccionados para las ventanas y cortados inferiormente. ....	63
Figura 3.32: Tubo cortado que albergaba la puerta. ....	64
Figura 3.33: Tubos verticales montados en la estructura. ....	65
Figura 3.34: Estructura tubular de la zona de rodadura.....	66
Figura 3.35: Estructuras tubulares que albergaban el sistema de rodadura.....	66
Figura 3.36: Vista de detalle de una de los habitáculos que albergaban el sistema de rodadura.....	67
Figura 3.37: Tubos horizontales de la caja compacta.....	67
Figura 3.38: Inserción de los tubos verticales unidos a los horizontales.....	68
Figura 3.39: Inserción de los tubos verticales girados 90°. ....	68
Figura 3.40: Inserción de los tubos en diagonal. ....	69
Figura 3.41: Inserción de los tubos horizontales en la parte superior. ....	69
Figura 3.42: Situación de los tubos diagonales. ....	70
Figura 3.43: Tubos diagonales modelados. ....	70
Figura 3.44: Ejemplo de una fuerza aplicada en la estructura.....	71
Figura 3.45: Esfuerzos en los tubos en función de la fuerza aplicada.....	71
Figura 3.46: Tubos de arriba y debajo de las ventanas.....	72

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.47: Tubos de arriba y debajo de las ventanas modelados. ....	72
Figura 3.48: Tubo de arriba de la puerta doble. ....	73
Figura 3.49: Entramado tubular inferior (vista en planta). ....	74
Figura 3.50: Descomposición del entramado inferior (vista en planta). ....	75
Figura 3.51: Entramado tubular superior (vista en planta). ....	76
Figura 3.52: Descomposición del entramado superior (vista en planta). ....	76
Figura 3.53: Alzado de cualquier vagón. ....	77
Figura 3.54: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de equipajes. ....	78
Figura 3.55: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón buffet. ....	78
Figura 3.56: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de 12 plazas delantero. ....	79
Figura 3.57: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de 12 plazas trasero. ....	79
Figura 3.58: Detalle de las pletinas en los “anillos” ....	80
Figura 3.59: Pletinas soldadas en la estructura modelada. ....	80
Figura 3.60: Imagen donde se aprecia el sistema de rodadura independiente. ....	81
Figura 3.61: Rueda modelada. ....	82
Figura 3.62: Eje de las ruedas modelado. ....	83
Figura 3.63: Detalle de las diferentes piezas de la suspensión. ....	84
Figura 3.64: Barra vertical del amortiguador modelada. ....	84
Figura 3.65: Tuerca de apriete modelada. ....	85
Figura 3.66: Tuerca de fijación modelada. ....	85
Figura 3.67: Arandela sufridera superior modelada. ....	85
Figura 3.68: Arandela superior modelada. ....	85
Figura 3.69: Muelle helicoidal modelado. ....	86
Figura 3.70: Detalle del corte producido en los extremos del muelle. ....	86
Figura 3.71: Arandela inferior modelada. ....	86
Figura 3.72: Arandela sufridera inferior modelada. ....	87
Figura 3.73: Pieza de unión modelada. ....	87
Figura 3.74: Arandela de tope modelada. ....	87

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.75: Tuerca inferior modelada.....	88
Figura 3.76: Comparación de los amortiguadores.....	88
Figura 3.77: Detalle del soporte de las suspensiones. ....	90
Figura 3.78: Vista alzado (izquierda) y vista posterior (derecha). ....	91
Figura 3.79: Vista planta (izquierda) y vista inferior (derecha). ....	91
Figura 3.80: Vista de perfil (izquierda) y vista lateral opuesto (derecha). ....	91
Figura 3.81: Ampliación de la caja que cubría el habitáculo .....	92
Figura 3.82: Tablón lateral de madera.....	92
Figura 3.83: Tablón superior de madera.....	93
Figura 3.84: Tablón posterior de madera. ....	93
Figura 3.85: Caja que cubre el habitáculo modelada. ....	93
Figura 3.86: Detalle de la escuadra para fijar el amortiguador. ....	94
Figura 3.87: Pletina doblada modelada. ....	94
Figura 3.88: Cilindro agujereado modelado.....	95
Figura 3.89: Pletina y cilindro soldados.....	95
Figura 3.90: Parte superior modelada.....	96
Figura 3.91: Escuadra modelada. ....	96
Figura 3.92: Detalle de las piezas de unión entre vagones.....	97
Figura 3.93: Pletina conjunto de unión.....	98
Figura 3.94: Pletina conjunto de unión más los cilindros soldados.....	98
Figura 3.95: Rótula del conjunto de unión. ....	99
Figura 3.96: Pieza que permite el giro horizontal modelada.....	99
Figura 3.97: Partes de la pieza para giro horizontal. ....	100
Figura 3.98: Agujero doble en la pieza. ....	100
Figura 3.99: Eje roscado modelado.....	101
Figura 3.100: Conjunto de unión entre vagones modelado.....	102
Figura 3.101: Tornillo modelado (izquierda) y tuerca modelada (derecha).....	102
Figura 3.102: Pletina para reforzar el tubo rectangular.....	103

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.103: tablón del extremo acotado.....	104
Figura 3.104: Tablón de un extremo situado en la estructura tubular.....	104
Figura 3.105: Tablón central acotado.....	105
Figura 3.106: Tablón de un extremo y central situados en la estructura tubular.....	105
Figura 3.107: Tapa acotada (izquierda) y tablón de un extremo, central y tapa situados en la estructura tubular (derecha).....	106
Figura 3.108: Montaje de la estructura tubular y los tablonos.....	106
Figura 3.109: Chapas laterales vagón buffet.....	107
Figura 3.110: Chapa superior (izquierda) y chapa inferior (derecha). ....	107
Figura 3.111: Superposición entre chapas.....	107
Figura 3.112: Chapa exterior vagón buffet y trasero (izquierda) y chapa exterior vagón equipajes (derecha).....	108
Figura 3.113: Chapa exterior vagón delantero. ....	108
Figura 3.114: Montaje de la estructura tubular con el suelo y la chapa exterior.....	109
Figura 3.115: Chapa de los extremos. ....	109
Figura 3.116: Chapa central. ....	110
Figura 3.117: Chapa de la tapa.....	110
Figura 3.118: Montaje de la estructura tubular, tablonos y chapas interiores del suelo.....	110
Figura 3.119: Montaje de la estructura tubular, tablonos, chapas interiores y exteriores.....	111
Figura 3.120: Curvas de revenido sobre probeta tratada. ....	116
Figura 3.121: Ensayo de jominy.....	116
Figura 3.122: Características mecánicas en fundición de la temperatura de revenido del FOCARBO 45. ....	122
Figura 3.123: Diagrama de transformación isotérmica del FOCARBO 45. ....	122
Figura 3.124: Banda de templabilidad del FOCARBO 45.....	123
Figura 3.125: Estructura triangular. ....	125
Figura 3.126: Estructura triangular modelada.....	125
Figura 3.127: Tubos redondos de acero. ....	127
Figura 3.128: Tubos rectangulares de acero.....	127

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.129: Macizos redondos de acero.....	128
Figura 3.130: Macizos cuadrados de acero. ....	128
Figura 3.131: Laminado en rollo de chapa.....	129
Figura 3.132: Estructura y chapas de la locomotora. ....	130
Figura 3.133: Tubo de perfil rectangular de 80 x 40 mm.....	132
Figura 3.134: Rodillo para doblar tubos.....	135
Figura 3.135: Tubo con los diferentes radios señalizados.....	135
Figura 3.136: Nueve de los tubos que forman los “anillos”.....	136
Figura 3.137: Tubo con el punto de soldadura señalado. ....	136
Figura 3.138: Tubos numerados para la posterior descripción.....	137
Figura 3.139: 1er tipo de tubo agujereado para albergar el entramado. ....	138
Figura 3.140: 2ndo tipo de tubo agujereado para albergar el entramado. ....	139
Figura 3.141: Tubo del entramado cortado por los extremos.....	141
Figura 3.142: Habitáculo para el sistema de rodadura. ....	142
Figura 3.143: Pletinas soldadas a la estructura.....	143
Figura 3.144: Conjunto del soporte superior del amortiguador.....	144
Figura 3.145: Tubo principal horizontal.....	144
Figura 3.146: Tubo secundario vertical.....	145
Figura 3.147: Detalle de la pestaña del tubo. ....	145
Figura 3.148: Detalle del corte inferior. ....	146
Figura 3.149: Tubo de perfil circular roscado interiormente.....	147
Figura 3.150: Pletina rectangular. ....	148
Figura 3.151: Pletina triangular.....	149
Figura 3.152: Cortes en la pletina para conseguir las diferentes piezas. ....	149
Figura 3.153: Barra vertical renderizada. ....	151
Figura 3.154: Tuerca de apriete a la izquierda y tuerca de fijación a la derecha.....	152
Figura 3.155: Arandela sufridera renderizada. ....	153
Figura 3.156: Arandela estándar. ....	154

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.157: Muelle renderizado. ....	154
Figura 3.158: Pieza de unión renderizada. ....	155
Figura 3.159: Arandela “tope” renderizada.....	156
Figura 3.160: Tuerca inferior modelada.....	157
Figura 3.161: Rueda individual.....	159
Figura 3.162: Eje de la rueda.....	160
Figura 3.163: Conjunto de rodadura ensamblado.....	161
Figura 3.164: Conjunto de unión entre vagones.....	162
Figura 3.165: Pletina con cilindros soldados.....	163
Figura 3.166: Rótula.....	164
Figura 3.167: Pieza que permitía el giro horizontal. ....	165
Figura 3.168: Eje roscado.....	166
Figura 3.169: Tornillo. ....	167
Figura 3.170: Tuerca. ....	167
Figura 3.171: Conjunto del suelo. ....	168
Figura 3.172: Conjunto de chapas.....	169
Figura 3.173: Primer anillo con el entramado.....	170
Figura 3.174: Detalle de los cordones de soldadura.....	171
Figura 3.175: Ejemplo de las posibles direcciones de montaje.....	171
Figura 3.176: Habitáculo para el sistema de rodadura montado. ....	172
Figura 3.177: Montaje de las pletinas soldadas.....	172
Figura 3.178: Agujero producido en el tubo rectangular para poder introducir el eje roscado.....	173
Figura 3.179: Conjunto de rodadura.....	174
Figura 3.180: Montaje del soporte superior del amortiguador a la estructura tubular. ....	174
Figura 3.181: Montaje del conjunto de rodadura y suspensión.....	175
Figura 3.182: Montaje de la caja que cubre el habitáculo.....	175
Figura 3.183: Montaje de los tablones de madera en la estructura tubular. ....	176
Figura 3.184: Montaje de la chapa exterior.....	177

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Figura 3.185: Montaje de las chapas que cubren los tablonos.....	177
Figura 3.186: Montaje de las chapas interiores. ....	178
Figura 3.187: Montaje de la estructura tubular, chapa interior y pletina. (Izquierda talgo-I, derecha Talgo-II).....	178
Figura 3.188: Planos de Maquetren (izquierda) y nuestros planos (derecha). ....	181
Figura 3.189: Imagen de partida para la obtención de medidas más exactas. ....	182
Figura 3.190: Situación y distribución de los tubos. ....	183
Figura 3.191: 1ª prueba de modelaje de la estructura.....	184
Figura 3.192: 2ª prueba de modelaje de la estructura.....	185
Figura 3.193: Conjunto de tubos situado en los extremos de cada vagón.....	186
Figura 3.194: Conjunto de tubos que formaba el habitáculo para el sistema de rodadura. ....	186
Figura 3.195: Estructura tubular elemento buffet.....	188
Figura 3.196: Pasos seguidos para modelar el amortiguador. ....	189
Figura 3.197: Imagen del soporte construido del amortiguador.....	190
Figura 3.198: Soporte del amortiguador modelado.....	190
Figura 3.199: Imagen del soporte inferior real.....	191
Figura 3.201: Método de obtención de las medidas de la rueda.....	192
Figura 3.202: Eje de la rueda modelado.....	192
Figura 3.203: Conjunto de unión entre vagones.....	193
Figura 3.204: Conjunto de unión entre vagones modelado.....	193
Figura 3.205: Conjunto de unión entre vagones manipulado.....	194
Figura 3.206: Chapas interiores, exteriores y suelo modelados. ....	194
Figura 3.207: Asiento del elemento buffet modelado. ....	195
Figura 3.208: Asiento del elemento de 12 plazas delantero y trasero. ....	195
Figura 3.209: Mesa del elemento buffet.....	196
Figura 3.210: Ensamblaje de los componentes del vagón equipajes.....	197
Figura 3.211: Ensamblaje de los componentes del vagón buffet. ....	198
Figura 3.212: Ensamblaje de los componentes del vagón de 12 plazas delantero. ....	199
Figura 3.213: Ensamblaje de los componentes del vagón de 12 plazas trasero. ....	200

Figura 3.214: Ensamblaje de los cuatro vagones modelados. .... 201

## Capítulo 4

Figura 4.1: Eje roscado..... 203

Figura 4.2: Bancada del eje roscado..... 204

Figura 4.3: Zona del esfuerzo de tracción del eje roscado. .... 204

Figura 4.4: Esfuerzo para el cálculo analítico. .... 204

Figura 4.5: Fuerzas aplicadas en uno de los extremos del cilindro a comprobar. .... 208

Figura 4.6: Desplazamiento de los nodos del cilindro aplicados 30.000 N a tracción. .... 208

Figura 4.7: Desplazamiento del nodo calculado analíticamente. .... 209

Figura 4.8: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón).  
..... 212

Figura 4.9: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes de perfil con peso del vagón). 213

Figura 4.10: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón)..... 213

Figura 4.11: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes de perfil)... 214

Figura 4.12: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón y viajeros)..... 215

Figura 4.13: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes de perfil con peso vagón y viajeros)..... 216

Figura 4.14: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva).  
..... 216

Figura 4.15: Von Mises stress (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva con peso vagón). 217

Figura 4.16: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva).218

Figura 4.17: Von Mises stress (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva con peso vagón y viajeros)..... 219

Figura 4.18: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva).220

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 3

Tabla 3.1: Descripción de las características técnicas del tractor.....	50
Tabla 3.2: Características de los vagones que componían el Talgo I.....	56
Tabla 3.3: Composición química de la colada F1110 %.....	112
Tabla 3.4: Propiedades mecánicas F-1110.....	113
Tabla 3.5: Características relativas a los tratamientos térmicos F-1110.....	113
Tabla 3.6: Propiedades mecánicas para estirado en frío del F-1110.....	113
Tabla 3.7: Composición química de la colada F-1140%.....	114
Tabla 3.8: Propiedades mecánicas F-1140.....	115
Tabla 3.9: Características relativas a los tratamientos térmicos F-1140.....	115
Tabla 3.10: Propiedades mecánicas para estirado en frío del F-1140.....	115
Tabla 3.11: Composición química aproximada FOCARBO 15 y FOCARBO 45.....	117
Tabla 3.12: Equivalencias aproximadas.....	117
Tabla 3.13: Aplicaciones FOCARBO 15 y FOCARBO 45.....	117
Tabla 3.14: Composición aproximada FOCARBO 15%.....	117
Tabla 3.15: Características mecánicas en diferentes estados del FOCARBO 15.....	118
Tabla 3.16: Tratamientos térmicos para el FOCARBO 15.....	119
Tabla 3.17: Equivalencias aproximadas del FOCARBO 15.....	119
Tabla 3.18: Composición aproximada FOCARBO 45%.....	119
Tabla 3.19: Características mecánicas en diferentes estados del FOCARBO 45.....	120
Tabla 3.20: Tratamientos térmicos para el FOCARBO 45.....	121
Tabla 3.21: Equivalencias aproximadas del FOCARBO 45.....	121
Tabla 3.22: Resumen de detalles estructura tubular autoportante.....	143
Tabla 3.23: Resumen de detalles soporte superior amortiguador.....	150
Tabla 3.24: Resumen de detalles conjunto suspensión.....	158

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Tabla 3.25: Resumen de detalles conjunto unión entre vagones.....	167
Tabla 3.26: Resumen de detalles del suelo.....	168
Tabla 3.27: Resumen de detalles de las chapas.....	169

## Capítulo 4

Tabla 4.1: Propiedades del material utilizado. ....	205
Tabla 4.2: Relación de fórmulas utilizadas. ....	206
Tabla 4.3: Comparación de los datos obtenidos.....	209
Tabla 4.4: Resumen de resultados para cálculos con peso del vagón. ....	222
Tabla 4.5: Resumen de resultados para cálculos con peso añadido de viajeros. ....	222

## GLOSARIO

<b>Talgo</b>	Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol
<b>Bogie</b>	Conjunto de dos o tres pares de ruedas, según modelo, montadas sobre sendos ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se utilizan en ambos extremos de los vehículos de gran longitud destinados a circular sobre carriles. El vehículo se apoya en cada bogie por medio de un eje vertical mediante un pivote, gracias al que puede describir curvas muy cerradas.
<b>Autoportante</b>	Estructura resistente por si misma sobre la que se puede fijar de algún modo otros sistemas o elementos esenciales o auxiliares que proporcionan la funcionalidad al conjunto. La misma estructura puede estar geoméricamente concebida para albergar ella misma alguna funcionalidad espacial.
<b>Ganz</b>	La compañía eléctrica fundada por Ábrahám Ganz en 1844 en Budapest y fue pionera en la aplicación de motores de tres fases para la tracción eléctrica y en motores diésel para automotores. En España hubo la filial Ganz Ibérica.
<b>FEM</b>	Método de elementos finitos
<b>Tensión Von Mises</b>	Es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.
<b>Young's modulus</b>	Modulo de elasticidad
<b>Poisson's ratio</b>	Coefficiente de Poisson (Constante elástica)
<b>Density</b>	Densidad
<b>Coefficient of thermal expansion</b>	Coefficiente de expansión térmica
<b>Yield strength</b>	Limite elástico

### 1. Objetivos

Este proyecto consiste en hacer una Ingeniería Inversa del Talgo-I, a partir de la poca información existente y dejar constancia de cómo era y de sus dimensiones.

Para ello se procederá a la búsqueda de información, medidas y detalles constructivos del Talgo-I original, con la finalidad de poder hacer un diseño en 2D y 3D de la estructura de éste.

Hay que destacar que el estudio se centrará en cuatro vagones: el de equipajes, el buffet y dos vagones de pasajeros con cavidad para 12 personas. De este modo se podrá ahondar más en detalles tanto de diseño como constructivos.

Además, se hará una simulación mediante elementos finitos, teniendo en cuenta los materiales originales de la época, efectuando algunos cálculos de la resistencia del vagón en función de las estructuras definidas. Con esta simulación se podrá comprobar si la estructura creada soportará esfuerzos aplicados tanto por el peso del vagón como por los pasajeros.

## 2. Memoria

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 2.1. Introducción

Esta iniciativa nace de la voluntad de Talgo y Renfe por recuperar el proyecto innovador del Talgo I, ideado por el Sr. Alejandro Goicoechea Omar. Actualmente, apenas se conservan documentos sobre el <<tren oruga>>, nombre por el que era conocido en la época, y cada vez son menos los testimonios a los que consultar. Algunas fotografías y artículos son el único material de archivo existente sobre un proyecto que revolucionó la historia del ferrocarril e hizo evolucionar al tren hasta llegar al que conocemos hoy en día.

En base a la poca información existente, y a partir de una ingeniería inversa sobre el Talgo I, se ha diseñado pieza a pieza todo el conjunto de cada uno de los cuatro vagones, a partir de técnicas de dibujo como la perspectiva cónica aplicada a las imágenes existentes y las medidas conocidas de los vagones. Ya modelada cada pieza por separado, se ha hecho un estudio para comprobar si las geometrías aplicadas eran correctas dependiendo de si en la época se hubieran podido fabricar y con qué se habrían construido.

Una vez obtenido el diseño final, se ha estudiado su posible proceso de fabricación para un correcto montaje. Cabe que destacar que se han tenido en cuenta las técnicas y recursos de la época en que fue construido el Talgo I.

Con todas las estructuras modeladas en tres dimensiones, con CATIA V5R18, se ha puesto a prueba su resistencia mediante el módulo de simulación de elementos finitos (FEM), primero con el peso único del vagón, y seguidamente añadiendo el peso de los viajeros. En las simulaciones se ha podido observar como la estructura con el simple peso del vagón estaba al borde del colapso, ya que las tensiones de Von Mises se acercaban al límite elástico del material utilizado (AISI 1015). Al añadir el peso de los viajeros las tensiones han sobrepasado el límite elástico. Por lo tanto, como solución se ha propuesto una mejora básica para optimizar el diseño creado.

Por último se ha acotado cada parte de los cuatro vagones modelados para poder dejar constancia de las dimensiones aproximadas obtenidas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 2.2. Antecedentes de la época

Cabe destacar que el Talgo-I fue incorporando a su diseño diferentes mejoras que se experimentaron en modelos de vagones anteriores, y que en la mayoría de ocasiones fueron rechazadas en su propuesta inicial.

Antes de la fabricación del Talgo I, los vagones estaban provistos de bogies, un conjunto de dos o tres pares de ruedas, según modelo, montadas sobre ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se situaban en ambos extremos de los vehículos de gran longitud destinados a circular sobre carriles. El vehículo se apoya en cada bogie por medio de un eje vertical mediante un pivote, gracias al que puede describir curvas muy cerradas. Podemos encontrar:

- Bogies tractores.
- Bogies remolcados (sin fuerza de tracción).

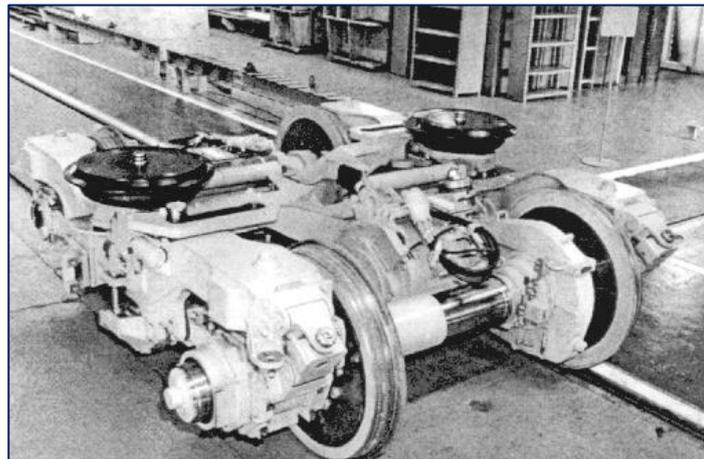


Figura 2.1: Bogie.

No obstante, unos años antes de la puesta en marcha del Talgo I, Alejandro Goicoechea propuso un nuevo sistema que era la rueda dirigida, y que con su implantación pretendía sustituir al bogie. Este sistema, era innovador y no fue aceptado en una primera instancia ya que en aquella época había una fuerte resistencia al cambio.

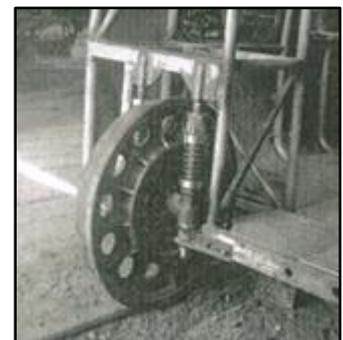


Figura 2.2: Rueda dirigida.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

La diferencia principal entre el bogie y el sistema de rueda dirigida era que el primero se caracterizaba por ser pesado, de tal forma que cumplieran la teoría antidescarrilante que necesitaba de un gran peso para mantener el vagón en las vías. Esto era así debido a que los vagones eran altos, y haciendo que la base pesara más evitaba que el vagón descarrilase por la fuerza de inercia. Por este motivo, en el diseño del Talgo I el centro de gravedad del vagón tiene que ser más bajo, ya que se substituye el bogie o sistema de eje montado para introducir el sistema de rueda dirigida. Como el peso de este sistema era menor, había que disminuir la altura mínima del centro de gravedad para evitar que a cierta velocidad el vagón saliera de la trazada.

Finalmente, los motivos que impulsaron a la sustitución del bogie por la rueda dirigida fueron:

- Disminución del peso del sistema.
- Reducción de la altura del centro de gravedad.
- Mayor capacidad de giro.

### 2.2.1. Aligeramiento de vagones

Otro factor importante en la historia del ferrocarril está relacionada construcción de vagones fuertemente aligerados. Alejandro Goicoechea fue el protagonista y su origen procede del positivo resultado obtenido en un vagón llamado E. núm. 44. Este vagón enteramente soldado origino un fuerte convencimiento en Goicoechea de la existencia de poder aligerar los vagones. Esto desemboco en un sinfín de pequeñas modificaciones constructivas, que sucesivamente se fueron aplicando a los nuevos materiales que se fabricaban en sus talleres.

Más adelante se instalaron cuatro nuevos dispositivos aplicables a los vehículos ferroviarios, afectando a las suspensiones, aparatos de choque y tracción, muelles cilíndricos de goma y un freno continuo por cable, todo ello con vistas a obtener fuertes reducciones de las taras o pesos muertos de los vagones de mercancías.

Hubo un momento en el que se creía que ya no se podía conseguir más aligeramientos, cuando en 1929, surgió la idea de obtener nuevas reducciones de tara mediante el incremento de la capacidad de carga en proporción muy superior al correspondiente de la tara. Después de varios meses de tanteos y estudios, por fin se preparó un proyecto de vagón para una capacidad de carga de 20.000kg, vía métrica, bordes altos, dos ejes y 5.000kg de tara, es decir, el 25% de la carga.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Alejandro Goicoechea propuso su idea de la reducción de carga en dirección, pero no fue bienvenida y fueron despedidos del despacho sin haber conseguido una aprobación. No obstante Alejandro Goicoechea no abandono la idea ya que era mucho el dinero que se podía ahorrar con el aligeramiento. Pensaba que si con la misma tara se podía duplicar la carga, reduciría a la mitad los costos de adquisición. Además, aumentaría al doble de la capacidad de carga, substituiría el arrastre de peso muerto que no producía por el de carga de mercancía que paga, los trenes irían más veloces o con la misma marcha rendirían mucho más, las composiciones serían más cortas con ventajas en las curvas, las maniobras se facilitarían, etc...

Posteriormente se modificó la locomotora 29, y a pesar que al principio no se aceptó, finalmente se conseguiría poner en marcha gracias a las continuas modificaciones del diseño.

Cabe destacar que Alejandro Goicoechea siempre miro al objetivo sin reparar en sacrificios, con fe ciega en el resultado final.

Puede decirse que esta ha sido la tónica del trabajo en estas innovaciones que corrientemente suelen ser las normales en los hombres que tratan de encontrar soluciones y las buscan con verdadero afán en el camino de la técnica acompañada sin duda por la audacia, gusto al riesgo, ideas fijas, obsesión, etc.

El vagón terminado, probado sin intervención alguna de los organismos oficiales inspectores, estuvo seis meses transportando cargas a veces de 23.000kg entre Cistierna y Valmaseda.

Seguros del resultado se consiguió que el caso fueses puesto sobre el tapete del consejo; el director pidió explicaciones por haber estado haciendo pruebas sin permiso y se disculparon. Acto seguido, este les encomendó el estudio de una serie de vagones de 20 toneladas que, naturalmente, le fue presentado a las 2 horas.

Más tarde se propuso la conversión de los vagones de 20Tns. de carga en otros de 30Tns. en ancho normal con la misma tara o muy aproximada. También en esa ocasión se le denegó, y aun así continuo preparando su obra como siempre. No obstante, al terminar los primeros vagones se produjo un mal modo en un taller de Villaverde, entre el director y subdirectores del F.C. por un lado, y el director de un organismo oficial, por otro. Este último defendió a Goicoechea y con su ayuda consiguió presentar y ensayar trenes completos de tales vagones, con los que se hubiera podido ahorrara aquella empresa 100 millones anuales. A nadie le interesó el ensayo y como no pertenecía a la empresa, finalmente, abandono la lucha.

Una vez más se demuestra la teoría de la resistencia al cambio, que en este caso, le ganó la partida a la innovación propuesta por Alejandro Goicoechea.

### 2.3. Existencia de la resistencia al cambio

Los principales motivos por los cuales existía esta actitud ante posibles innovaciones se pueden diferenciar en tres aspectos fundamentales como son el no querer, el no poder, o el no conocer. Estos tres aspectos constituyen la siguiente pirámide:

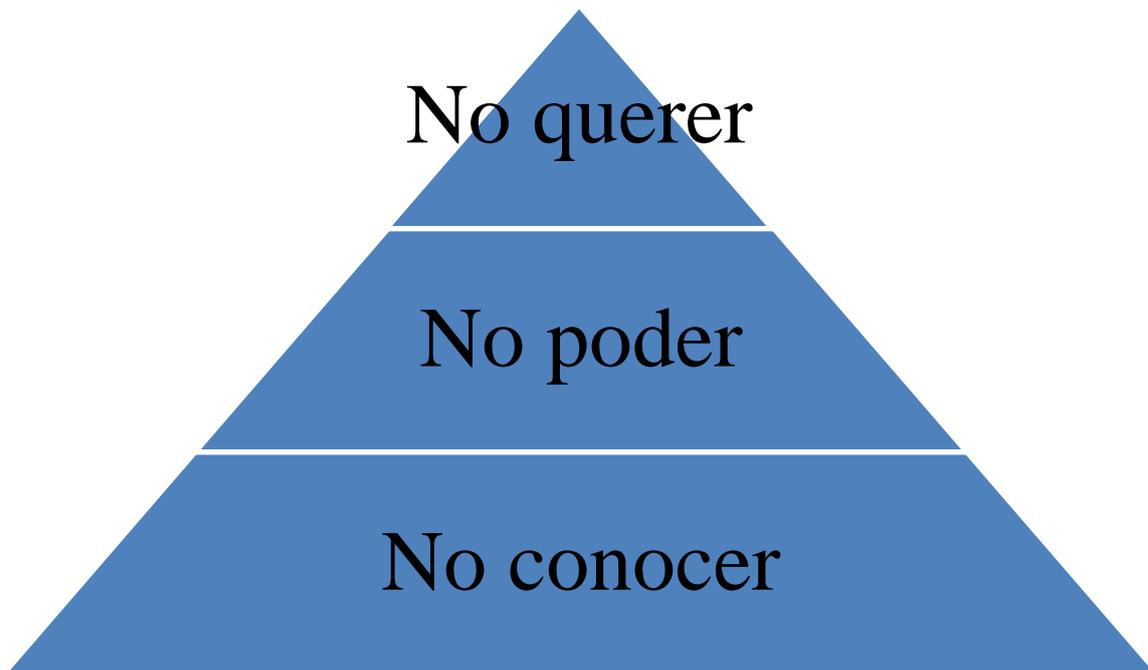


Figura 2.3: Pirámide de la resistencia al cambio

En primer lugar, en la base de la pirámide, nos encontramos con que las personas que no conocen lo suficiente, tienden a demorar el cambio, lo que es percibido como cierta forma de resistencia. Esta ignorancia esta generalmente ocasionada por:

- **La falta de comunicación sobre el proyecto de cambio.** En general se resiste cualquier tipo de cambio si no se conoce en qué consiste, para que se lleve a cabo y cuál es su impacto en términos personales.
- **La visión demasiado parcializada del cambio.** En numerosas ocasiones las personas juzgan negativamente al cambio exclusivamente por lo que sucede en su ámbito de influencia (su grupo de trabajo, su sector, su gerencia), sin considerar los beneficios globales que obtiene la empresa en su conjunto.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Si las personas tienen suficiente información sobre el cambio, pueden ofrecer cierta resistencia simplemente porque perciben que no pueden cambiar. Sucede que se sienten condicionadas por la organización, no saben cómo hacer lo que deben hacer o no tienen las habilidades requeridas por la nueva situación. Esta sensación provoca cierta inmovilidad que es percibida como resistencia a cambiar. Algunos factores que contribuyen a esto son:

- **El tipo de cultura organizacional** que castiga excesivamente el error.
- **La falta de capacidad individual**, que limita el accionar concreto.
- **Las dificultades para el trabajo en equipo**, necesario para revisar todo el esquema de interacciones que propone el cambio.
- **La percepción de la falta de recursos**, ya sea en medios económicos o humanos.
- **La sensación de que el verdadero cambio no puede producirse**. Los agentes del cambio perciben que están atados de pies y manos para encarar las iniciativas realmente necesarias.

Por último, si las personas conocen lo suficiente sobre el cambio a encarar y se sienten capaces de realizarlo, empieza a tener mucha importancia la verdadera voluntad de cambiar.

En algunos casos, el cambio despierta sentimientos negativos en las personas y éstas sencillamente no quieren cambiar; ya que consideran que no les conviene o que las obliga a moverse fuera de su zona de comodidad. Estas reacciones pueden partir de sentimientos tales como:

- **El desacuerdo**. Los individuos pueden estar simplemente en desacuerdo en cuanto a las premisas o los razonamientos sobre los que se sustenta el cambio. En algunos casos basan sus juicios en modelos mentales muy cerrados o tienen dificultades para abandonar hábitos muy arraigados.
- **La incertidumbre**. Los efectos del nuevo sistema no son totalmente predecibles y esto genera temor por falta de confianza en sus resultados.
- **La pérdida de identidad**. A veces, las personas edifican su identidad sobre lo que hacen. En este marco de referencia, los cambios califican y ofenden. Aparecen las actitudes defensivas.
- **La necesidad de trabajar más**. Normalmente se percibe que deben encararse simultáneamente dos frentes distintos: el de continuación de las viejas tareas y el de inicio de las nuevas rutinas.

En casi todos los cambios de gran magnitud aparecen de alguna forma y en alguna medida los sentimientos mencionados, pero también es cierto que también pueden aparecer algunos sentimientos positivos como: el entusiasmo por la posibilidad de un futuro mejor, la liberación de los problemas del viejo orden y las expectativas de crecimiento o consolidación personal.

### 3. Ingeniería Inversa del TALGO I

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para poder alcanzar el máximo nivel de detalle técnico y poder llegar a fabricar un prototipo lo más fehaciente posible hemos recurrido al uso de la ingeniería inversa.

En si la ingeniería inversa consiste en obtener información de un producto accesible al público con el fin de determinar de que esta hecho, que lo hace funcionar y como fue fabricado, para posteriormente mejorarlo.

La denominamos inversa porque avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, que consisten en utilizar datos técnicos para elaborar un producto determinado

La ingeniería inversa es un método de resolución. Aplicar ingeniería inversa a algo supone profundizar en el estudio de su funcionamiento, hasta el punto de que podamos llegar a entender, modificar y mejorar dicho modo de funcionamiento.

En nuestro caso, el Talgo I, ha variado un poco la forma de emplear la ingeniería inversa ya que no teníamos acceso el producto para ser analizado debido a que el producto a analizar ya no existe. Para ello se ha recurrido a varias técnicas para la obtención de detalles, medidas, formas que veremos analizadas posteriormente.

Los puntos tratados que se han seguido durante el proyecto son los siguiente:

- 1- Datos de partida
  - Artículos
  - Fotos
  - Visitas al Museo del Ferrocarril de Catalunya en Vilanova i la Geltrú para ver el Talgo II
- 2- Obtención de características técnicas y geométricas
- 3- Detalles constructivos y para la fabricación
- 4- Evolución del proceso de ejecución de la ingeniería inversa

### 3.1. Datos de partida

Ya que no se disponía de un producto para ser analizado, se ha tenido que recurrir a recopilar información existente sobre nuestro producto, el Talgo I. Para ello nos hemos desplazado a la biblioteca del Museo del Ferrocarril de Catalunya, situado en la población de Vilanova i la Geltrú en busca de publicaciones referentes al Talgo I, imágenes útiles para ser analizadas, tablas descriptivas, en definitiva, cualquier documento que nos pudiera ser útil para una buena documentación. Además hemos sido respaldados por Alberto García y José Luis López, de la empresa “TALGO”, para resolvernos dudas existenciales a medida que íbamos avanzando en dicho análisis.

A parte de imágenes y textos de donde hemos podido obtener información, hemos tenido la oportunidad de visitar el Talgo II para visualizar como era y deducir como podían haber sido ciertas piezas como las chapas que cubren los vagones, piezas de unión entre estos y demás.

En la recopilación de documentación hemos podido encontrar artículos tales como:

- **El tren español: nueva orientación ferroviaria.**

Autor: Alejandro Goicoechea

Publicado originalmente en: Imprenta del Najzén, 1950. De esta edición, facsímil editado por IberCaja, Zaragoza, 1995.

- **El Talgo.**

Separata de Alejandro Goicoechea

Publicado originalmente en: Motor Mundial, nº ago. Y sep. 1944. Editado por Motor Mundial, Tomo 2, nov. 1949

- **Talgo I, un tren diferente.**

Artículo de Manuel Galán Eruste

Publicado en: Documentos Maquetrén

- **El Talgo I.**

Artículo de Miguel Cano, Manuel Galán

Publicado en: Fascículos Colección Talgo, fasc. 4, 5 y 6. Ediciones Altaya 2006

- **El Talgo I.**

Artículo de Juan M<sup>a</sup> Gallardo

Publicado en: Carril, nº 9, septiembre de 1984

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

- **Gestación y Construcción del tren Talgo I.**  
Artículo de Ángel Luis Díaz  
  
Publicado en: Vía Libre, nº 443, junio de 2001
- **Renfe construyó en Valladolid la primera “locomotora” Talgo.**  
Artículo de: Ángel Luis Rodríguez  
  
Publicado en: Vía Libre, nº 449, enero de 2002
- **Talgo I.**  
Extraído de: Talgo 1942-2005. De un sueño a la alta velocidad  
  
Miguel Cano López-Luzzati y Miguel Galán Eruste  
  
Publicado en: Revistas Profesionales S.L. 2006
- **Talgo I.**  
Extraído de: 1950 Las estrellas llegan a España. Se acabó el aislamiento.  
  
Juan Carlos Laviana (ed.)  
  
Publicado en: Col. El franquismo año a año. Nº 10; Unidad Editorial S.A.,  
  
Madrid, 2006
- **Primeras ideas, “Talgo 0” y Talgo 1.**  
Extraído de: Evolución técnica de Talgo  
  
Faustino Archilla Aldeanueva  
  
Publicado en: Manual para la formación del personal de “Patentes Talgo”. 2000

En dicha recopilación de documentos hemos podido encontrar imágenes de diferentes versiones del Talgo I ya que al ser un proyecto innovador iban variando aspectos tanto técnicos como geométricos sobre la marcha.

A partir de las imágenes hemos podido desarrollar todos los elementos que hemos modelado en tres dimensiones, como son la estructura tubular, elementos de rodadura, con la rueda, amortiguador, soporte del amortiguador, además de la pieza de unión entre los vagones y demás.

En alguno de los artículos hemos podido observar las características de cada vagón por separado, como el peso, distancia entre ejes, altura, detalles que nos han facilitado el proceso de obtención de las geometrías distintas del Talgo.

### 3.2. Obtención de características técnicas y geométricas

A partir de los artículos publicados vemos que los principios básicos considerados como fundamentales para el concepto Talgo I eran tres:

- Guiado de los ejes
- Ruedas independientes
- Integración de los elementos formando un cuerpo único articulado

Esta concepción se traducía en la exclusión del clásico bogie\* convencional de técnica pesada permitiendo la eliminación del peso como factor antidescarrilante y que consecuentemente hacía posible el aligeramiento del vehículo empleando aleaciones livianas que permitían una nueva y radical simplificación del diseño del tren.

Por ello la estructura de los vehículos era del tipo tubular autoportante con rodadura y suspensión independiente y simplicidad en los mecanismos de conexión consiguiéndose así una gran economía y rapidez en la conservación y mantenimiento de los trenes.

Junto a estas características iban ligados el empleo de rodaduras especiales, ruedas elásticas, elementos de corta longitud, etc. Esto hacía que se alcanzaran otras dos características complementarias a las tres primeras:

- Bajo centro de gravedad
- Ligereza de peso

\*Conjunto de dos o tres pares de ruedas, según modelo, montadas sobre sendos ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se utilizan en ambos extremos de los vehículos de gran longitud destinados a circular sobre carriles. El vehículo se apoya en cada bogie por medio de un eje vertical mediante un pivote, gracias al que puede describir curvas muy cerradas.

### 3.2.1. Características técnicas y geométricas generales

A continuación podemos observar las características más importantes que el Sr. Alejandro Goicoechea tuvo en cuenta para dar el gran paso de cambiar de los antiguos sistemas ferroviarios, que dependían de gran peso para no descarrilar, al sistema innovador llamado articulación ligera. Además podemos apreciar dentro de cada característica, los detalles y técnicas utilizadas para conseguir las metas a las que llegó.

Las características técnicas y geométricas que veremos a continuación son las siguientes:

- Aligeramiento
  - Por empleo de la soldadura eléctrica
  - Por empleo de la rueda dirigida
  - Por empleo de los “anillos” como estructura autoportante
  
- Descenso del centro de gravedad
  - Por eliminación del clásico rodal o eje montado
  - Por empleo de ruedas independientes
  
- La tracción del nuevo sistema
  - Vapor
  - Aceite
  - Gasolina
  - Energía eléctrica
  
- Seguridad y confort
  
- Otras ventajas del nuevo sistema
  - Ruedas elásticas
  - Ventajas económicas

## 3.2.1.1. Aligeramiento

### 3.2.1.1.1. POR EMPLEO DE LA SOLDADURA ELÉCTRICA

El proceso de aligeramiento que culminó con el TALGO fue el empleo de la soldadura eléctrica, que, aparte de otras ventajas, suprimió el pesado roblonado. Con ello se aligeraron los bastidores, siendo éste el primer paso que conduciría más adelante de los coches de viajes a las estructuras autoportantes.

En el aspecto carga, aquél en que el peso incidía con mayor fuerza, en 1926 y por iniciativa del Sr. Goicoechea, a la sazón ingeniero jefe de material y tracción del ferrocarril de La Robla, se construyó en los talleres de Valmaseda un bastidor soldado para vagón de carga, especialmente proyectado por él de acuerdo con los resultados obtenidos en varios ensayos hechos sobre probetas en las que se empleó soldadura eléctrica.

A continuación podemos ver los ensayos realizados en la época:

1. Probeta mixta rota a los 27.200 kg. por la unión remachada sin deformaciones ni roturas en la unión soldada (figura 3.1).

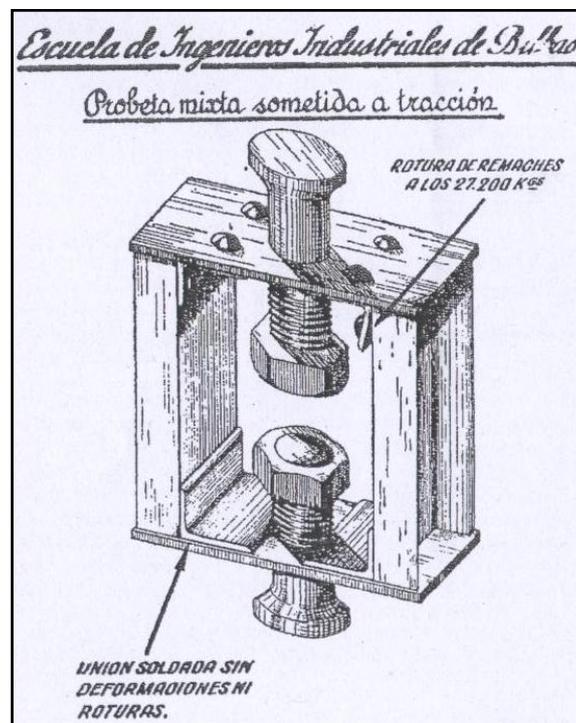


Figura 3.1: Primer ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.

2. Probeta mixta con unión remachada reforzada rota a los 36.500 kg. por los remaches (figura 3.2).

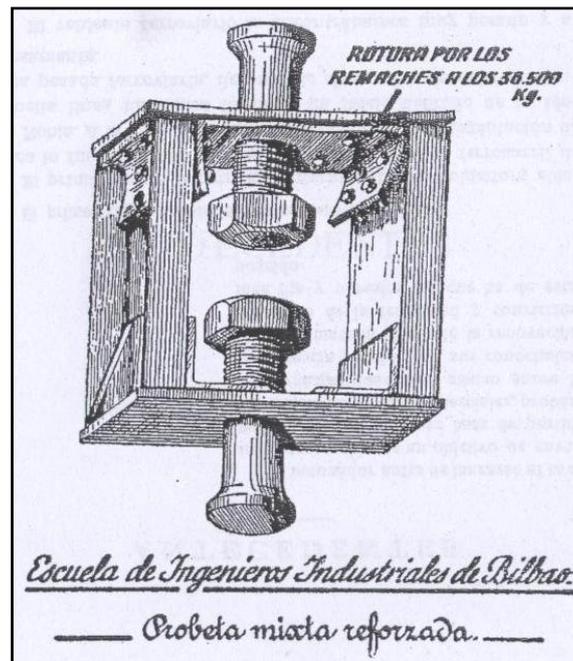


Figura 3.2: Segundo ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.

3. Probeta totalmente soldada ensayada en la máquina de 100.000 kg. De Altos Hornos y rota a los 84.000 kg. de esfuerzo, pero por la chapa (figura 3.3).

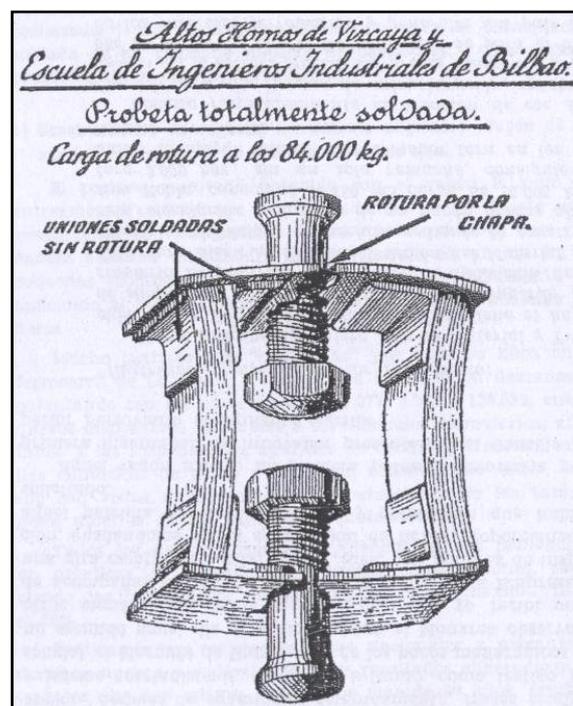


Figura 3.3: Tercer ensayo de soldadura eléctrica con una probeta.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Dichos ensayos fueron realizados en 1926, época en que el cálculo de las resistencias de uniones soldadas estaba nada recién iniciado. Hoy día no haría falta tanto ensayo ni rotura de probetas.

La conclusión que obtenemos de estos ensayos de la época es que aparte de reducir el peso considerablemente, el uso de la soldadura eléctrica hacia más resistente a los esfuerzos las uniones soldadas.

Los resultados obtenidos en el vagón de prueba así construido fueron satisfactorios, pues se logró reducir la tara desde un 65% de la carga máxima a un 35%, valor éste que más adelante y depurando la técnica empleada, fue reducido a un 25%. Así pues, podemos tomar esta fecha como el punto de partida para el proceso de aligeramiento de la nueva era de sistemas ferroviarios.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.1.1.2. POR EMPLEO DE LA RUEDA DIRIGIDA

La razón de todas las ventajas que vemos en el tren articulado ligero, es la consecución de la rodadura de los vehículos sobre ruedas libres, independientes y constantemente dirigidas.

Con los ejes orientales, anulando los ángulos de ataque de las pestañas con el carril y, aun mejor, pudiéndolos hacer ligeramente negativos, se cuadruplica el margen de seguridad en la circulación de los vehículos ferroviarios, entre otras ventajas menos importantes.

Para esquematizar con un ejemplo, podemos decir que en la rueda R de la figura 3.4, tiene tendencia a descarrilar, y precisa de cierto peso para evitarlo; que la rueda R1 no tiene tendencia a descarrilamiento y no precisará, por lo tanto, de peso para evitar que aquel se produzca; y que la rueda R2 no solo no tiene tendencia al descarrilamiento, sino que produce, entre la pestaña y el carril (punto m), un rozamiento que se opone al descarrilamiento y hace aún más segura la eliminación del peso.

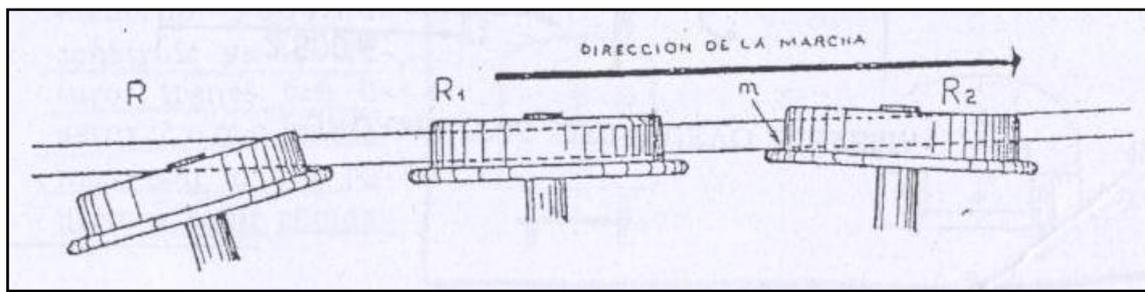


Figura 3.4: Ángulos de ataque de la pestaña con el carril en el antiguo sistema pesado y en la rueda orientada del tren ligero.

El tren articulado ligero dispone de ruedas R1 dirigidas por el triángulo virtual, Oo, O2 (fig. 3.5), cuyo vértice O discurre obligatoriamente por el eje longitudinal de la vía y, por construcción geométrica, todo tren articulado ligero, al circular en recta, llevará sus ruedas en la posición R1 y en las alineaciones curvas llevará la rueda exterior, que es siempre la de peligro, en la posición R2.

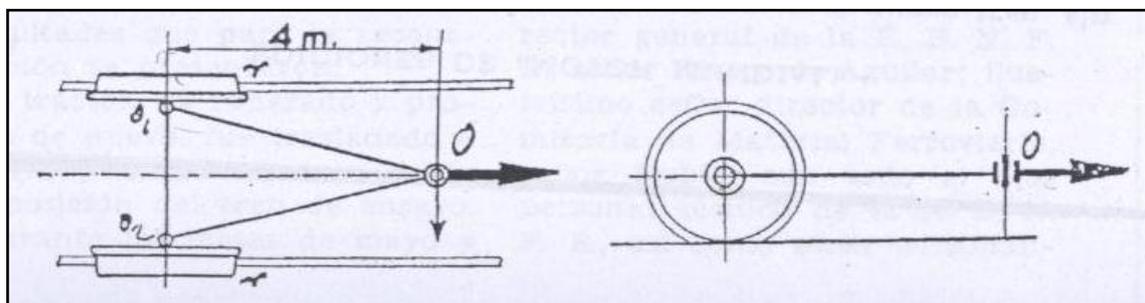


Figura 3.5: La rueda orientada o dirigida del nuevo sistema.

Esta es la explicación de que el dispositivo esquemático, ensayado en 1941, sin más peso que el de las propias ruedas y el de unos tubos, en conjunto 180 kilogramos por rueda, no descarrilara en las curvas con velocidad de 80 kilómetros por hora.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Respecto a la técnica del rodal, el sistema ferroviario tradicional anterior al articulado ligero, que rueda apoyado en un punto centrado P de los carretones (figura 3.6) y pueden girar alrededor de dicho punto de apoyo, con la consecuencia de que si intentase rodar por una superficie perfectamente plana (sin carriles), no lo podría conseguir porque cada carretón tomaría al iniciar la marcha una dirección arbitraria, originándose un verdadero desbarajuste, y las rectificaciones necesarias para orientar todas las ruedas en una sola dirección, serían tan frecuentes como los intentos de avanzar. Además constantemente se registran en las ruedas de esos carretones la posición desfavorable R de la figura 3.4.

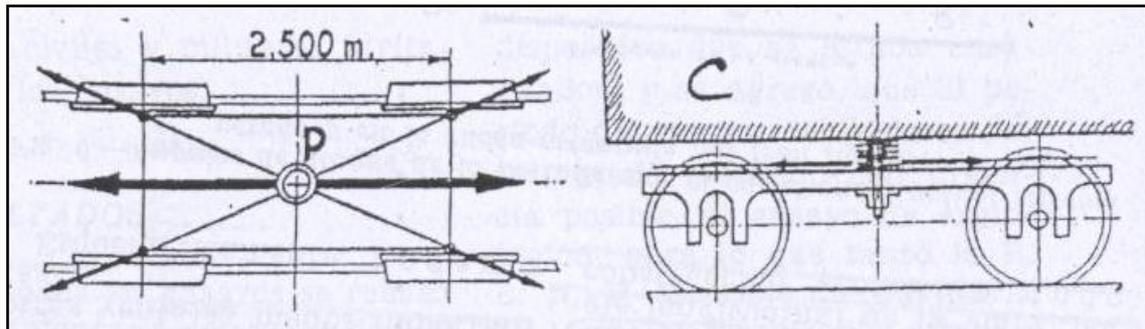


Figura 3.6: El rodal pesado antiguo.

Esta técnica del rodal se caracterizaba además del sobre ancho de vía (suprimido o reducido en muchas líneas), los desgastes inevitables de las pestañas y los huelgos necesarios entre manguetas y cojinetes.

En la rodadura del tren articulado las cosas pasan de otro modo: si un tren articulado lo colocamos en una superficie plana sin carriles, y ponemos en marcha el tractor, el tren le seguirá sin dislocaciones ni desbarajuste alguno, orientándose automáticamente cada caja.

Dicha técnica se veía a diario en los puestos de alquiler de triciclos de Madrid, que al terminar su jornada reunían uno detrás de otro todos los triciclos, y montando la cabeza de uno sobre la cola de otro los conducían al almacén sin problema ninguno de desviación.

Un vez hemos ido modelando cada vagón nos hemos dado cuenta de que el triángulo seguía estando presente virtualmente en la estructura, ya que los puntos de apoyo del tren eran tres, y formaban un triángulo isósceles. Dicho triángulo estaba formado por las nuevas ruedas independientes y el punto de unión entre vagones como podemos apreciar en la figura 3.7 de uno de los vagones que hemos modelado.

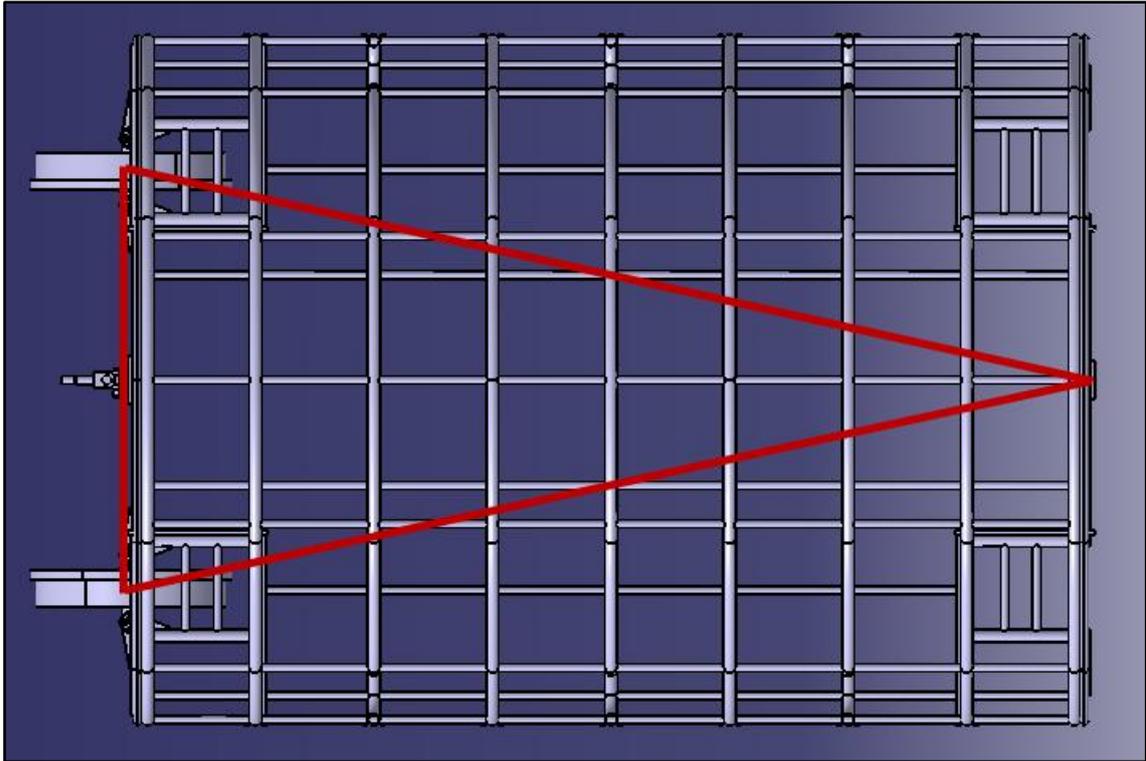


Figura 3.7: Triángulo isósceles representado en la estructura.

3.2.1.1.3. POR EMPLEO DE LOS “ANILLOS” COMO ESTRUCTURA AUTOPORTANTE

Puestos ya en el camino del aligeramiento, se decidió construir el tren con “anillos” o elementos sumamente cortos (figura 3.8), que permitieran una fabricación tubular bastante ligera. Siendo esta última característica ventajosa en extremo para la adaptación del tren a la vía, lo mismo en recta que en curva.

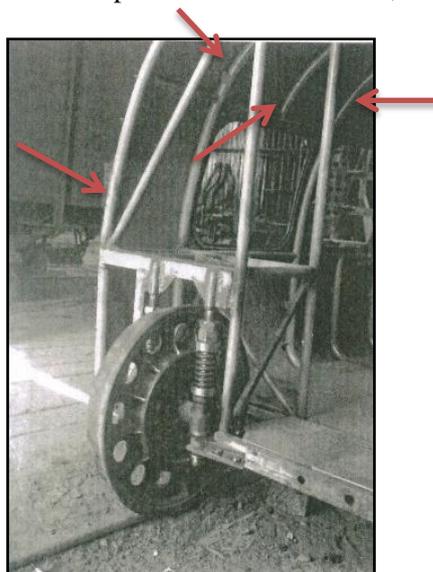


Figura 3.8: Estructura tubular interior.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A partir de esta imagen, la estructura tubular modelada en tres dimensiones ha ido tomando forma hasta el punto de darnos cuenta una vez finalizada (figura 3.9), que gracias a todos los anillos y el entramado de tubos, la estructura por si sola es capaz de soportar grandes pesos y puede prescindir de cualquier otra estructura para ayudar a soportar dicho peso.

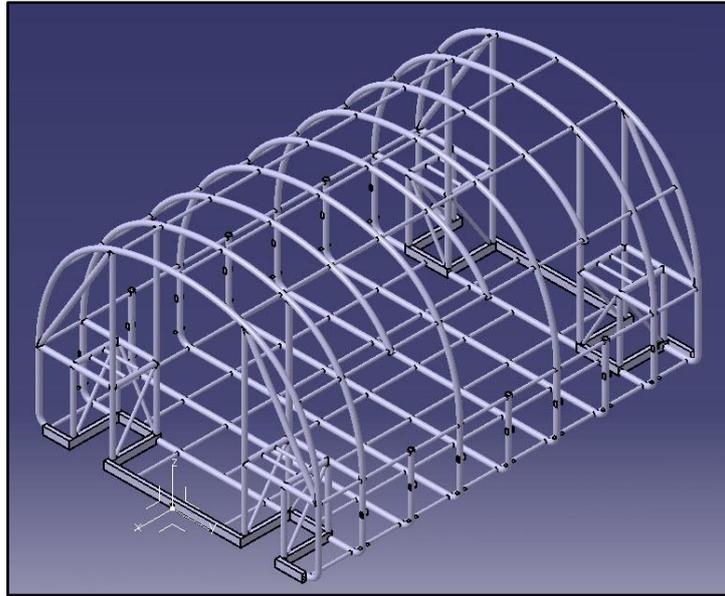


Figura 3.9: Estructura tubular modelada en tres dimensiones (vagón buffet).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.1.2. Descenso del centro de gravedad

Otra de las características del nuevo sistema era su escasa altura comparada con la de los vehículos pesados de entiendo (aproximadamente la mitad).

Con ello se conseguía la doble ventaja de reducir extraordinariamente la altura del centro de gravedad de los vehículos y disminuir fuertemente la sección transversal. Ambas ventajas contribuyeron al aumento de las velocidades elevadas.

Si comparamos la nueva técnica con la técnica pesada (figura 3.10), vemos que no admitía otra concepción constructiva que la basada en el primitivo rodal o eje montado ferroviario y se decidió prescindir de ella.

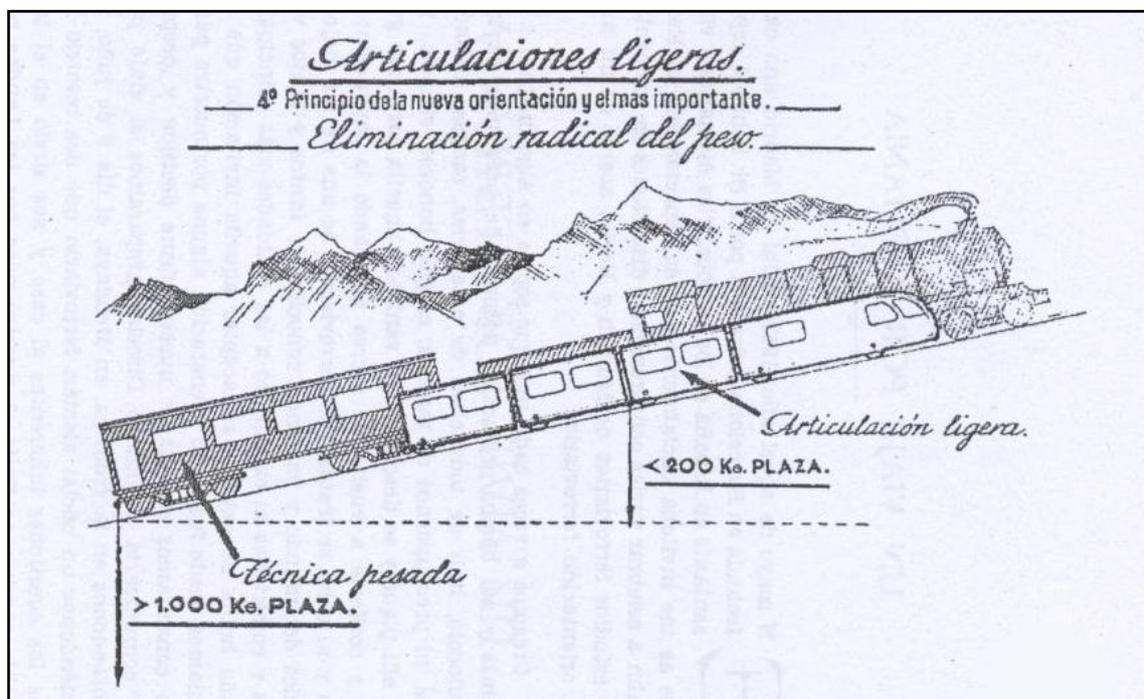


Figura 3.10: Comparativa de tamaños entre los diferentes sistemas.

Existían dos justificaciones posibles para mantener ese elemento antiguo (rodal):

Primera, la necesidad de soportar las grandes masas de los vehículos ferroviarios; y segunda, la teoría del auto centrado por conicidad.

Si las grandes taras las creían fatales para el ferrocarril y se precisaba y se conseguía reducirlas, el eje montado no tenía justificación; y en cuanto a la conicidad, que era la causante del movimiento sinusoidal o de lazo (otra de las grandes preocupaciones de la técnica extranjera para velocidades elevadas), no obstante podía prescindirse de ella con las ruedas libres, y además fue eliminada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Los estudios sobre movimiento sinusoidal, aseguraban que se producía, aunque moderado, con las llantas cilíndricas en ruedas libres; pero si las ruedas libres eran, además, independientes y dirigidas, el movimiento sinusoidal no podía producirse, como no se producía en el tren articulado ligero, quizá el primer dispositivo ferroviario en el mundo en aquellos tiempos sin ese fenómeno perturbador. En la siguiente figura 3.11 podemos apreciar el desplazamiento de las ruedas en el sistema de ruedas independientes y en el sistema de eje montado. El sistema de eje montado al estar unidas ambas ruedas, si el vagón circulaba por un peralte, por pequeño que fuera obligaba a desplazar toda la carga, en cambio el sistema de rueda independiente, la rueda al cambiar la altura de trazado, subiría sin molestia ninguna para la carga. Además en la imagen podemos apreciar la diferencia de alturas entre los centros de gravedad, estando este más bajo en la el sistema articulado ligero.

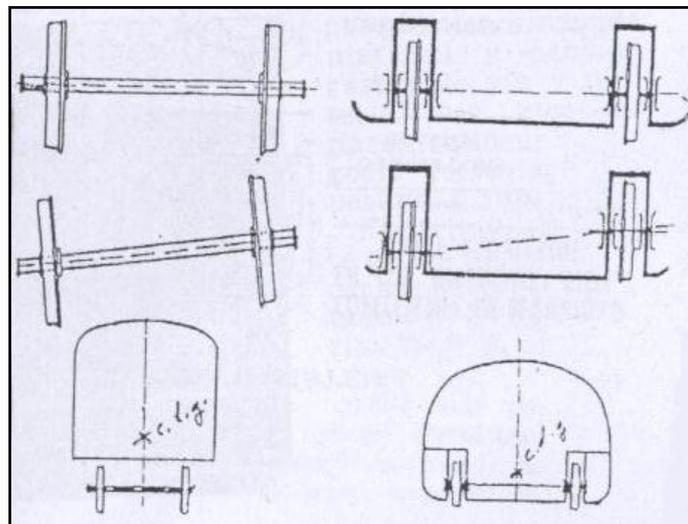


Figura 3.11: Comparativa del desplazamiento vertical de las ruedas.

Al decidirse a prescindir de ese eje montado clásico les fue fácil el conseguirlo, y esa solución permitió rebajar notablemente la altura de las plataformas de los vehículos del nuevo tren, con la utilización de todo espacio libre entre las ruedas y descenso consiguiente del centro de gravedad.

Si a esa nueva disposición de las ruedas (semejante a la de los automóviles) le agregaban el permitir aproximar al carril la plataforma de los vehículos, estaban consiguiendo obtener para los nuevos trenes una sección transversal mínima, con altura del centro de gravedad sobre los carriles también mínima.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación podemos observar en la figura 3.12 una imagen comparativa de ambas secciones y cómo la del nuevo sistema distaba considerablemente del antiguo sistema pesado.

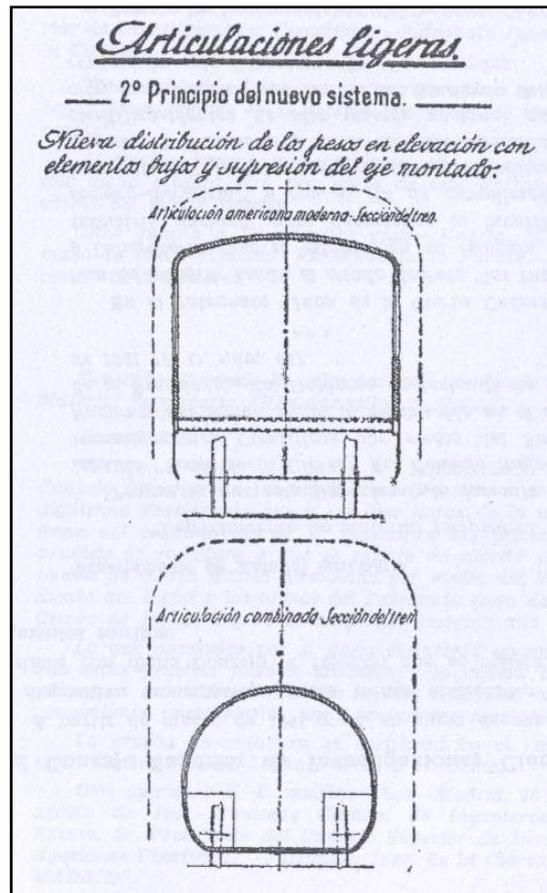


Figura 3.12: Comparación de secciones de ambos sistemas

En base a lo comentado anteriormente sobre el bajo centro de gravedad y la mínima sección en comparación con los antiguos sistemas ferroviarios (rodal o eje montado), hemos ido observando, como, las características técnicas las cuales el Sr. Alejandro Goicoechea iba en busca de mejorar en su nueva concepción de un tren diferente, se iban cumpliendo a medida que íbamos modelando cada vagón por separado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Observamos que al eliminar el sistema de eje montado y diseñando a partir de las imágenes el tan simple elemento de rodadura del nuevo tren, el vagón ya quedaba bastante cercano a las vías y su centro de gravedad descendía considerablemente en comparación con cualquier tren anterior al Talgo I. En la figura 3.13 podemos apreciar la sencillez de la sección de rodadura y la escasa sección del tren modelado en tres dimensiones.

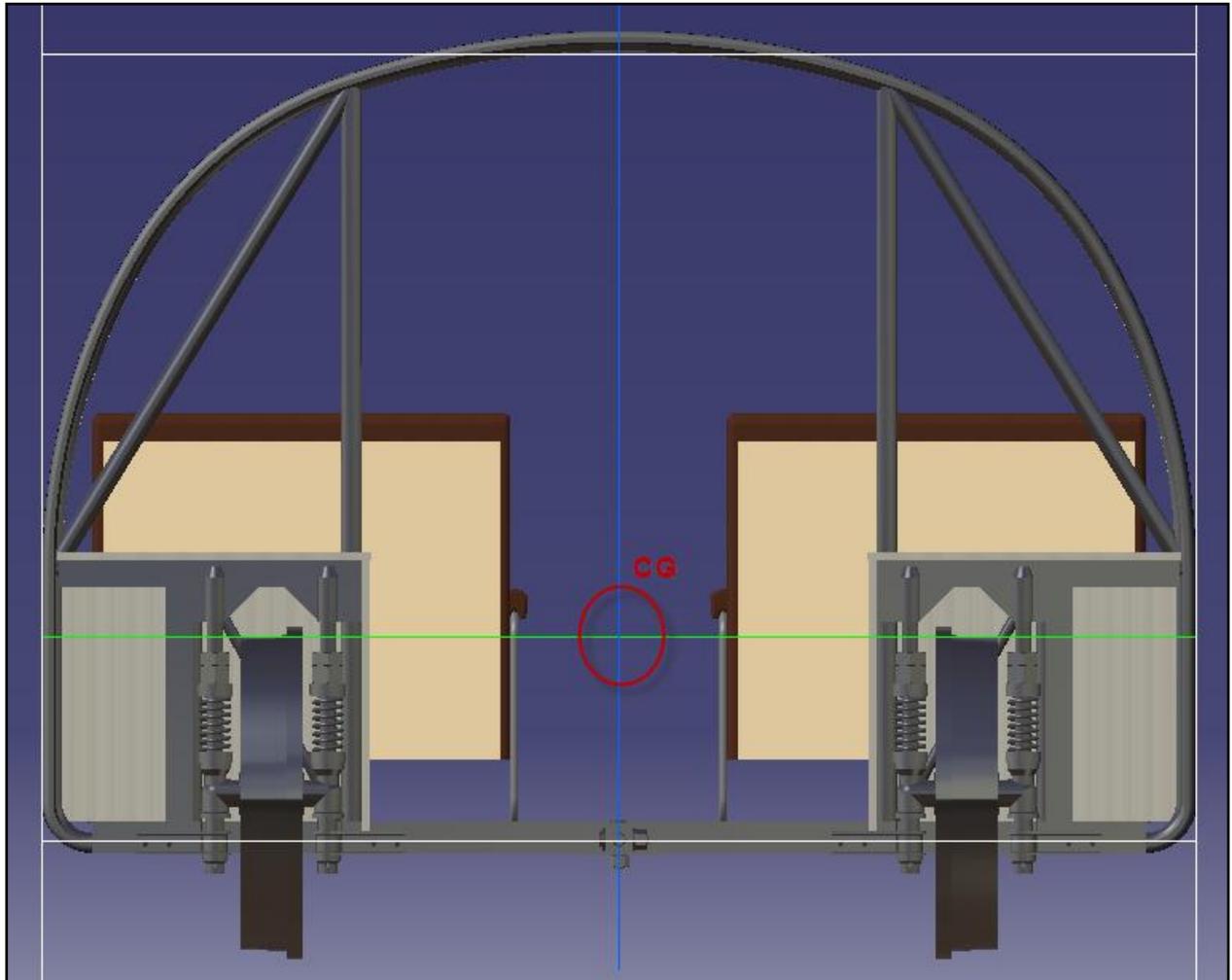


Figura 3.13: Sección de un vagón donde aparece el centro de gravedad.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.1.3. La tracción en el nuevo sistema

El tren articulado podía ser remolcado por cualquier de los medios conocidos de tracción en la época: vapor, aceite, gasolina o energía eléctrica; pero se elegiría aquel que le proporcionase mayores velocidades y, por tanto, sus tractores serían eléctricos en las líneas electrificadas y de aceite y gasolina en las no electrificadas.

La tracción eléctrica era la que más convenía al nuevo sistema, porque abría para este un campo de perfeccionamiento, y entre estos, el de la adherencia diseminada, que completaría los resultados, haciéndoles definitivos, tanto por razones económicas como de velocidades.

### 3.2.1.4. Seguridad y confort

Alejandro Goicoechea nunca dejó de lado dos características muy importantes de cara a los viajeros, ya que no tenía nada que ver el modificar todo lo respecto al aligeramiento, centro de gravedad y la integración de los elementos formando un cuerpo único con el perder confort o seguridad, sino al contrario.

Las garantías de seguridad que ofrecía al cliente la articulación combinada aumentan extraordinariamente en comparación con la técnica anterior, bastaba en fijarse en la estabilidad de los trenes articulados en marcha era infinitamente mayor que la anterior, por dos razones: primera por su inscripción suave y completa en las curvas eliminando todas las reacciones que longitudinal y transversalmente se registraban entre los vehículos convencionales, y segunda, porque la carga en el sistema ideado por el Sr. Goicoechea va colocada a pocos centímetros del carril y la altura máxima del vehículo era aproximadamente de dos metros, cuando en los trenes anteriores alcanzaba la de 4.2 metros, diferencia de tal consideración.

El confort iba ligado a la estabilidad ya que con una mejor circulación en curva el viajero ya no tenía que soportar las vibraciones ni los ruidos que soportaban los sistemas antiguos al Talgo I.

A continuación podemos ver un ejemplo de la época donde observamos el coeficiente de seguridad entre el sistema antiguo (Designación: Concepción clásica; Coeficiente: 1 - 2,5) y el sistema ideado por el Sr. Goicoechea (Designación: Tren articulado; Coeficiente: 3 - 5,5).

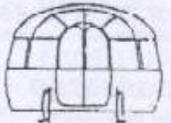
COEFICIENTE DE SEGURIDAD EN LOS DIFERENTES SISTEMAS FERROVIARIOS	
Designación	Coeficiente
 CONCEPCIÓN CLÁSICA	1 - 2,5
 TREN ARTICULADO	3 - 5,5

Figura 3.14: Coeficiente de seguridad entre los diferentes sistemas ferroviarios.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.1.5. *Otras ventajas del tren articulado ligero*

#### 3.2.1.5.1. RUEDAS ELÁSTICAS

El aligeramiento conseguido en el nuevo tren permitió la utilización en gran escala de los tipos de ruedas elásticas más confortables y con el fin de amortiguar los ruidos. Se empezó con las ruedas con macizos intercambiables de caucho.

#### 3.2.1.5.2. VENTAJAS ECONÓMICAS

Las características anteriores de aligeramiento, rueda dirigida, descenso del centro de gravedad, todas de tipo constructivo, no solamente hicieron factible la realización de grandes velocidades, sino que implicaron una explotación ferroviaria radicalmente distinta a la actual en aquella época en el orden económico.

El nuevo sistema ofrecía, en el orden económico, posibilidades como la de menores costos de adquisición, menores plazos de construcción, reducción de parques, reducción de gastos en la vía, reducción de los costos de reparación y de personal y la reducción de combustible y grasas.

Podemos ver un escrito en el (ABC, el ocho de febrero de 1955) que decía “se inventó el TALGO como un tren económico para que en el viajaran los humildes pero se han invertido los conceptos, convirtiéndole en un tren de lujo”.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2. Características técnicas y geométricas por secciones

#### 3.2.2.1. Características técnicas de la locomotora

Se trataba de un carretón procedente de un automotor térmico Ganz\* (figura 3.15) de la antigua Compañía del Norte, el W.M.D. 202 (9.210) fabricado en Budapest en 1937 que entonces se encontraba en reparación en los talleres vallisoletanos.

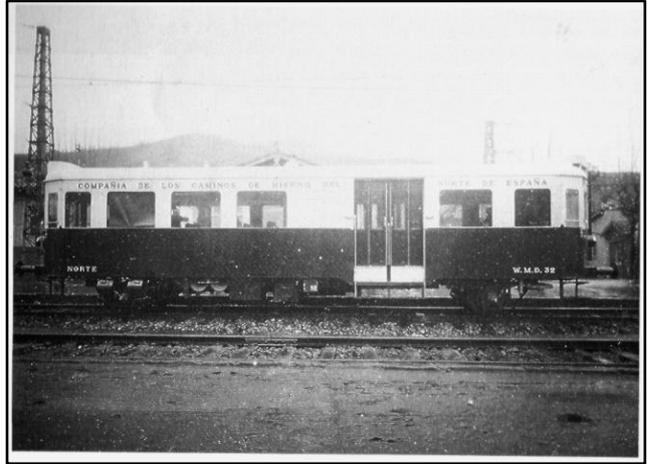


Figura 3.15: Automotor Ganz antiguo (9155).

El bogie tenía una distancia entre ejes de 3.950 milímetros, y sus ruedas un diámetro de 920mm, con perfil de rodadura tipo Norte. Estaba dotado de freno de aire comprimido, cajas de grasa de rodamientos, suspensión primaria de muelles-ballesta y secundaria de muelles helicoidales con apoyos de caucho endurecido. El motor era un diesel Ganz de 275 caballos, y el refuerzo de tracción de 3.000 kg, y la velocidad máxima que permitía alcanzar de 105 kilómetros hora.

En cuanto a su forma (figura 3.16), la locomotora que se construyó disfrutaba de cierto aire futurista ya que rompía con la estética de los trenes antiguos, además la forma le daba una mejor penetración sobre el viento y esto le hacía mejorar sus velocidades. Hay quien le llamaba el tren oruga.

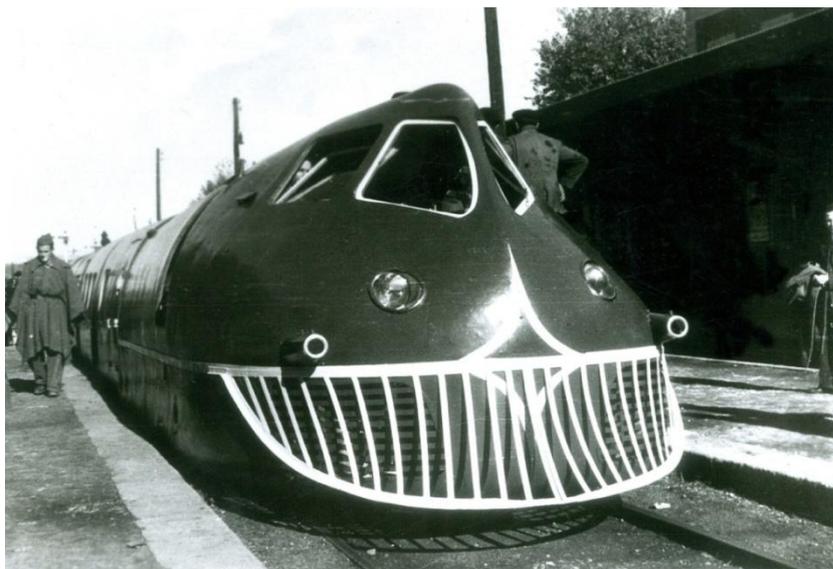


Figura 3.16: Locomotora del Talgo I.

A continuación vemos una tabla resumida de las características más importantes del tractor:

<b>Características del tractor</b>	
<b>Número de unidades</b>	1
<b>Constructor</b>	Talleres Renfe Valladolid
<b>Fecha de construcción</b>	1937
<b>Motor</b>	1 GANZ (Diesel)
<b>Posición motor</b>	Inclinado 6° respecto plano horizontal
<b>Potencia de origen</b>	202 kW (275 cv)
<b>Transmisión</b>	Mecánica
<b>Sistema de freno</b>	Aire comprimido
<b>Numero de ejes</b>	2
<b>Distancia entre ejes</b>	3.950 mm
<b>Peso por eje</b>	7.500 Kg
<b>Peso total</b>	15.000 Kg
<b>Esfuerzo de tracción</b>	3.000 kg (30 KN)
<b>Longitud total del tractor</b>	7.210 mm
<b>Altura máxima</b>	2.525 mm
<b>Anchura máxima</b>	2.900 mm
<b>Diámetro de ruedas (inicial)</b>	920 mm
<b>Ancho de vía</b>	1674 mm

Tabla 3.1: Descripción de las características técnicas del tractor

\* La compañía eléctrica Ganz fue fundada por Abraham Ganz en 1844 en Budapest y fue pionera en la aplicación de motores de tres fases para la tracción eléctrica y en motores diésel para automotores. En España hubo la filial Ganz Ibérica.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.2. Características técnicas de los vagones

El Talgo I estaba constituido por siete elementos de escasa longitud en comparación con los trenes previos al sistema ideado por Alejandro Goicoechea. Cada elemento constaba de una estructura tubular autoportante establecida por anillos tubulares de perfil circular y dependiendo de la función del vagón las estructuras variaban en cuanto a su geometría, además cada uno contenía en la parte trasera del coche un par de ruedas, cada una independiente de la otra, dos pares de amortiguadores situados uno a cada lado de la rueda, un soporte para el amortiguador situado a cada lado del vagón fijando dos amortiguadores por soporte y por último unos tabloncillos de madera para proteger la zona de rodamiento.

En la unión entre los distintos vagones encontramos representado virtualmente el triángulo del que partió en su primera estructura triangular articulada el Sr. Goicoechea como vemos representado en la figura 3.17, quedando unidos los vagones por su parte delantera central con el punto central posterior de los vagones de delante, soportando así un peso nulo.

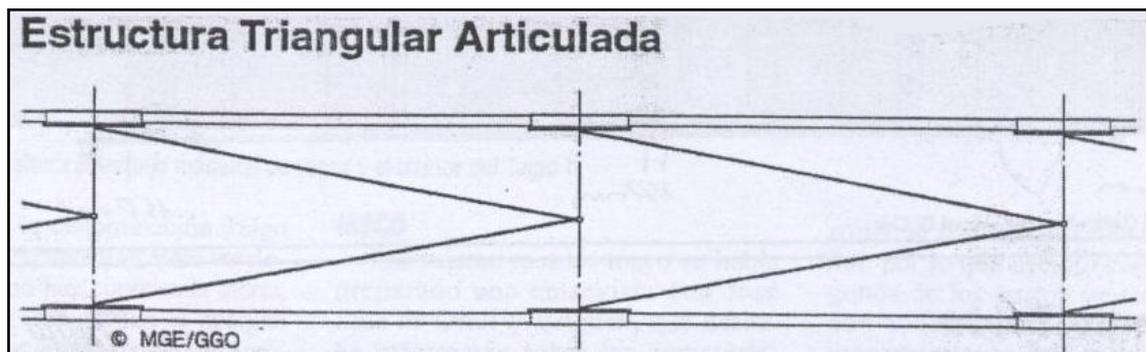


Figura 3.17: Estructura triangular articulada.

Al tener los vagones una geometría curva y ser sumamente cortos, la resistencia al viento menguaba considerablemente en comparación con los antiguos sistemas pesados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Podemos ver que había un total de siete vagones diferenciados por su funcionalidad y número de plazas descritos a continuación.

### 3.2.2.2.1. VAGONES EQUIPAJES Y BUFFET

Contiguos a la locomotora encontrábamos los dos elementos que vemos en la figura 3.18. Primero, el vagón de equipajes que incluía dos baños, con un inodoro, un lavabo y un espejo por baño, además, este vagón disponía de dos puertas dobles, con ventana cada una, que daban al exterior, dos a cada lado del vagón, y dos ventanas rectangulares también situadas dos a cada lado.

A continuación de dicho vagón observábamos el elemento buffet equipado con cuatro asientos biplaza y un par de mesas, además de seis ventanas repartidas en tres por cada lado. Dicho vagón podía albergar a ocho pasajeros.

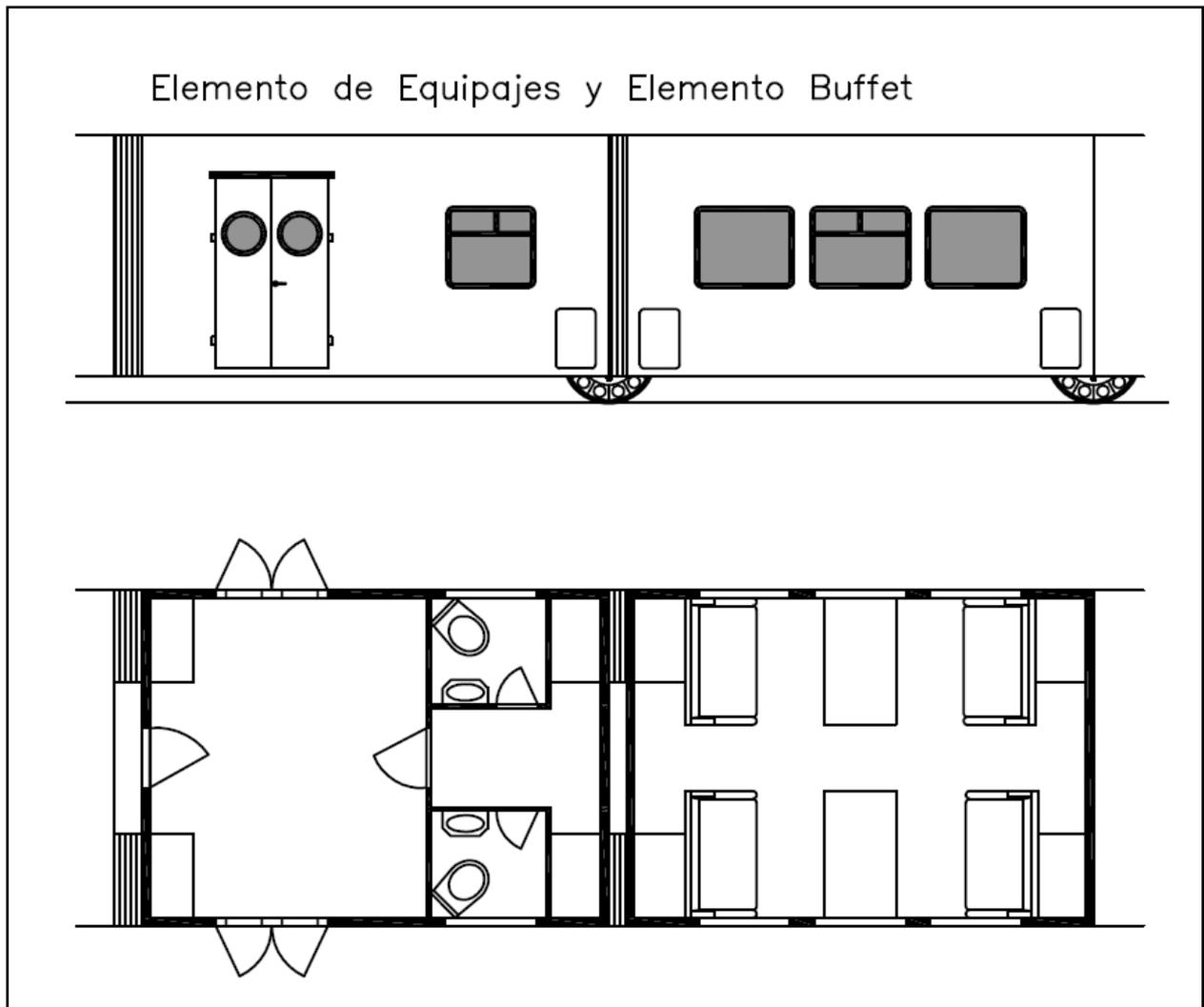


Figura 3.18: Distribución de los vagones de equipajes y buffet.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.2. VAGONES DE DOCE PLAZAS

El tren proseguía con dos vagones, ambos de doce plazas pero con alguna diferencia:

El primero de los dos se caracterizaba por tener dos puertas, con una ventana cada una, una a cada lado del vagón, además de seis ventanas rectangulares divididas en tres por lado. Dicho vagón disponía de seis asientos biplaza.

El segundo vagón contenía seis sofás biplaza, los seis idénticos a los del vagón anterior, además, este disponía de seis ventanas situadas como en el elemento buffet visto anteriormente.

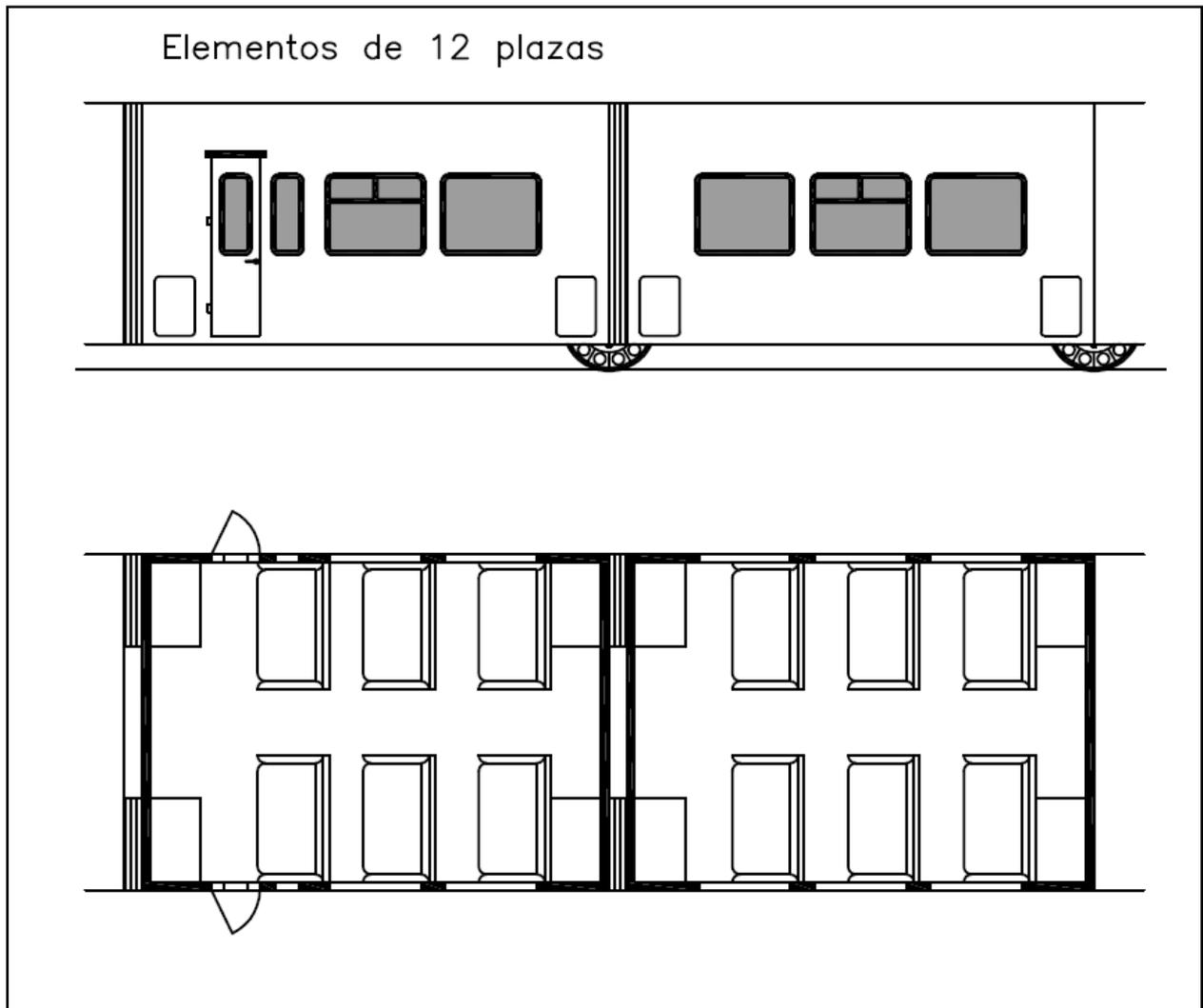


Figura 3.19: Distribución de los vagones de doce plazas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Durante la lectura de dicho proyecto podremos ir viendo modelados los vagones de los que hemos hecho una breve descripción, el elemento de equipajes, buffet y los dos de doce plazas.

Aparte de los modelados, también podemos ver cómo quedaría la disposición interior de los vagones restantes además de su exterior.

### 3.2.2.3. VAGONES DE DIECISÉIS PLAZAS

A continuación de los vagones de doce plazas aparecían otros dos elementos (figura 3.20), pero, a diferencia de los anteriores estos eran apenas unos centímetros más largos y albergaban mayor número de plazas, con un total de dieciséis plazas cada uno repartidas en ocho asientos más cómodos que los anteriores, de dos plazas cada uno. Cada vagón contenía una única puerta, quedando éstas en lados distintos en cada vagón.

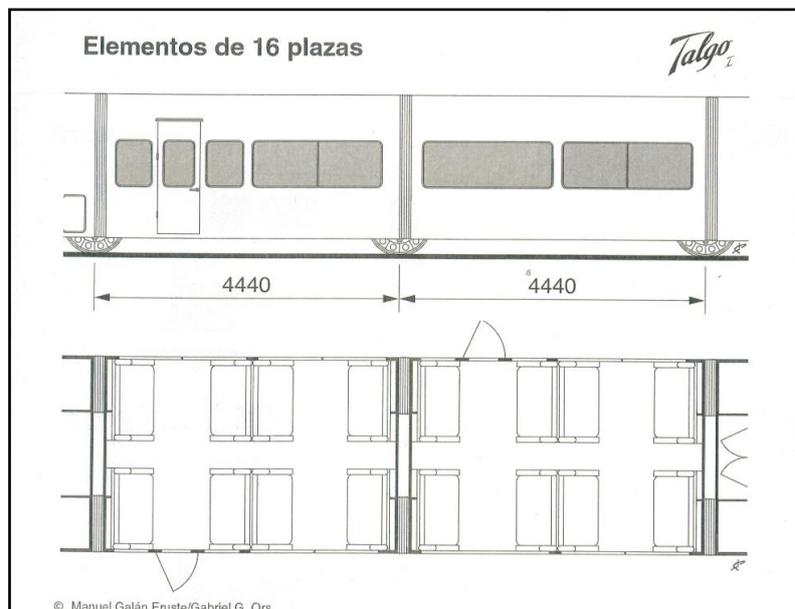


Figura 3.20: Distribución de los vagones de doce plazas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.2.4. VAGÓN SALÓN

Por último encontrábamos el elemento salón (figura 3.21), era el vagón de cola y el más lujoso, en el interior podíamos observar seis butacas con sus respectivas mesitas. Este coche contenía una puerta que comunicaba con el segundo elemento de dieciséis plazas y otra puerta que daba al exterior.

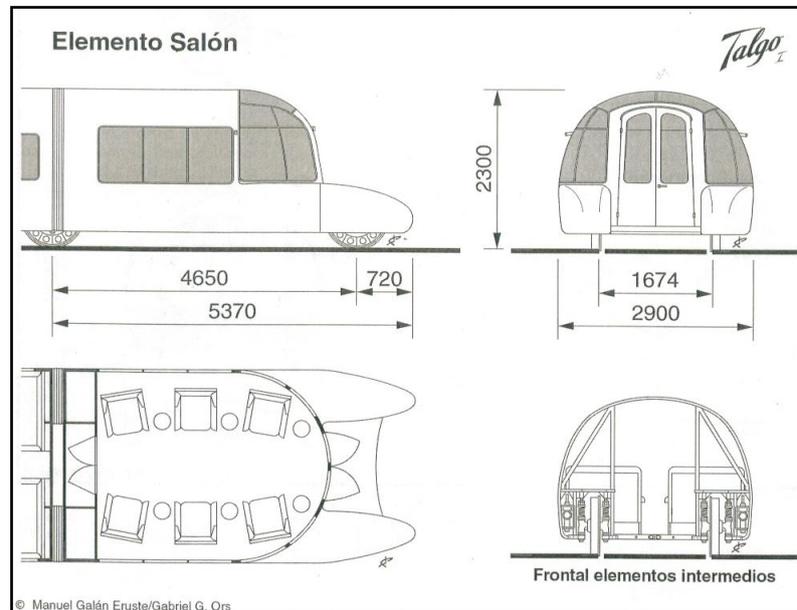


Figura 3.21: Distribución del vagón salón.

Al reducir tanto la sección del tren, los vagones apenas tenían dos metros de altura interior por donde circulaban los viajeros, hecho que no dificultaba la circulación de los viajeros por el interior. A continuación podemos ver una imagen de un viajero en la puerta exterior del elemento salón, dónde se puede apreciar el poco espacio libre que quedaba sobre su cabeza.

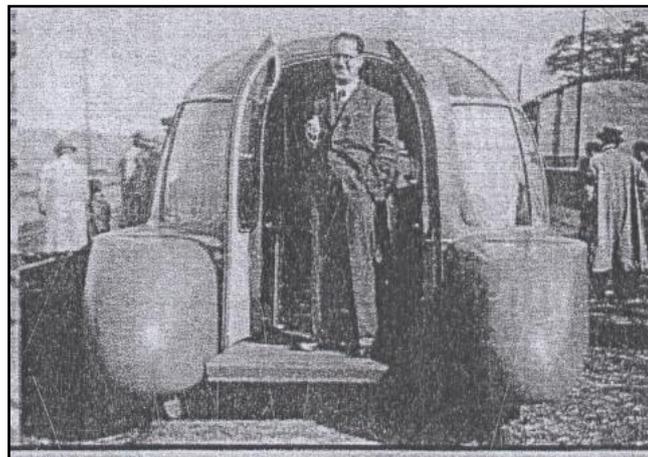


Figura 3.22: Comparativa de alturas entre un hombre y el Talgo I.

A continuación podemos ver resumidas en la tabla 3.2 las características de las que hemos hablado sobre los vagones.

<b>Características técnicas de los elementos</b>	
<b>Furgón equipajes/baño</b>	1
<b>De 12 plazas sin puertas</b>	1
<b>De 8 plazas sin puerta</b>	1
<b>De 12 plazas con puertas</b>	1
<b>De 16 plazas con puerta</b>	2
<b>Salón de cola</b>	1
<b>Plazas</b>	70
<b>Constructores</b>	Hijos de Juan Garay/Renfe
<b>Año de construcción</b>	1941
<b>Rodaje</b>	Talgo
<b>Peso elementos 12 plazas</b>	1.200 Kg
<b>Peso elementos 16 plazas</b>	1.520 Kg
<b>Peso total</b>	10.000 Kg
<b>Longitud caja furgón</b>	4.000 mm
<b>Longitud caja 12 plazas</b>	4.000 mm
<b>Longitud caja 16 plazas</b>	4.290 mm
<b>Longitud caja salón</b>	5.220 mm
<b>Burletes separación tractor</b>	230 mm
<b>Burlete separación cajas</b>	150 mm
<b>Longitud total</b>	30.930 mm
<b>Anchura máxima</b>	2.900 mm
<b>Altura máxima</b>	2.300 mm
<b>Ancho de vía</b>	1.674 mm

Tabla 3.2: Características de los vagones que componían el Talgo I.

Además de las características de los vagones, podemos ver las características de los elementos que componía cada vagón.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3. Estructura tubular autoportante

Todos los vagones disponían de una estructura autoportante, que como bien indica la palabra:

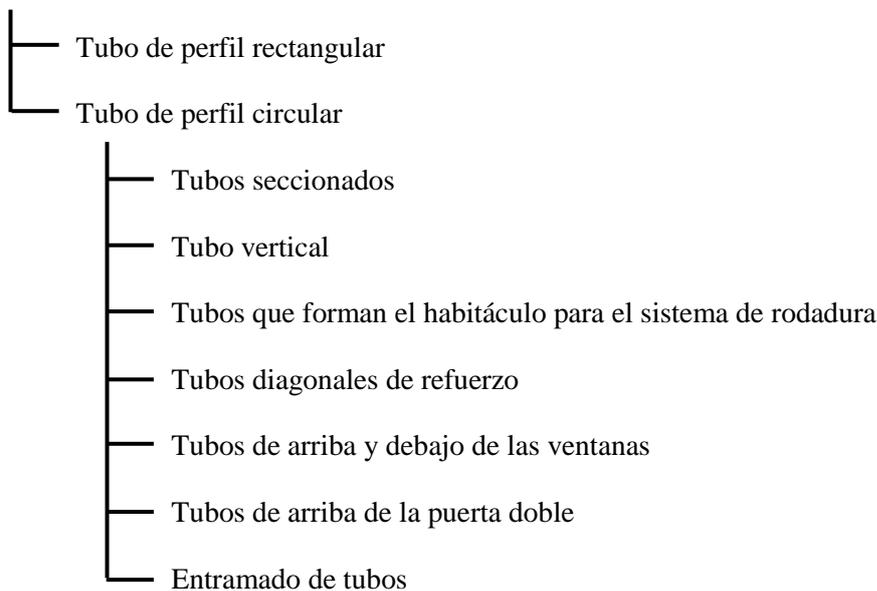
Es un conjunto resistente por sí mismo sobre el que pueden fijarse de algún modo otros sistemas o elementos esenciales o auxiliares que proporcionan la funcionalidad al conjunto. La misma estructura puede estar geoméricamente concebida para albergar ella misma alguna funcionalidad espacial.

En el caso del Talgo I y a partir de las imágenes recogidas en los diferentes artículos publicados, hemos observado que había diferentes tipos de estructuras, unas con tubos de perfil cuadrado, otras con perfil circular y algunas con perfil elíptico. Para modelar las estructuras tubulares hemos optado por seguir adelante con el perfil circular por varios motivos, uno de ellos es por su mejor y más fácil doblado de tubos. A partir de aquí, en las estructuras se puede apreciar como hay varios diámetros distintos de tubo y otros tipos de tubo, como el de perfil rectangular.

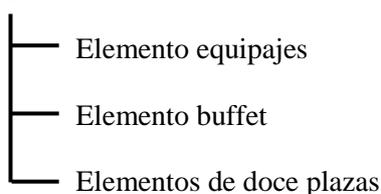
Además, en el tren se puede observar como la disposición de dichos tubos va variando en función del tipo de vagón y a continuación veremos los tipos de tubos, y las diferentes estructuras tubulares.

Para describir las estructuras autoportantes veremos los diferentes puntos:

#### Tipo de tubos



#### Tipo de estructuras tubulares



## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1. TIPO DE TUBO

#### 3.2.2.3.1.1. TUBO DE PERFIL RECTANGULAR

Uno de los tubos más importantes que contenían los vagones era el de perfil rectangular de 80x40mm (figura 3.23). Este tubo era de tal relevancia debido a su funcionalidad, debía albergar tanto el sistema de rodadura y suspensión, como el elemento de unión entre vagones y soportar los esfuerzos de tracción producidos por la locomotora.

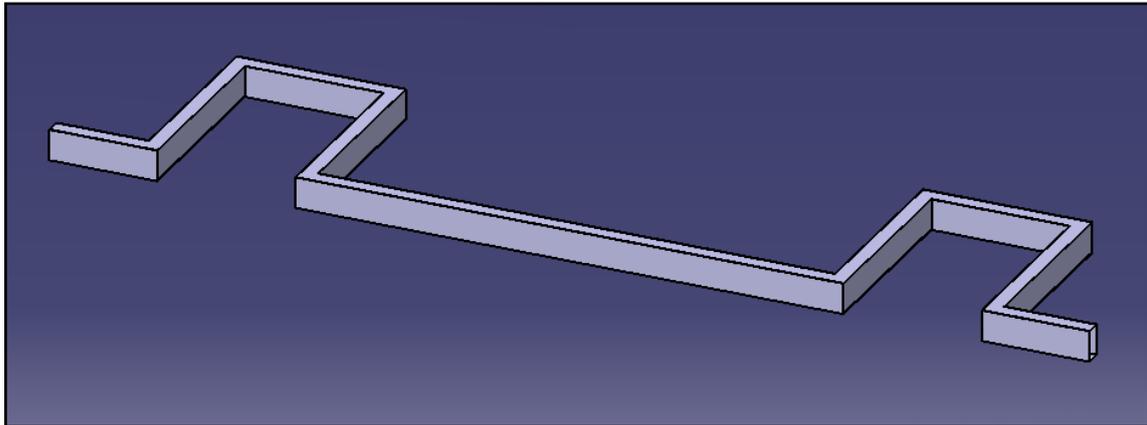


Figura 3.23: Vista isométrica del tubo de perfil rectangular.

Dicho tubo estaba ubicado tanto en el principio como en el final de cada vagón quedando los dos tubos situados como vemos en la figura 3.24, a una distancia entre caras de 4.000 mm.

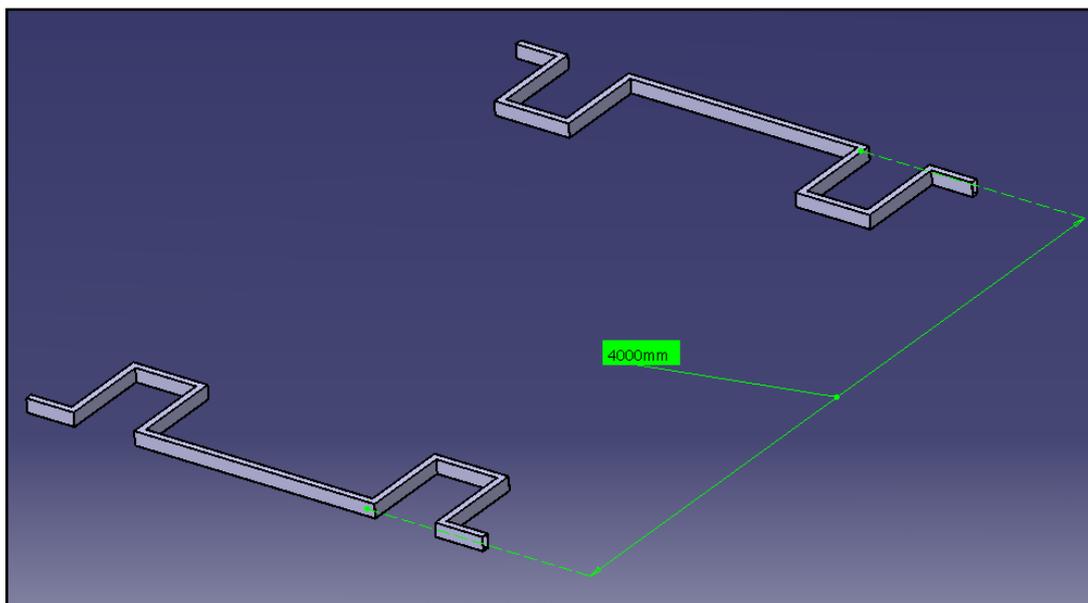


Figura 3.24: Tubos de perfil rectangular situados a cuatro metros de distancia entre caras.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.2. TUBOS DE PERFIL CIRCULAR

Todas las estructuras tubulares de los vagones constaban de “anillos”, tubos de perfil circular de 50mm de diámetro exterior doblados como podemos apreciar en la figura 3.25 que formaban las “costillas” de cada vagón.

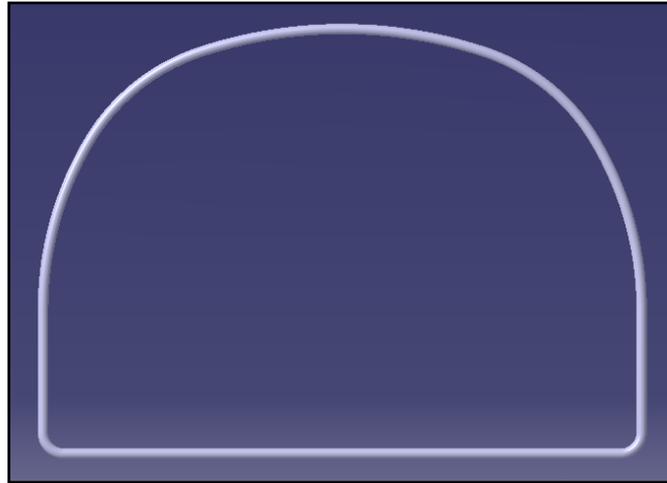


Figura 3.25: Tubo doblado de referencia.

En función de los planos en dos dimensiones hemos decidido que la estructura disponía de nueve tubos como el anterior separados entre sí longitudinalmente como vemos en la figura 3.26. Dichos tubos eran esenciales para la estructura autoportante.

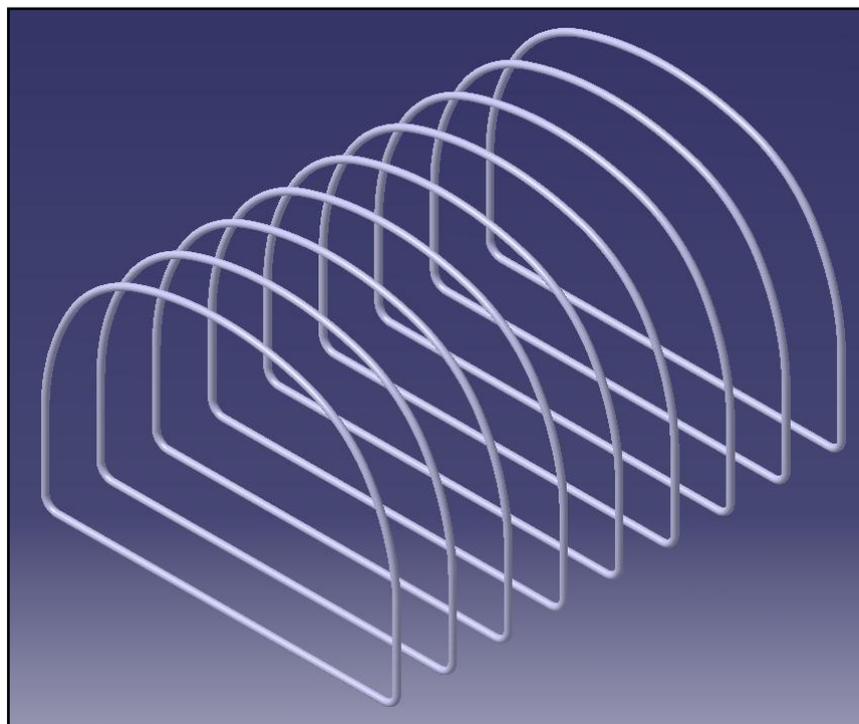


Figura 3.26: Conjunto de tubos formando las “costillas” de la estructura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Algunos de estos tubos que formaban lo que llamamos “costillas” debían ser seccionados para así poder albergar los espacios necesarios para las estructuras rectangulares, puertas o ventanas.

A continuación podemos apreciar los distintos tubos seccionados y los vagones a los que pertenecen:

### 3.2.2.3.1.3. TUBOS SECCIONADOS

#### 3.2.2.3.1.3.1. En la parte inferior para albergar el tubo de perfil rectangular

En este caso tampoco se ha encontrado una imagen donde quedara bien detallado si el tubo iba cortado, y si iba cortado, hasta donde. Hemos optado por este corte porque nos parecía el más apropiado para la estructura y para tener un buen punto de soldabilidad.

Como hemos dicho anteriormente, este corte se practicaba en los dos primeros tubos y los dos últimos de cada vagón, ya que el espacio eliminado era necesario para introducir el tubo de perfil rectangular visto anteriormente.

A dicho tubo de perfil circular se le practicaba unos cortes en la parte inferior para eliminar el espacio necesario nombrado anteriormente (figura 3.27).

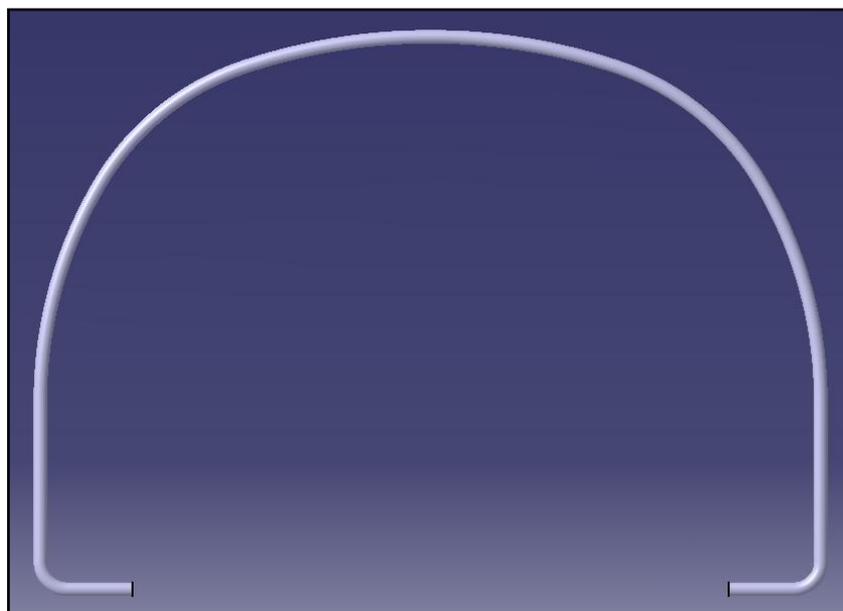


Figura 3.27: Tubo cortado inferiormente.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Los cuatro tubos nombrados de cada vagón precisaban del mismo corte ya que el espacio necesario era el mismo para todos como vemos en la figura 3.28.

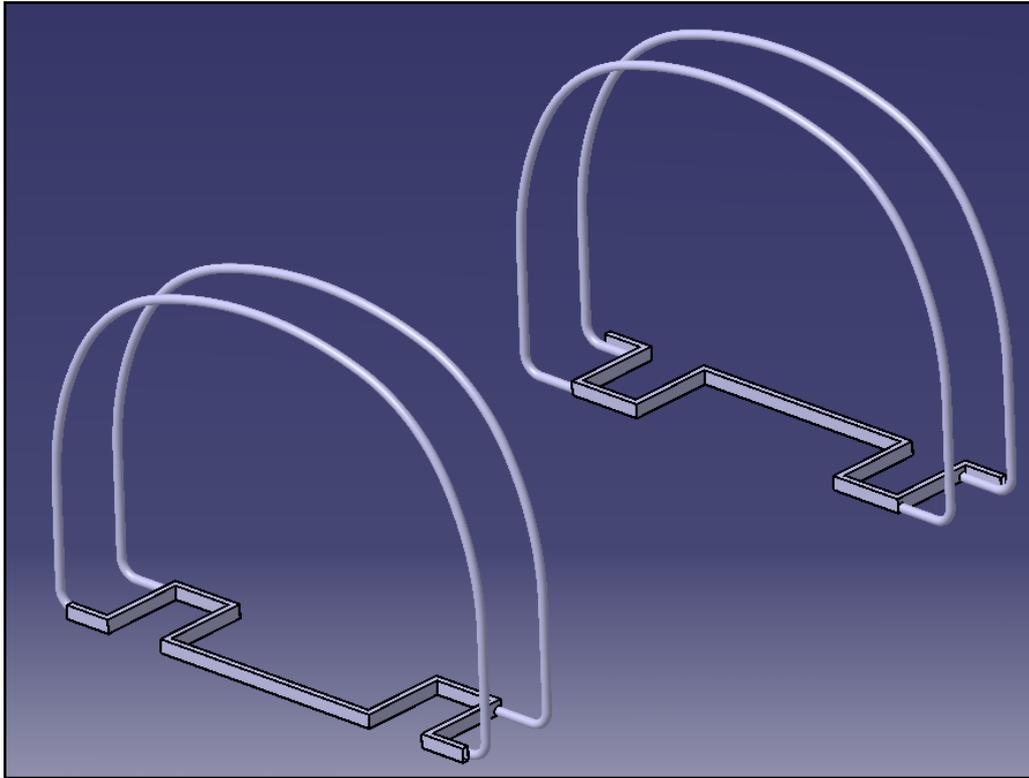


Figura 3.28: Conjunto de tubos de perfil rectangular y circular montado.

A parte de los tramos eliminados en la parte inferior de los tubos, algunas estructuras precisaban de cortes en algunos tubos en la parte lateral de ambos lados debido a que necesitaban espacio para introducir las ventanas y puertas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.2. En los laterales para albergar la ventana

A partir de la imagen que observamos en el artículo de “Maquetren”, donde se muestra una estructura tubular donde aparece el espacio para la ventana (figura 3.29), partimos para modelar en tres dimensiones la estructura la estructura tubular como vamos viendo paso a paso.

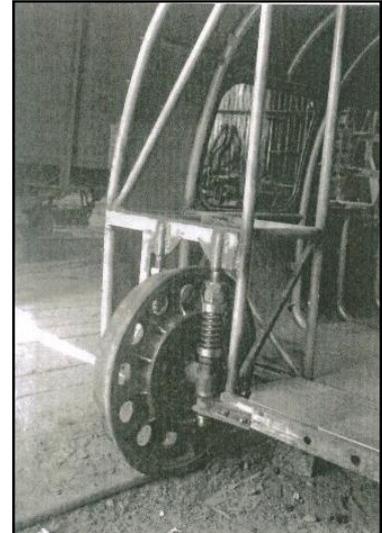


Figura 3.29: Espacio para ventanas.

Al “anillo” tubular que tomamos como referencia anteriormente se le hacía cuatro cortes en los laterales para eliminar el trozo de tubo donde iba situada la ventana, quedando el tubo como vemos en la figura 3.30.

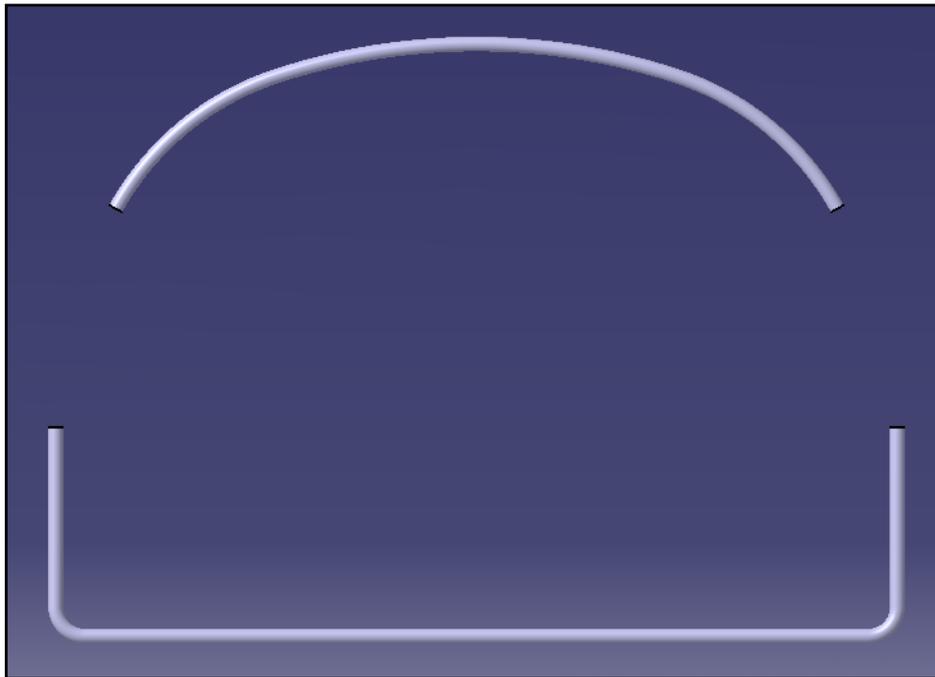


Figura 3.30: Tubo cortado que albergaba las ventanas.

En nuestro caso, hemos modelado solo cuatro vagones y nos ha coincidido que todas las ventanas eran de la misma altura, entonces todos los “anillos” tubulares que hemos tenido que cortar contienen el mismo espacio eliminado de tubo en cada segmento.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación podemos ver un ejemplo del vagón buffet y como quedaría la disposición de los nueve tubos incluyendo los tubos seccionados que albergarían las ventanas (figura 3.31).

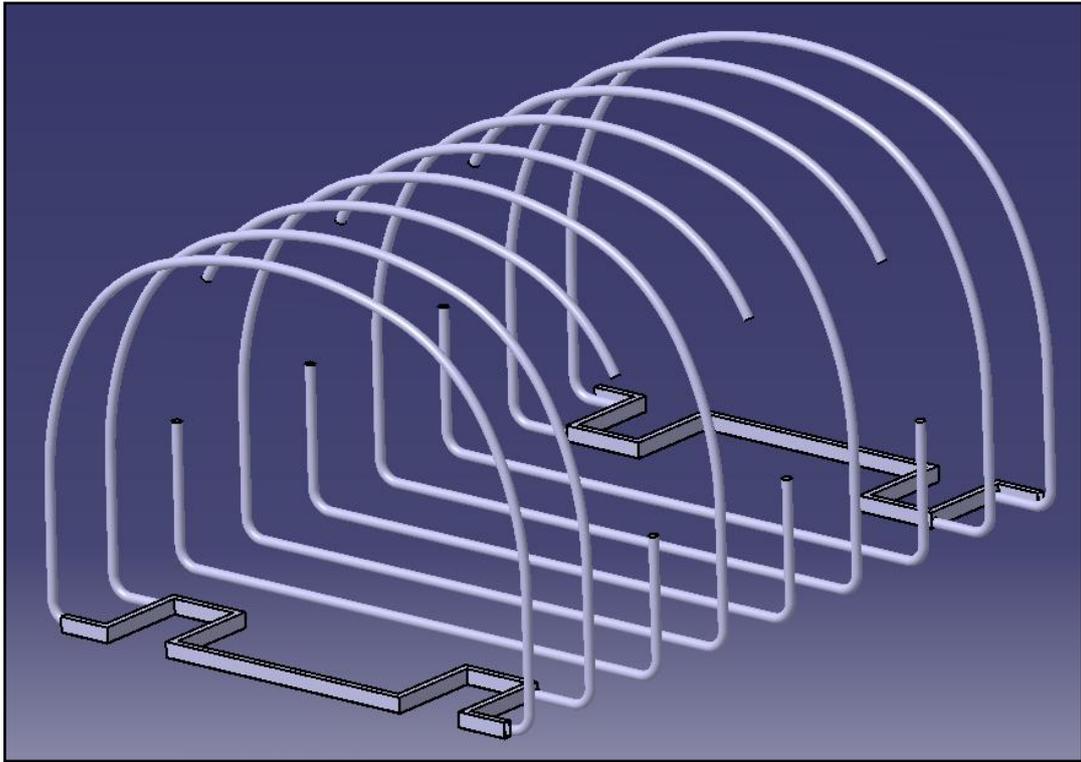


Figura 3.31: Conjunto de tubos de perfil rectangular y tubos seccionados para las ventanas y cortados inferiormente.

Además de los cortes en los laterales para poder albergar las ventanas, hacía falta cortar un tubo más en el vagón de equipajes, ya que este contenía una puerta justo situada donde iba el “anillo” tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.3. En los laterales para albergar la puerta

Debido a que no constan imágenes de la estructura tubular en la zona donde iban situadas las puertas, hemos aplicado el mismo criterio que para el caso de las ventanas. Hemos cortado el tubo dejando una pequeña tolerancia para que en caso de no practicar bien el corte en la chapa, el tubo cortado no se mostrara el aire libre.

Para el caso de la puerta doble del vagón de equipajes, se ha tenido que practicar un corte eliminando más cantidad de tubo que en el caso de las ventanas, como vemos en la figura 3.32, debido a que la puerta tenía más altura.

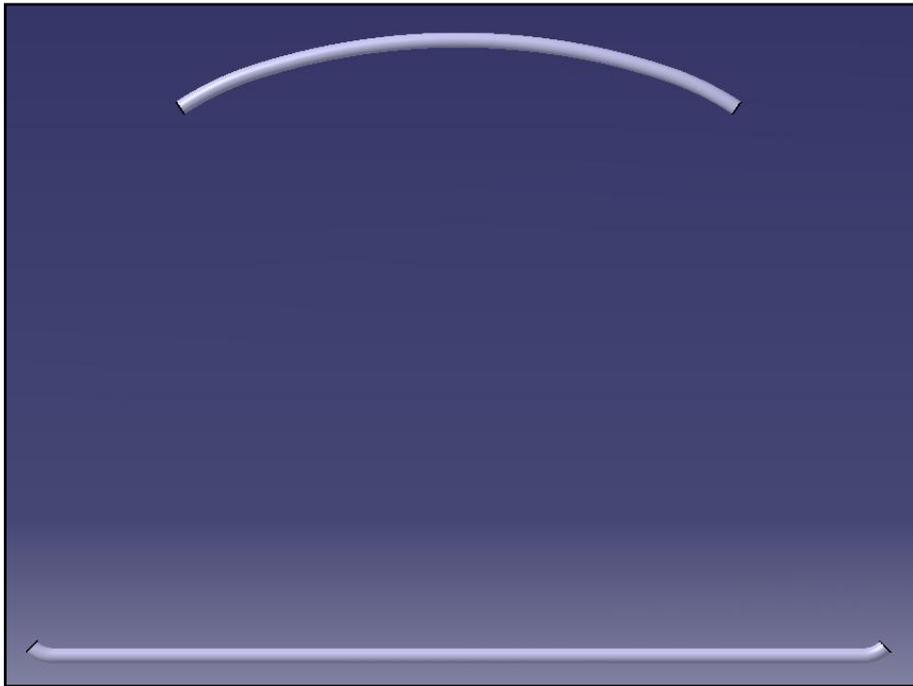


Figura 3.32: Tubo cortado que albergaba la puerta.

Los tramos de tubos a eliminar eran los mismos para ambos lados del vagón ya que el vagón contenía puertas en ambos lados al ser simétrico.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.4. Tubo vertical

La estructura tubular, además de los tubos mencionados anteriormente, constaba de ocho tubos situados cuatro en la parte delantera (figura 3.33), dos a cada lado y cuatro en la parte trasera también quedando dos a lado y lado del vagón. Dichos tubos quedaban en posición vertical sobre la estructura rectangular, colocados además sobre el eje de revolución de los tubos que formaban los nombrados “anillos”, para así poder unir mediante estos tubos ambas estructuras y tener una mejor estabilidad.

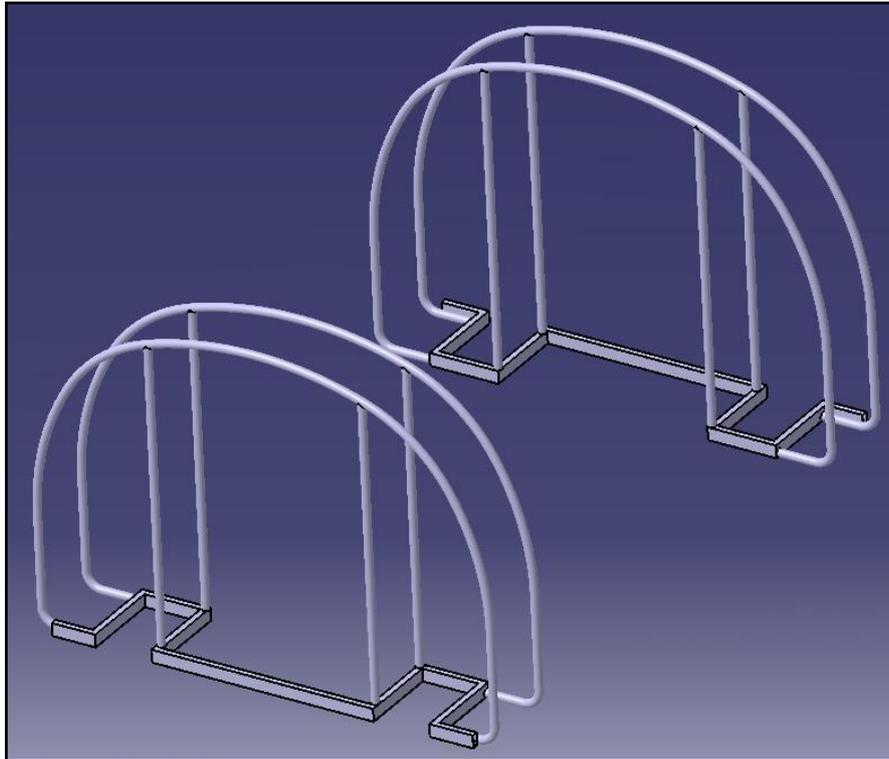


Figura 3.33: Tubos verticales montados en la estructura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.5. Tubos que forman el habitáculo para el sistema de rodadura

Para poder formar una estructura resistente que contuviera todo el sistema de rodadura idearon un habitáculo de tubos como podemos apreciar en la figura 3.34.

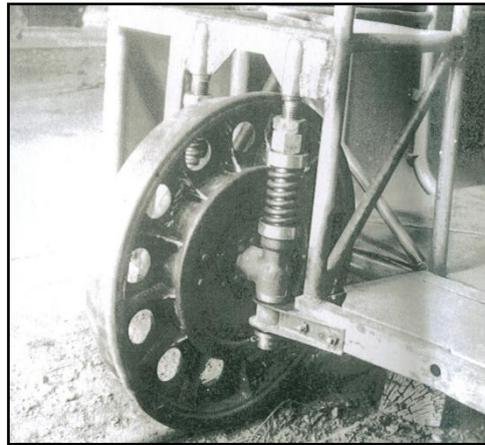


Figura 3.34: Estructura tubular de la zona de rodadura.

Debido a que no se puede apreciar el verdadero tamaño a causa de la poca calidad de la en la imagen, hemos optado por modelar los tubos como vemos a continuación:

Para la descripción de dichos tubos nos centraremos a explicar solamente uno de los cuatro espacios que contenía el sistema de rodadura, ya que cada vagón estaba constituido por cuatro espacios iguales dos a cada extremo del vagón figura 3.35.

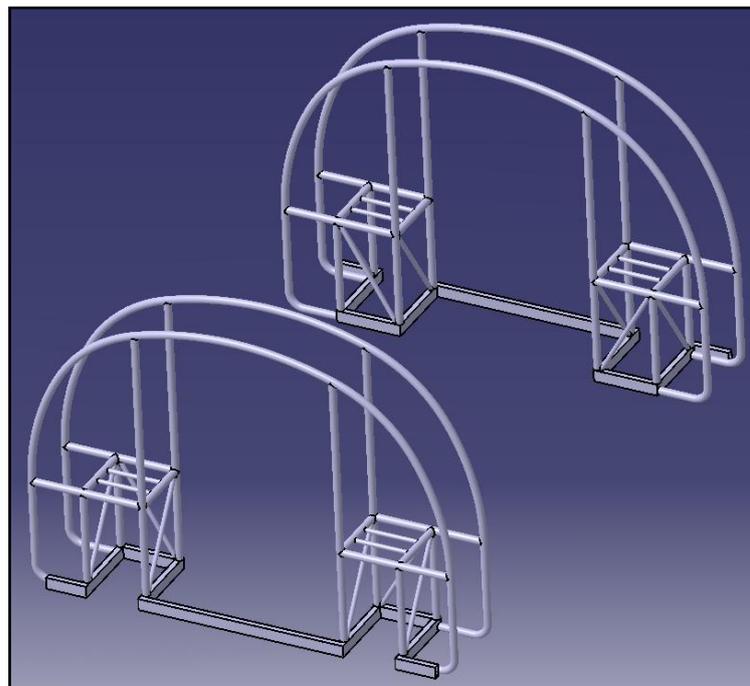


Figura 3.35: Estructuras tubulares que albergaban el sistema de rodadura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Esta estructura estaba formada por once tubos, distribuidos por grupos del mismo tipo de barra y numerados como podemos ver en la figura 3.36, de tal forma que formaran un habitáculo bastante compacto y seguro para fijar sin problemas los elementos de rodadura.

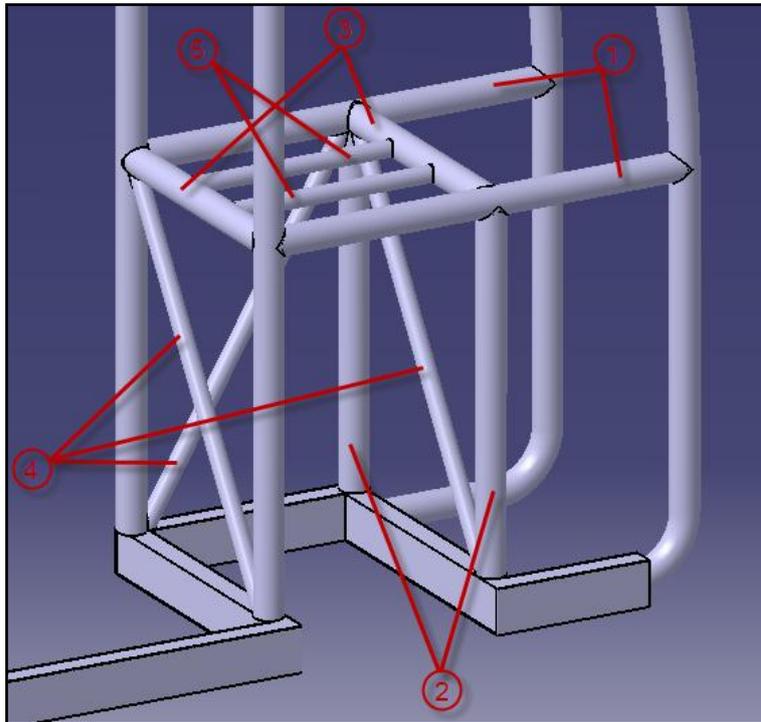


Figura 3.36: Vista de detalle de una de las cajas que albergaban el sistema de rodadura.

### 3.2.2.3.1.3.5.1. Tubos horizontales de 50mm de diámetro exterior.

Como podemos apreciar en la figura anterior, dicha estructura estaba formada por dos tubos en horizontal (figura 3.37), situados a un poco menos de altura de la que irían las ventanas. Para estos tubos hemos optado a escoger un diámetro de 50mm ya que los consideramos vitales para una buena resistencia y aguante de la estructura.

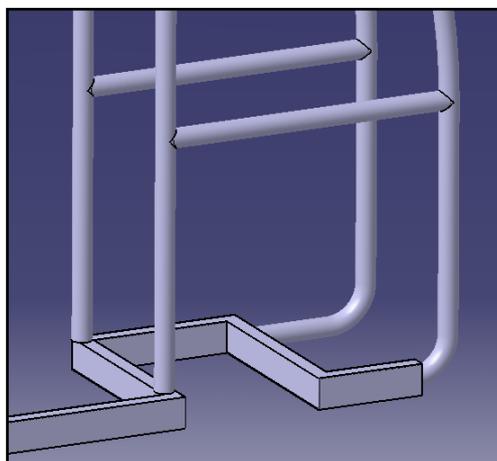


Figura 3.37: Tubos horizontales de la caja compacta.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.5.2. *Tubos verticales de 50mm de diámetro exterior.*

En el lado opuesto donde iba situada la rueda encontramos dos tubos verticales del mismo diámetro de 50mm, situados como los tubos verticales vistos anteriormente, sobre el eje de revolución del tubo curvado.

Estos tubos, a diferencia de los anteriores que llegaban hasta la parte superior de los tubos curvados, iban desde la estructura de sección rectangular hasta el tubo horizontal mencionado anteriormente como podemos apreciar en la figura 3.38.

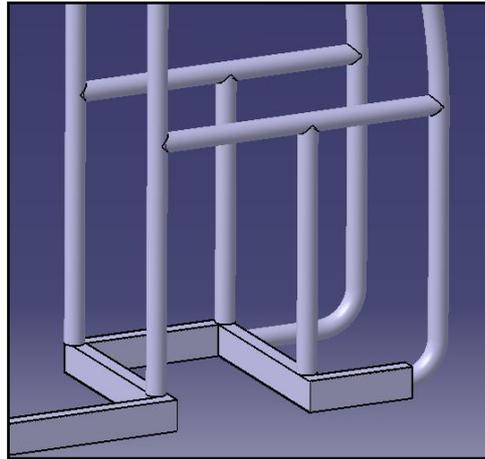


Figura 3.38: Inserción de los tubos verticales unidos a los horizontales.

### 3.2.2.3.1.3.5.3. *Tubos horizontales a 90° de 50mm de diámetro exterior.*

En base a estos tubos horizontales y verticales se sitúan los demás. Adyacentes a dichos tubos encontramos dos tubos de mismo diámetro pero situados en un ángulo girado de 90 grados (figura 3.39).

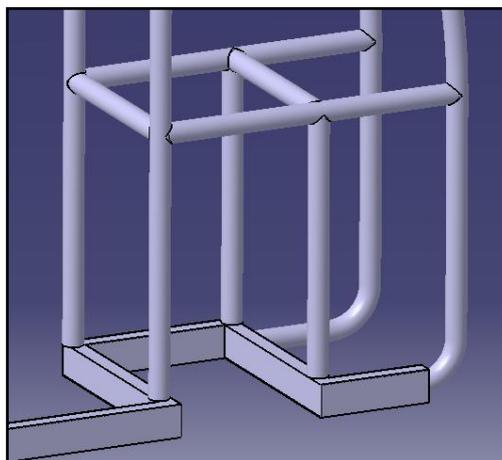


Figura 3.39: Inserción de los tubos verticales girados 90°.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.5.4. *Tubos situados en diagonal de 30mm de diámetro exterior.*

Una vez tenemos situados los tubos principales que formarían la unidad compacta, introducimos los tres tubos de diámetro menor, en posición diagonal que podemos observar en la figura 3.40, en este caso 30 mm, que su función era la de mantener firmes los tubos principales fijándolos para que en caso de vibración o cualquier tipo de golpe, el conjunto de barras resistiera mejor y la estructura fuera más compacta.

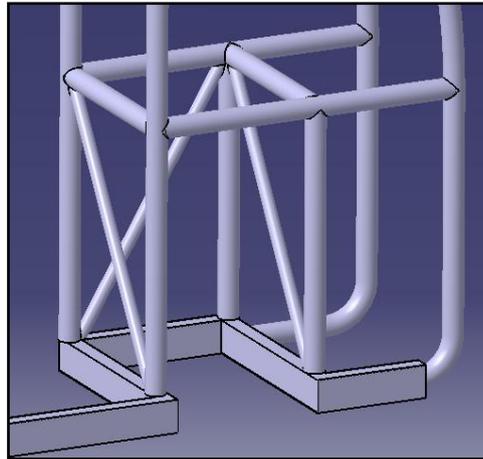


Figura 3.40: Inserción de los tubos en diagonal.

### 3.2.2.3.1.3.5.5. *Tubos horizontales en la parte superior de 30mm de diámetro exterior.*

Además de estos tubos para permitir una mejor consistencia encontramos dos tubos situados horizontalmente de 30 mm de diámetro exterior situados en la parte superior como vemos en la figura 3.41 para mantener la distancia entre las barras horizontales giradas a 90 grados.

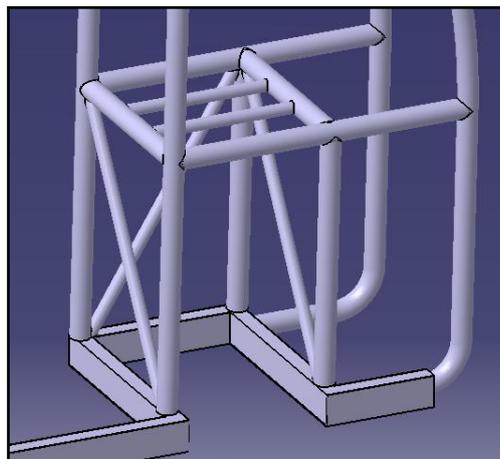


Figura 3.41: Inserción de los tubos horizontales en la parte superior.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.6. Tubo diagonal de refuerzo

En la figura siguiente podemos apreciar la situación de dos tubos situados en diagonal cuya función en la estructura era la aguantar tanto esfuerzos de tracción como de compresión.

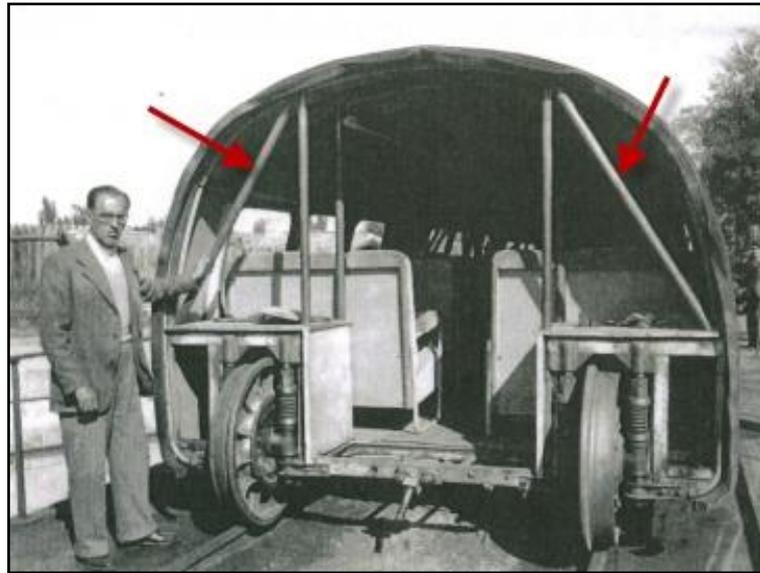


Figura 3.42: Situación de los tubos diagonales.

Todas las estructuras del tren tenían los tubos señalizados con flechas rojas en la imagen anterior. Un total de cuatro por vagón situados dos en cada extremo (figura 3.43). Estaban ideados de tal manera que si el vagón sufría flexión hacia un lado, cada tubo trabajara soportando los esfuerzos pertinentes (tracción; compresión).

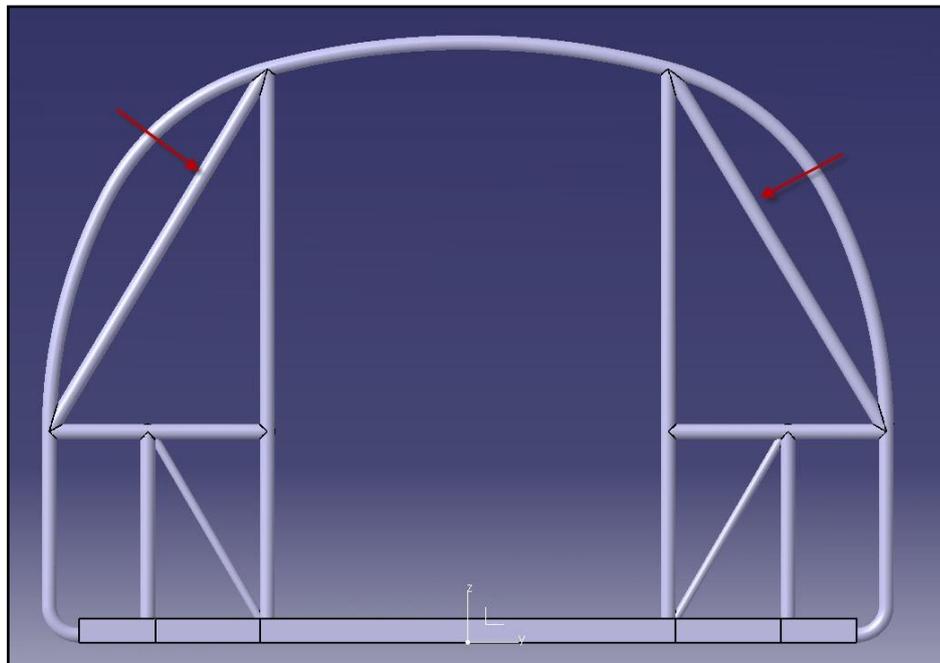


Figura 3.43: Tubos diagonales modelados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para poner un ejemplo sobre los esfuerzos comentados, usaremos una imagen de la sección de un vagón (figura 3.44). Supondremos que la estructura está anclada por la parte inferior y se produce una fuerza centrífuga (flecha roja) que la atrae hacia la izquierda.

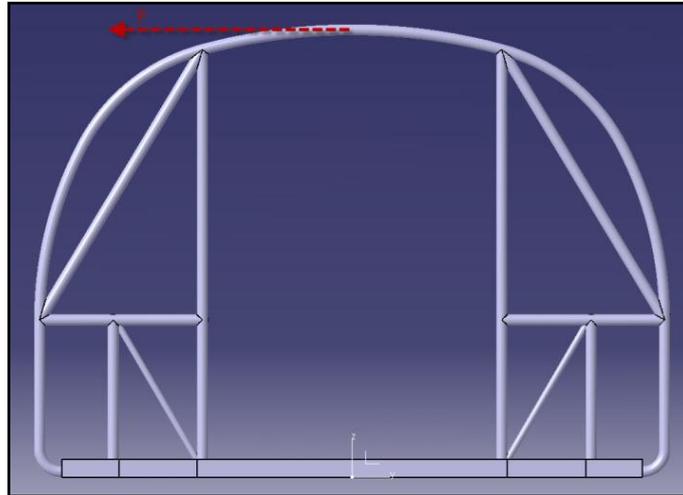


Figura 3.44: Ejemplo de una fuerza aplicada en la estructura.

A continuación de recibir la fuerza, vemos los esfuerzos a los que estarán sometidas los tubos diagonales (figura 3.45):

- Tubo de la izquierda: Esfuerzo de compresión ( $F_1$ ).
- Tubo de la derecha: Esfuerzo de tracción ( $F_2$ ).

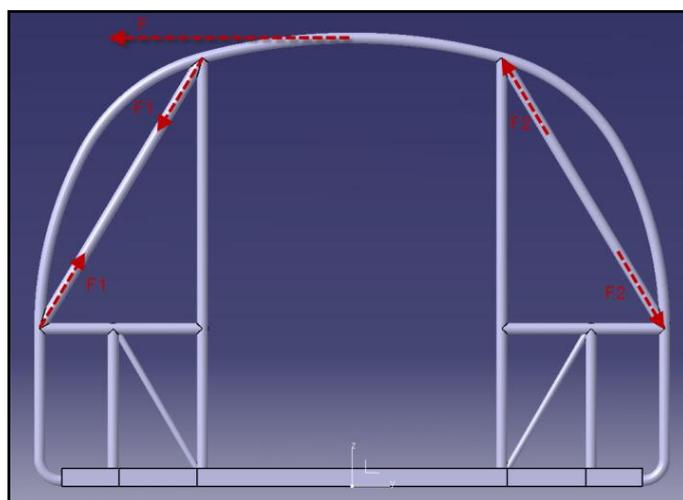


Figura 3.45: Esfuerzos en los tubos en función de la fuerza aplicada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.7. Tubos de arriba y abajo de la ventana

A partir de la imagen 3.46 observamos como la estructura contenía unos tubos de menor diámetro que los principales, en este caso 30 mm, que estaban situados por encima y por debajo del espacio que ocupaba la ventana.

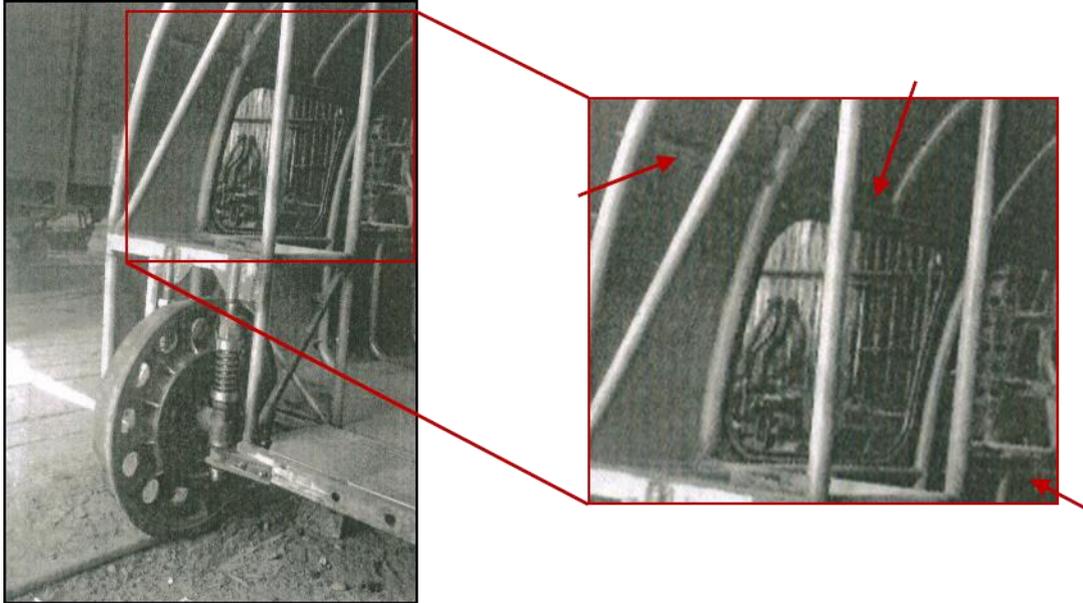


Figura 3.46: Tubos de arriba y debajo de las ventanas.

Dichos tubos precisaban de ser calibrados ya que su función era la de mantener la distancia entre los diferentes “anillos” de la estructura tubular. La longitud de estos tubos era la respectiva a la distancia que había entre los tubos curvados que quedaban situados en cada extremo de la ventana (figura 3.47), es decir, llegaban desde los tubos a los que no se les había practicado el corte para albergar la ventana hasta los mismos pero situados en el otro extremo de dicha ventana.

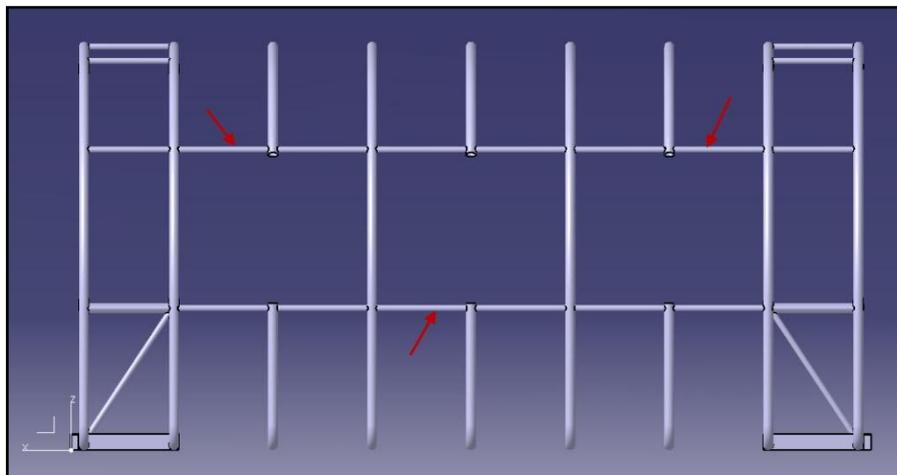


Figura 3.47: Tubos de arriba y debajo de las ventanas modelados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.8. Tubo de arriba de las puertas dobles

En el caso de la puerta doble del vagón de equipajes, una vez modelada la estructura, nos dimos cuenta de que hacía falta otro tubo justo por encima del espacio que ocupaba la puerta entre los tubos que forman las costillas del vagón (figura 3.48). Este tubo junto a los entramados que veremos a continuación tiene la función de mantener la distancia y paralelismo entre barras y hacer que la estructura sea más resistente.

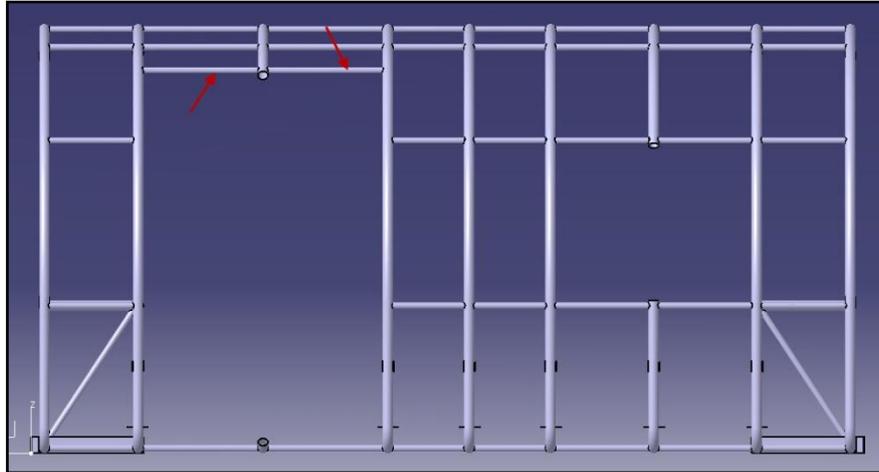


Figura 3.48: Tubo de arriba de la puerta doble.

Dicho tubo va situado en la posición que hemos visto en la imagen anterior y a cada lado del vagón, debido a que el vagón de equipajes contiene una puerta idéntica a cada lado al ser simétrico.

### 3.2.2.3.1.3.9. Entramado de tubos

Una vez hemos obtenido lo que denominaríamos como las “costillas” del vagón y el conjunto de barras que protegerían el elemento de rodadura, el paso siguiente será crear un entramado de tubos para que la estructura tubular autoportante sea más resistente y compacta.

En cada estructura encontramos dos tipos de entramado tubular diferentes:

#### 3.2.2.3.1.3.9.1. *Entramado inferior*

Para la parte inferior de la estructura tubular, es decir el conjunto de tubos que quedaba por debajo del suelo por donde andaban los viajeros, hemos optado por dividir el espacio total inferior en seis particiones iguales, quedando un total de siete tubos, cada uno de 30 mm de diámetro, a lo ancho de la estructura repetidos a lo largo del vagón de tal forma como vemos en la figura 3.49.

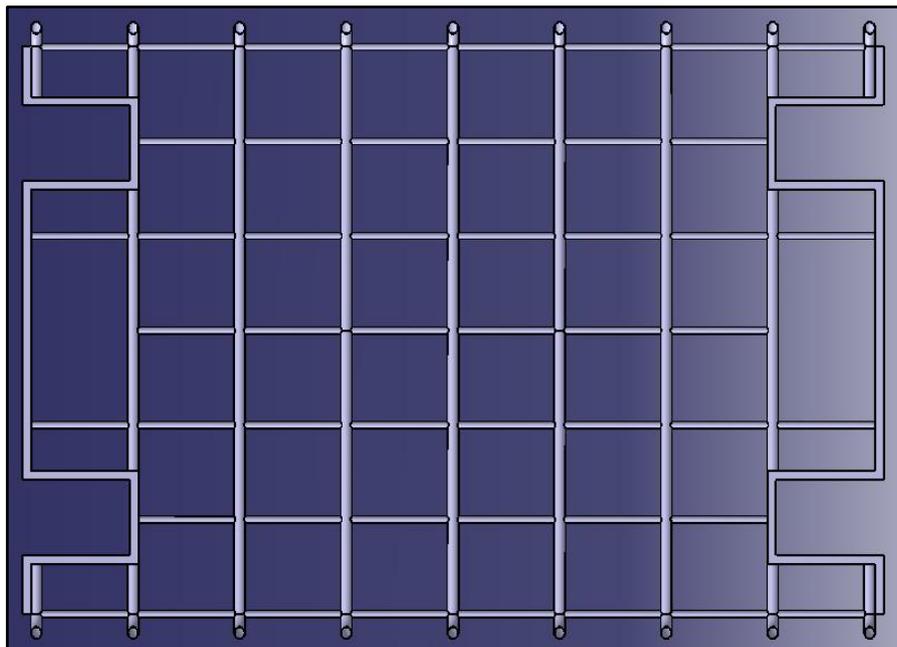


Figura 3.49: Entramado tubular inferior (vista en planta).

Para este tipo de entramado hemos utilizado la misma técnica de distribución que para los tubos que iban por encima y por debajo de las ventanas, pero con el añadido de que en el suelo había un total de siete niveles de tubos a lo ancho de todo el vagón.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Esta disposición de tubos (figura 3.50) se debe a que si dividimos los “anillos” en nueve niveles distintos hace falta ir intercalando su distribución de manera que los tubos que forman el entramado tengan una longitud de tres niveles “anillos” como mucho y así situados, mantengan la distancia y paralelismo entre ellos. Aparte, su situación se debe a que cada tubo del entramado soporta el esfuerzo que no soporta cada tubo contiguo, quedando repartido totalmente el esfuerzo entre cada uno de los tubos

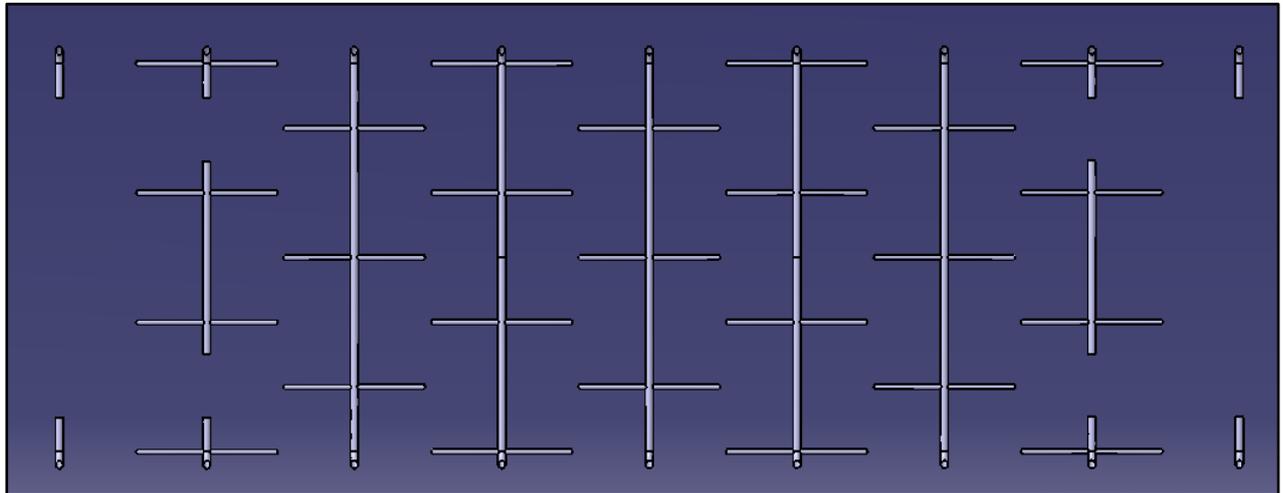


Figura 3.50: Descomposición del entramado inferior (vista en planta).

En la imagen anterior se puede apreciar la descomposición del entramado tubular inferior con un corte a ochenta milímetros desde el suelo, se puede ver cada anillo con los tubos que forman dicho entramado intersecándolos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.1.3.9.2. *Entramado superior*

En la parte superior de los “anillos” se repite la misma técnica de distribución que con el entramado inferior, pero con la diferencia de que en el superior solamente encontramos tres tubos a lo ancho de la estructura pero intercalados a lo largo de esta como vemos en la figura 3.51.

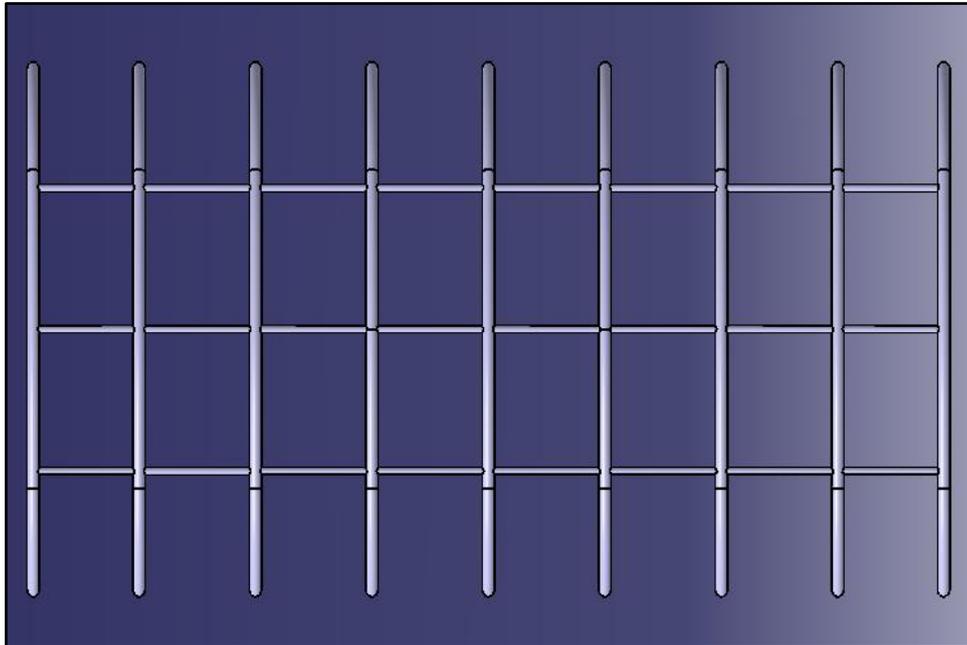


Figura 3.51: Entramado tubular superior (vista en planta).

A continuación se puede apreciar la descomposición del entramado tubular superior (figura 3.52).

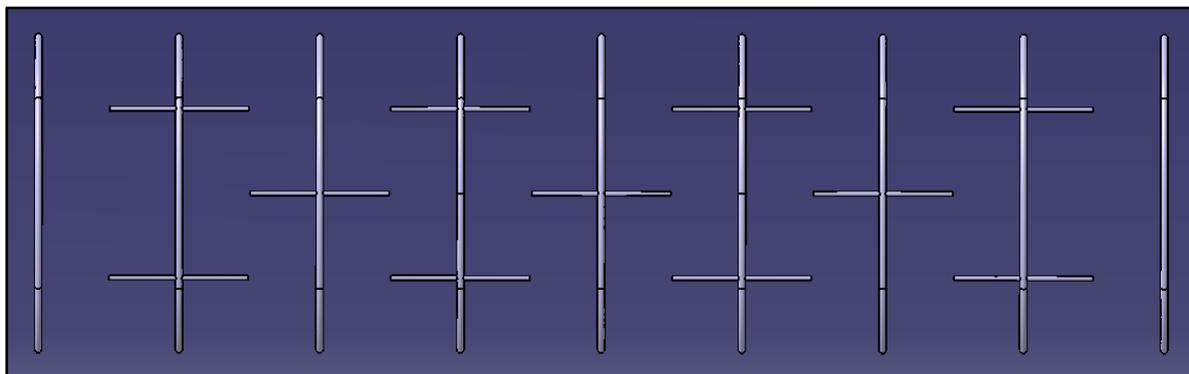


Figura 3.52: Descomposición del entramado superior (vista en planta).

Cada estructura variaba su disposición de los tubos en función de los espacios vacíos donde iban situadas tanto las puertas como las ventanas. A continuación podemos ver como quedarían diferenciadas las distribuciones tubulares dependiendo del vagón en el que se hallasen.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.2. TIPOS DE ESTRUCTURA TUBULAR

En todo el tren hay un total de siete estructuras tubulares autoportantes, pero de diferentes hay seis sin tener en cuenta la locomotora. En nuestro proyecto podremos observar modeladas en tres dimensiones cuatro de las siete estructuras tubulares.

En todas las estructuras podemos apreciar que la parte delantera y trasera de cada elemento era idéntica (figura 3.53), debido a que cada vagón disponía del mismo tipo de sistema de rodadura y por eso necesitaban el mismo tipo de habitáculo.

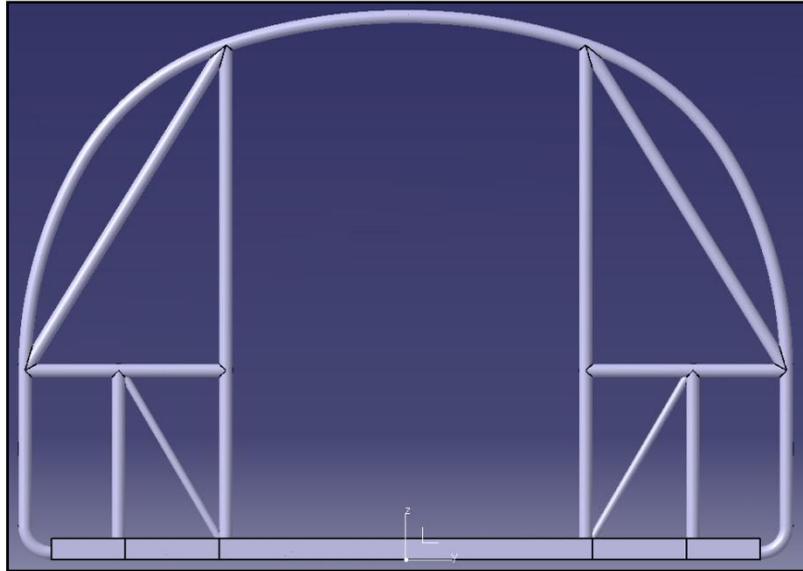


Figura 3.53: Alzado de cualquier vagón.

A continuación vemos los diferentes tipos de estructuras y su disposición tubular que dependiendo del tipo de vagón será de una manera u otra.

#### Tipo de estructura

- Estructura del elemento equipajes
- Estructura del elemento buffet
- Estructura del elemento de 12 plazas delantero
- Estructura del elemento de 12 plazas trasero

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.2.1. ESTRUCTURA DEL ELEMENTO EQUIPAJES

La estructura del primer vagón que estaba situado a continuación de la locomotora se diferenciaba de los demás debido a que contenía el tubo cortado para albergar el espacio necesario donde estaban situadas las dos puertas dobles y dos ventanas también situadas a lado y lado (figura 3.54).

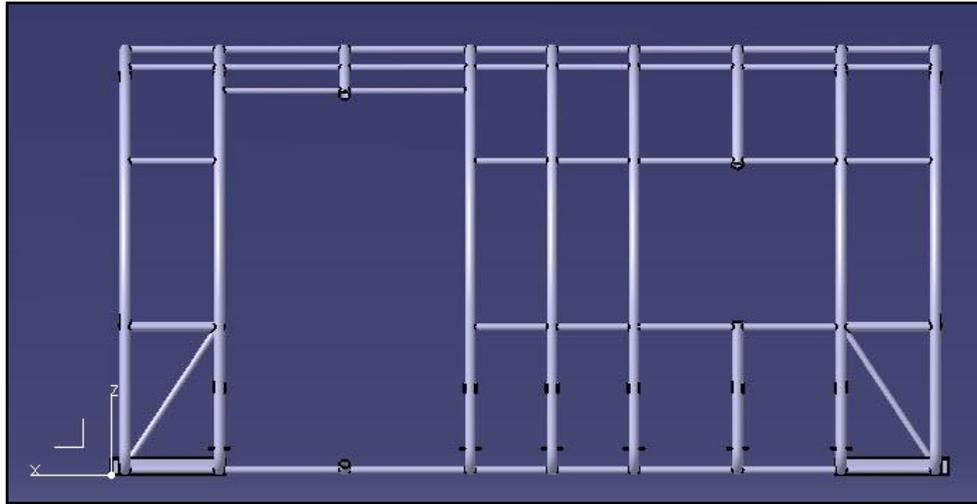


Figura 3.54: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de equipajes.

### 3.2.2.3.2.2. ESTRUCTURA DEL ELEMENTO BUFFET

La estructura del segundo vagón, primero que podía transportar pasajeros, a diferencia del elemento equipajes, no incluía puertas pero en cambio tenía cuatro ventanas más, quedando distribuidas tres a cada lado del vagón como podemos ver en la figura 3.55 donde aparecen los huecos en las estructuras para poder situar las ventanas.

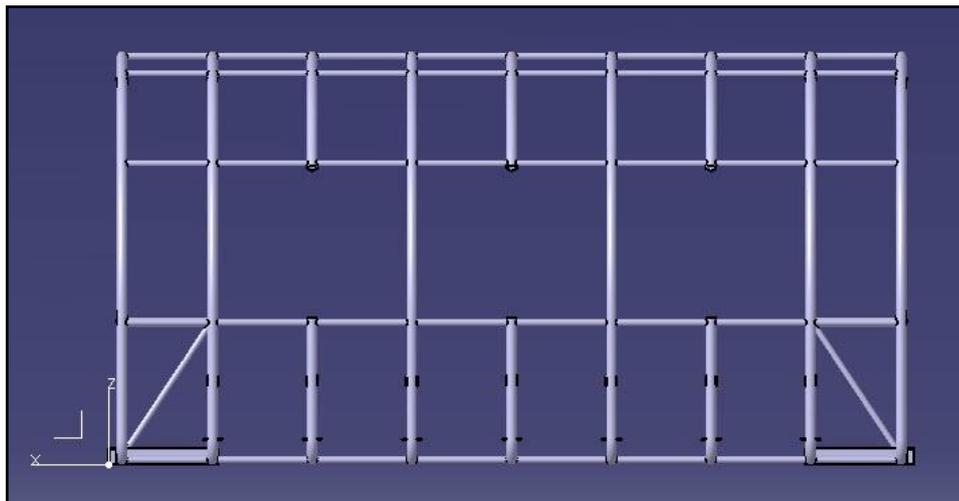


Figura 3.55: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón buffet.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.2.3. ESTRUCTURA DEL ELEMENTO DE DOCE PLAZAS DELANTERO

La estructura tubular del elemento de doce plazas precisaba de dos “anillos” cortados para poder albergar el espacio necesario para dos ventanas y además la disposición de los anillos del inicio del vagón variaban en distancia respecto a los otros ya que este vagón contenía dos puertas simples y dos ventanas pequeñas a lado y lado del vagón. En la figura 3.56 podemos apreciar cómo estaban situados los tubos y cuales precisaban de dichos cortes.

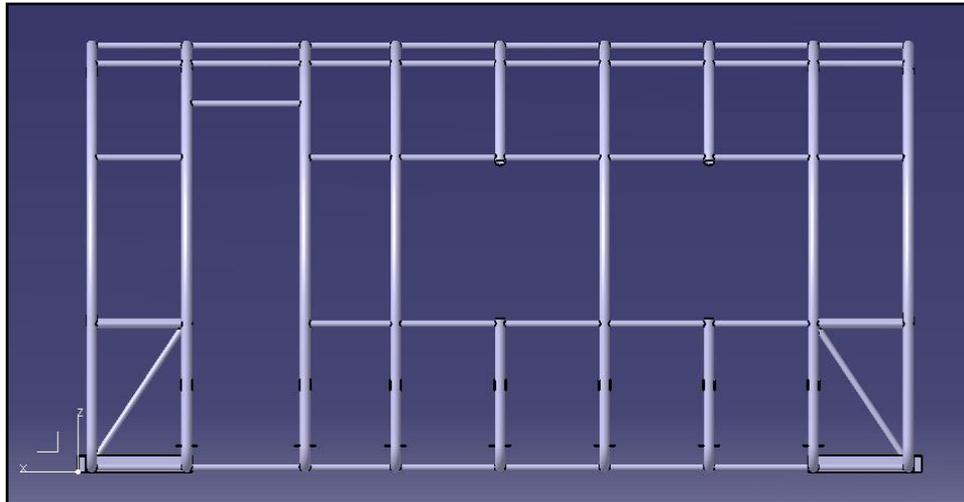


Figura 3.56: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de 12 plazas delantero.

### 3.2.2.3.2.4. ESTRUCTURA DEL ELEMENTO DE DOCE PLAZAS TRASERO

La estructura de este vagón era igual que la del vagón de equipajes ya que tenía el mismo número y tipo de ventanas (figura 3.57).

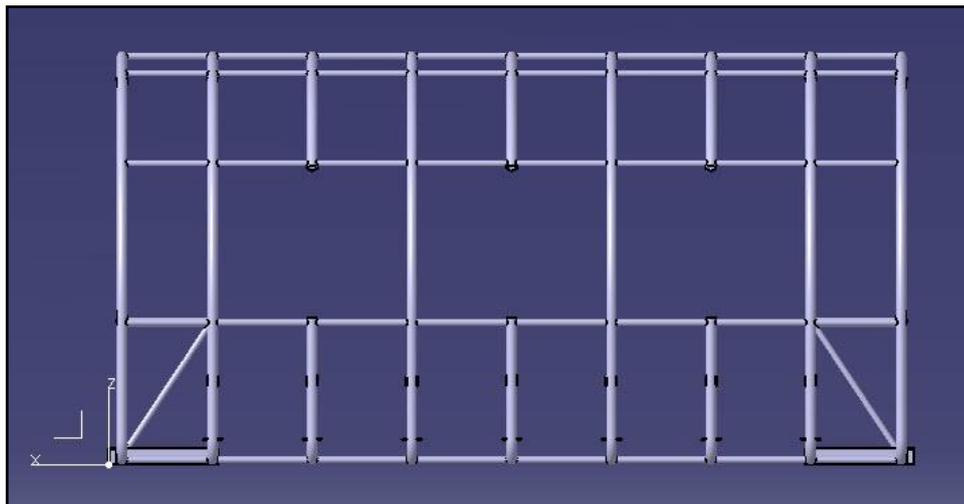


Figura 3.57: Vista en perfil de la estructura tubular modelada del vagón de 12 plazas trasero.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### - Pletinas para soldar la unión de cada “anillo” con la chapa exterior

Como podemos apreciar en la figura 3.58, los anillos tenían varias pletinas de distintas formas y situadas a tal altura que quedarán en la mitad inferior del vagón.

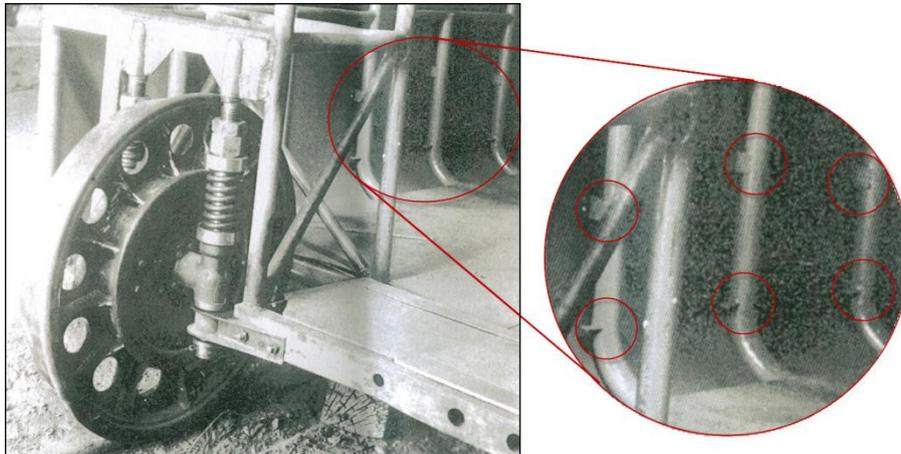


Figura 3.58: Detalle de las pletinas en los “anillos”.

La función de estas pletinas soldadas a los distintos “anillos” es la de obtener un mejor punto de soldadura entre los tubos y las chapas exteriores, ya que será más fácil soldar dos superficies que estén en total contacto como lo eran estas dos superficies planas que no una superficie plana con una curva.

En la imagen podemos apreciar cómo estaban colocadas aleatoriamente a diferentes alturas sin ser muy precisos en su colocación. A la hora de modelar hemos decidido situarlas todas a la misma altura como podemos apreciar en la figura 3.59 donde aparece la estructura tubular modelada con las pletinas ya situadas.

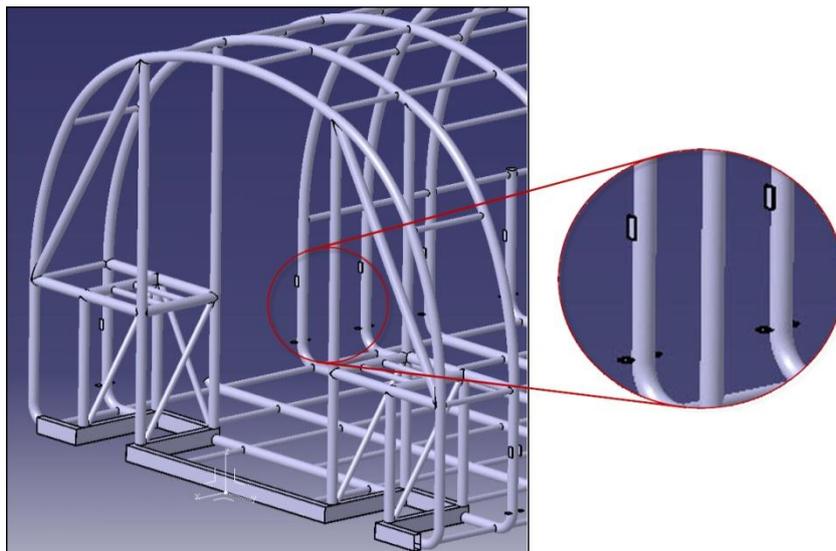


Figura 3.59: Pletinas soldadas en la estructura modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.3. TIPO DE RODADURA

Como se ha descrito anteriormente en el apartado de características técnicas generales, uno de los cambios innovadores e importantes en los sistemas ferroviarios fue el tipo de rodadura ya que pasaron del antiguo y pesado bogie o eje montado a la rueda dirigida suprimiendo así una gran cantidad de peso además de reducción del centro de gravedad.

#### 3.2.2.3.3.1. RUEDA DIRIGIDA

A partir de las imágenes se verifican las teorías de la rueda dirigida ya que se puede apreciar como cada vagón constaba de dos ruedas independientes situadas en la parte posterior de éste, sin ningún tipo de unión entre ella más que la unión a partir de la propia estructura autoportante mediante los elementos de suspensión.

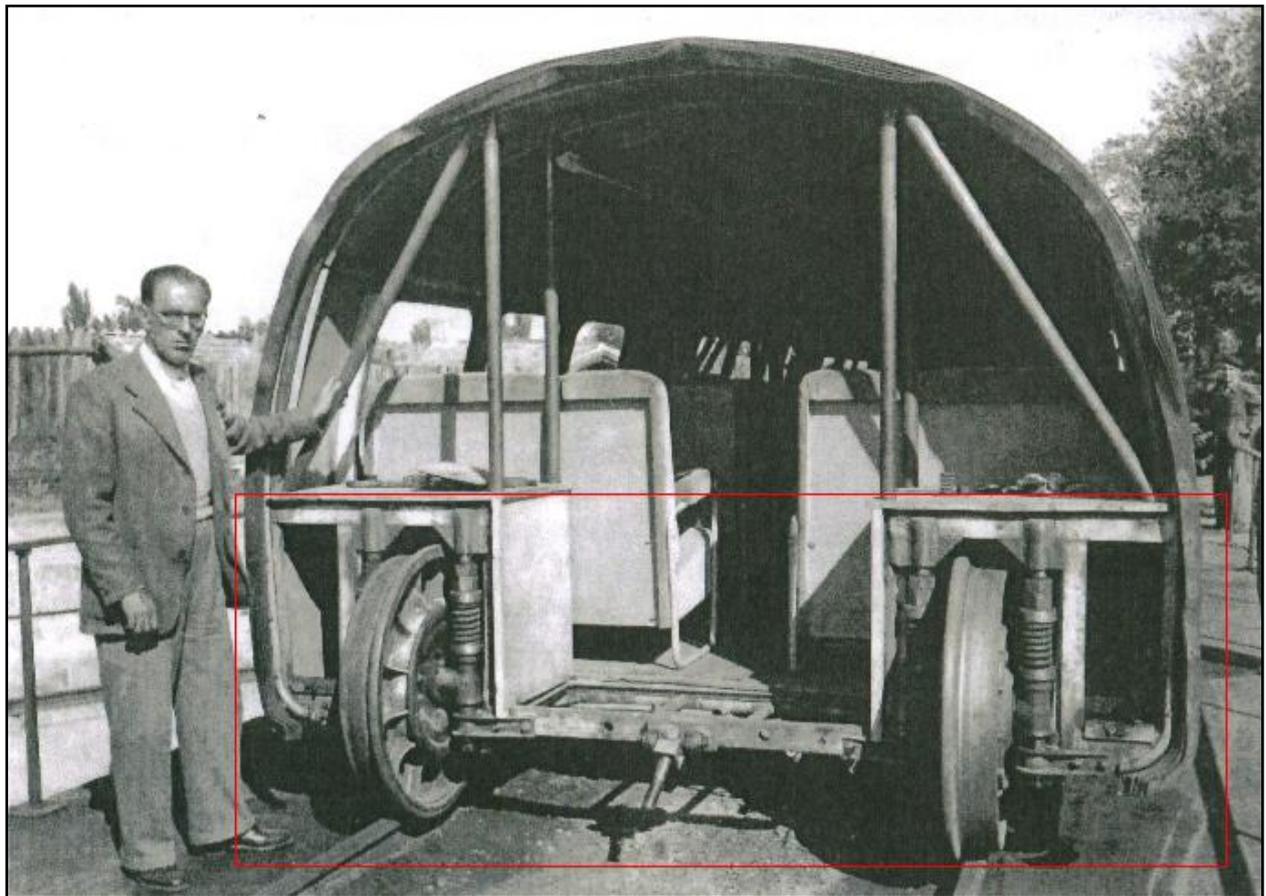


Figura 3.60: Imagen donde se aprecia el sistema de rodadura independiente.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación se puede ver una de las ruedas modeladas (figura 3.61) a partir de las medidas obtenidas en la imagen a partir de la técnica de la perspectiva cónica.

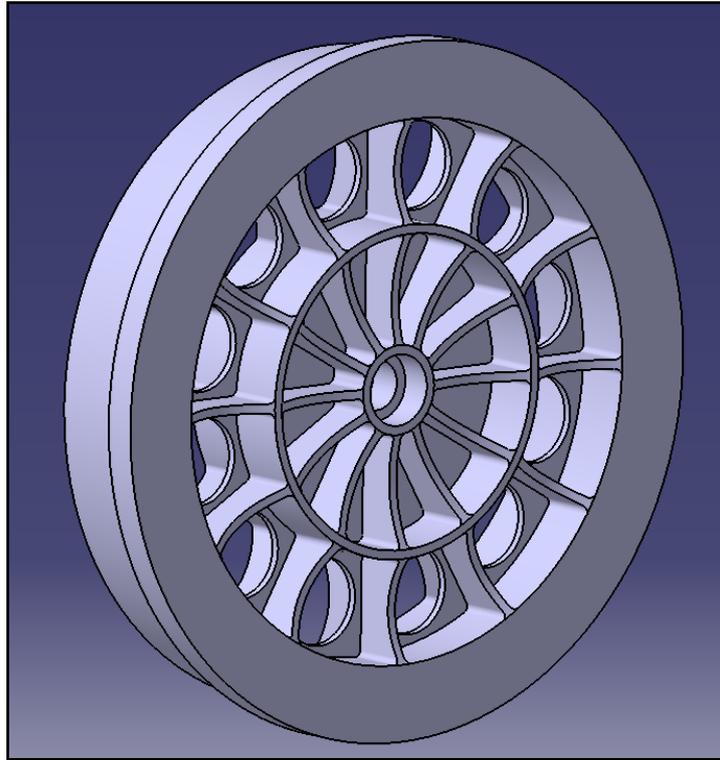


Figura 3.61: Rueda modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.3.2. EJES DE LAS RUEDAS

Debido a que no se ha encontrado ninguna imagen donde aparezca detallado ningún eje de las ruedas, hemos supuesto las geometrías y dimensiones que debía tener para poder tener un buen funcionamiento. Además tuvimos en cuenta que también tenía que ir en contacto con una de las piezas del amortiguador que se puede observar más adelante. En la figura 3.62 se puede apreciar las geometrías de dicho eje.

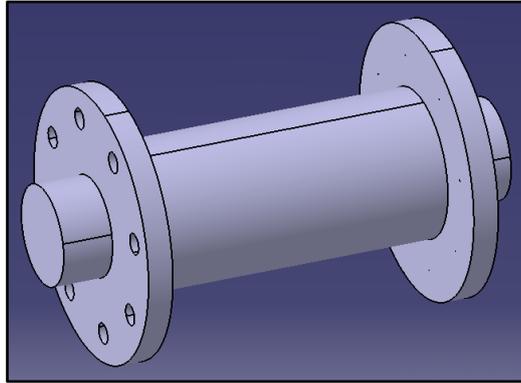


Figura 3.62: Eje de las ruedas modelado.

### 3.2.2.3.3.3. COJINETES

Ya que tampoco aparecen en ninguna imagen, hemos supuesto que cada rueda contenía dos cojinetes en cada extremo interior, permitiendo así un buen giro sin ningún tipo de problema ni rozadura.

### 3.2.2.3.3.4. FRENO DE TAMBOR

En alguna imagen y artículo se ha podido observar que el Talgo I estaba dotado con frenos de tambor, pero debido a que las imágenes no son muy esclarecedoras y por la falta de tiempo y recursos hemos decidido no modelar dicha pieza y centrarnos más en partes de mayor importancia.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.4. TIPO DE SUSPENSIÓN

Como podemos ver en una imagen de uno de los artículos sobre Talgo, se pueden apreciar las piezas que constituían cada amortiguador (figura 3.63).

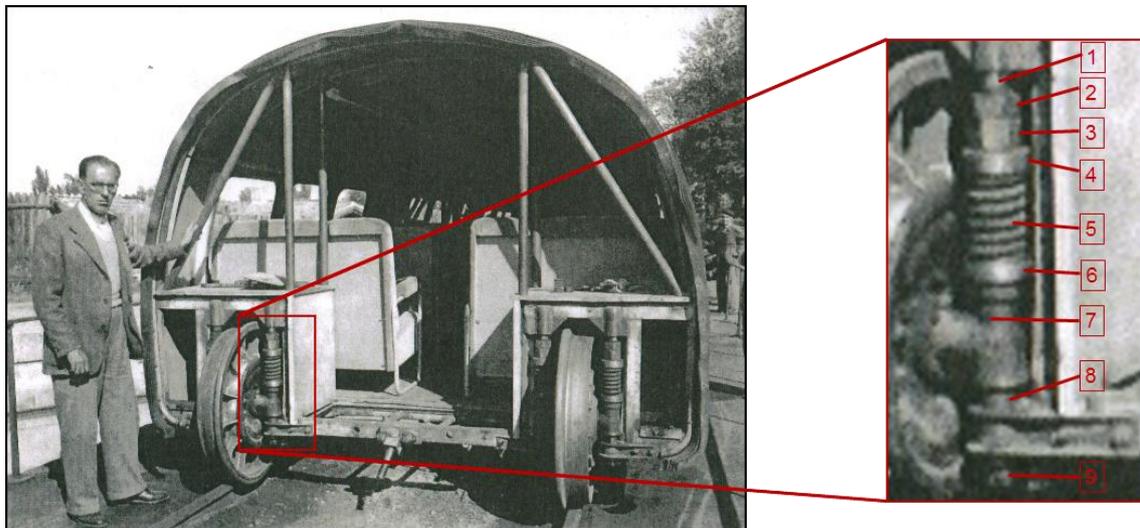


Figura 3.63: Detalle de las diferentes piezas de la suspensión.

Piezas que componen el conjunto de suspensión:

En la imagen podemos apreciar cómo, en principio, el amortiguador constaba de nueve piezas, pero observando varias imágenes donde se puede ver alguna de las partes más detallada, hemos podido llegar a la conclusión de que entre las piezas nº 4, nº6 y el muelle existían dos arandelas que las veremos descritas junto a las otras piezas por orden descendente como vemos en la imagen.

#### 3.2.2.3.4.1. 1) TUBO INTERIOR VERTICAL



El tubo vertical era la pieza clave de la suspensión, ya que su función era la de guiar el muelle y mantenerlo recto, lo que garantizaba que, aunque la rueda estuviese sometida a fuerzas transversales, no se inclinase y se mantuviese invariable de la separación entre llantas. Dicho tubo estaba roscado por la parte superior para así introducirlo en el soporte que veremos más adelante, además en la parte inferior tenía un agujero para introducir un pasador i fijarlo completamente a la estructura.

Figura 3.64: Barra vertical del amortiguador modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.4.2. 2) TUERCA DE APRIETE

Esta tuerca estaba situada arriba de todo del amortiguador ya que era la que apretaba, como su nombre indica, todo el sistema de suspensión una vez fijada la posición.

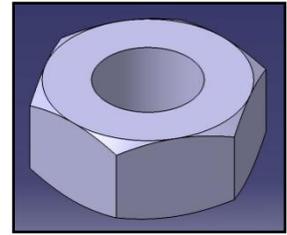
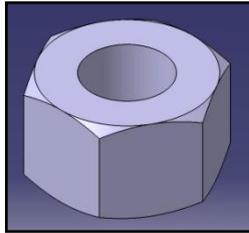


Figura 3.65: Tuerca de apriete modelada.

### 3.2.2.3.4.3. 3) TUERCA DE FIJACIÓN



La función de esta tuerca era la de fijar la suspensión a la altura deseada una vez estaba montada para comprimir el muelle dándole la fuerza que se consideraba necesaria. A diferencia de la anterior esta es de mayor altura que la de apriete.

Figura 3.66: Tuerca de fijación modelada.

### 3.2.2.3.4.4. 4) ARANDELA SUFRIDERA SUPERIOR

Esta arandela al estar situada debajo de la tuerca de apriete, una vez se aplicaba la fuerza desde dicha tuerca, era la pieza que transmitía el esfuerzo de compresión al muelle.

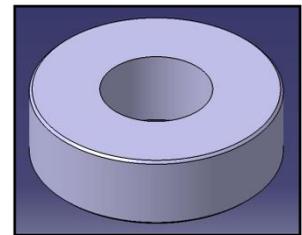
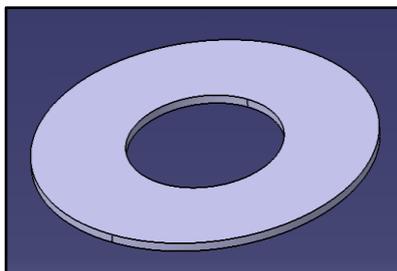


Figura 3.67: Arandela sufridera superior modelada.

### 3.2.2.3.4.5. ARANDELA SUPERIOR



Aunque en la imagen no se puede apreciar y no estar numerada la pieza, justo entre la arandela sufridera y el muelle que veremos a continuación, estaba situada la arandela y su función era la de evitar cualquier movimiento radial para minimizar el coeficiente de fricción entre el muelle y la arandela sufridera superior. Además aplicando pequeñas cantidades de aceite entre los diferentes tipos de arandelas mejoraba su comportamiento.

Figura 3.68: Arandela superior modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.4.6. 5) MUELLE HELICOIDAL

Como vemos en la figura 3.63 del amortiguador en el vagón, la posición de los muelles de suspensión era relativamente alta, con ello se iba buscando que el centro de giro del vagón estuviese relativamente alto y próximo al centro de gravedad con objeto de que el vehículo en curva se inclinase muy poco en el sentido del vuelco. Además como hemos visto en la pieza n°1, el muelle helicoidal iba guiado por el tubo interior vertical garantizando que no se inclinase.

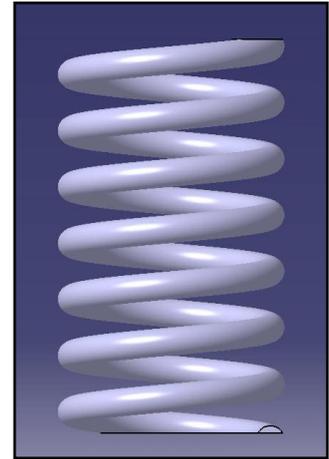


Figura 3.69: Muelle helicoidal modelado.

En la imagen se puede apreciar el acabado que le hemos dado al muelle, ya que le hemos eliminado una parte de cada extremo dejando las caras como superficies planas debido al fresado que necesitan algún tipo de muelles para una buen contacto con superficies planas y así evitar posibles errores en el momento de compresión.

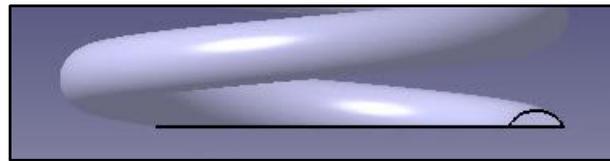


Figura 3.70: Detalle del corte producido en los extremos del muelle.

### 3.2.2.3.4.7. ARANDELA INFERIOR

Esta arandela era del mismo tipo que la descrita en el n° 5 y su función en el elemento de suspensión la misma, evitar cualquier movimiento radial para minimizar el coeficiente de fricción entre el muelle y la arandela sufridera que viene a continuación. Tampoco se puede apreciar en la imagen y por ese motivo no está numerada.

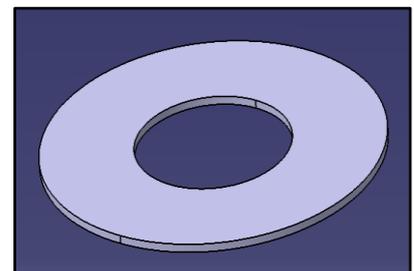


Figura 3.71: Arandela inferior modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.4.8. 6) ARANDELA SUFRIDERA INFERIOR

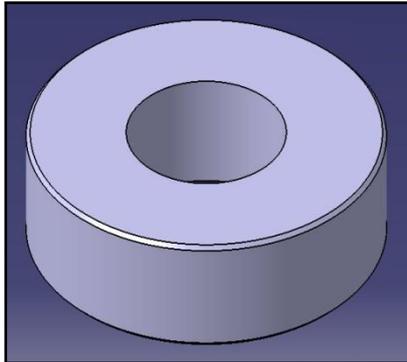


Figura 3.72: Arandela sufridera inferior modelada.

Como vemos en la imagen anterior, del amortiguador montado en el vagón, esta arandela es la misma que la descrita en el nº4 y su función seguía siendo la de transmitir el esfuerzo al muelle, pero en este caso el esfuerzo venia de abajo hacia arriba, es decir, cuando el vagón se desplazaba hacia abajo el eje de la rueda se desplazaba hacia arriba transmitiendo un esfuerzo de compresión en el muelle pasando previamente por la arandela.

### 3.2.2.3.4.9. 7) PIEZA DE UNIÓN ENTRE LA SUSPENSIÓN Y LA RUEDA

Esta pieza estaba agujereada tanto verticalmente, para albergar el tubo interior vertical visto en el apartado nº1, como horizontalmente para alojar parte del eje de la rueda. En la zona izquierda de la figura, se pueden ver unos agujeros, los cuales servían para atornillar el eje de la rueda al conjunto de suspensión.

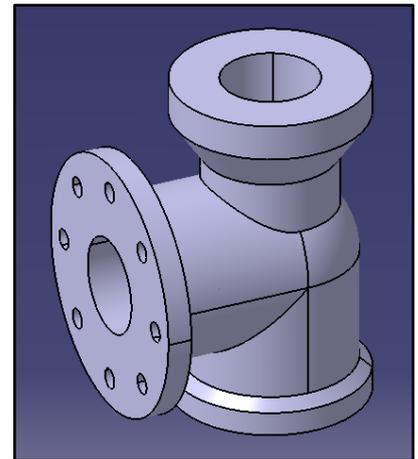


Figura 3.73: Pieza de unión modelada.

### 3.2.2.3.4.10. 8) ARANDELA TOPE DEL AMORTIGUADOR

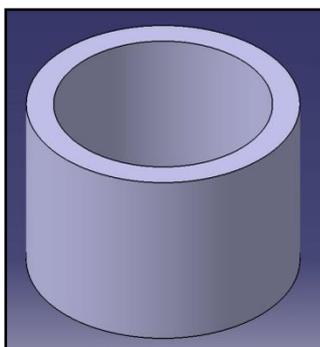


Figura 3.74: Arandela de tope modelada.

Como se puede apreciar en la imagen ampliada del amortiguador, debajo de la pieza de unión aparece un cilindro que esta agujereado en el centro con un agujero del tipo pasante. Esta pieza estaba situada como hemos visto con el fin de evitar el contacto entre la pieza de unión vista en el paso anterior evitando posibles desgastes, además, elevando la pieza de unión evitábamos posible contacto de la parte inferior de la pieza nº 7 y el tubo rectangular de la estructura tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.4.11. 9) TUERCA INFERIOR

Como vemos en la imagen detallada de la suspensión, la última pieza de la que constaba el amortiguador era una tuerca con un agujero transversal para alojar un pasador. Esta tuerca se introducía una vez montado todo el conjunto para fijar la barra y no permitir desplazamiento vertical. El agujero transversal debía coincidir con el agujero hecho en la barra vertical para poder introducir sin ningún tipo de problema el pasador y dejar totalmente ancladas tanto la barra como la tuerca.

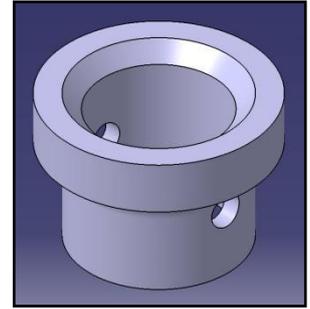


Figura 3.75: Tuerca inferior modelada.

El vagón constaba de un total de cuatro suspensiones, situadas de manera que cada rueda estuviera sujeta por dos de los cuatro amortiguadores a lado y lado. Dichos amortiguadores tenían la obligación de soportar todo el peso del vagón, peso que se repartía en cuatro partes iguales en el caso de superficie plana y a su vez se transmitía al muelle.

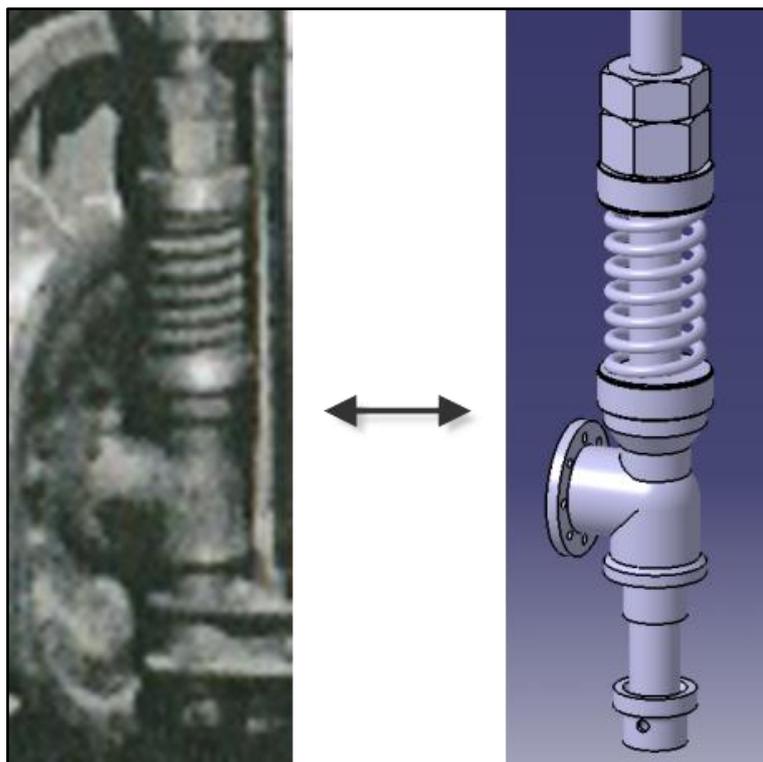


Figura 3.76: Comparación de los amortiguadores.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

En el caso del elemento vagón de doce plazas el conjunto de amortiguación tenía que soportar un peso de 1.200 Kg, siendo un peso unitario por muelle de:

$$1.200 \frac{Kg}{4} \text{ muelles} = 300 \frac{Kg}{\text{muelle}}$$

Como vemos en el resultado, cada muelle soportaría un peso de 300Kg, que equivale a una fuerza de:

$$300Kg \times 9,8 \frac{m}{seg^2} = 2940 N$$

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.5. TIPO DE SOPORTE PARA LOS AMORTIGUADORES

Como podemos ver en la figura 3.77 donde aparece uno de los sistemas de rodadura de un vagón, cada amortiguador aparece roscado a un conjunto que se puede apreciar en la ampliación detallada de la imagen.

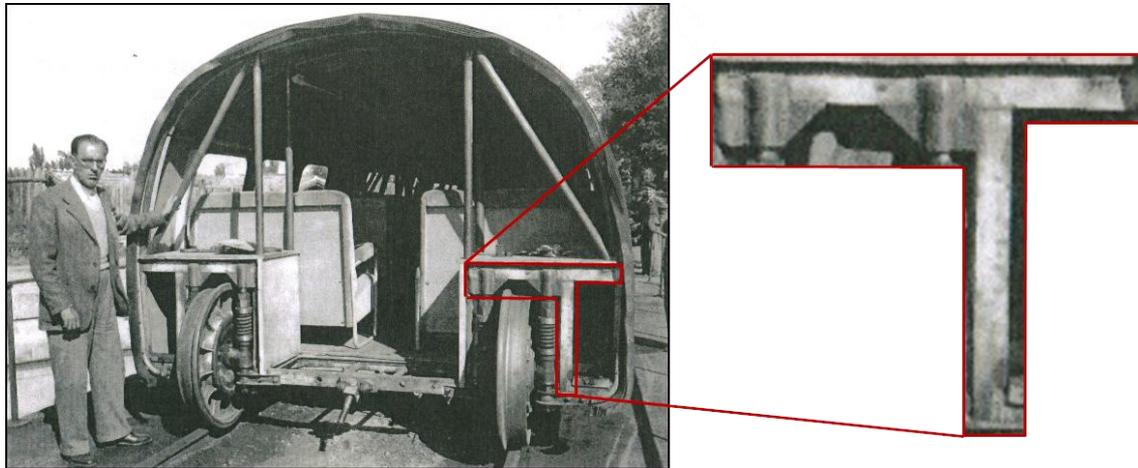


Figura 3.77: Detalle del soporte de las suspensiones.

#### 3.2.2.3.5.1. PIEZAS QUE COMPONEN EL CONJUNTO DE SOPORTE

Este conjunto que forma el soporte estaba formado por varios tipos de geometrías.

Por una parte, podemos ver que aparecen dos tubos roscados interiormente separados a una cierta distancia que hiciera posible albergar la rueda entre los ejes, su función era la sujeción de los amortiguadores mediante la barra vertical roscada en la parte superior.

Por otra parte aparecen pletinas con forma triangular para mantener la verticalidad entre los tubos antes mencionados, además, a partir de la imagen y en función de cómo nos había quedado modelado el habitáculo para el sistema de rodadura, decidimos que el resto de elementos que forman dicho conjunto soporte estaban formados por perfiles rectangulares.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación podemos ver en varias vistas como finalmente hemos obtenido el soporte modelado en tres dimensiones a partir de la figura anterior.

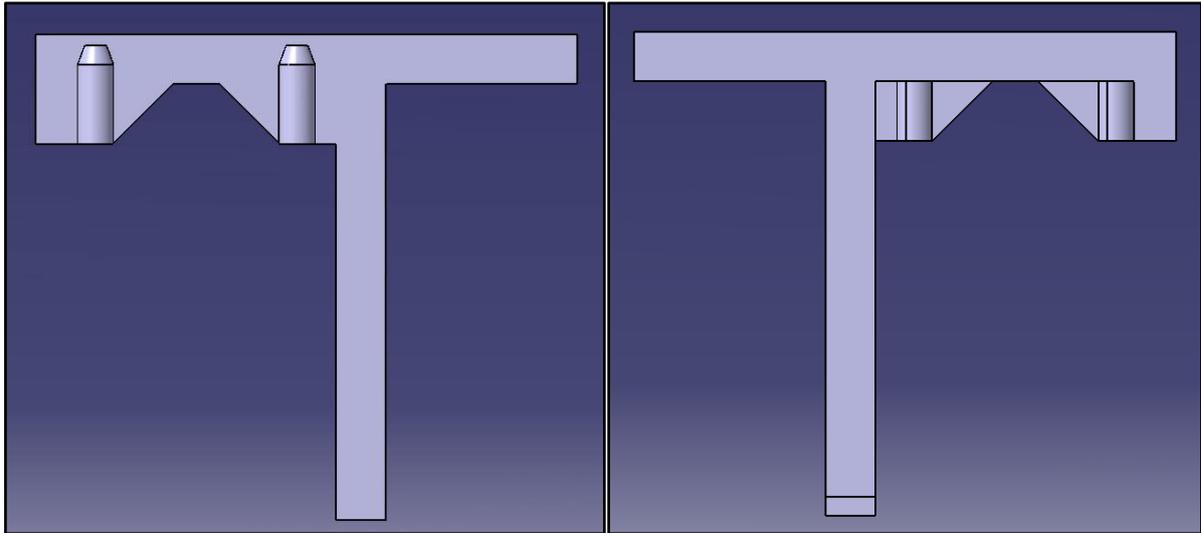


Figura 3.78: Vista alzado (izquierda) y vista posterior (derecha).

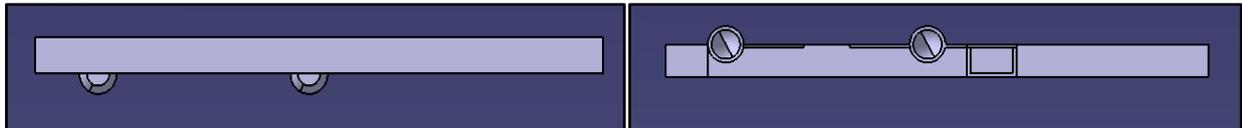


Figura 3.79: Vista planta (izquierda) y vista inferior (derecha).

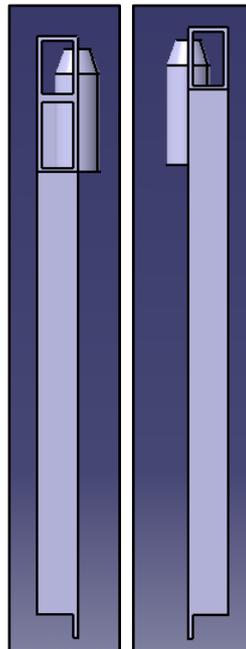


Figura 3.80: Vista de perfil (izquierda) y vista lateral opuesto (derecha).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.6. CAJA QUE CUBRE EL HABITÁCULO

Debido a que los pasajeros quedaban sentados bastante cerca de los elementos de rodadura, hacía falta cubrir por el tema de protección el habitáculo que, mediante tubos soldados, albergaba todo el conjunto de ruedas y suspensión de cada vagón.

Como se puede ver en la siguiente imagen (figura 3.81) la caja que cubría el habitáculo estaba formada a partir de tablones de madera agujereados o cortados según su situación ya que constaba de tres tablones por cada habitáculo de la estructura.

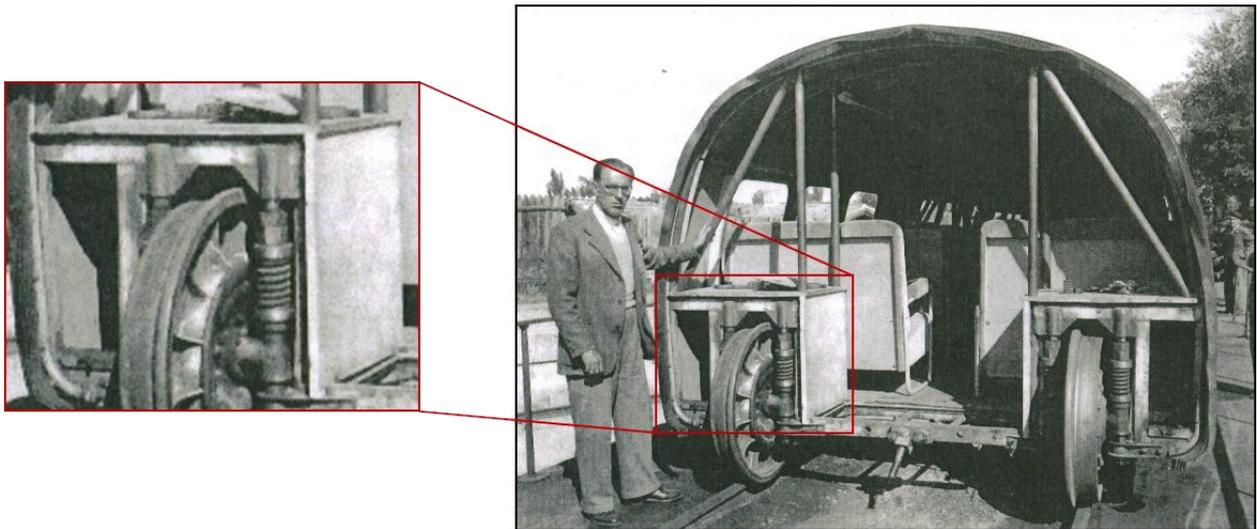


Figura 3.81: Ampliación de la caja que cubría el habitáculo

A continuación podemos ver los distintos tipos de tablón:

#### 3.2.2.3.6.1. *TABLÓN LATERAL DE MADERA*

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la parte del habitáculo que estaba orientada hacia el pasillo central del vagón quedaba cubierta mediante un tablón de madera (figura 3.82).

Dicho tablón estaba sujetado junto a los otros dos supuestos que mediante tornillos y aparte una parte inferior del tablón sobresalía para acabar reposando sobre la escuadra que sujetaba el amortiguador por la parte inferior.

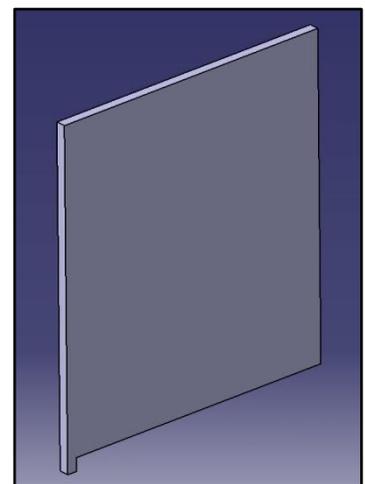


Figura 3.82: Tablón lateral de madera.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.6.2. *TABLÓN SUPERIOR DE MADERA*

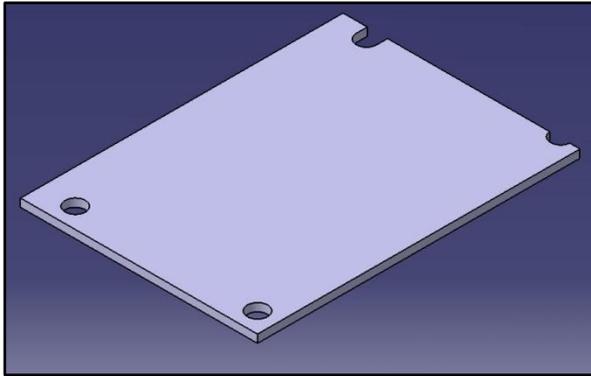


Figura 3.83: Tablón superior de madera.

En imagen ampliada del conjunto de tablonos se puede ver como en la parte superior del habitáculo había un tablón de madera agujereado en las cuatro esquinas (figura 3.83) para poderlo introducir entre los tubos verticales y “anillos” que forman la estructura tubular autoportante.

### 3.2.2.3.6.3. *TABLÓN POSTERIOR DE MADERA*

Como en la imagen ampliada del conjunto de protección no se puede apreciar si existía o no un tablón situado en la parte posterior del habitáculo para el sistema de rodadura, decidimos diseñar un tablón que cubriera dicha parte posterior, para proteger tanto a los pasajeros con los asientos en el caso en que haya asientos ceñidos al habitáculo.

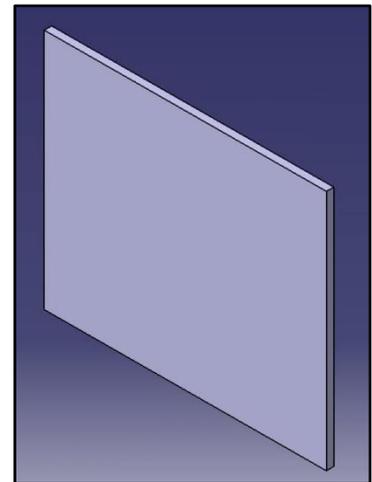


Figura 3.84: Tablón posterior de madera.

En la siguiente imagen aparece una de las cajas que cubre el habitáculo ya montada.

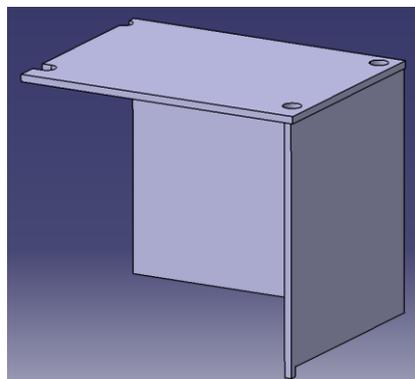


Figura 3.85: Caja que cubre el habitáculo modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.7. ESCUADRA PARA FIJAR EL AMORTIGUADOR

Una vez tenían el amortiguador roscado en el soporte visto en el punto anterior, faltaba fijarlo por la parte inferior a la estructura tubular. Para solucionarlo nos fijamos en varias imágenes extraídas de los artículos recopilados sobre el Talgo I, donde aparecía la sección del vagón (figura 3.86) y llegamos a la conclusión de que la suspensión estaba fijada en su parte inferior mediante una escuadra que a su vez estaba montado en la estructura.

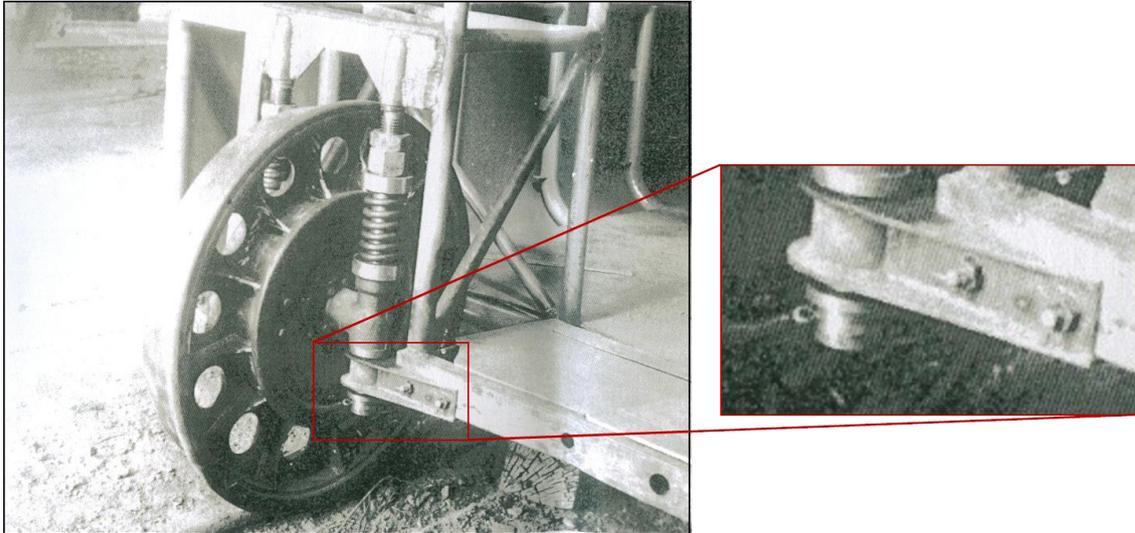


Figura 3.86: Detalle de la escuadra para fijar el amortiguador.

Como podemos apreciar en la imagen de detalle ampliada, este conjunto está formado por varios tipos de piezas distintos, descritos a continuación:

Piezas que componen la escuadra:

#### 3.2.2.3.7.1. 1) PLETINA DOBLADA

En la imagen podemos ver como existía una pletina que contenía dos agujeros para poderla fijar a la estructura tubular. Esta pieza debía ser doblada formando un ángulo de  $90^\circ$  para poder fijarla a ambos lados de una de las esquinas del tubo de perfil rectangular.

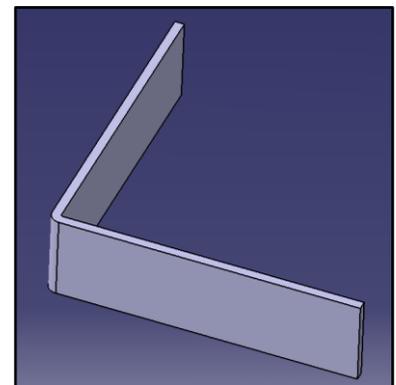
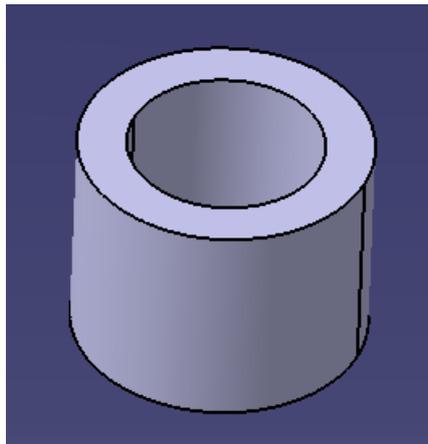


Figura 3.87: Pletina doblada modelada.

## 3.2.2.3.7.2. 2) CILINDRO AGUJERADO



En las imágenes donde aparece dicho triángulo vemos que junto a la pletina aparece una pieza con forma curva. Debido a que tenía que poder albergar la barra vertical del amortiguador, llegamos a la conclusión de que la pieza en cuestión tenía que ser un cilindro agujereado en su eje de revolución con un agujero con diámetro suficiente para que la barra del amortiguador ni entrase a la fuerza ni bailara en el interior. Para que quedara fijada a la pletina, bastaba con dos cordones de soldadura por cada lado.

Figura 3.88: Cilindro agujereado modelado.

En la imagen siguiente (figura 3.89) podemos ver cómo queda soldado el cilindro a la pletina doblada.

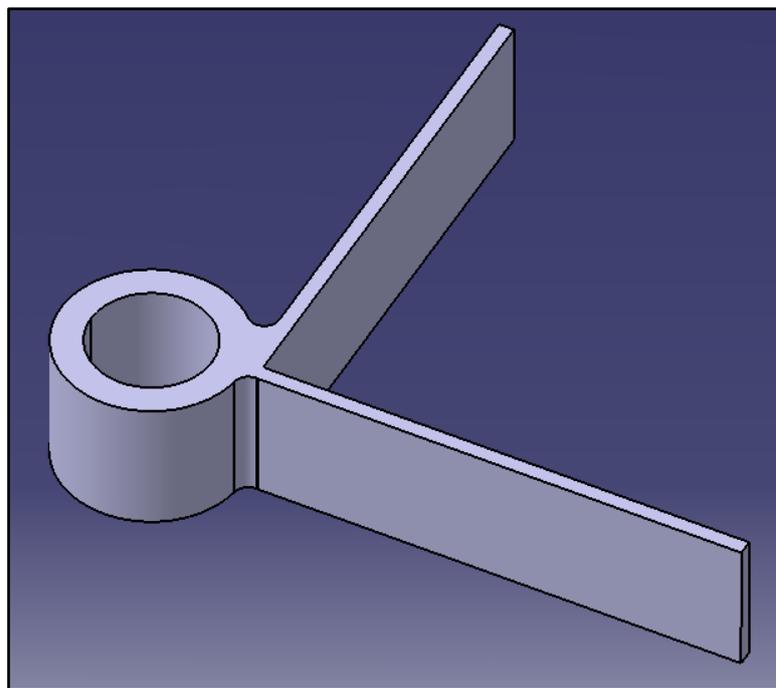


Figura 3.89: Pletina y cilindro soldados.

En la imagen anterior se puede apreciar como el cilindro no estaba sobre el eje de simetría de la pletina debido a que al estar situado de esta manera, el eje del amortiguador quedaba más cercano a la estructura tubular y por lo tanto la rueda giraba sobre su eje bajo el habitáculo que albergaba todo el sistema de rodadura y suspensión.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.7.2.1. 3) Parte superior e inferior

Una vez soldado el cilindro anterior, el conjunto necesitaba dos pletinas iguales, una por arriba y una por abajo, que cubrieran tanto el cilindro como la pletina doblada para así poder aguantar más los esfuerzos a los que estaba sometido el triángulo. Dichas pletinas tenían que estar agujereadas en el mismo punto que el cilindro y con el mismo diámetro para no tener problemas al pasar la barra vertical del amortiguador.

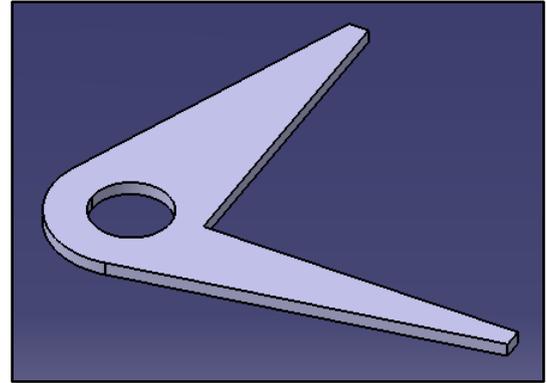


Figura 3.90: Parte superior modelada.

Una vez situadas las pletinas en sus respectivas posiciones, hacía falta un cordón de soldadura a lo largo de las como vemos en la figura 3.91.

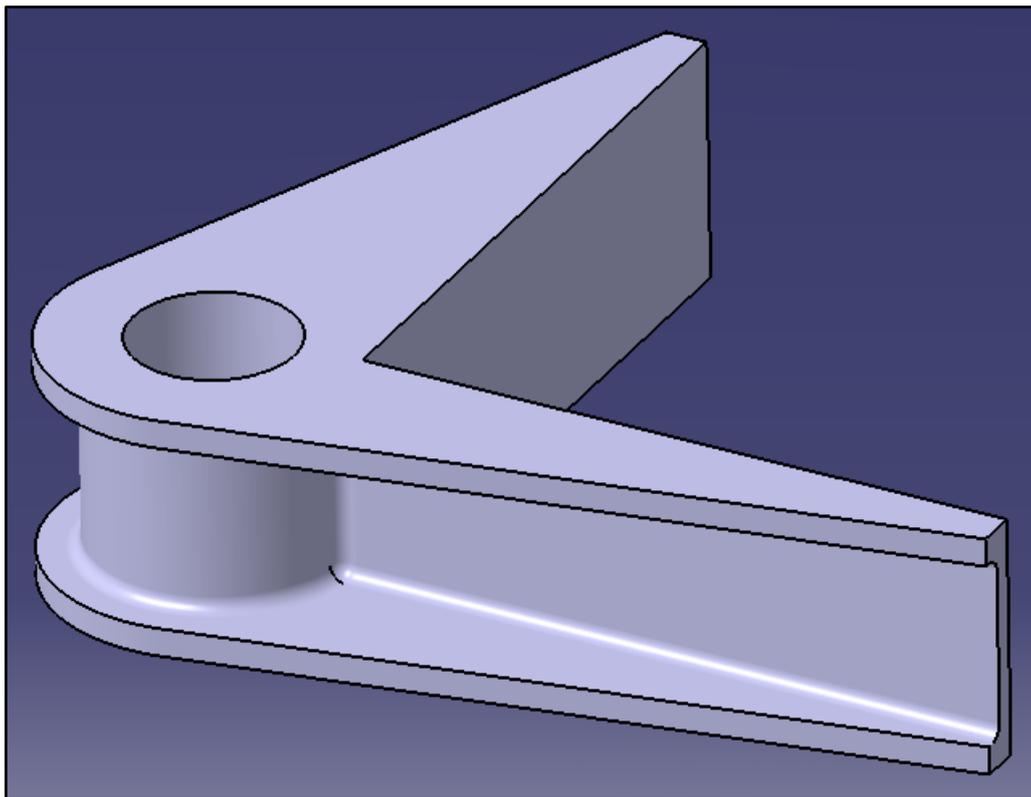


Figura 3.91: Escuadra modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.8. PIEZAS DE UNIÓN ENTRE VAGONES

En las imágenes donde aparecen las secciones del tren (figura 3.92) observamos que para unir cada vagón y al mismo tiempo soportar el esfuerzo de desplazar el vagón posterior, cada elemento disponía de dicho conjunto de piezas que además permitía el giro de los vagones entre sí.

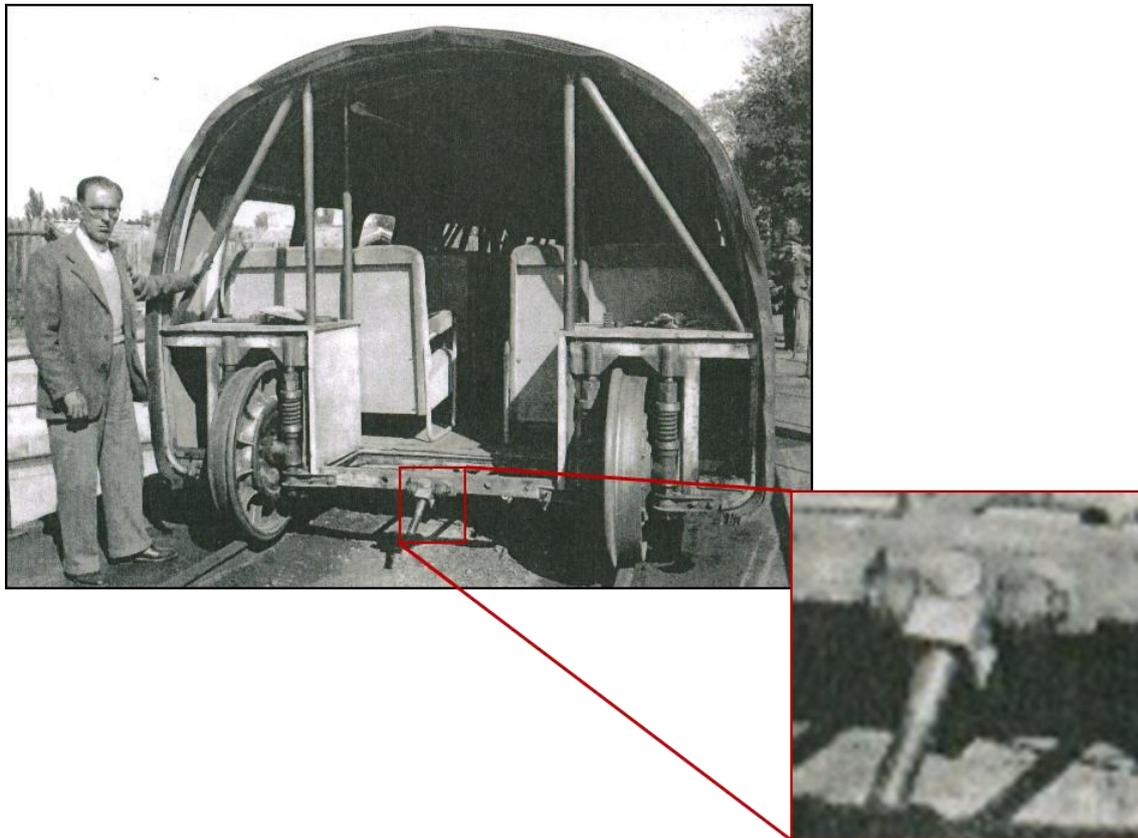


Figura 3.92: Detalle de las piezas de unión entre vagones.

A partir de la imagen llegamos a la conclusión que para permitir el giro tanto vertical como horizontalmente entre vagones, el conjunto debía contener las características geométricas que iremos viendo a medida que describamos cada pieza por separado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Piezas que componen el conjunto de unión:

### 3.2.2.3.8.1. 1) PLETINA

Esta pieza era la que estaba en contacto con el tubo de perfil rectangular, unida al vagón en el extremo que albergaba los elementos de rodadura, es decir, en la parte trasera de dicho vagón. La pletina al ser la pieza de unión entre el conjunto y el vagón, era la encargada de soportar el esfuerzo de desplazar el vagón posterior.

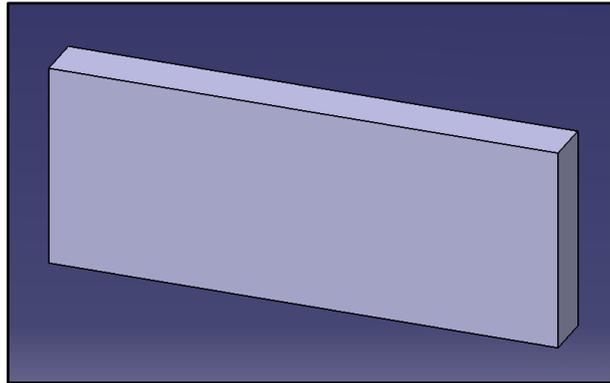


Figura 3.93: Pletina conjunto de unión.

### 3.2.2.3.8.2. 2) CILINDROS SOLDADOS A LA PLETINA

Para poder enganchar el primer elemento que veremos en el paso siguiente, el cual permitía el giro en vertical, hacía falta dos cilindros como vemos en la figura 3.94 que estaban soldados a la pletina mediante soldadura eléctrica.

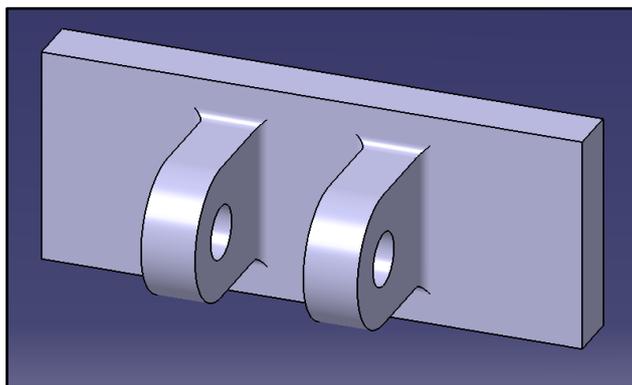


Figura 3.94: Pletina conjunto de unión más los cilindros soldados.

Dichos cilindros estaban agujereados en el centro, como podemos apreciar en la imagen anterior, debido a que para la unión entre piezas se necesitaban unos tornillos que veremos más adelante.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.8.3. 3) PIEZA QUE PERMITE EL GIRO VERTICAL

Debido a su geometría, que podemos ver en la figura 3.95 de la pieza, ésta permitía el giro vertical entre vagones. Como vemos en la imagen, la pieza se caracterizaba por tener dos radios los cuales evitaban cualquier contacto con las demás al producirse el giro.

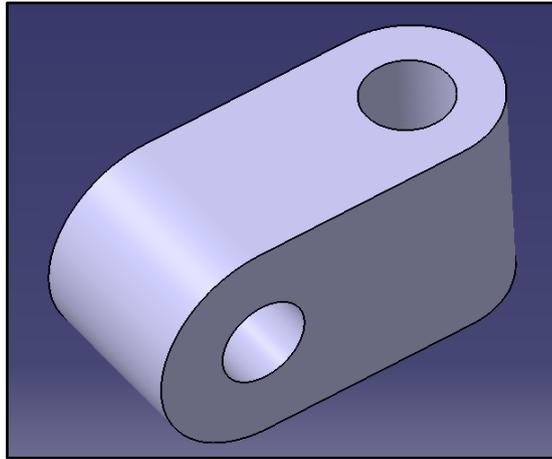


Figura 3.95: Rótula del conjunto de unión.

La pieza estaba agujereada como vemos en la imagen ya que introduciendo dos tornillos conseguimos la sujeción de las demás piezas a ésta, por este motivo la podríamos considerar como la pieza a destacar del conjunto.

### 3.2.2.3.8.4. 4) PIEZA QUE PERMITE EL GIRO HORIZONTAL

Junto a la pieza que hemos visto en el paso anterior, y mediante los tornillos que veremos más adelante, estaba situada la pieza que permitía a los vagones girar horizontalmente entre sí por la geometría que la caracterizaba (figura 3.96).

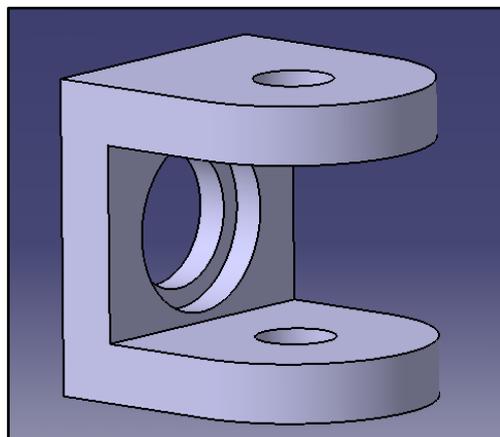


Figura 3.96: Pieza que permite el giro horizontal modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Esta pieza constaba de un subconjunto de tres piezas diferentes, una pletina y dos cilindros agujereados unidas y soldadas entre sí. En la siguiente imagen (figura 3.97) se puede observar cómo era dicho subconjunto.

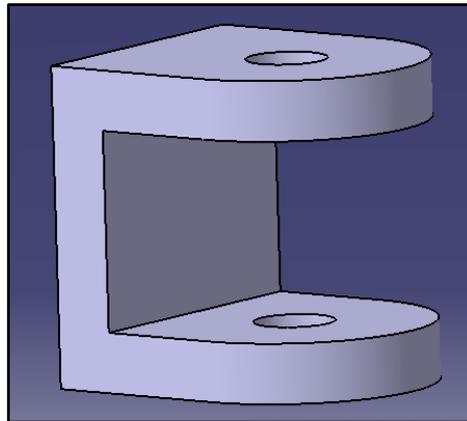


Figura 3.97: Partes de la pieza para giro horizontal.

En la siguiente figura 3.98, podemos apreciar como la pletina necesitaba de un agujero doble, es decir, tenía que estar agujereado con dos diámetros distintos sobre el mismo eje de revolución para poder albergar la pieza que veremos en el paso siguiente.

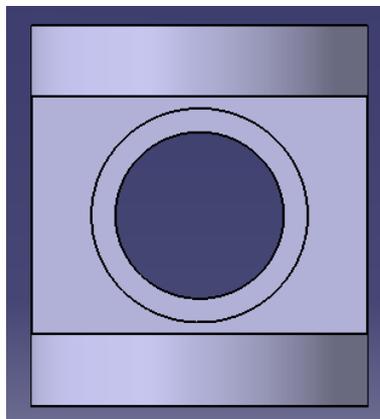


Figura 3.98: Agujero doble en la pieza.

### 3.2.2.3.8.5. 5) EJE ROSCADO

Para poder unir los vagones se necesitaba este eje roscado que vemos en la figura 3.99, que unía tanto la pieza nº4 como el tubo de perfil rectangular de la parte delantera de cada vagón.

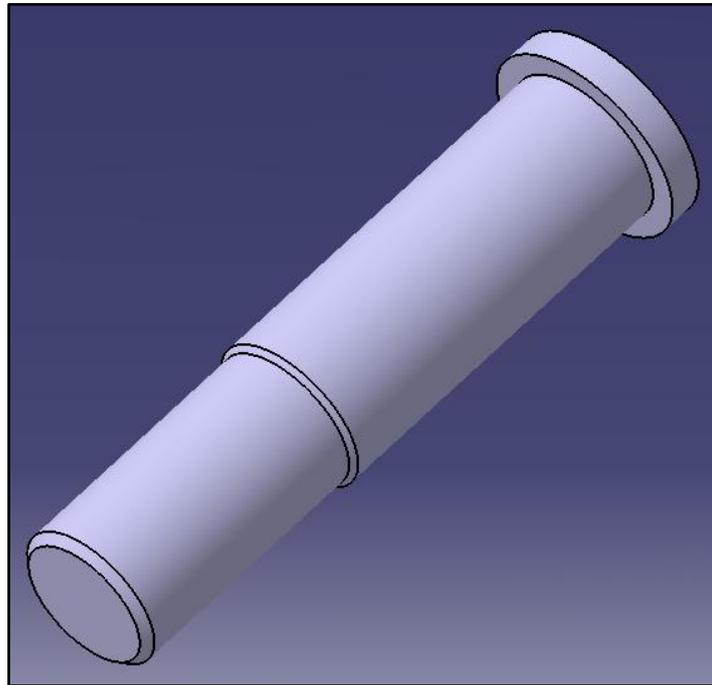


Figura 3.99: Eje roscado modelado.

Se puede apreciar en la imagen que el eje está constituido por tres regiones diferentes:

La primera que es de menor longitud pero de mayor diámetro sirve para hacer de tope con la pieza explicada en el paso anterior al estar introducida dentro del agujero de dos diámetros distintos.

La segunda es de menor diámetro que la primera como se puede ver en la imagen y de longitud suficiente para al estar el conjunto montado y introducido dentro del tubo de perfil rectangular, este no sobresalga por escasos milímetros. La razón de escoger dicha longitud se debe a que una vez introducido el eje en el perfil rectangular, la tuerca al estar completamente roscada nunca podría llegar al tope de rosca ya que se encontraría con la pletina que va situada detrás del perfil tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

La tercera región que vemos en la figura 3.100, es la parte roscada del eje que empieza donde finaliza la segunda región, esta es la de menor diámetro. En la imagen no se puede apreciar que dicha parte del eje va roscada ya que el programa que hemos usado para modelarla en tres dimensiones, CATIA V5 R18, no muestra las partes roscadas en las piezas a no ser que las muestres en los planos, hecho que podremos observar más adelante en la sección de planos.

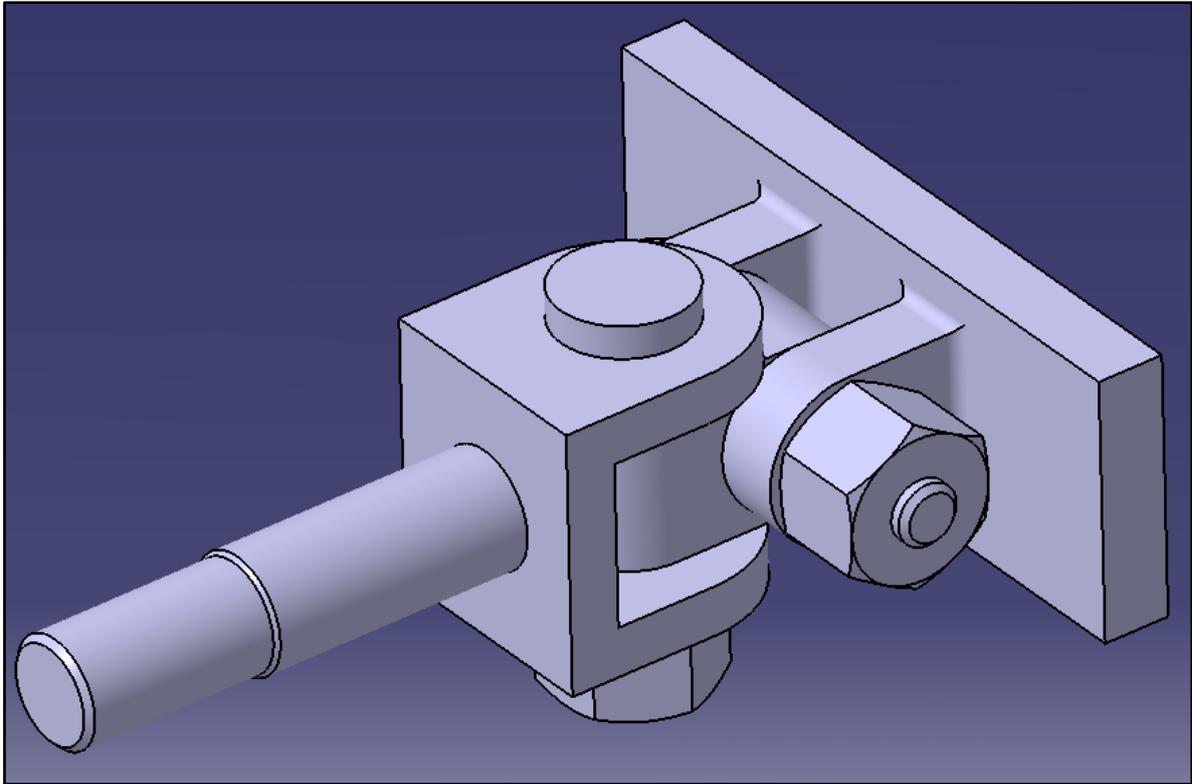


Figura 3.100: Conjunto de unión entre vagones modelado.

Para unir entre si las diferentes piezas que componían el conjunto de unión entre vagones, suponemos que se hacía mediante unos tornillos y tuercas que vemos en la figura siguiente.

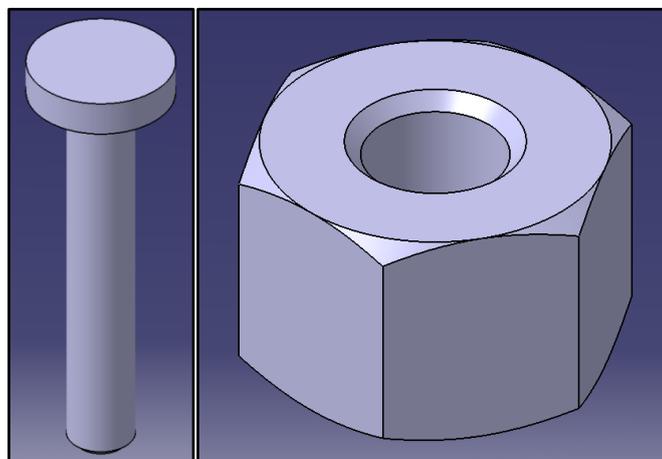


Figura 3.101: Tornillo modelado (izquierda) y tuerca modelada (derecha).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### - Pletinas para reforzar el tubo rectangular

Para reforzar la parte del tubo de perfil rectangular que estaba agujereado para poder alojar el eje anterior, llegamos a la conclusión de que la estructura a la cual se le introducía el eje visto en el paso anterior, debía tener dos pletinas (figura 3.102) situadas una a cada lado del tubo rectangular. Dichas pletinas debían estar agujereadas coincidiendo los agujeros con el de la estructura tubular. La función de estas pletinas, aparte de reforzar la estructura, era la de evitar el desgaste del posible roce del eje con cualquier tipo de vibración o movimiento interno.

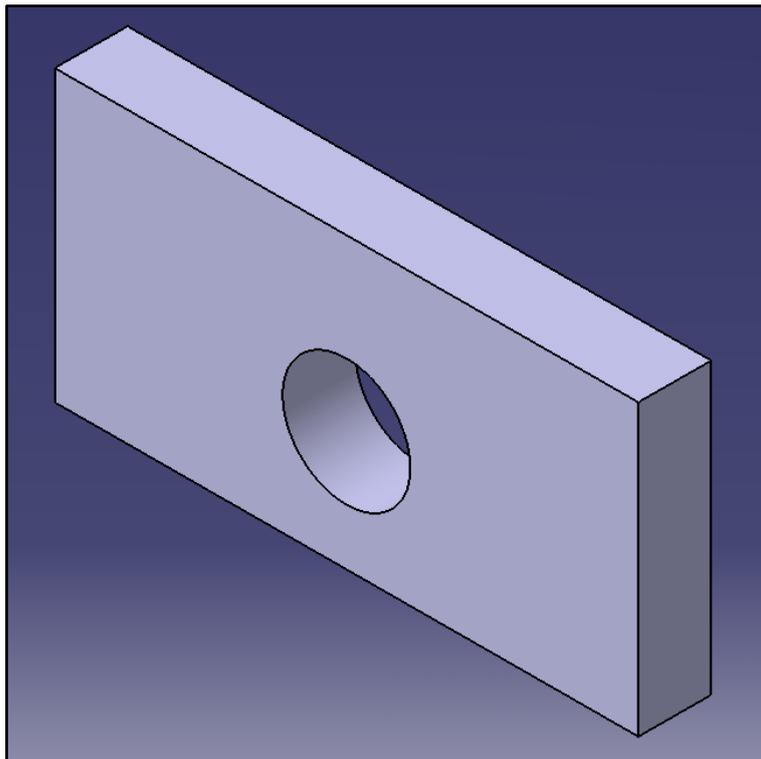


Figura 3.102: Pletina para reforzar el tubo rectangular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.9. SUELO

El suelo estaba compuesto por varios tablones de madera que descansaban sobre los tubos horizontales de la estructura tubular, y a los cuales estaban anclados mediante uniones roscadas. Había un total de 8 tablones de 29mm de espesor diferenciados en 3 modelos distintos, y que ocupaban toda la superficie referente al suelo del vagón.

Por lo que se refiere a los 3 tipos distintos de modelos, podemos diferenciar entre los tablones centrales, los tablones extremos, y las tapas.

Los tablones de los extremos tenían una geometría condicionada por él la estructura, ya que había que salvar el espacio para las ruedas y se acoplaran perfectamente al hueco que había entre ellas. De este tipo de tablón, había 2 unidades por vagón.

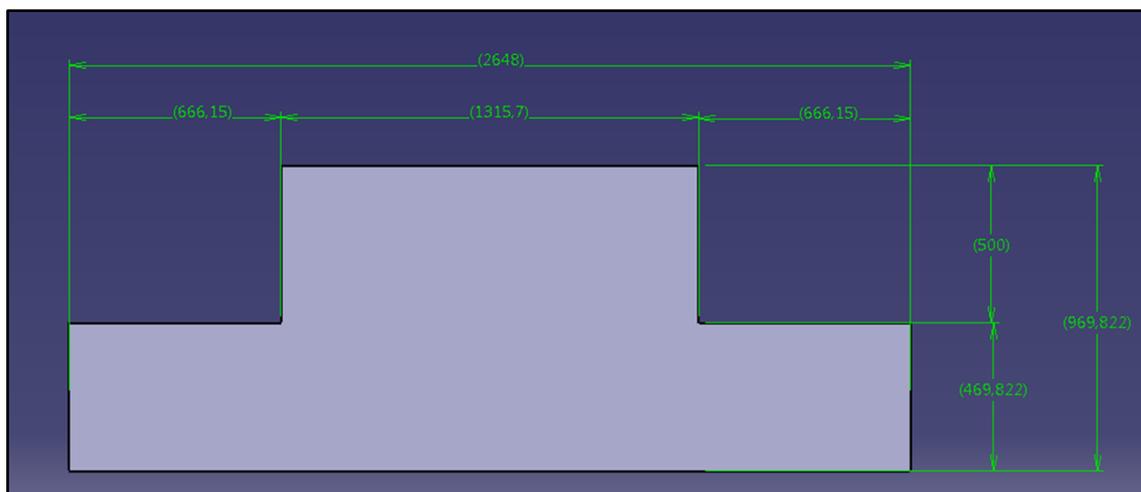


Figura 3.103: tablón del extremo acotado.

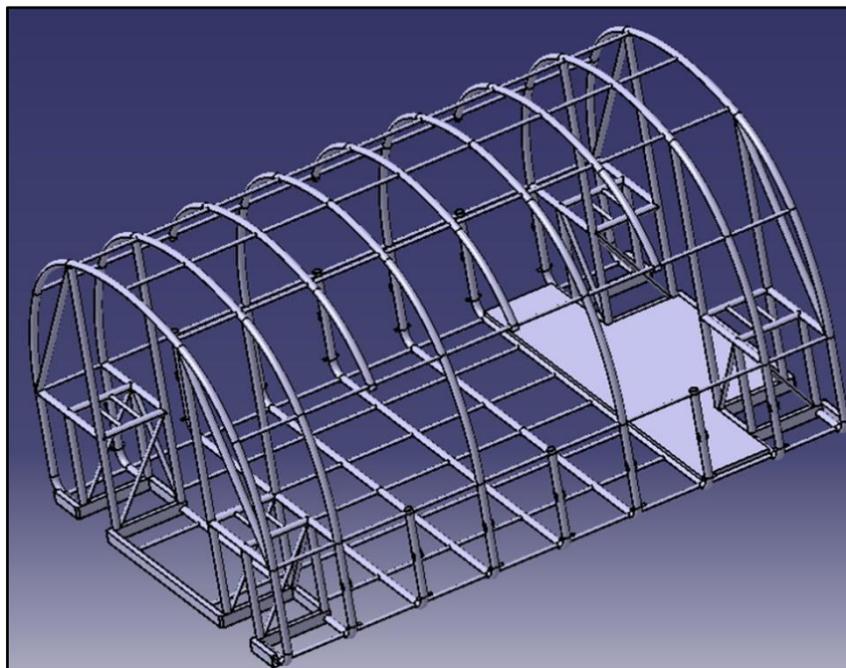


Figura 3.104: Tablón de un extremo situado en la estructura tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Los tablones centrales tenían una geometría rectangular y había 2 unidades. Estos tenían unas dimensiones que les permitían ocupar toda la anchura del vagón, y longitudinalmente, que se apoyaran en 3 tubos cada uno de los tablones.

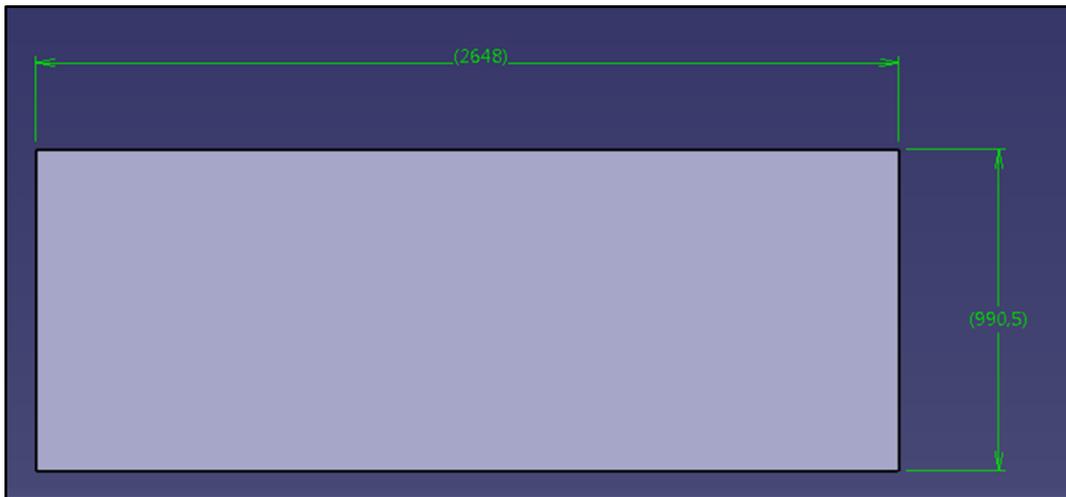


Figura 3.105: Tablón central acotado.

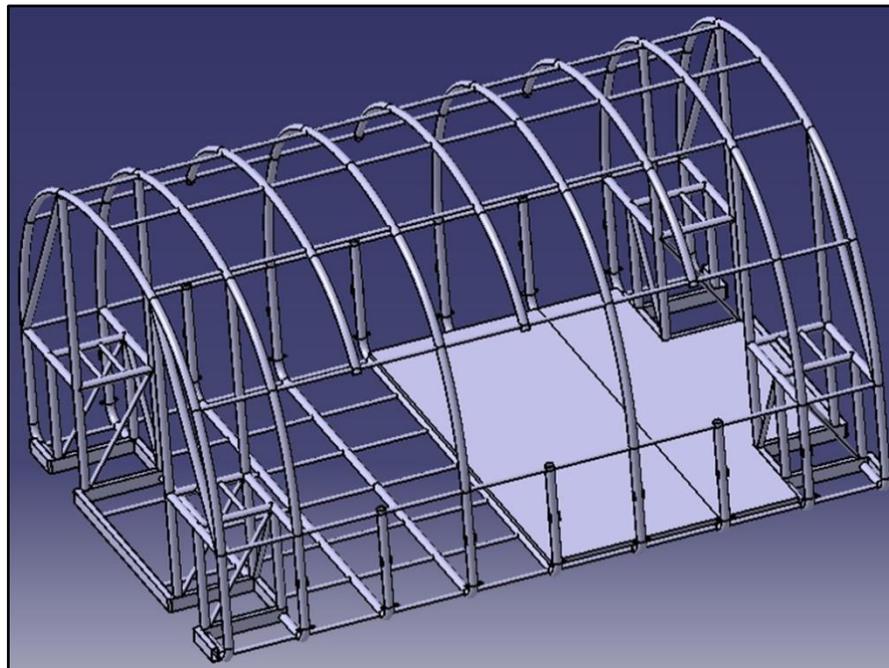


Figura 3.106: Tablón de un extremo y central situados en la estructura tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Por último, las tapas eran unas piezas rectangulares que tenían que encajar perfectamente entre el inicio de curvatura de la estructura y el hueco para la rueda. De este tipo de tabloncillos, había 4 unidades, una en cada esquina del vagón.

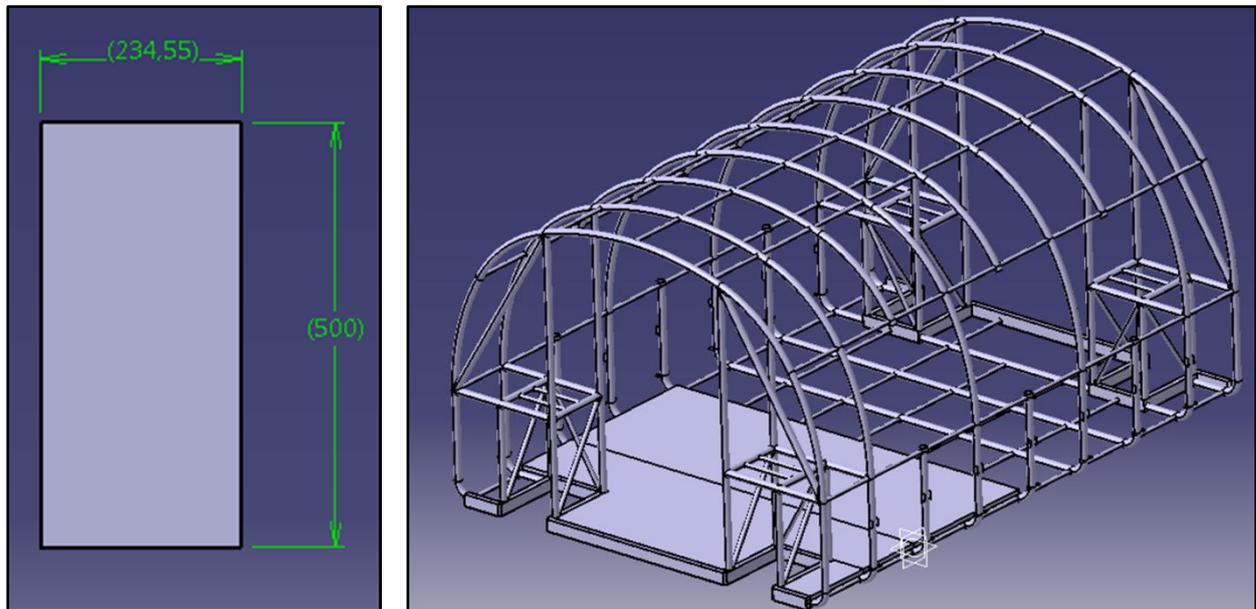


Figura 3.107: Tapa acotada (izquierda) y tabloncillo de un extremo, central y tapa situados en la estructura tubular (derecha).

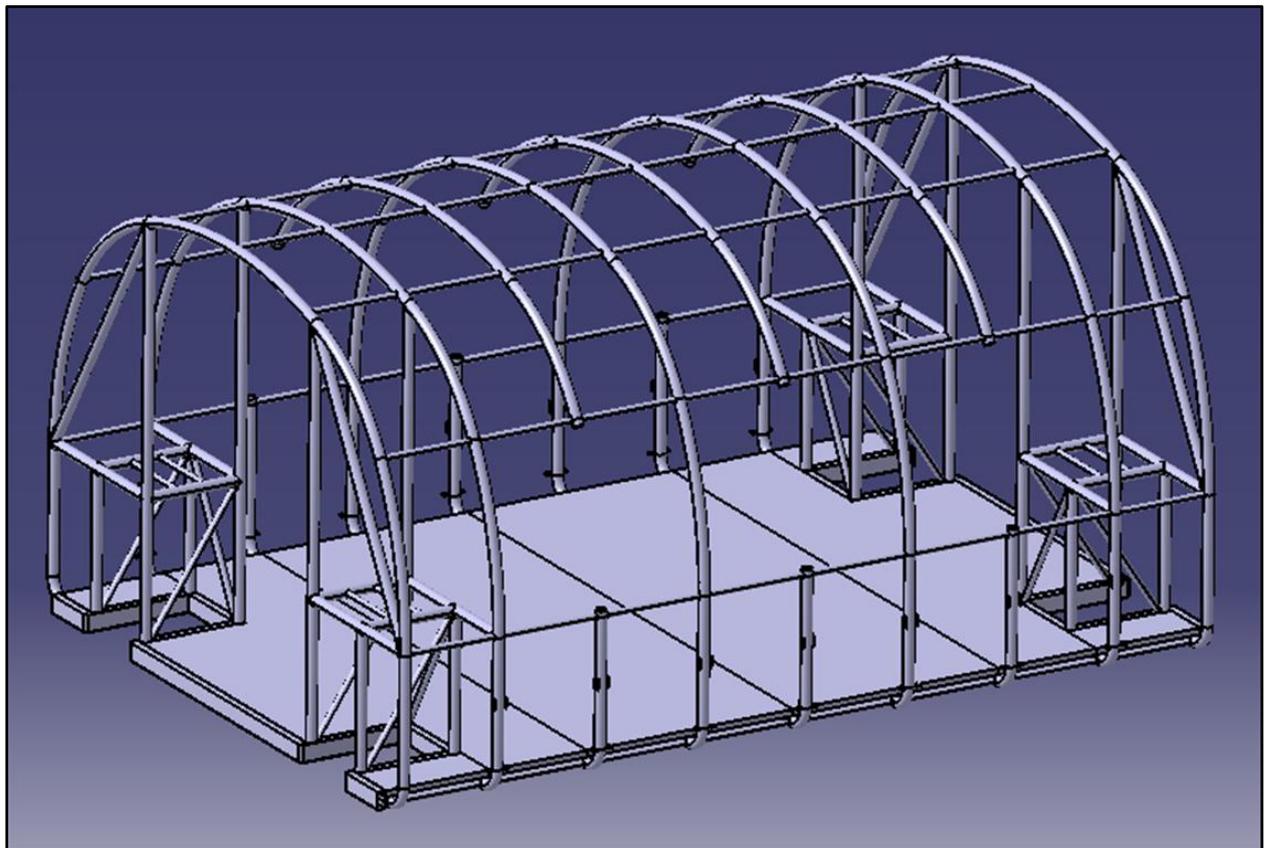


Figura 3.108: Montaje de la estructura tubular y los tabloncillos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.3.10. CHAPAS

Una vez acabado el montaje entre la estructura tubular y los tablonos de madera, había que acoplar los diferentes tipos de chapas que cubrirán tanto la estructura como los tablonos del suelo.

Cabe destacar que en el diseño de las chapas, todas tienen un espesor de 1mm indiferentemente del modelo de chapa del cual estemos tratando.

Podemos diferenciar 2 tipos de chapas, que son las chapas exteriores y las interiores.

#### 3.2.2.3.10.1. CHAPAS EXTERIORES

Por lo que a la chapa exterior se refiere, en una primera instancia se diseñaron cuatro chapas diferentes que en sus puntos de unión hacían una forma de “Z” i se sobreponían unas por encima de otras para evitar que en caso de lluvia, el agua se introdujera en el interior por la unión.

Las cuatro chapas se dividían en dos laterales y simétricas entre ellas, y una superior y otra inferior.

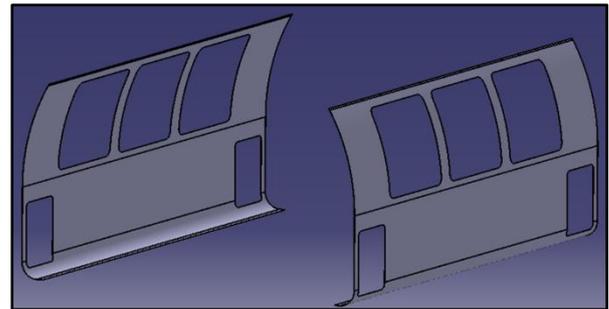


Figura 3.109: Chapas laterales vagón buffet.

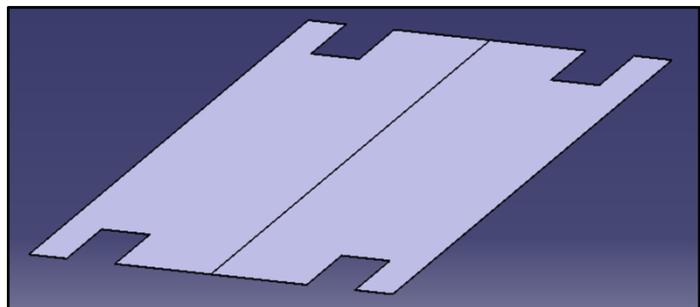
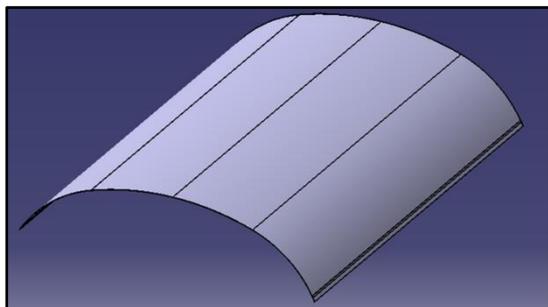


Figura 3.110: Chapa superior (izquierda) y chapa inferior (derecha).

Posteriormente nos dimos cuenta de que el diseño no era válido ya que en las uniones de estas, podían surgir tensiones de cizalladura.

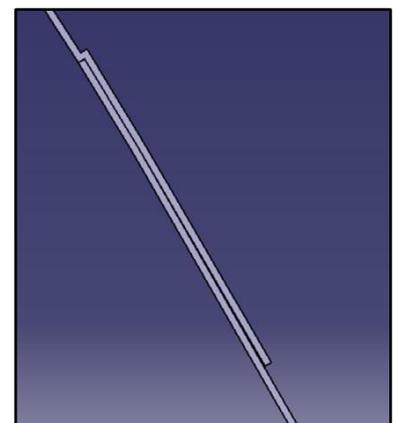


Figura 3.111: Superposición entre chapas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Con el fin de eliminar estas tensiones, decidimos que la chapa exterior fuera una sola chapa que envolvería la estructura i que se uniría en la parte de abajo del tren. Para unir-la, se sobreponen los dos extremos alrededor de unos 50mm i ahí estará remachada. Con este diseño, la carrocería adopta un buen comportamiento aerodinámico, ya que se evita tener elementos sobresalientes en la parte superior. De esta forma también eliminamos tensiones de cizalladura con el hecho de que la chapa se sobreponga i no tenga sus extremos en contacto como antes. Además, tendremos un diseño estético ya que esta superposición remachada esta debajo del tren i no se verá, y seguiremos evitando que en caso de lluvia el agua se pueda introducir por las uniones.

Hay que decir que respecto a los diferentes diseños de las chapas exteriores, hay 3 tipos distintos, ya que el diseño de dos de los vagones, como son el vagón trasero y el buffet, son idénticos.

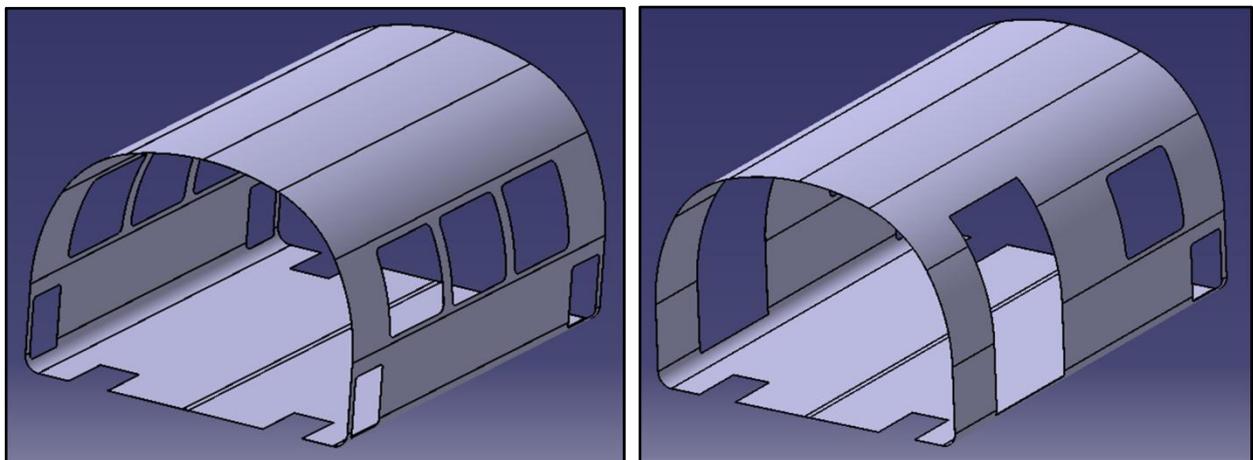


Figura 3.112: Chapa exterior vagón buffet y trasero (izquierda) y chapa exterior vagón equipajes (derecha).

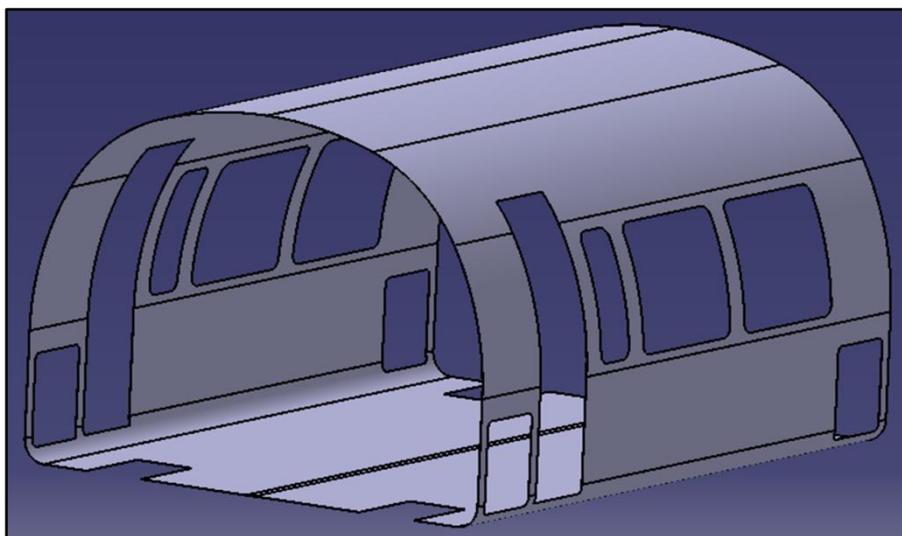


Figura 3.113: Chapa exterior vagón delantero.

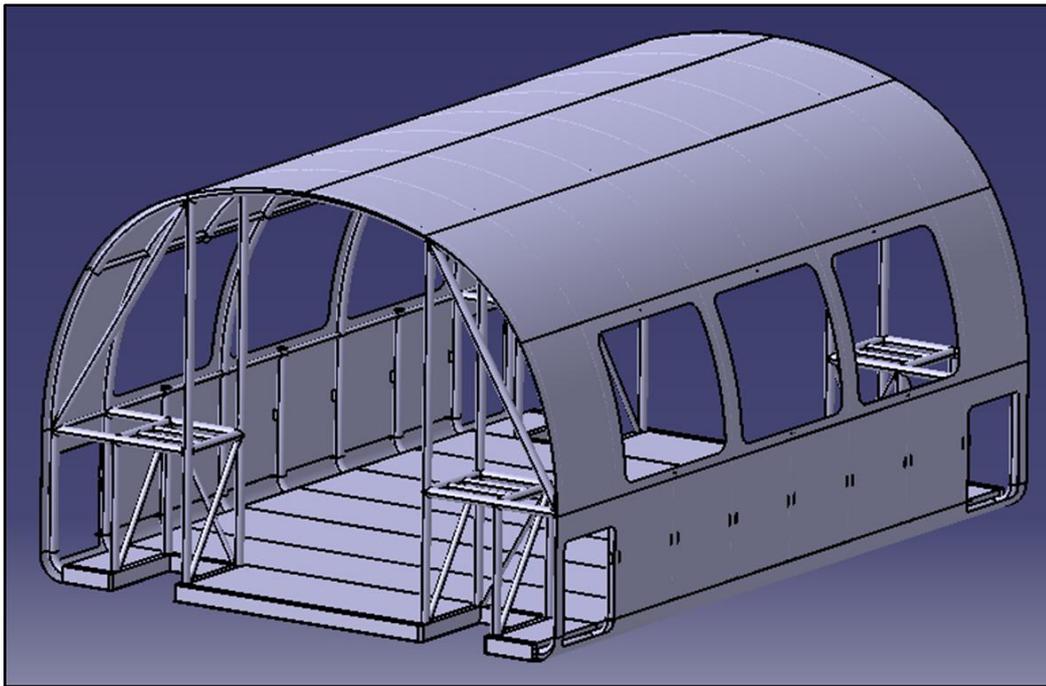


Figura 3.114: Montaje de la estructura tubular con el suelo y la chapa exterior.

3.2.2.3.10.2. CHAPAS INTERIORES

A parte de cubrir la estructura tubular exteriormente, había varias chapas que estaban acopladas encima de los tablones de madera para evitar el deterioro de estos, y otras que tapaban los tubos por la parte interior del vagón.

Las chapas encargadas de proteger el deterioro de los tablones de madera, se fijaban a estos mediante uniones roscadas, y se diferenciaban en un total de 9 chapas correspondientes a 3 modelos distintos.

Hay que destacar que otro motivo que impulsó a Goicoechea a cubrir los tablones de madera con una chapa, fue porque en 1930 presenció el accidente del tren Correo de La robla, en el cual los viajeros fueron heridos como consecuencia de las astillas y trozos de madera que se desprendieron.

De estos 3 modelos, distinguimos entre chapas de los extremos, chapas centrales, y chapas de las tapas.

Las chapas de los extremos tenían geometría rectangular e iban situadas encima de los tablones de los extremos, ajustadas entre el hueco existente entre los alojamientos de las ruedas. De este tipo de chapas había dos unidades, una en cada extremo.



Figura 3.115: Chapa de los extremos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I



Figura 3.116: Chapa central.

Las chapas centrales se dividían en tres unidades, y tenían una geometría rectangular que evitaba que sus extremos coincidieran posicionalmente con los del tablón.

Respecto a las chapas de las tapas, tenían las mismas dimensiones que las tapas de madera en lo que a longitud y anchura se refiere, e iban unidas a las tapas haciendo coincidir sus aristas.

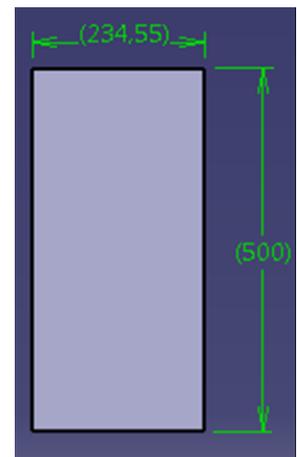


Figura 3.117: Chapa de la tapa.

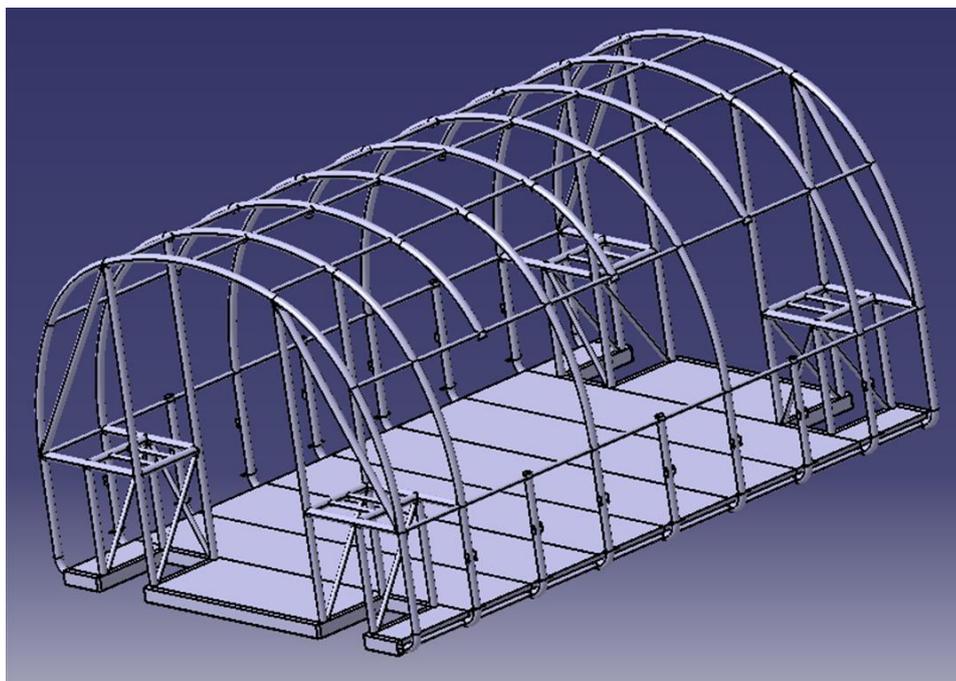


Figura 3.118: Montaje de la estructura tubular, tableros y chapas interiores del suelo.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Por otra parte, el segundo tipo de chapa interior es el que se encarga de cubrir la estructura tubular interiormente. Hay que decir, que a diferencia de la chapa exterior, esta estaba dividida en varios tramos que iban remachados sobre los tubos para mantenerlos unidos. Uno de los motivos por el cual la chapa interior está dividida en diferentes tramos es el posicionamiento de las puertas y ventanas, ya que dependiendo de esto, variara su longitud i su anchura. Si no nos encontramos con ningún obstáculo el ancho de cada chapa ocupara 3 tubos e ira remachado en los dos de los extremos. Otro motivo por el cual la chapa interior está dividida en diferentes tramos, es porque sería muy complicado su montaje si esta estuviera compuesta tan solo por una pieza. De este modo, los operarios pueden introducirse dentro de la estructura con el módulo de chapa necesario y trabajar cómodamente, pudiendo manejarla como convenga al montaje.

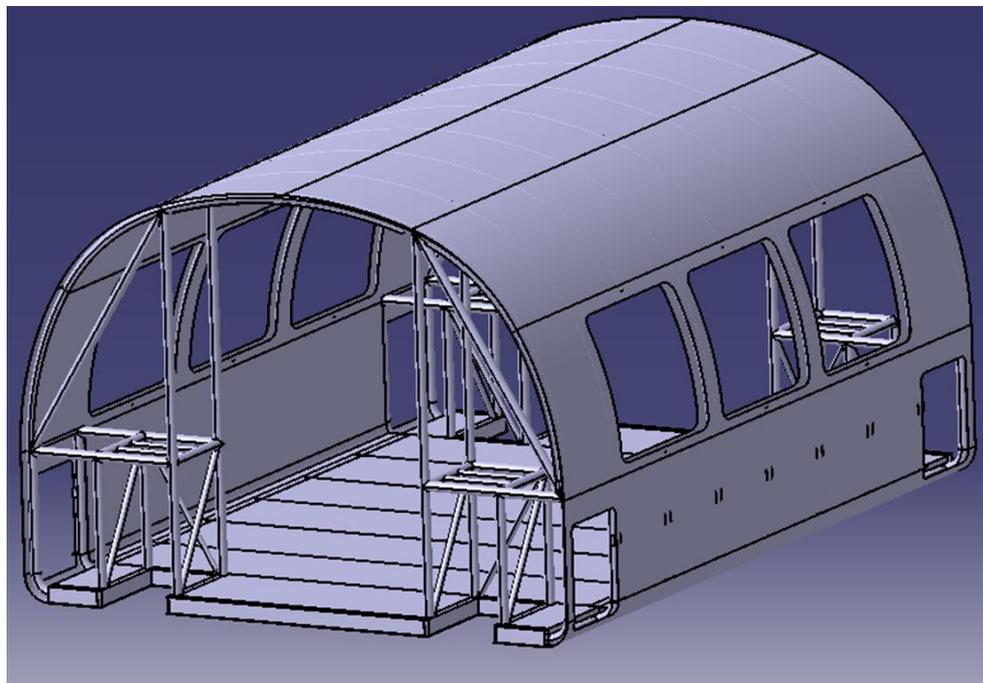


Figura 3.119: Montaje de la estructura tubular, tabloneros, chapas interiores y exteriores.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.2.2.4. Características técnicas de los materiales

En la época en la que se fabricó el Talgo-I había una escasez de los diferentes tipos de acero que se podían usar para la fabricación de los elementos del tren, ya que en España se acababa de vivir la guerra civil y seguidamente se inició la segunda guerra mundial. En este período el sector siderúrgico se encontraba inmerso en una situación de crisis, general para todos los estamentos económicos y sociales del estado, pero con unas peculiaridades como eran el elevado grado de oligopolización comercial, con una industria focalizada en el país vasco, y una estructura productiva altamente deficiente. Fruto de estos condicionamientos, la siderurgia se caracterizaba por una excesiva dependencia de la chatarra para la elaboración de los aceros, chatarra que al mismo tiempo escaseaba, y la existencia de unas instalaciones obsoletas, incapaces de garantizar una calidad mínima en los productos básicos.

Así pues, debido a la situación del momento, el Talgo-I fue fabricado con los pocos materiales a los que se tenía acceso. De entre los aceros disponibles, los más comunes eran los aceros no aleados F1 y F5.

El acero F1 sería equivalente en cuanto al contenido en carbono a lo que ahora denominamos F1110, y se caracterizaba por tener una baja presencia de carbono (aproximadamente un 0,15%), y, fundamentalmente, por no garantizar unas propiedades mecánicas mínimas. El F1 constituía el acero básico de decoletaje o mecanizado que se suele utilizar también como acero de cementación, ya que su alta calidad permite realizar este tratamiento con la mayor garantía obteniendo siempre resultados satisfactorios y regulares.

Las aplicaciones principales del acero F-1110 están relacionadas con elementos de máquinas calculadas para resistir un máximo de entre 25-40 Kg./mm<sup>2</sup> de límite elástico en estado normalizado o bruto de laminación en las que se exigía muy buena ductilidad y tenacidad.

Además se emplea en la fabricación de piezas que se obtengan por embutición o plegado y admite bien la soldadura.

<b>CENIM F-1110 C 15 K</b>				
<b>Composición química de la colada %</b>				
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P máx.</b>	<b>S máx.</b>
0,10-0,20	0,40-0,70	0,15-0,40	0,035	0,035

Tabla 3.3: Composición química de la colada F1110 %.

<b>Durezas y resistencias aproximadas en diferentes estados</b>			
Estado	Templado	Laminado o Normalizado	Recocido de ablandamiento
Dureza Resistencia, kg/mm <sup>2</sup>	26-43 Rc 90-140	110-170 HB 40-60	137 HB máx. 50 máx.

<b>Características realizables sobre barra tratada</b>		
∅ en mm	∅ ≤ 16	16 < ∅ ≤ 40
R (kg/mm <sup>2</sup> )	45-65	40-60
E (kg/mm <sup>2</sup> ) min.	30	26
A (5d) % min.	20	23
KCU (kgm/cm <sup>2</sup> ) min.	10	9

<b>Características realizables sobre barra normalizada</b>		
∅ en mm	∅ ≤ 100	100 < ∅ ≤ 250
R (kg/mm <sup>2</sup> )	39-51	—
E (kg/mm <sup>2</sup> ) min.	22	—
A (5d) % min.	26	—
KCU (kgm/cm <sup>2</sup> ) min.	—	—

Tabla 3.4: Propiedades mecánicas F-1110.

<b>Datos útiles para los tratamientos térmicos</b>		
Temperaturas críticas: Ac <sub>1</sub> 735° C      Ac <sub>3</sub> 860° C		
Operación	Temperatura	Enfriamiento
Forja	1.150°-850° C	aire
Normalizado	910° C	aire
Recocido de ablandamiento	680° C	aire
Temple	900° C	agua
Revenido	500°-650° C	aire

Tabla 3.5: Características relativas a los tratamientos térmicos F-1110.

<b>Propiedades mecánicas de los aceros al carbono de construcción HEVA para los productos estirados en frío</b>											
HEVA	CENIM		∅ ≤ 16 mm			16 mm < ∅ ≤ 40 mm			40 mm < ∅ ≤ 63 mm		
	Simbólica	Numérica	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)
F-1110	C 15 K	F-1110	46	34	10	43	30	11	41	26	12

Tabla 3.6: Propiedades mecánicas para estirado en frío del F-1110.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

El acero F5, con un contenido mayor en carbono, ya garantizaba unas calidades mínimas, permitiendo por su composición la mejora de propiedades mediante tratamientos térmicos de temple y revenido. Se trataba del acero seleccionado cuando se quería obtener más dureza y garantizar unas propiedades mecánicas mínimas. Hoy día equivaldría, por el contenido en carbono, a un F1140.

Este acero con unos contenidos de carbono superiores en las referidas condiciones de utilización se suelen emplear para piezas que precisen de 40 a 50 Kg. /mm<sup>2</sup> de límite elástico. Se suelen soldar también estos aceros, pero a medida que aumente el porcentaje de carbono esta operación tiene mayores dificultades.

El único inconveniente es que empleado en bruto de laminación o forja, recocido o aun normalizado, es que la micro estructura presente no es la más adecuada para trabajos de fatiga ni alcanza el mejor compromiso de resistencia a tracción, ductilidad y tenacidad.

Para ello, el mejor resultado con estos aceros se obtiene utilizando temple y revenidos. Así el límite elástico obtenido es muy superior al de los mismos aceros en estado normalizado para el mismo campo de resistencia a tracción entre 65 y 80 Kg. /mm<sup>2</sup> y asimismo se alcanza la máxima tenacidad posible para esas características mecánicas.

Ahora bien, esto ocurre solo en perfiles delgados, ya que se trata de aceros que al no tener elementos de aleación son de muy pequeña templabilidad. Es decir, sus velocidades críticas son muy elevadas y a pesar de ser enfriados en agua no templan en perfiles gruesos. El diámetro crítico es muy reducido y el “efecto de masa” ejerce una gran influencia.

Bien es verdad que aunque no se alcance un temple perfecto, un enfriamiento rápido por lo menos imparte una estructura de grano fino y homogéneo de características mecánicas superiores a las de una estructura de grano grosero y heterogéneo. Por ello si la pieza es de forma adecuada para sufrir un temple en agua sin distorsiones inadmisibles o agrietamientos, conviene templarla y revenirla, aunque se sepa que no se van a alcanzar las características óptimas de una estructura correcta de temple.

Su aplicación principal se ve reflejada en piezas pequeñas de maquinaria con resistencias de 70-90 Kg./mm<sup>2</sup>, como ejes, manguitos, tornillos, etc...

<b>CENIM F-1140 C 45 K</b>				
<b>Composición química de la colada %</b>				
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P máx.</b>	<b>S máx.</b>
0,40-0,50	0,50-0,80	0,15-0,40	0,035	0,035

Tabla 3.7: Composición química de la colada F-1140%.

<b>Durezas y resistencias aproximadas en diferentes estados</b>			
Estado	Templado	Laminado o Normalizado	Recocido de ablandamiento
Dureza Resistencia, kg/mm <sup>2</sup>	43-60 Rc 140-220	175-255 HB 60-90	207 HB máx. 70 máx.

<b>Características realizables sobre barra tratada</b>			
∅ en mm	∅ ≤ 16	16 < ∅ ≤ 40	40 < ∅ ≤ 100
R (kg/mm <sup>2</sup> )	71-91	67-87	63-83
E (kg/mm <sup>2</sup> ) min.	48	42	38
A (5d) % min.	13	15	16
KCU (kgm/cm <sup>2</sup> ) min.	6	6	6

<b>Características realizables sobre barra normalizada</b>		
∅ en mm	∅ ≤ 100	100 < ∅ ≤ 250
R (kg/mm <sup>2</sup> )	60-78	54-74
E (kg/mm <sup>2</sup> ) min.	30	28
A (5d) % min.	17	14
KCU (kgm/cm <sup>2</sup> ) min.	—	—

Tabla 3.8: Propiedades mecánicas F-1140.

<b>Datos útiles para los tratamientos térmicos</b>		
Temperaturas críticas: Ac <sub>1</sub> 730° C      Ac <sub>3</sub> 780 ° C		
Operación	Temperatura	Enfriamiento
Forja	1.150°-850° C	cenizas
Normalizado	860° C	aire
Recocido de ablandamiento	680° C	aire
Temple	840° C	agua
Revenido	500°-650° C	aire

Tabla 3.9: Características relativas a los tratamientos térmicos F-1140.

<b>Propiedades mecánicas de los aceros al carbono de construcción HEVA para los productos estirados en frío</b>											
HEVA	CENIM		∅ ≤ 16 mm			16 mm < ∅ ≤ 40 mm			40 mm < ∅ ≤ 63 mm		
	Simbólica	Númérica	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)	R mín. kg/mm <sup>2</sup>	E mín. kg/mm <sup>2</sup>	A mín. % (5d)
F-1140	C 45 K	F-1140	67	51	8	63	44	9	59	37	10

Tabla 3.10: Propiedades mecánicas para estirado en frío del F-1140.

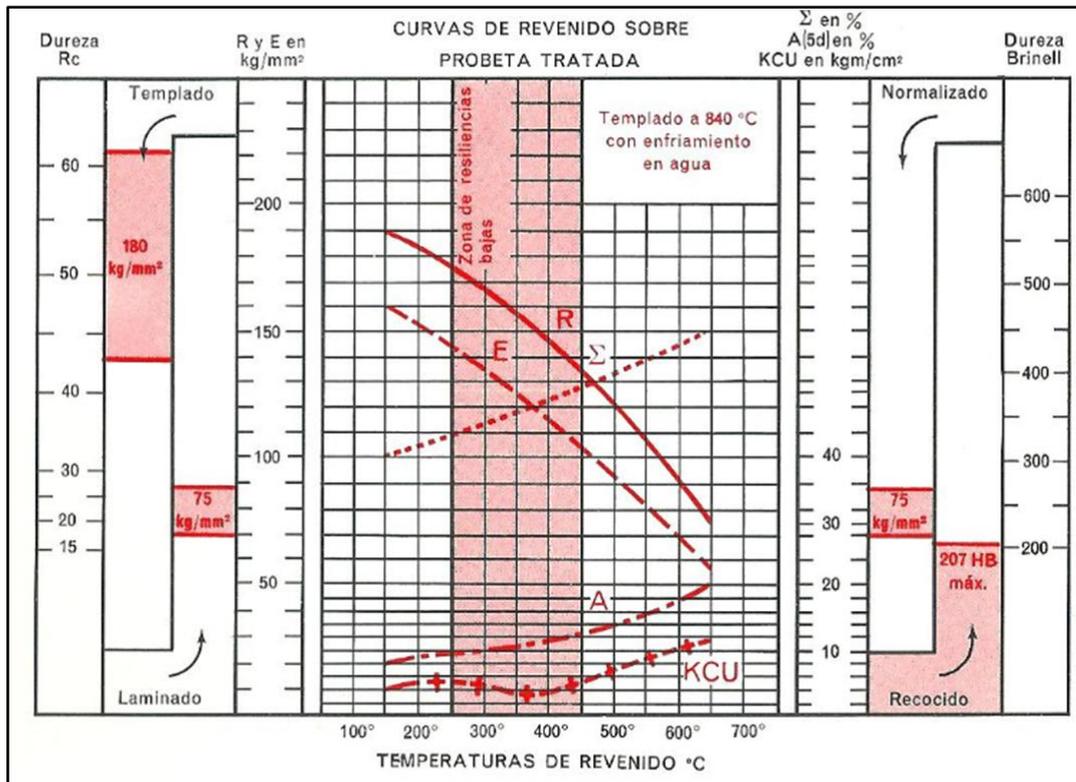


Figura 3.120: Curvas de revenido sobre probeta tratada.

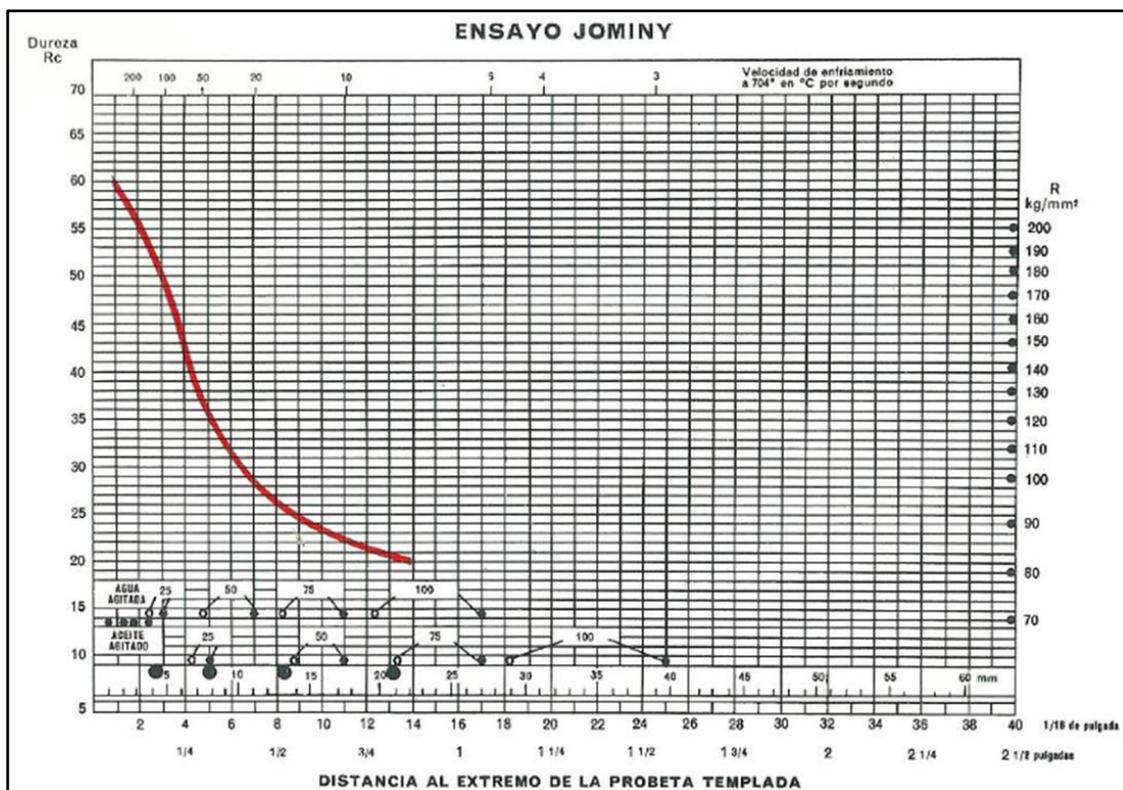


Figura 3.121: Ensayo de jominy.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Por otra parte, también podemos destacar como aceros de aquella época, el acero Focarbo 15 (equivalente al F1115) y el Focarbo 45, que es de calidad superior.

FORJAS ALAVESAS	COMPOSICIÓN QUÍMICA APROXIMADA										
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	V%	W %	IHA
<b>FOCARBO 15</b>	0,15	0,20	0,40	Max. 0,030	Max. 0,025	-	-	-	-	-	F-111
<b>FOCARBO 45</b>	0,45	0,20	0,60	Max. 0,030	Max. 0,025	-	-	-	-	-	F-114

Tabla 3.11: Composición química aproximada FOCARBO 15 y FOCARBO 45.

EQUIVALENCIAS APROXIMADAS							
AFNOR	DIN	TNA.	BELLOTA	HEVA	LLODIO	NAVAL	Roechling
XC-10	CK-10	-	-	C-10	-	-	RM1
XC-48	CK-45	F-5	EC-4	C-45	LC-4	R	R4

Tabla 3.12: Equivalencias aproximadas

FORJAS ALAVESAS	APLICACIONES
<b>FOCARBO 15</b>	Clavos, alambre, elementos de maquinaria que deban tener gran tenacidad
<b>FOCARBO 45</b>	Ejes y elementos de maquinaria de bastante resistencia

Tabla 3.13: Aplicaciones FOCARBO 15 y FOCARBO 45.

Por lo que respecta al FOCARBO 15 era de aplicación en construcciones navales, elementos de maquinaria que deban poseer buena tenacidad junto con una dureza no demasiado elevada. Las piezas son obtenidas por deformación en frío, embutición, plegado etc... Además se caracteriza por tener una buena soldabilidad y puede utilizarse como acero de cementación.

COMPOSICION APROXIMADA %				
C	Mn	Si	P	S
<b>0.15</b>	0.50	0.25	<0.03	<0.03

Tabla 3.14: Composición aproximada FOCARBO 15%.

**Características mecánicas en diferentes estados**

Estado	Espesor D(mm)	E (Kg/mm <sup>2</sup> ) (mínimo)	R (Kg/mm <sup>2</sup> )	A % (mínimo) Lo=5 do			KCU Kg/cm <sup>2</sup> (mínimo)			Deformación % (mínimo)
				L	Tg	Tr	L	Tg	Tr	
				(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
<b>Normalizado: 900°C/aire</b>	<16	24	40-50	29	-	-	11	-	-	55
	16-40	23	40-50	28	-	-	10	-	-	55
	40-100	22	39-50	27	-	-	9	-	-	55
	100-160	21	38-49	26	25	21	8	7	5	-
	>160	20	37-49	26	24	21	8	7	5	-
<b>Tratado : Temple 890°C/agua Revenido 600°C</b>	<16	30	45-64	20	-	-	9	-	-	50
	16-40	26	40-57	23	-	-	10	-	-	55
	40-100	24	40-52	25	-	-	-	-	-	-
<b>Estirado en frio sin tratamiento térmico</b>	6-10	40	48-77	8	-	-	-	-	-	-
	10-15	35	47-75	9	-	-	-	-	-	-
	15-25	32	45-73	10	-	-	-	-	-	-
	25-40	30	44-68	11	-	-	-	-	-	-
<b>Templado: 900°C/agua</b>	11	43	70-95	12	-	-	6	-	-	30
	30	34	55-85	14	-	-	7	-	-	40
<b>Natural</b>	HB: 116-163 R: 41-56 kg/mm <sup>2</sup>									
<b>Recocido de ablandamiento</b>	HB: <134 R: <47kg/mm <sup>2</sup>									

(1)L: Sentido longitudinal Tg: sentido tangencial Tr: sentido transversal

Tabla 3.15: Características mecánicas en diferentes estados del FOCARBO 15.

**Tratamientos térmicos**

<b>Tratamiento</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Enfriamiento</b>
Forja o laminación	1.200-850°C	aire
Recocido de ablandamiento	670-700°C	aire
Normalizado	890-920°C	aire
Temple	880-900°C	agua
Revenido	150-650°C	aire

Tabla 3.16: Tratamientos térmicos para el FOCARBO 15.

<b>IHA</b>	<b>CENIM</b>	<b>DIN</b>	<b>AFNOR</b>	<b>SAE/AISI</b>	<b>B.S.</b>	<b>UNI</b>
F-111	<b>F-1110 /C15K</b>	<b>CK-15</b>	<b>XC 18</b>	<b>1015</b>	<b>EN 2</b>	<b>C-16</b>

Tabla 3.17: Equivalencias aproximadas del FOCARBO 15.

Por otra parte el FOCARBO 45 se caracteriza por sus aplicaciones en ejes de maquinaria de resistencia media, cigüeñales, piezas de armas etc...

<b>COMPOSICION APROXIMADA %</b>				
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
<b>0.45</b>	0.65	0.25	<0.03	<0.03

Tabla 3.18: Composición aproximada FOCARBO 45%.

**Características mecánicas en diferentes estados**

Estado	Espesor D(mm)	E (Kg/mm <sup>2</sup> ) (mínimo)	R (Kg/mm <sup>2</sup> )	A % (mínimo) Lo=5 do			KCU Kg/cm <sup>2</sup> (mínimo)			Deformación % (mínimo)
				L	Tg	Tr	L	Tg	Tr	
				(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
<b>Normalizado: 860°C/aire</b>	<16	36	67-78	18	-	-	4	-	-	45
	16-40	32	61-74	17	-	-	4	-	-	45
	40-100	30	60-73	17	-	-	4	-	-	45
	100-160	29	56-71	17	14	12	4	3	3	-
	160-500	28	55-70	16	13	11	3	3	2	-
<b>Tratado : Temple 850°C/aceite o 840°C/agua Revenido 600°C</b>	<16	53	75-95	14	-	-	4	-	-	40
	16-40	44	68-87	16	-	-	4	-	-	45
	40-100	39	63-82	17	-	-	4	-	-	50
	100-160	36	58-77	18	14	12	4	4	3	-
	160-500	32	57-74	18	13	11	4	4	3	-
<b>Estirado en frio con recocido previo de ablandamiento</b>	6-10	51	71-95	5	-	-	-	-	-	-
	10-15	48	70-93	6	-	-	-	-	-	-
	15-25	43	67-91	6	-	-	-	-	-	-
	25-40	39	65-87	7	-	-	-	-	-	-
<b>Templado: 850°C/agua</b>	10	HCR: 52-60								
<b>Natural</b>	HB: 183-232 R: 62-80 kg/mm <sup>2</sup>									
<b>Recocido de ablandamiento</b>	HB: <194 R: <67kg/mm <sup>2</sup>									
<b>Recocido globular</b>	HB: <170 R: <58kg/mm <sup>2</sup>									

(1)L: Sentido longitudinal Tg: sentido tangencial Tr: sentido transversal

Tabla 3.19: Características mecánicas en diferentes estados del FOCARBO 45.

**Tratamientos térmicos**

<b>Tratamiento</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Enfriamiento</b>
Forja o laminación	1.110-850°C	cenizas
Recocido de ablandamiento	670-710°C	aire
Recocido globular	710°C/6horas-670°C/8horas	10°C/hora hasta 650°C
Normalizado	840-870°C	aire
Temple	830-850°C 840-860°C	Agua Aceite
Revenido	500-650°C	aire

Tabla 3.20: Tratamientos térmicos para el FOCARBO 45.

<b>IHA</b>	<b>CENIM</b>	<b>DIN</b>	<b>SAE/AISI</b>	<b>B.S.</b>	<b>UNI</b>
F-114	<b>F-1140</b> <b>/C45K</b>	<b>CK-45</b>	<b>1045</b>	<b>EN 8</b>	<b>C-45</b>

Tabla 3.21: Equivalencias aproximadas del FOCARBO 45.

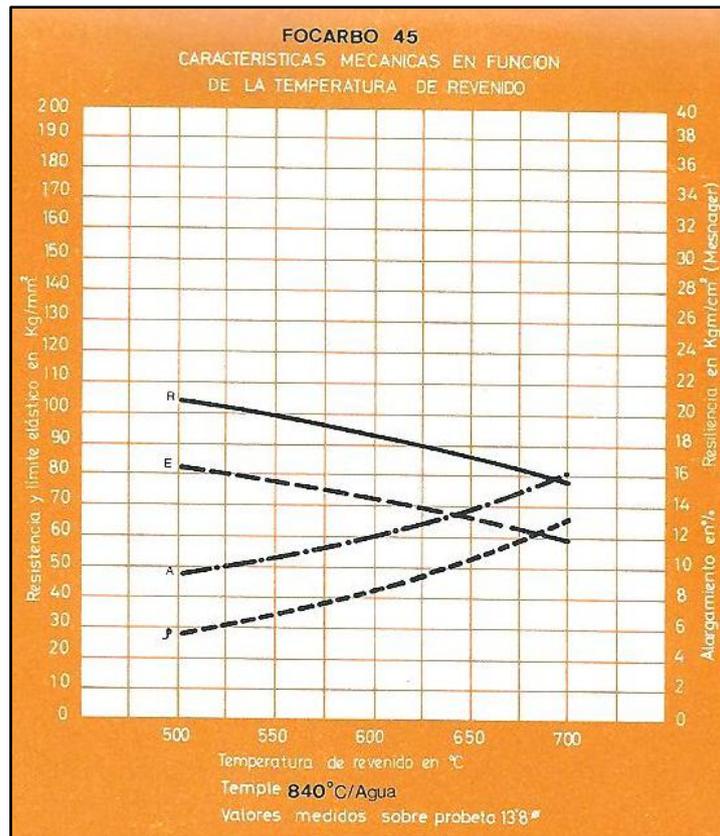


Figura 3.122: Características mecánicas en fundición de la temperatura de revenido del FOCARBO 45.

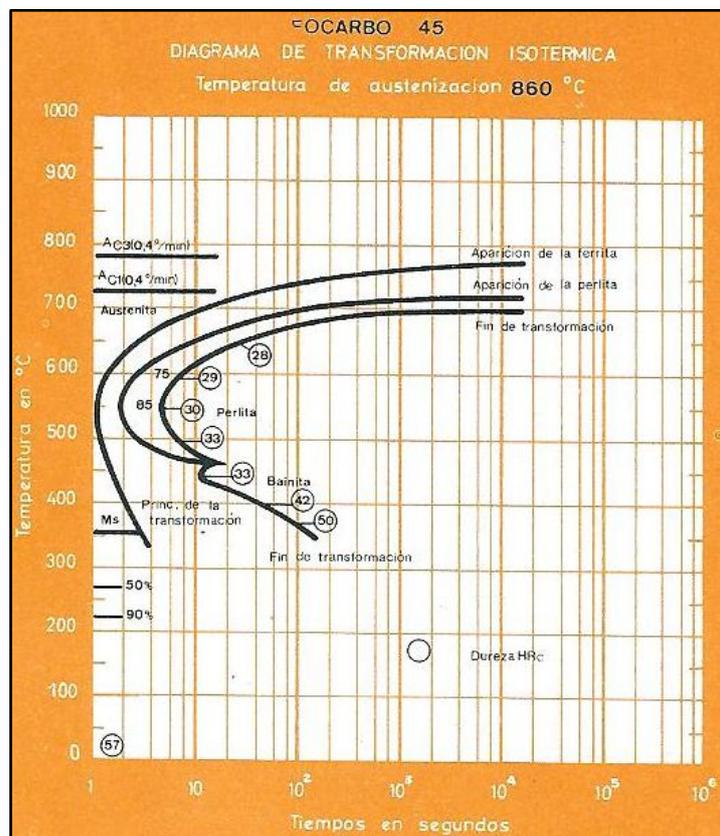


Figura 3.123: Diagrama de transformación isotérmica del FOCARBO 45.

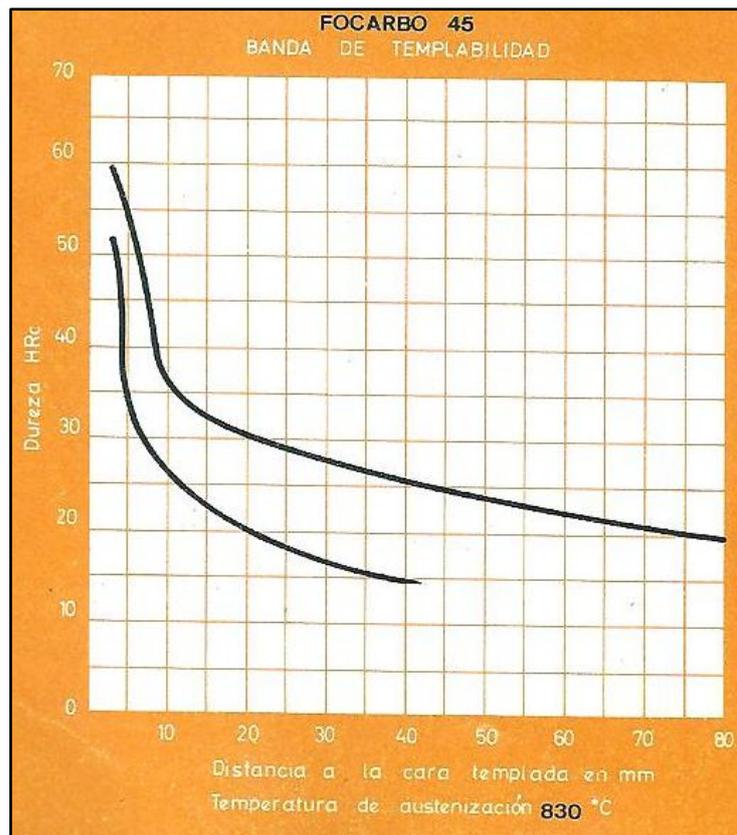


Figura 3.124: Banda de templabilidad del FOCARBO 45

Por lo que se refiere a la composición de los elementos del Talgo-I, cabe destacar que dependiendo del elemento del que se trataba, estaba compuesto de un material u otro.

Si hablamos de la relación entre las ruedas y las vías, cabe destacar que lo que interesaba tanto en aquella época como en la actualidad, es que la resistencia al desgaste de la vía, sea superior a la de la rueda, ya que de esta forma, lo que se deteriorara más serán las ruedas y no la vía. El motivo por el cual el desgaste de la vía ha de ser menor que el de la rueda es porque de esta forma al cabo del tiempo lo que se habrá deteriorado es la rueda y no la vía. Así pues, en cada cierto periodo de tiempo cambiaremos las ruedas para garantizar la seguridad del tren. Esto se hace así ya que si la resistencia al desgaste entre estos dos elementos fuera a la inversa, al cabo de un tiempo lo que habría que cambiar sería la vía, y esto implicaría un parón en la circulación de los viajes y una mayor inversión económica para fabricar más raíles.

Así pues, para la fabricación de las vías se usarán aceros al magnesio, que son un tipo de aceros austeníticos, que se van endureciendo a medida que se les golpea o se les aplica una carga, mientras que las ruedas estarán hechas con materiales con menos resistencia al desgaste.

Para determinar la resistencia al desgaste se harán varios ensayos como pueden ser, ensayos de fatiga, tribológicos y de composición química.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Respecto a la estructura tubular, se utiliza un acero F1, que se caracteriza por ser un acero dulce sin carbono, cosa que favorece la soldabilidad. Para determinar la soldabilidad del acero haremos ensayos de composición química. A parte, también serán necesarios los ensayos de tracción/compresión para valorar su resistencia al aplicarle determinadas fuerzas o cargas.

Por lo que respecta a la pieza de unión entre los vagones, consideraremos un coeficiente de seguridad entre 1,2 y 1,4, y se harán diferentes ensayos de composición química, tracción y fatiga para asegurarnos de que la pieza mantiene los vagones unidos sin riesgo de una posible ruptura y de esta forma evitar posibles accidentes. Esta pieza está entre vagones, y está sometida en la mayor parte del tiempo a tracción. Para evitar accidentes por una posible ruptura, se harán los ensayos de tracción valorando las fuerzas a las que puede estar sometida, y los ensayos de fatiga para determinar su tiempo de vida útil.

Por último el muelle usaremos aceros al silicio con un contenido de “Si” que puede llegar hasta el 2%.

## 3.3. Detalles constructivos y para la fabricación

Antes de empezar a describir el Talgo I veremos las características y detalles constructivos que caracterizaron el primer sistema articulado ligero ideado por el Sr. Alejandro Goicoechea, la estructura triangular.

### 3.3.1. Estructura triangular 1941

Como hemos comentado anteriormente, antes de construir el Talgo I, existió una estructura básica triangular que fue el paso preliminar para un elemento tan innovador. Dicha estructura sirvió para verificar las ideas que el Sr. Goicoechea y asegurarse de que el proyecto que tenía en mente podía llegar a funcionar.

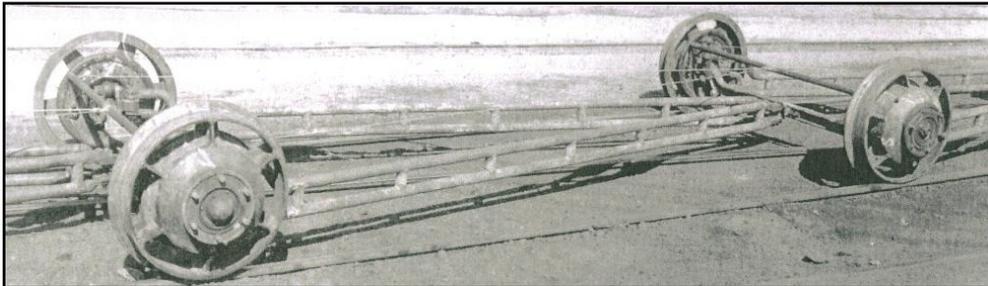


Figura 3.125: Estructura triangular.

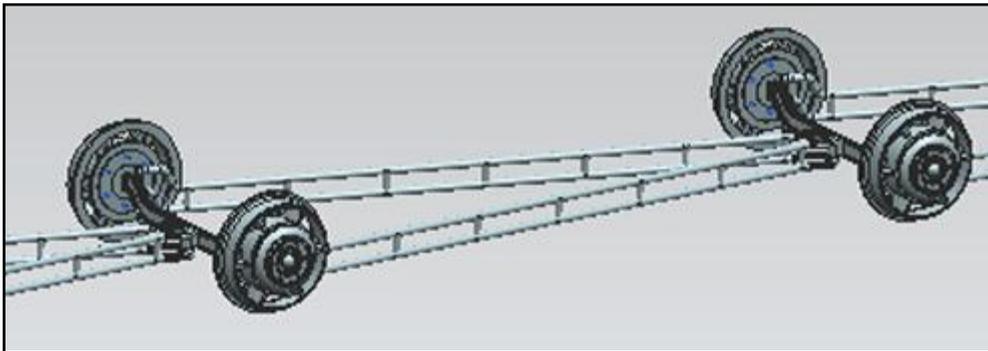


Figura 3.126: Estructura triangular modelada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Una vez verificada y dado el visto bueno a la estructura triangular, el Sr. Alejandro Goicoechea procedió a avanzar con el proyecto y transformar lo que en un principio no parecía tener futuro en un tren que marcaría la historia del ferrocarril en España, el Talgo I.

### 3.3.2. Talgo 1

A continuación podremos observar la materia prima que se pudo utilizar en la época y seguidamente profundizaremos en los detalles constructivos de cada parte de los cuatro vagones estudiados mediante la ingeniería inversa.

#### 3.3.2.1. *Materia prima de la época*

A partir de las imágenes vistas a lo largo de la recopilación de artículos que hablan sobre el nuevo sistema innovador del Sr. Goicoechea y la información buscada sobre el contexto histórico de la época, llegamos a una suposición de cuál podía haber sido la materia prima que se utilizó en la época.

- **TUBOS**
  - Tubos de acero de perfil circular
  - Tubos de acero de perfil rectangular
  
- **Macizos**
  - Macizos de acero de perfil circular
  - Macizos de acero de perfil prisma
  
- **Laminados en rollo de chapa**

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.1.1. TUBOS

A partir de las imágenes de los artículos recopilados sobre el Talgo I hemos supuesto que la estructura autoportante estaba formada por tubos de diferentes perfiles que podemos ver a continuación:

#### 3.3.2.1.1.1. TUBO DE ACERO DE PERFIL CIRCULAR



Utilizados para el “esqueleto” de la estructura tubular autoportante, que estaba construida a base de tubos de perfil redondo, que para fabricarlos partían de una chapa laminada y a continuación se le daba la forma redonda mientras simultáneamente se iba soldando las uniones consiguiendo ya el espesor dependiendo del grosor de las chapas utilizadas.

Figura 3.127: Tubos redondos de acero.

#### 3.3.2.1.1.2. TUBO DE ACERO DE PERFIL RECTANGULAR

Del mismo modo que se conseguía el tubo de perfil circular se obtenía el de perfil rectangular ya que ambos partían de laminados en rollo de chapa. Más adelante veremos cómo los conformaban en base al uso que les iban a dar.



Figura 3.128: Tubos rectangulares de acero.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.1.2. MACIZOS

A parte de los tubos, hemos considerado que para algunas piezas ajenas a la estructura hacía falta partir de varios tipos de macizos, los cuales vemos a continuación:

#### 3.3.2.1.2.1. MACIZOS DE ACERO DE PERFIL CIRCULAR



Se fabricaba en los “altos hornos” a partir de la barra de acero y pasándolos por rodillos tipo polea iban conformando la medida definitiva. Dichos macizos se denominaban calibrados redondos de  $\varnothing$  x L. Podían ser de materiales tales como F1, F4 de la época.

Figura 3.129: Macizos redondos de acero.

#### 3.3.2.1.2.2. MACIZOS DE ACERO DE PERFIL PRISMA

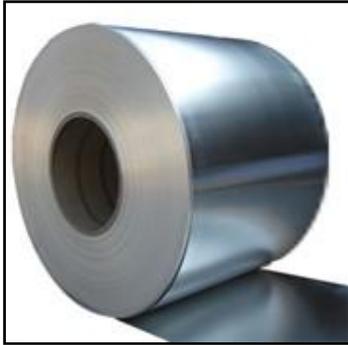
El método de fabricación es igual que el anterior pero cambiando la configuración de los rodillos, en este caso eran rodillos normales “planos” a diferencia de los macizos redondos que eran tipo polea. Mismos materiales utilizados en la época que los de perfil redondo y se compraba a medida de L x A x H.



Figura 3.130: Macizos cuadrados de acero.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.1.3. LAMINADOS EN ROLLO DE CHAPA



A partir de los laminados en rollo de chapa obtenían las cantidades necesarias de dicha chapa para montar los exteriores e interiores de cada vagón. En el modelaje de los vagones decidimos que el espesor de chapa, que cubría exterior e interiormente la estructura tubular, fuera de 1 mm debido a que al utilizar grandes cantidades de chapa, esta no podía tener mucho espesor para no añadir más peso en la estructura autoportante.

Figura 3.131: Laminado en rollo de chapa.

Vista la materia prima de la que suponemos debieron partir para construir el Talgo I, procederemos a describir elemento por elemento como podía haber estado construido y profundizaremos describiendo cada una de las piezas que componen dichos elementos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.2. Locomotora

Sobre la base del bogie Ganz, comenzaron en Valladolid los trabajos de construcción. En primer lugar, en el taller de montaje se fabricó un nuevo bastidor y en la nave de automotores se realizaron modificaciones en los ejes de bogies y el motor de modo que el conjunto pudiera alcanzar los 135 km/h. Posteriormente el conjunto bogie-motor montado se llevó al taller de montaje para incorporar las ruedas.

Sobre el bogie, con su rodadura y su bastidor, en el taller de automotores, varios oficiales caldereros trabajaron en la construcción de una estructura con perfiles de pletinas, angulares y miriñaques, sobre los que un equipo de chapistas, ajustadores, montadores, electricistas y soldadores, procedentes en su mayoría del taller de coches y vagones construyeron la carrocería del vehículo.

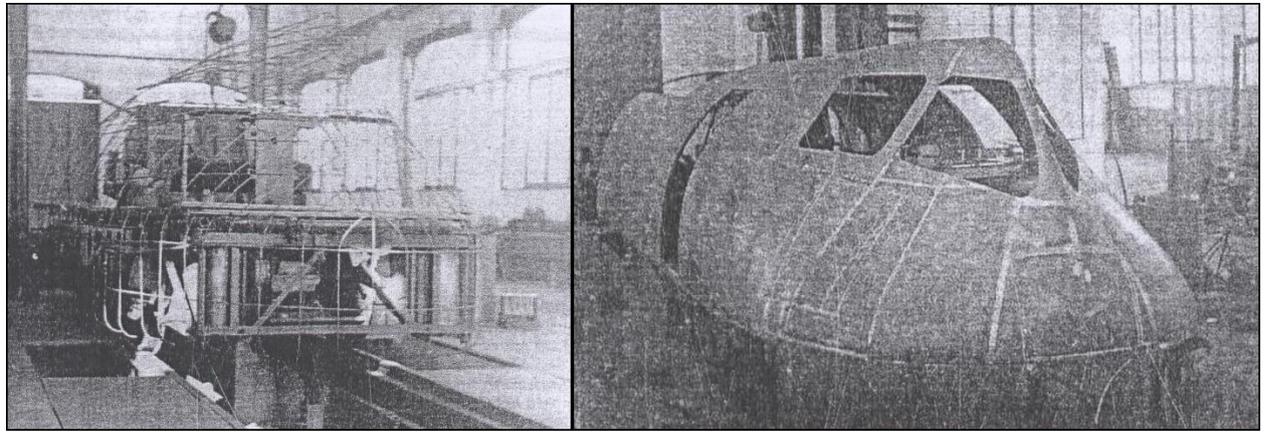


Figura 3.132: Estructura y chapas de la locomotora.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3. Descripción de cada elemento del vagón

Una vez visto el material que se pudo utilizar en la época, procederemos a describir parte por parte como estaba constituido cada vagón y cuál podía haber sido su proceso de fabricación.

La parte indispensable y más importante de cada vagón era la estructura tubular autoportante, ya que sin ella el vagón no existiría. Al ser la más importante tenía que estar construida correctamente y con los materiales adecuados.

#### 3.3.2.3.1. ESTRUCTURA TUBULAR AUTOPORTANTE

Ya vistos los tubos y piezas que creemos que componían la estructura tubular en el apartado de características técnicas vamos a describir como suponemos podían haber conseguido cada uno de ellos y que procesos de fabricación podían haber usado.

- Tubo de perfil rectangular
  
- Tubos de perfil circular
  - Anillos que formaban las “costillas” del vagón
  - Entramado de tubos
    - Entramado inferior
    - Entramado superior
  - Habitáculo para el sistema de rodadura
  
- Pletinas

Una vez descritos veremos cual creemos que era el proceso de montaje y que orden habían seguido para poder montar toda la estructura al completo.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.1.1. TUBO DE PERFIL RECTANGULAR

Como hemos podido observar en el punto de características técnicas y geométricas, se podía apreciar en las imágenes de la recopilación de artículos sobre Talgo, que dicho tubo era de perfil rectangular.

En base a las medidas obtenidas usando la perspectiva cónica y buscando tablas de perfiles normalizados, llegamos a la conclusión de que tenía que ser un tubo de perfil rectangular de 80 x 40 mm, además escogimos para modelarlo en tres dimensiones un espesor mínimo de 1,5 mm.

- **Materia prima:** Tubo de perfil rectangular

Como hemos descrito anteriormente este tubo se podía obtener mediante chapas laminadas que posteriormente se le daba la forma para tener dicho perfil rectangular.

- **Proceso de fabricación:** Cortar a 45° por la bisectriz, soldar y limar cantos vivos

Como se puede apreciar en la figura 3.133, el tubo iba variando en cuanto a su dirección longitudinalmente formando esta geometría. Para conseguir estas formas suponemos que debía ser cortado cada tubo a 45° por la bisectriz del ángulo final y posteriormente ser soldados cada uno de los tubos cortados hasta tener montado el tubo por completo.

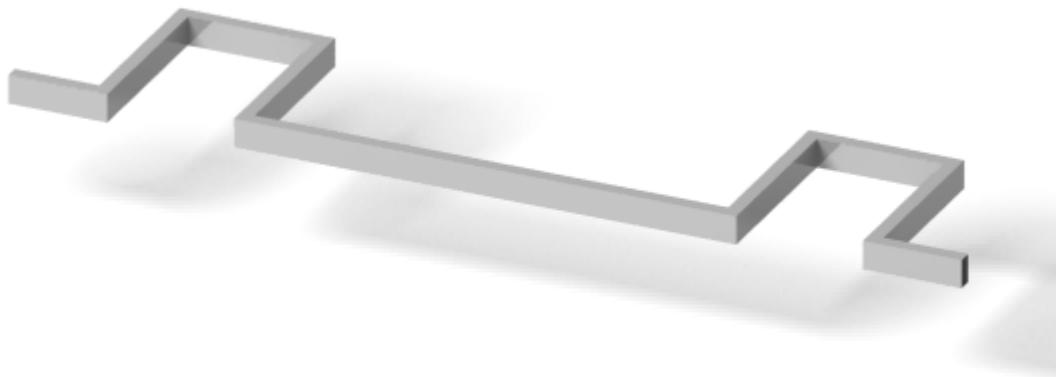


Figura 3.133: Tubo de perfil rectangular de 80 x 40 mm.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Al montar el tubo quedaban cantos vivos en las esquinas de 90° de la zona delantera, estos cantos eran peligrosos para el operario u operarios que trabajaran con la estructura ya que podían sufrir algún corte, es por este motivo que se eliminaban dichos cantos vivos a base de limarlos. En el caso de los cantos interiores con el propio cordón de soldadura ya no existía ese canto peligroso.

Cada vagón contaba con dos de estos tubos, situados uno a cada extremo del vagón.

### 3.3.2.3.1.2. TUBO DE PERFIL CIRCULAR

En cada estructura autoportante existían tres tipos de tubos de perfil circular, diferenciados por el tamaño del diámetro exterior y su función en la estructura. Por una parte había los tubos que formaban las “costillas” del vagón, que al tener que soportar mayor sobrecarga, necesitaban tener un diámetro más grande, por otra parte había los tubos que se usaban como unión para mantener las distancias entre tubos y su paralelismo, nombrados como entramado y además el conjunto de tubos que formaban el habitáculo del sistema de rodadura.

Para describir sus detalles constructivos y para la fabricación, diferenciaremos los tubos de perfil circular dependiendo de su función en la estructura y los dividiremos en:

- Tubos que forman las “costillas” del vagón
- Entramado de tubos
  - Entramado inferior
  - Entramado superior
- Tubos que forman el habitáculo para el sistema de rodadura

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.1.2.1. Tubos que forman las “costillas” de la estructura autoportante

Como hemos dicho en pasos anteriores, dichos tubos eran los más importantes en la estructura debido a que sobre ellos actuaban la mayoría de las fuerzas y pesos principales.

Se ha podido observar en imágenes anteriores que estos tubos tenían forma de “anillo” quedando en su interior todo el espacio libre interior del vagón.

- **Materia prima:** Tubos de perfil circular.

Como se ha descrito anteriormente estos “anillos” estaban formados a partir de tubo de perfil circular fabricados con chapas laminadas que posteriormente se le daba la forma redonda y se soldaban las uniones.

- **Proceso de fabricación:** Doblar, soldar y agujerear mediante un utillaje.

A continuación detallamos los pasos a seguir para obtener los distintos tubos que forman las costillas de la estructura:

1º Doblar los tubos

2º Soldar los extremos de los tubos ya doblados

3º Agujerear los tubos que sean necesarios para introducir el entramado

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### ○ Doblado de tubos

El primer paso para darle la forma de “anillo” era doblar los tubos mediante rodillos, y dependiendo del trozo de tubo, se le tenía que aplicar más o menos radio de doblado.

A continuación podemos ver una herramienta de doblado de tubos.



Figura 3.134: Rodillo para doblar tubos.

Como se puede ver en la figura 3.135 de un tubo modelado en CATIA, este contenía más de un tipo de doblado, señalizados todos y cada uno de los doblados necesarios mediante flechas rojas.

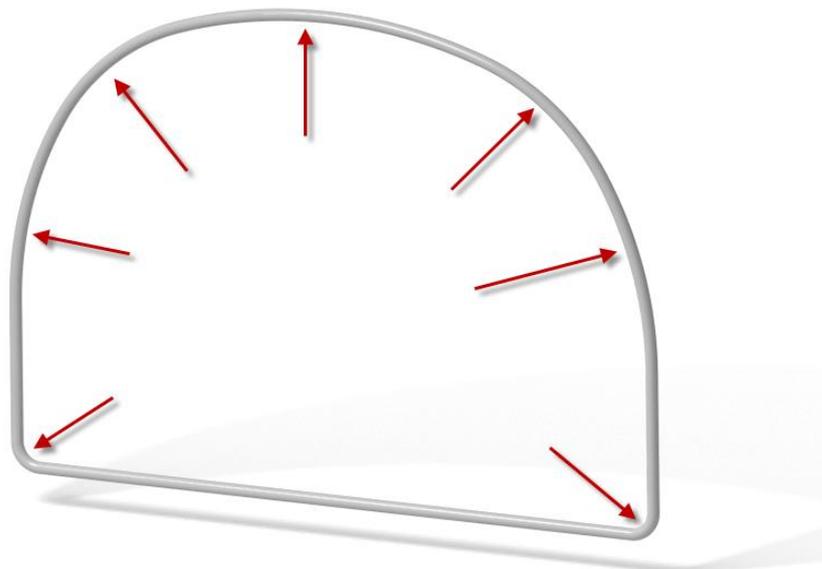


Figura 3.135: Tubo con los diferentes radios señalizados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Cada estructura contaba con nueve tubos que formaban las “costillas” del vagón, estos tubos tenían que quedar doblados todos por igual.

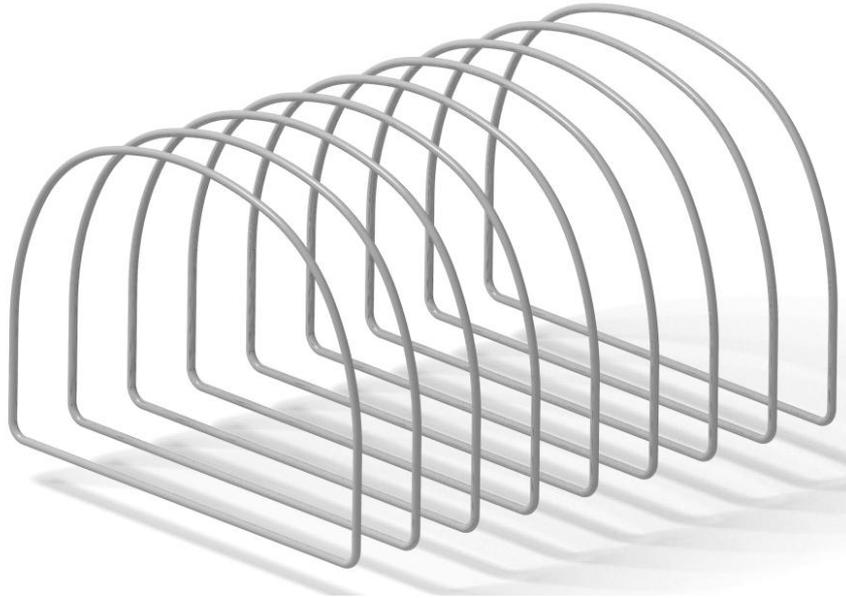


Figura 3.136: Nueve de los tubos que forman los “anillos”.

- **Soldar los extremos de los tubos ya doblados**

Una vez se tenía el tubo doblado y la longitud final que debía medir, el paso siguiente era soldar los extremos para que quedara unido y formara un tubo continuo sin ningún tipo de espaciado.

Como hemos descrito en el paso anterior, la estructura al contar con nueve tubos formando las “costillas”, debía ser soldado cada uno de estos por el punto señalado que se puede apreciar en la figura 3.137.

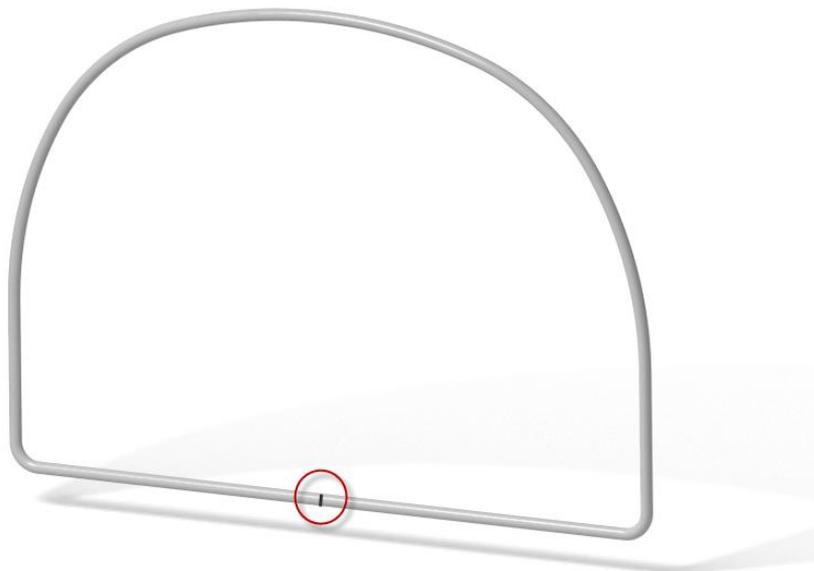


Figura 3.137: Tubo con el punto de soldadura señalado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

La soldadura era del tipo eléctrica y se le aplicaba un cordón de dicha soldadura alrededor del diámetro exterior del tubo doblado una vez juntados los dos extremos.

- **Agujerear los tubos para introducir el entramado**

Posteriormente a tener los tubos soldados por los extremos se le practicaban unos agujeros centrados sobre su eje de revolución.

Para formar un entramado supusimos que la estructura debía contener tubos intercalados de manera que se repartiera el esfuerzo a soportar y que cada uno de los tubos ayudara a los restantes a mantener la posición. Al formar el entramado que podemos ver más adelante, cada estructura quedaría dispuesta con “anillos” diferenciados por estar agujereados en distintas partes debido a la intercalación de los tubos.

Para poder describir y que se vea clara y concisa la explicación anterior, mostramos una imagen (figura 3.138) de la estructura tubular numerando cada uno de los tubos que debía ser agujereado.

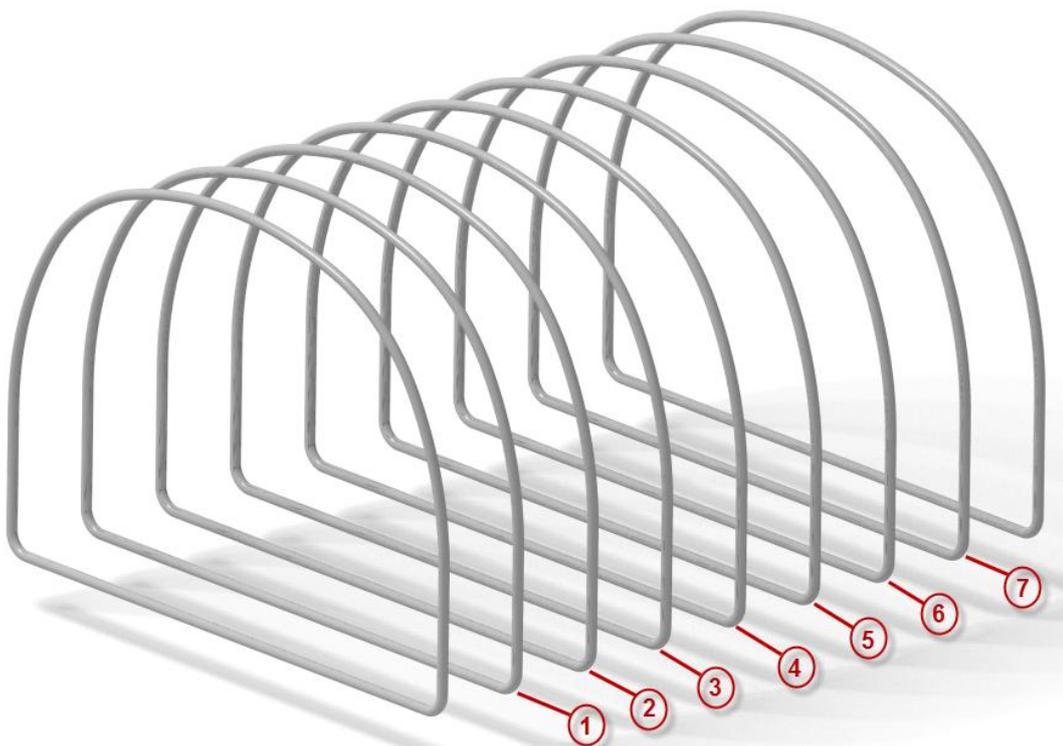


Figura 3.138: Tubos numerados para la posterior descripción.

Para describir los tubos que suponemos debían ir agujereados, mostraremos solamente dos de todo el total de tubos agujereados de la estructura ya que el entramado estaba dispuesto de tal manera que cada dos “anillos” los agujeros se volvían a repetir en la misma posición que la anterior, formando un bucle hasta el final de la estructura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### - 1er tipo de anillo agujereado (mediante utillaje centrador)

El primer tipo de “anillo” agujereado lo encontramos primeramente el segundo del total de los nueve tubos empezando por ambos extremos del vagón ya que la disposición de anillos agujereados era simétrica. Este tipo de “anillo” estaba agujereado en seis ocasiones ya que por su interior debían travesar seis tubos del entramado. Los seis agujeros se podían conseguir mediante un utillaje centrador, marcando las posiciones de los agujeros en el “anillo” y agujereando. Debido a que el diámetro de los tubos del entramado supusimos que podía haber sido de 30 mm, los agujeros hechos mediante el utillaje debían tener un diámetro mínimo de 30 mm.

El primer tipo de “anillo” estaba agujereado en dos ocasiones en la parte superior y en cuatro en la parte inferior como se puede observar en la figura 3.139.

La cantidad de agujeros a producir supusimos que era el mismo para los anillos 1, 3, 5 y 7.



Figura 3.139: 1er tipo de tubo agujereado para albergar el entramado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### - 2do tipo de anillo agujereado (mediante utillaje centrador)

El segundo tipo de “anillo” agujereado lo encontramos el tercero del total de los nueve tubos empezando por ambos extremos del vagón ya que la disposición de anillos agujereados era simétrica. Este tipo de “anillo” estaba agujereado en ocho ocasiones ya que por su interior debían travesar tres tubos del entramado y cuatro tubos que iban situados por encima y debajo de las ventanas. Los ocho agujeros se podían conseguir mediante un utillaje centrador, marcando las posiciones de los agujeros en el “anillo” y agujereándolo. Debido a que el diámetro de los tubos del entramado supusimos que podía haber sido de 30 mm, los agujeros hechos mediante el utillaje debían tener un diámetro mínimo de 30 mm.

El segundo tipo de “anillo” estaba agujereado en dos ocasiones en la parte superior y en cuatro en la parte inferior como se puede observar en la figura 3.140.

La cantidad de agujeros a producir supusimos que era el mismo para los anillos 2, 4 y 6.



Figura 3.140: 2do tipo de tubo agujereado para albergar el entramado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.1.2.2. Entramado de tubos.

Como se puede observar en el apartado de características técnicas y geométricas, las estructuras contaban con dos tipos de entramado tubular:

- Entramado inferior
- Entramado superior

Dichos tubos tenían su importancia en la estructura ya que eran los encargados de enlazar los distintos “anillos” y hacerlos más resistentes al recibir los esfuerzos.

Como para modelar la estructura hemos supuesto que ambos entramados estaban compuestos por el mismo tipo de tubo calibrado, tubo de perfil circular de 30 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor, procederemos a describir los procesos para obtener un tubo ya que los otros seguirían las mismas pautas.

- **Procesos de fabricación:** *Tronzar y taladrar extremos mediante utillajes.*

- **Seccionar el tubo mediante una tronzadora**

Sabiendo la distancia que debía tener cada tubo del entramado dependiendo de la separación de los “anillos”, se seccionaba el tubo redondo mediante una tronzadora dejando un poco de espacio para poder taladrar posteriormente mediante un utillaje.

- **Taladrar el tubo en los extremos mediante un utillaje**

Una vez se había cortado el tubo según la distancia que debía tener, y mediante un utillaje se taladraba el tubo por ambos extremos para poderlo montar sobre la cara exterior de los “anillos” y posteriormente ser soldados. Como los “anillos” hemos supuesto que eran de diámetro exterior 50 mm, el taladrado que se le hacía debía ser mínimo de 50 mm de diámetro para así conseguir un buen contacto entre superficies curvas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para hacer los cortes creemos que se seguía los siguientes pasos:

Primero se construía un útil con las características necesarias, en este caso diámetro para taladrar de 50 mm, y hueco para introducir el tubo a taladrar de diámetro 30 mm.

A continuación se introducía el tubo a seccionar hasta que reposar la cara sobre una superficie plana y así quedar bien sujeto para evitar posibles errores en la operación.

Una vez introducido el tubo de 30 mm y haciendo contacto en el interior, se procedía a cortar por el agujero hecho en el útil eliminando la parte proporcional al tubo “anillo” de 50 mm de diámetro exterior.

Al tener un extremo taladrado ya no se podía usar el mismo utillaje ya que al no tener la superficie cortada recta, sino curvada, no sería posible practicar el nuevo agujero con total precisión. Es por ese motivo que se usaba un cilindro del mismo diámetro que el eliminado en el tubo para hacer la función de tope para así poder apoyar la parte del tubo eliminada y con el mismo útil anterior cortar la otra parte, dejando ambos extremos cortados en forma curva como vemos en la figura 3.141.



Figura 3.141: Tubo del entramado cortado por los extremos.

Además de los entramados superior e inferior existían unos tubos que quedaban situados por arriba y debajo de las ventanas y otros que quedaban por encima de las puertas en el caso que el vagón tuviera puertas. Estos tubos también eran calibrados y eran iguales que los de los entramados y por lo tanto su proceso de fabricación también era el mismo, de manera que para cortarlos se utilizaban utillajes con agujero de 50 mm.

Vistos los procesos de fabricación por separado de cada elemento y el tamaño de detalle, resumiremos más los detalles sin profundizar tanto en los procesos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.1.2.3. Habitáculo para el sistema de rodadura.

Como se ha podido observar en apartados anteriores, los vagones tenían en cada esquina de las estructuras tubulares un conjunto de tubos calibrados unidos que formaban un habitáculo para albergar el sistema de rodadura con la función de proteger y la de soportar esfuerzos.

- **Procesos de fabricación:** *Tronzar y taladrar extremos mediante utillajes.*

Los procesos para conseguir obtener estos tubos son los mismos que los usados para los tubos de los entramados, mediante utillajes. La diferencia es que en este caso hay tubos de varios diámetros, ya que los principales son de 50 mm de diámetro y los secundarios para ayudar a fortalecer la estructura son de 30 mm de diámetro exterior iguales a los del entramado.

Además, a partir de las imágenes observamos que dentro de dicho conjunto de tubos había unos tubos situados en diagonal de que iban del tubo rectangular hasta los tubos situados a media altura, en este caso el utillaje a utilizar cambiaba respecto a los anteriores utilizados. El nuevo utillaje tenía que permitir taladrar con el ángulo en el que aparecen las barras en la imagen y que podemos encontrar detallado en el apartado de planos.

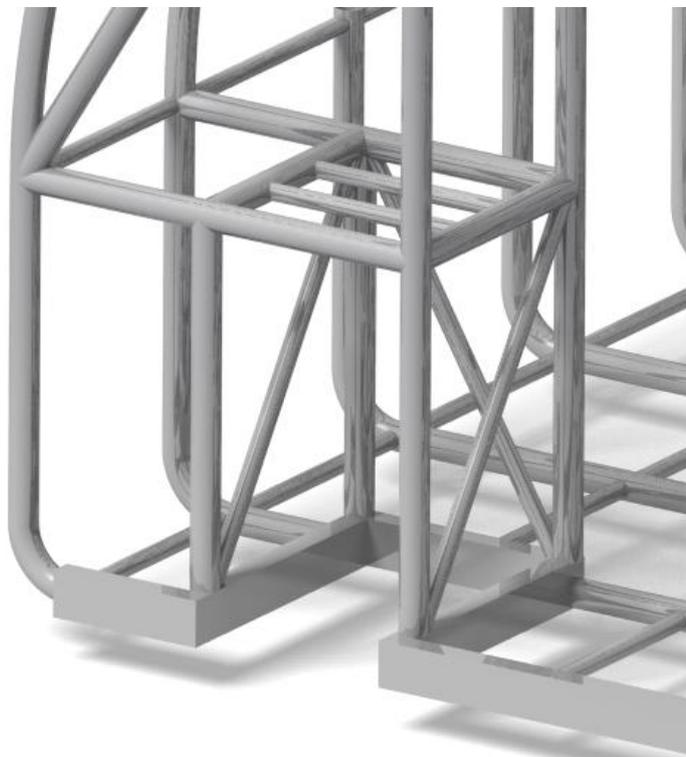


Figura 3.142: Habitáculo para el sistema de rodadura.

3.3.2.3.1.3. PLETINAS

Como se ha podido observar en el apartado de características técnicas y geométricas de la estructura tubular autoportante, los “anillos” que forman las costillas de cada vagón tenían en la zona lateral inferior unas pletinas soldadas (figura 3.143) para ayudar a unir la chapa exterior a la estructura mediante puntos de soldadura.

- **Materia prima:** Laminado de chapa.

Por la forma y espesor que hemos podido observar en la imagen anterior, suponemos que dichas pletinas estaban fabricadas a partir de laminados en rollo de chapa.

- **Procesos de fabricación:** Fresar

Dada la forma y grosor de las piezas, creemos que el proceso de fabricación más adecuado para obtener las pletinas era cortarlas mediante fresados.

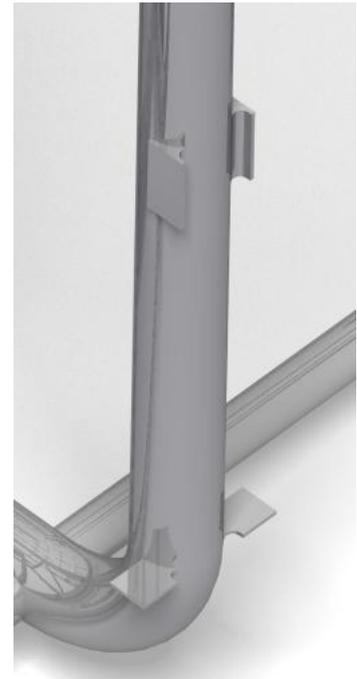


Figura 3.143: Pletinas soldadas a la estructura.

A continuación se puede observar una tabla donde aparecen resumidas las diferentes partes y sus respectivas características que componen el conjunto de piezas de la estructura tubular autoportante.

Estructura tubular autoportante		
Descripción	Materia prima utilizada	Procesos de fabricación utilizados
<b>Tubo de perfil rectangular</b>	Tubo de perfil rectangular	Cortar a 45° por la bisectriz, soldar y limar
<b>“Costillas” del vagón</b>	Tubo de perfil circular	Doblar, soldar y agujerear mediante utillajes
<b>Entramado inferior</b>	Tubo de perfil circular	Tronzar y taladrar mediante utillajes
<b>Entramado superior</b>	Tubo de perfil circular	Tronzar y taladrar mediante utillajes
<b>Habitáculo para el sistema de rodadura</b>	Tubo de perfil circular	Tronzar y taladrar extremos mediante utillajes
<b>Pletinas</b>	Laminado de chapa	Fresar

Tabla 3.22: Resumen de detalles estructura tubular autoportante.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2. SISTEMA DE RODADURA.

#### 3.3.2.3.2.1. SOPORTE SUPERIOR AMORTIGUADOR

Como se puede observar en los apartados de características técnicas y geométricas que hablan del soporte superior del amortiguador, éste estaba constituido por un conjunto de piezas soldadas entre sí de diferentes geometrías y perfiles. En dicho conjunto (figura 3.144) podemos encontrar las siguientes piezas:



Figura 3.144: Conjunto del soporte superior del amortiguador.

##### 3.3.2.3.2.1.1. Tubo principal horizontal de perfil rectangular

La pieza que iba soldada a la estructura tubular justo en uno de los tubos del habitáculo para el sistema de rodadura era un tubo de perfil rectangular y a continuación podemos observar los procesos que creemos se le podía haber hecho:

##### - **Procesos de fabricación:** Tronzar y fresar

Una vez se sabía el ancho de los habitáculos para el sistema de rodadura, se cogía un tubo de perfil rectangular y mediante una tronzadora se cortaba a la distancia requerida.

El siguiente paso era aplicar dos fresados en la parte inferior (figura 3.145) para tener espacio y poder introducir la pieza que veremos a continuación y soldarla sin problemas.

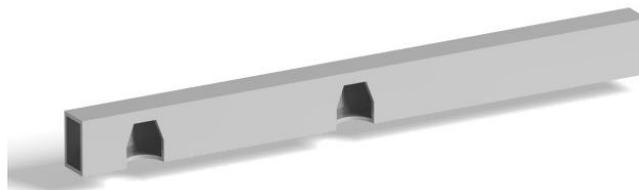


Figura 3.145: Tubo principal horizontal.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Además de la pieza anterior que hemos visto que iba soldada al habitáculo también hemos supuesto, a partir de lo que hemos visto en las imágenes, que había dos tubos más de perfil rectangular que formaban el conjunto soporte.

### 3.3.2.3.2.1.2. Tubo secundario vertical de perfil rectangular

El primero de ellos estaba situado en posición vertical ya que iba soldado sobre la cara inferior del tubo anterior y una vez montado en la estructura tubular iría soldado sobre el tubo rectangular de dicha estructura autoportante.



Figura 3.146: Tubo secundario vertical.

#### - **Procesos de fabricación:** Tronzar y fresar

Para obtener dicho tubo hacía falta cortar por la parte superior mediante una tronadora una vez obtenida la altura a la que iría situado el tubo anterior respecto del tubo de perfil rectangular de la estructura autoportante.

En las imágenes vimos que el perfil rectangular quedaba reposando sobre el tubo de dicha estructura y además sobresalía una pequeña pestaña como podemos ver en la figura 3.147, para un buen agarre mediante un cordón de soldadura.

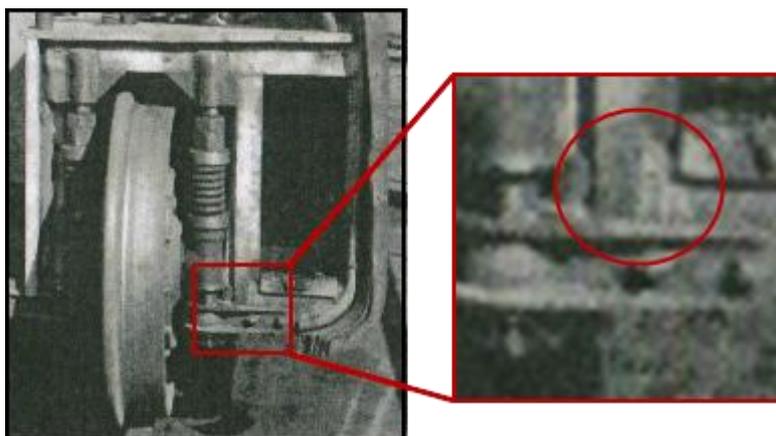


Figura 3.147: Detalle de la pestaña del tubo.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para obtener dicha pestaña se usaba una fresa y se cortaban tres de las caras de la parte inferior del tubo, quedando como vemos en la imagen siguiente:



Figura 3.148: Detalle del corte inferior.

De este tipo de tubo de perfil rectangular, hemos usado otro más para tener más puntos de soldadura y así garantizar un mejor fijado del soporte al habitáculo mediante cordones de soldadura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.1.3. Tubo de perfil circular roscado interiormente

Sabiendo el diámetro de la barra vertical del amortiguador hemos supuesto que se escogería una barra maciza redonda de un poco más de diámetro que el de la barra y se le aplicarían los siguientes procesos de fabricación:

- **Materia prima:** Macizo redondo

Debido a la forma y geometrías de la pieza, hemos supuesto que la pieza debía ser obtenida a partir de un macizo redondo.

- **Procesos de fabricación:** Tronzar, tornear y roscar el interior

Una vez se tiene el macizo redondo de acero, creemos que el primer paso que se pudo realizar era el de cortar la barra mediante una tronzadora dejando la altura debida y a continuación tornear la parte superior para no dejar la pieza con cantos vivos y acabarla exteriormente con un torneado a 45°.

Ya acabado el exterior de la pieza el siguiente paso es modificar el interior ya que dentro iba roscada la parte superior de la barra vertical de la suspensión, para conseguirlo se podía hacer mediante un torno marcando la configuración de la velocidad y giro, el avance de revolución y con una herramienta con punta a 60°.



Figura 3.149: Tubo de perfil circular roscado interiormente.

Hacía falta producir un total de cuatro piezas como esta por vagón ya que cada elemento del tren estaba constituido por cuatro amortiguadores, dos a cada lado de la rueda.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.1.4. Pletina rectangular

A partir de las imágenes donde aparece el soporte del amortiguador y diferenciando las piezas que lo podían contener, vimos que entre el tubo de perfil rectangular situado en posición vertical y el tubo de perfil circular existía una pletina rectangular, a nuestra suposición, soldada entre ambos tubos.

#### - **Procesos de fabricación:** Serrar

Medidas las distancias que debía tener dicha pletina, hacía falta cortar la pieza hasta dejar la forma rectangular mediante una sierra.

En la figura 3.150 podemos ver la pletina rectangular acabada.

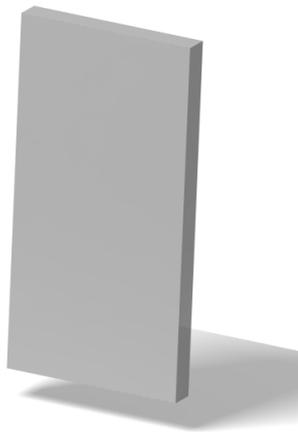


Figura 3.150: Pletina rectangular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.1.5. Pletinas con acabado triangular

Como se puede apreciar en las imágenes, entre los dos tubos de perfil circular y el tubo principal de perfil rectangular observamos que había dos pletinas con forma triangular que quedaban soldadas a ambas piezas mediante un cordón de soldadura.

#### - **Procesos de fabricación:** Serrar

Una vez se sabía las medidas y el ángulo que tendría la pieza, se procedía a cortar mediante una sierra hasta conseguir la geometría triangular.

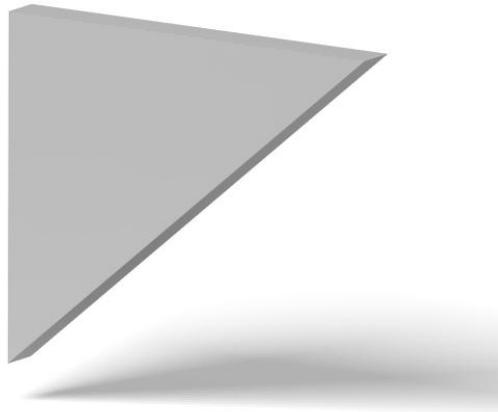


Figura 3.151: Pletina triangular.

Debido a que el conjunto soporte estaba constituido en una parte por tres pletinas, dos triangulares y una rectangular, de una misma pletina rectangular sin modificar se podía obtener las tres tan solo con dos cortes, uno vertical y uno angular.

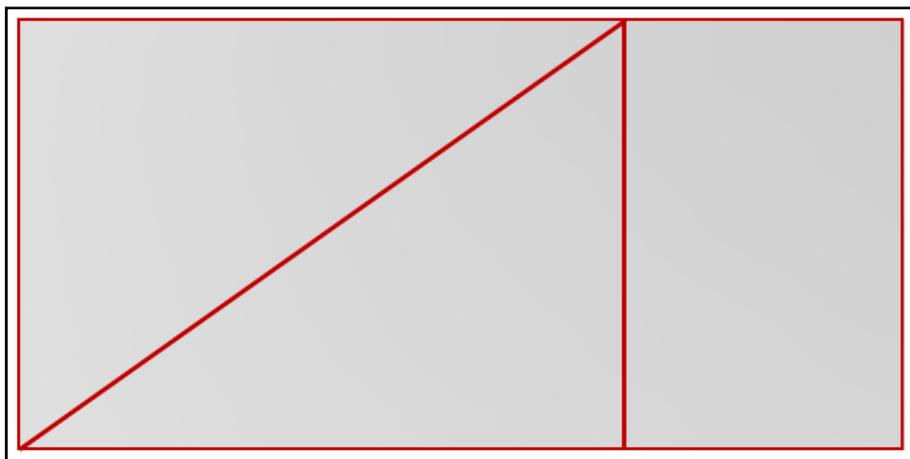


Figura 3.152: Cortes en la pletina para conseguir las diferentes piezas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación se puede observar una tabla donde aparecen resumidas las diferentes partes y sus respectivas características que componen el conjunto de piezas del soporte superior del amortiguador.

<b>Soporte superior amortiguador</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Materia prima utilizada</b>	<b>Procesos de fabricación utilizados</b>
<b>Tubo principal horizontal</b>	Tubo de perfil rectangular	Tronzar y fresar
<b>Tubo secundario vertical</b>	Tubo de perfil rectangular	Tronzar y fresar
<b>Tubos roscados</b>	Macizo redondo	Tronzar, tornear y roscar el interior
<b>Pletina rectangular</b>	Macizo prisma	Serrar
<b>Pletinas triangulares</b>	Macizo prisma	Serrar

Tabla 3.23: Resumen de detalles soporte superior amortiguador.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2. ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN.

Como se ha podido ver anteriormente la suspensión del tren era bastante simple y constaba de once piezas, a continuación veremos sus posibles procesos de fabricación dependiendo de cada pieza.

#### 3.3.2.3.2.2.1. Barra vertical.

Como se puede ver detallado en el apartado de características técnicas y geométricas del tipo de suspensión, los amortiguadores precisaban de una barra vertical que guiará todo el conjunto y evitase posibles problemas.

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero.

La materia prima de la que se podía obtener la barra vertical era de un macizo de acero redondo fabricado en los altos hornos a partir de una barra de acero pasándola por rodillos hasta conseguir la forma redondeada como hemos explicado en el apartado de materia prima. Para dicha barra hemos supuesto un diámetro de 40 mm.

- **Proceso de fabricación:** Tornear, roscar el extremo superior y taladrar

Una vez obtenida la barra, el siguiente paso era cortar los extremos hasta la distancia especificada en los planos y mediante un torneado chaflanar los bordes hasta dejarlos a 45° y a una distancia de 2 mm

Con los bordes chaflanados hacía falta hacer un roscado mediante un torno, o mediante una hilera de roscar si el roscado era manual, en la parte superior para poder roscarlo al soporte que veremos más adelante.

El último proceso para esta barra era agujerear mediante un taladrado la parte inferior donde veremos más adelante que se tenía que introducir un pasador para fijar el amortiguador en la posición deseada.



Figura 3.153: Barra vertical renderizada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2. Tuercas

Para este tipo de pieza no hacía falta hacer un proceso de fabricación para su obtención, sino que se compraban estandarizadas según las especificaciones técnicas necesarias que dependían de diámetros y alturas de la pieza.

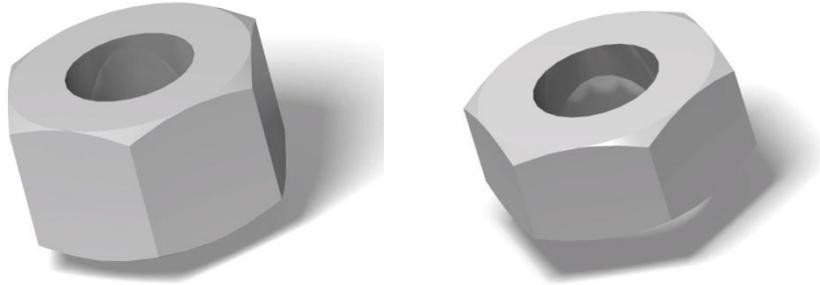


Figura 3.154: Tuerca de apriete a la izquierda y tuerca de fijación a la derecha.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2.3. Arandela sufridera

Como se puede observar en el apartado de características técnicas de la suspensión, la arandela sufridera tenía forma de cilindro y estaba agujereada por el centro para poder introducir la barra vertical.

A continuación podemos observar los posibles procesos de fabricación y la materia prima utilizada en la época.

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero

A partir de las imágenes donde aparece la arandela hemos llegado a la conclusión de que dicha pieza podía haberse obtenido a partir de un macizo redondo.

- **Proceso de fabricación:** Tornear

Mediante un torneado se podía conseguir tanto el diámetro exterior como el interior, y a continuación también mediante un torno se achaflanaba los cantos vivos que quedaban en la pieza para evitar daños y problemas.

A continuación podemos observar cómo quedaría la arandela sufridera.



Figura 3.155: Arandela sufridera renderizada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2.4. Arandela estándar

Para este tipo de pieza no hacía falta hacer un proceso de fabricación para su obtención, sino que se compraban estandarizadas según las especificaciones técnicas necesarias que dependían de diámetros y alturas de la pieza.

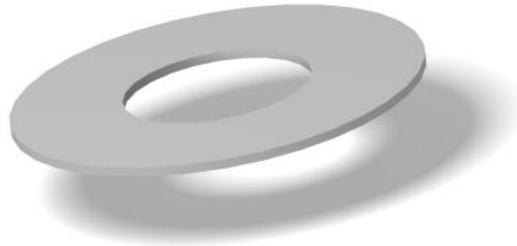


Figura 3.156: Arandela estándar.

### 3.3.2.3.2.2.5. Muelle

Para los muelles del conjunto de suspensión no hacía falta aplicar procesos de fabricación ya que hemos supuesto que en la época los subcontrataron según especificaciones técnicas necesarias, estas dependían del tipo de sección, carga a soportar, paso, etc.



Figura 3.157: Muelle renderizado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2.6. Pieza de unión entre eje de la rueda y barra vertical

Como hemos observado en las imágenes tomadas en la época, dicha pieza de unión entre el eje de cada rueda y la barra vertical de la suspensión mantenía la distancia entre ruedas y su paralelismo.

- **Materia prima:** Hierro fundido.

Debido a sus geometrías complicadas para conseguir mediante procesos de fabricación, hemos supuesto que su obtención principal se conseguía a partir de una fundición de hierro con moldes de arena.

Debido a que por fundición la pieza se obtenía sin los agujeros pasantes del interior, hemos supuesto que estos se producirían mediante los siguientes procesos de fabricación:

- **Procesos de fabricación:** Fresar y taladrar mediante utillajes.

Como se puede observar en la figura 3.158 y en base a nuestras suposiciones para modelar, la pieza estaba agujereada tanto vertical como horizontalmente para poder introducir los ejes. Para los agujeros principales que son los que albergaban los ejes, creemos que podían haber estado obtenidas a partir de fresados mediante utillajes que iban centrando la pieza para producir los agujeros correctamente.

Para los agujeros pasantes los cuales estaban situados alineados con los agujeros producidos en el eje de la rueda, hemos supuesto que sería adecuado en la época producirlos mediante un taladro y con utillajes también.

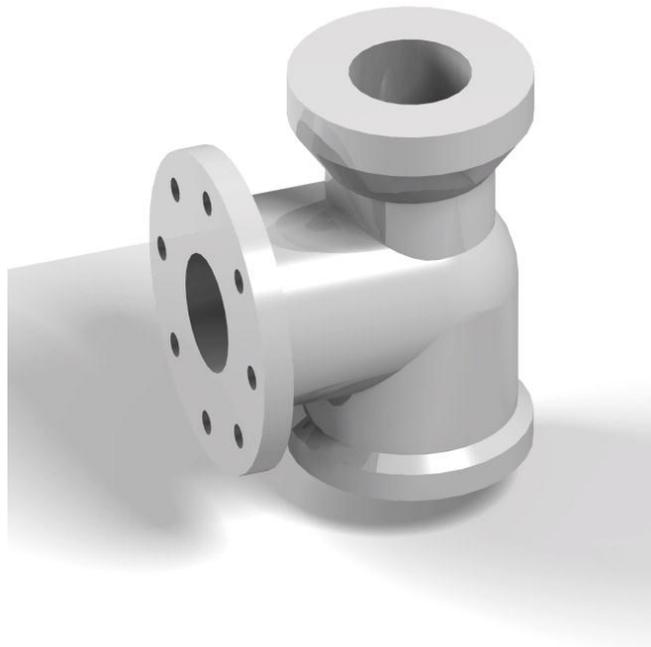


Figura 3.158: Pieza de unión renderizada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2.7. Arandela que tiene la función de tope

En una de las imágenes interpretamos que debajo de la pieza de unión entre el eje de la rueda y la barra vertical existía un tipo de cilindro que suponemos estaba con la función tanto de elevar el muelle como de evitar el contacto de la misma pieza de unión con la estructura autoportante.

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero

En base a las imágenes y pensando que dicha pieza debía tener más grosor que un tubo obtenido mediante chapa, decidimos crearlo a partir de un macizo redondo.

- **Procesos de fabricación:** Tornear

Una vez medida la distancia que debía hacer la pieza, mediante un torno se obtenía tanto el diámetro exterior como el agujero interior.

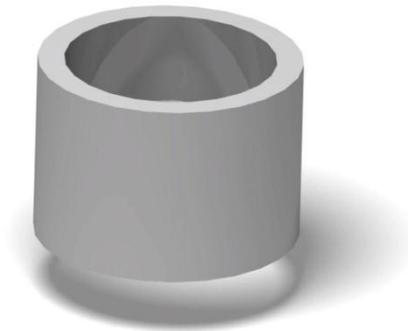


Figura 3.159: Arandela "tope" renderizada.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.2.8. Tuerca inferior

Para poder fijar el amortiguador y a partir de las imágenes vimos que había una pieza en la parte inferior del conjunto de suspensión que hacía la función de fijar el amortiguador en la estructura, esta pieza es la tuerca inferior, que mediante un pasador clavaba la posición de la barra vertical.

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero

Debido a la geométrica que se puede apreciar en imagen llegamos a la conclusión de que debía ser fabricada a partir de un macizo redondo.

- **Procesos de fabricación:** Tornear y taladrar

Una vez medida la distancia que debía hacer la pieza, mediante un torneado se le daba la forma que vemos en la figura 3.160, además de producir el agujero interior para poder introducir la barra vertical.

Ya que mediante un pasador se fijaba la barra vertical y la tuerca a la vez, hacía falta hacer un agujero pasante mediante un taladro del mismo diámetro que el del agujero hecho en la barra vertical del amortiguador.

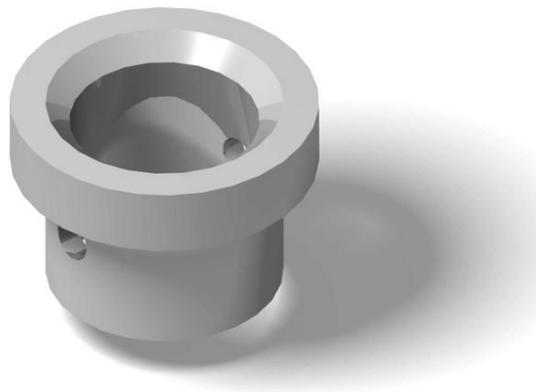


Figura 3.160: Tuerca inferior modelada.

Una vez descritas todas las piezas que forman el amortiguador y sus procesos de fabricación describiremos cual creemos que era su proceso de montaje.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Viendo como estaba colocado el conjunto amortiguador en las imágenes, estudiamos las posibles formas de montaje de las piezas y observamos que se tenía que colocar la barra, ya con las dos tuercas, la de fijación y la de apriete ya roscadas pero sin aplicar fuerza de apriete, en el soporte del amortiguador que va iba soldado en la estructura tubular. Una vez introducida la barra se procedía a montar pieza por pieza el amortiguador en orden de superior a inferior, y una vez montado se montaba el triángulo y se atornillaba a la estructura, quedando así fijado el amortiguador a la estructura. Con el amortiguador montado el siguiente paso era apretar las tuercas para que el resorte quedara fijado con la presión deseada.

A continuación se puede observar una tabla donde aparecen resumidas las diferentes partes y sus respectivas características que componen el conjunto de piezas que componen la suspensión.

<b>Conjunto suspensión</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Materia prima utilizada</b>	<b>Procesos de fabricación utilizados</b>
<b>Barra vertical</b>	Macizo redondo	Tornear, roscar y taladrar
<b>Tuercas</b>	-----	-----
<b>Arandela sufridera</b>	Macizo redondo	Tornear
<b>Arandela estándar</b>	-----	-----
<b>Muelle</b>	-----	-----
<b>Pieza unión entre ejes</b>	Hierro fundido	Fresar y taladrar mediante utillajes
<b>Arandela tope</b>	Macizo redondo	Tornear
<b>Tuerca inferior</b>	Macizo redondo	Tornear y taladrar

Tabla 3.24: Resumen de detalles conjunto suspensión.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.3. ELEMENTOS DE RODADURA

#### 3.3.2.3.2.3.1. Ruedas individuales dirigidas

La rueda empleada para el Talgo-I, hemos supuesto que estaba hecha por fundición y para la obtención de sus dimensiones hemos aplicado los conocimientos de la perspectiva para obtener las cotas mediante imágenes reales. A continuación detallamos su posible materia prima utilizada en la época para conseguir dicha pieza y sus procesos de fabricación.

- **Materia prima:** Hierro fundido

Debido a las difíciles geometrías que contiene la rueda, creemos que dicha pieza se podía obtener a partir de una fundición de hierro.

- **Proceso de fabricación:** Construcción del molde y posteriormente colada y enfriamiento.

Los procesos de fabricación para la rueda serían los pertinentes a una fundición de hierro con sus consiguientes moldes, coladas y enfriamientos. Finalmente se podían soldar las pletinas que forman los nervios interiores de la rueda.

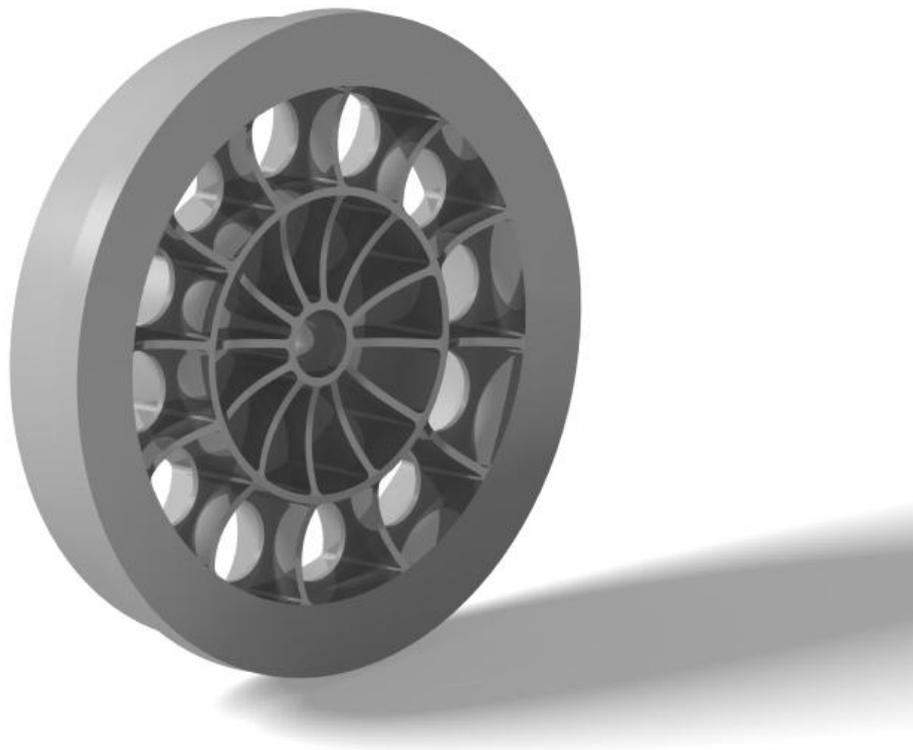


Figura 3.161: Rueda individual.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.3.2. Eje de las ruedas

Para los ejes de las ruedas supusimos sus geometrías en base a la forma de las ruedas y observando los puntos de sujeción de la rueda con cada suspensión.

Los detalles constructivos y para la fabricación de los ejes puede ser el siguiente:

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero

En base a la forma obtenida suponemos que dicha pieza se podría obtener a partir de una barra maciza de acero.

- **Proceso de fabricación:** Tornear y taladrar

Debido a las numerosas partes cilíndricas que contiene la pieza creemos que el proceso de fabricación más adecuado sería un torneado y posteriormente un taladrado de las caras exteriores para producir los agujeros que se ven en la figura 3.162 para poder atornillar el eje a la suspensión.

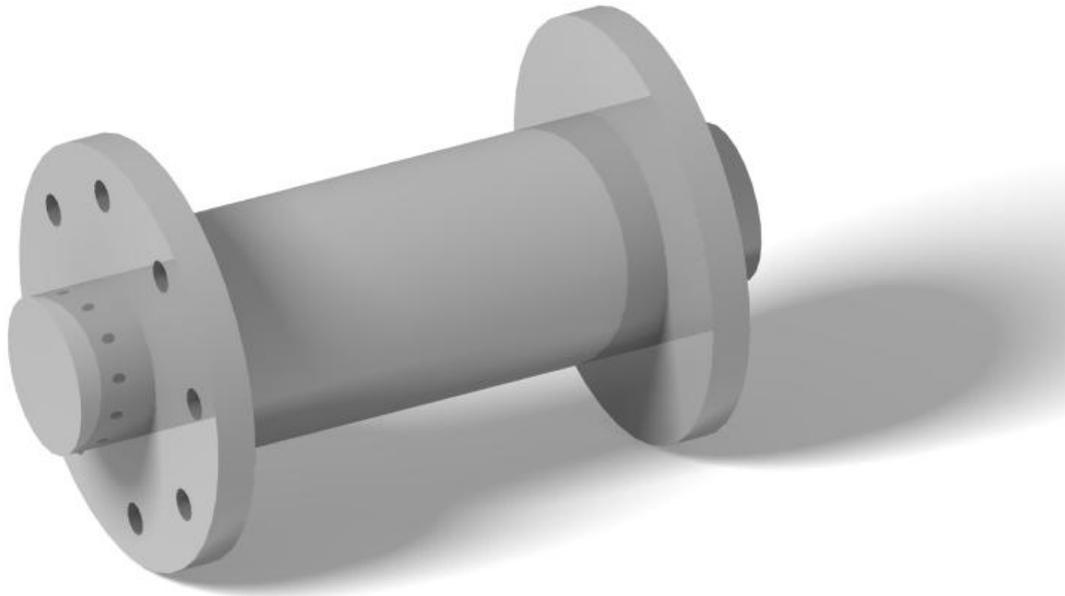


Figura 3.162: Eje de la rueda.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.2.3.3. Cojinetes

Debido a que en las imágenes no aparece detalle ninguno de la parte interna de la rueda, hemos supuesto que cada rueda giraba gracias a dos cojinetes situados en su interior entre el eje y la rueda.

Para los cojinetes creemos que no hacía falta ningún proceso de fabricación ya que se podían encargar especificando las características técnicas y geométricas.

A continuación se puede ver el conjunto de rodadura ensamblado:

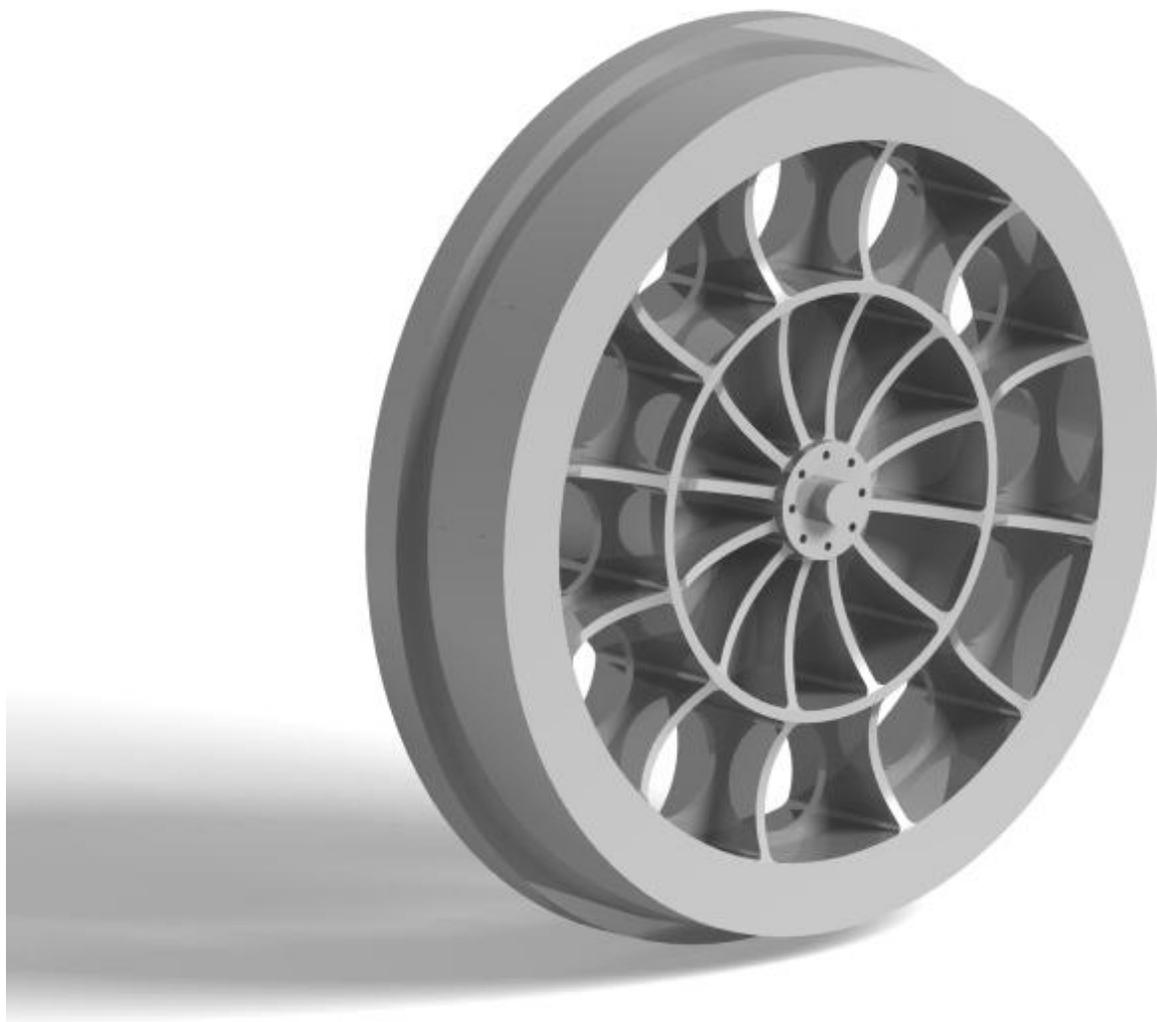


Figura 3.163: Conjunto de rodadura ensamblado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.3. CONJUNTO DE PIEZAS PARA LA UNIÓN ENTRE VAGONES

En las imágenes se puede apreciar que entre cada vagón había un conjunto montado de piezas que mantenía unidos los vagones mediante un eje roscado.

A continuación podemos ver las piezas que creemos lo componían, la materia prima utilizada para su obtención y los posibles procesos de fabricación utilizados.



Figura 3.164: Conjunto de unión entre vagones.

#### 3.3.2.3.3.1. PLETINA CON DOS CILINDROS SOLDADOS

Como se ha descrito en el apartado de características técnicas y geométricas que trata sobre el conjunto de unión entre vagones, la pieza que estaba en contacto con el vagón de arrastre era dicha pletina con dos cilindros roscados unidos mediante cordones de soldadura eléctrica.

- **Materia prima:** Macizo prisma y macizo redondo

Para la pletina hemos supuesto que se podía haber conseguido a partir de un laminado de chapa, para los cilindros debido a su grosor en la imagen, nos pareció apropiado obtenerlo a partir de un macizo redondo.

- **Procesos de fabricación:** Fresar, torneado y soldar

Una vez detalladas las materias primas, los procesos de fabricación más adecuados creemos que hubieran sido los siguientes:

Para el laminado de chapa debido a su forma rectangular creemos que se podría haber obtenido mediante un fresado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Dada la forma circular de los cilindros el proceso más adecuado tanto para la forma exterior como para el agujero interior sería un torneado.

Una vez obtenidas las piezas que forman el subconjunto, la pletina y los dos cilindros agujereados, el siguiente paso es unirlos mediante un cordón de soldadura eléctrica.

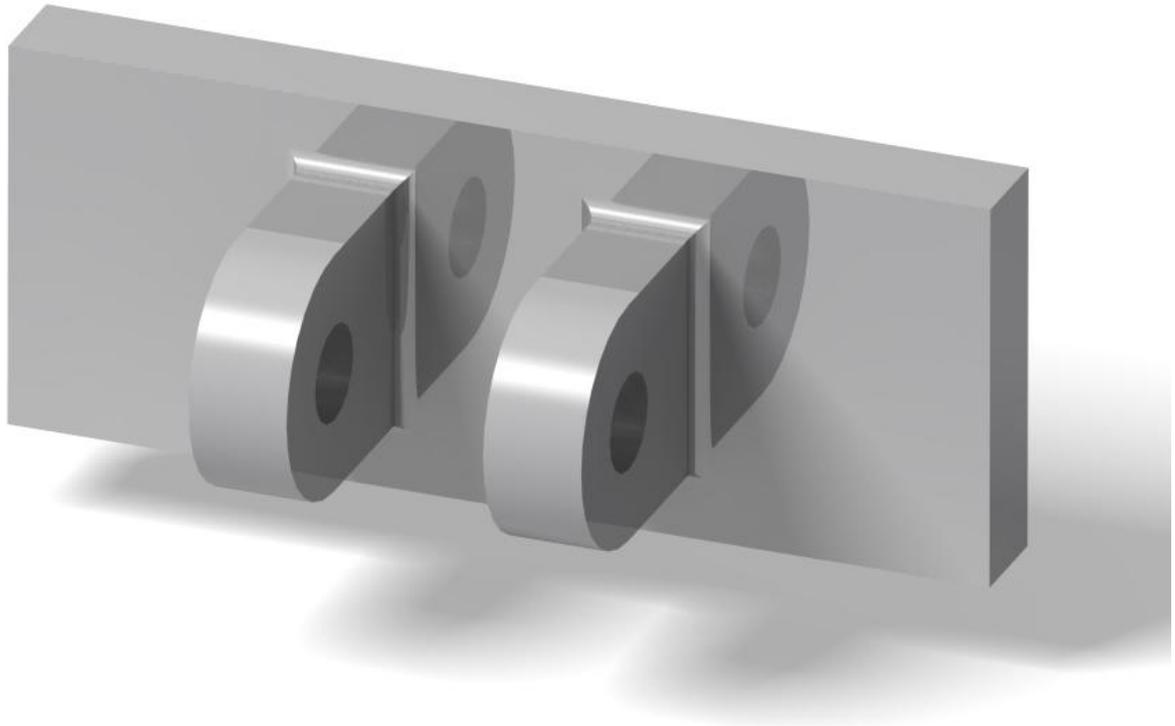


Figura 3.165: Pletina con cilindros soldados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.3.2. RÓTULA

Viendo que el conjunto de unión entre vagones debía permitir giro tanto vertical como horizontalmente, llegamos a la conclusión de que dicha pieza tenía que tener las formas geométricas necesarias para permitir el giro vertical de arriba abajo y viceversa.

- **Materia prima:** Macizo cuadrado

Dada la forma final que debía tener dicha pieza hemos supuesto que se podía haber obtenido a partir de un macizo cuadrado.

- **Procesos de fabricación:** Fresar y limar para obtener los radios exteriores

Debido a que las formas de dicha pieza son curvadas y contiene dos agujeros, creemos que el proceso que se podría haber utilizado en primer lugar era un limado para dejar los extremos curvados y además un fresado para producir los agujeros pasantes.

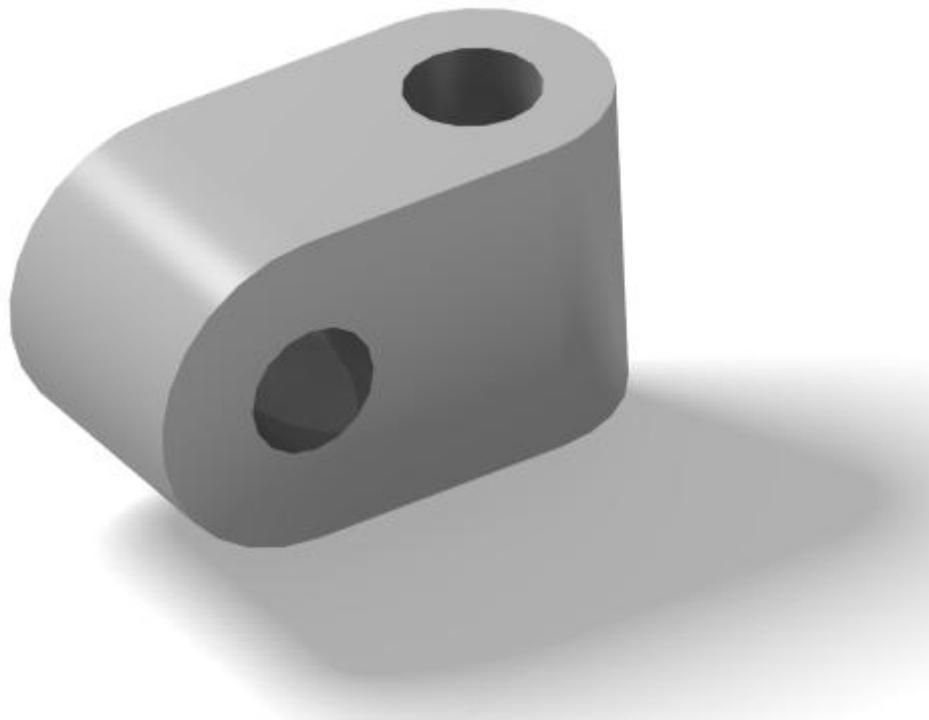


Figura 3.166: Rótula.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.3.3. *PIEZA QUE PERMITIA EL GIRO HORIZONTAL*

Visto que la pieza anterior podía girar verticalmente y sabiendo que el conjunto también debía permitir el giro horizontal, hacía falta unir esta pieza a la anterior.

- **Materia prima:** Macizo prisma

Debido a las formas geométricas de la pieza, suponemos que ésta podía ser fabricada a partir de un macizo con forma de prisma.

- **Procesos de fabricación:** Limar, taladrar y fresar

Para obtener dichas geometrías de la pieza hemos supuesto que los procesos de fabricación que se podían haber realizado en la época eran:

Limar para darle la forma curva, posteriormente taladrar para hacer los agujeros y finalmente fresar para eliminar la parte que envolvería la pieza anterior.

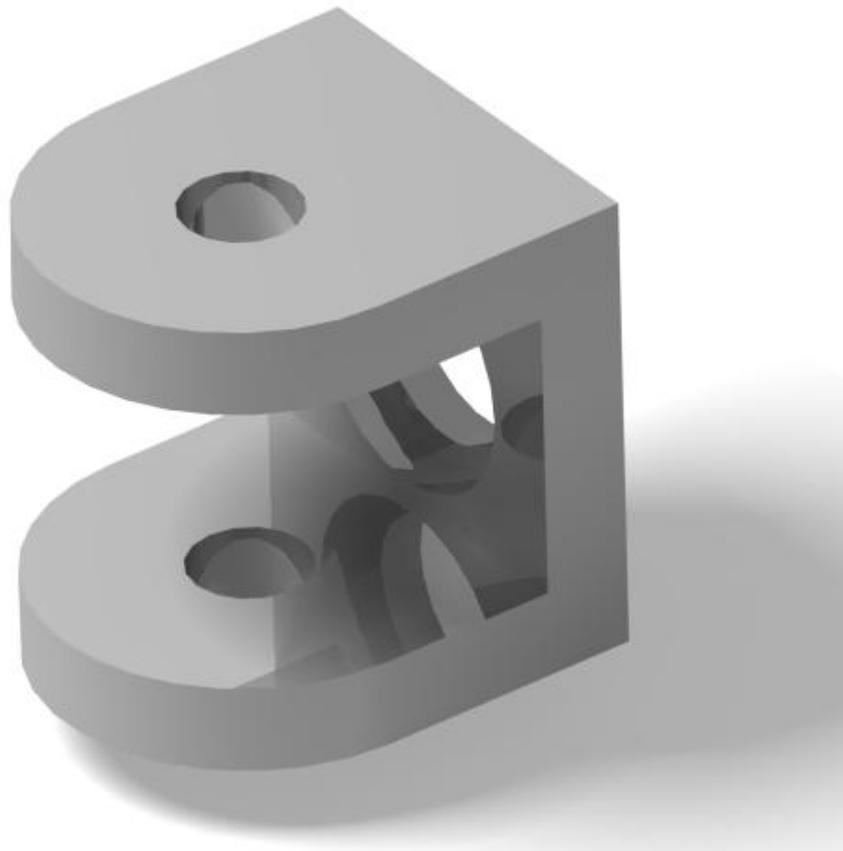


Figura 3.167: Pieza que permitía el giro horizontal.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.3.3.4. EJE ROSCADO

Como se puede observar en la imagen del conjunto ampliado, la pieza más importante de dicho conjunto era el eje roscado ya que dicho eje roscado debía soportar el esfuerzo de tracción de la locomotora o vagón anterior.

- **Materia prima:** Macizo redondo de acero

Observando las imágenes donde aparece dicha pieza, hemos supuesto que la materia prima de la que se podía haber obtenido era a partir de un macizo redondo debido a su geometría.

- **Procesos de fabricación:** Tornear

A partir del macizo redondo y mediante un torneado hemos supuesto que se podían obtener las diferentes partes de la pieza, incluso el roscado con el uso de una hilera de roscar.

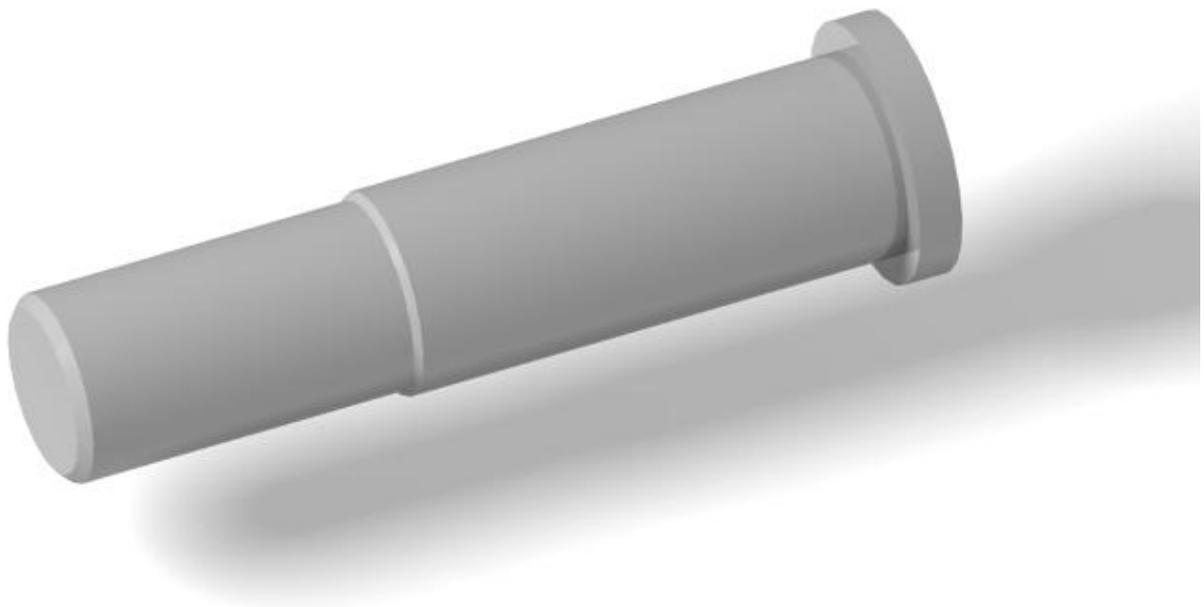


Figura 3.168: Eje roscado.

3.3.2.3.3.5. TORNILLOS

Los tornillos se podían comprar determinando las características técnicas necesarias.

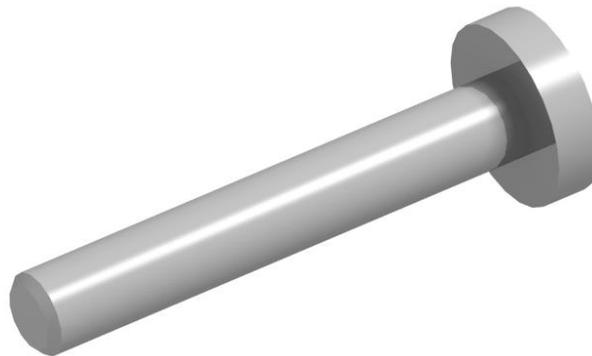


Figura 3.169: Tornillo.

3.3.2.3.3.6. TUERCAS

Para las tuercas del conjunto de suspensión no hacía falta aplicar procesos de fabricación ya que hemos supuesto que en la época se compraban según las especificaciones técnicas necesarias.

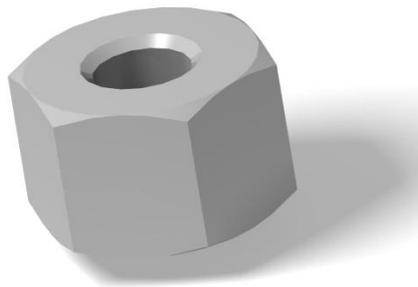


Figura 3.170: Tuerca.

A continuación se puede observar una tabla donde aparecen resumidas las diferentes partes y sus respectivas características que componen el conjunto de unión entre vagones.

Conjunto unión entre vagones		
Descripción	Materia prima utilizada	Procesos de fabricación utilizados
Pletina unida a dos cilindros	Macizos prisma y redondo	Fresar torneado y soldar
Rótula	Macizo cuadrado	Fresar y limar para radiar extremos
Pieza para giro horizontal	Macizo prisma	Limar, taladrar y fresar
Eje roscado	Macizo redondo	Torneado
Tornillos	-----	-----
Tuercas	-----	-----

Tabla 3.25: Resumen de detalles conjunto unión entre vagones.

## 3.3.2.3.4. SUELO

Elemento: Tablones suelo

- **Materia prima:** Tablón de madera de 29 mm de espesor
- **Proceso de fabricación:** Cortar con sierra mecánica con la geometría deseada y atornillar a la estructura tubular.

Elemento: Chapas interiores suelo

- **Materia prima:** Rollo de chapa laminado de 1 mm de espesor
- **Proceso de fabricación:** Cortar por cizalladura y atornillar a los tablones.



Figura 3.171: Conjunto del suelo.

Suelo		
Descripción	Materia prima utilizada	Procesos de fabricación utilizados
Tablones suelo	Tablón de madera	Cortar y atornillar
Chapas interiores suelo	Rollo de chapa laminado	Cortar y atornillar

Tabla 3.26: Resumen de detalles del suelo.

3.3.2.3.5. CHAPAS

Elemento: Chapas exteriores e interiores laterales

- **Materia prima:** Rollo de chapa laminado de 1 mm de espesor
- **Proceso de fabricación:** Cortar longitudinalmente por cizalladura, doblado, perforar con oxicorte, y soldar o atornillar a la estructura o a los tablones.

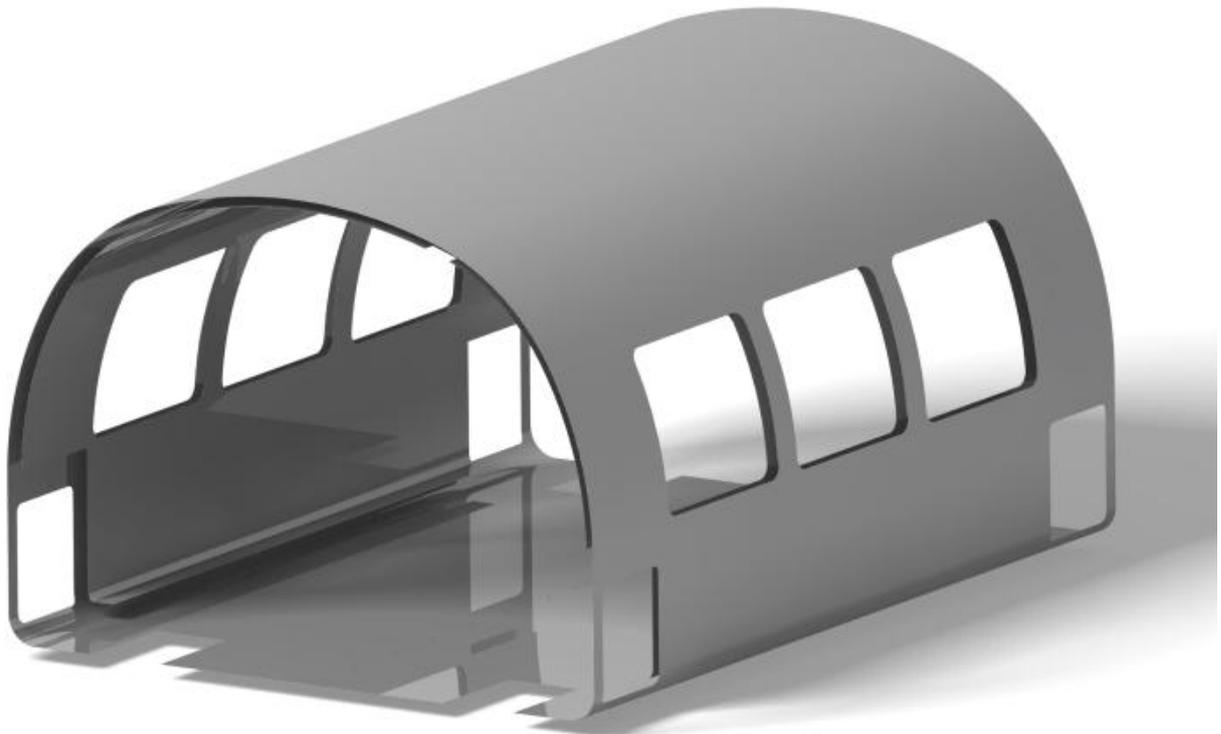


Figura 3.172: Conjunto de chapas.

Chapas		
Descripción	Materia prima utilizada	Procesos de fabricación utilizados
Chapas exteriores e interiores	Rollo de chapa laminado	Cortar, perforar y soldar/atornillar

Tabla 3.27: Resumen de detalles de las chapas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.4. Posible proceso de montaje de la estructura tubular

En base a la estructura tubular definida, y estudiando posibles métodos de montaje, llegamos a la conclusión de que el método más adecuado podía ser el de empezar a montar desde el centro de la estructura hacia los extremos los anillos tubulares con los tubos que forman el entramado.

El primer paso sería situar el “anillo” central de la estructura autoportante, ya agujereado para poder introducir a continuación los tubos del entramado y los tubos de arriba y debajo de las ventanas como se puede apreciar en la figura 3.173.



Figura 3.173: Primer anillo con el entramado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para ensamblar cada “anillo” con los tubos del entramado que cruzaban por su interior era necesario un cordón de soldadura rodeando las uniones de tubo con tubo por ambos extremos.

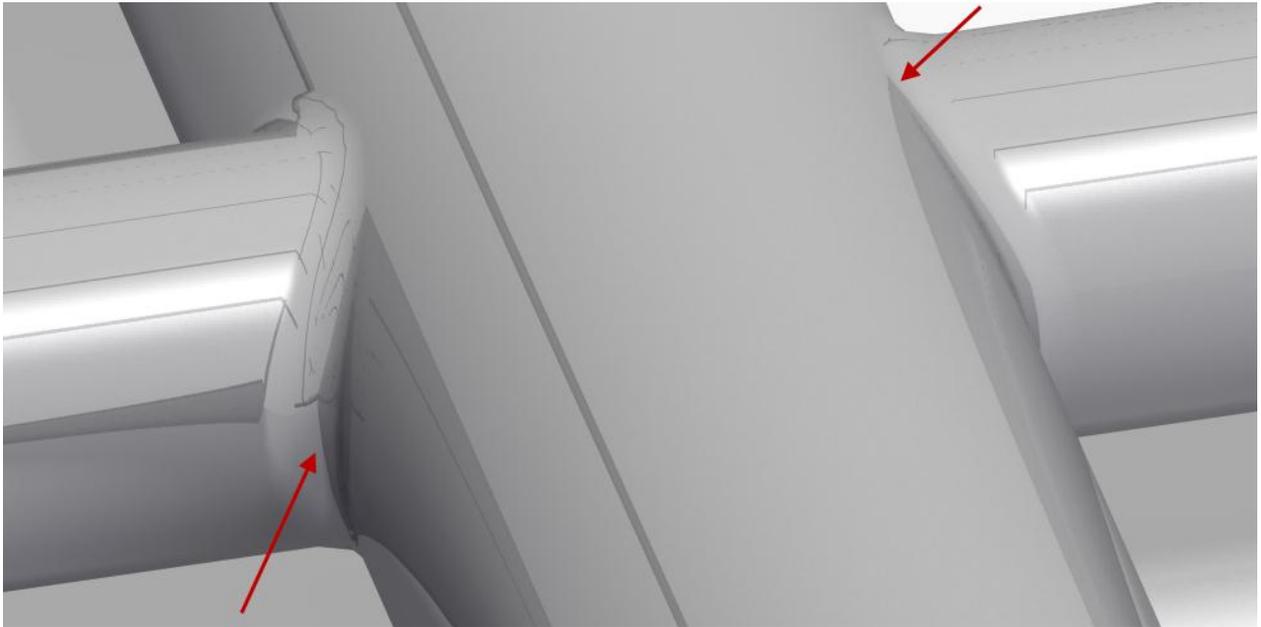


Figura 3.174: Detalle de los cordones de soldadura.

Una vez situado el primer conjunto de “anillo” con entramado, se podría continuar añadiendo tubos en orden de interior hacia exterior por ambos lados como se puede ver señalado en la siguiente imagen.

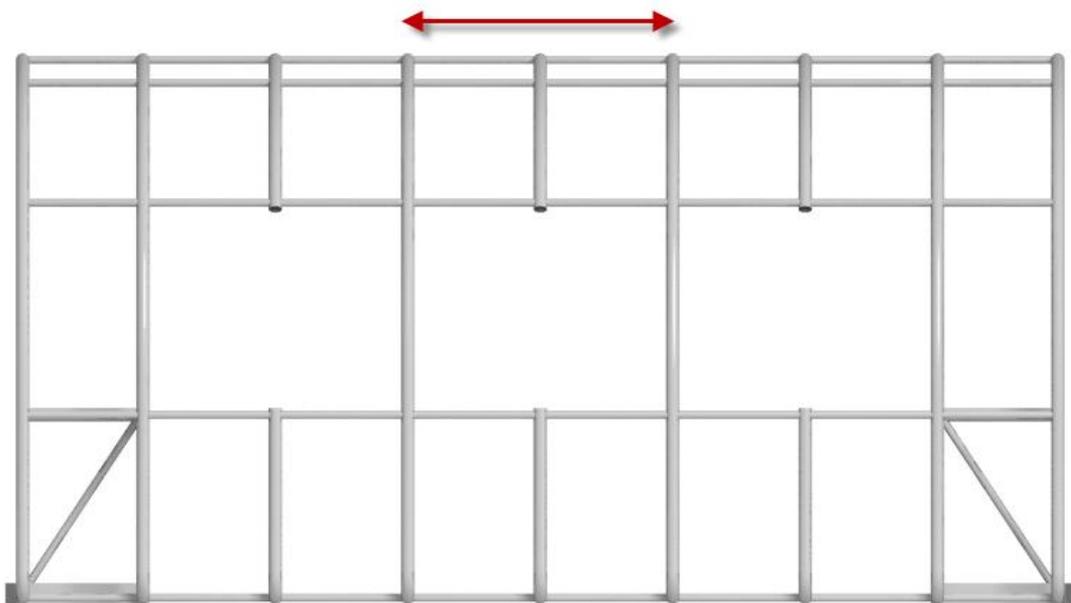


Figura 3.175: Ejemplo de las posibles direcciones de montaje.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Ya montados todos los “anillos” con sus respectivos tubos del entramado, el siguiente paso sería cortar los dos primeros “anillos” de cada extremo de la estructura por la parte inferior, para poder introducir los tubos de perfil rectangular y soldar sus correspondientes uniones. A continuación se seccionarían los tubos correspondientes a las zonas donde iría alojada una puerta o ventana.

Una vez montados los tubos de perfil rectangular entre los “anillos” se podía montar el conjunto de tubos que forman el habitáculo para el sistema de rodadura (figura 3.176).

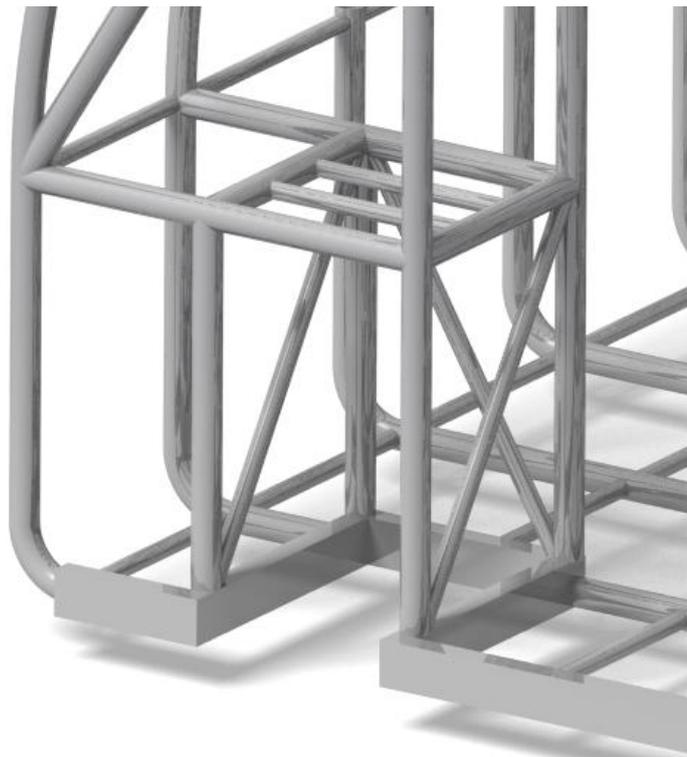


Figura 3.176: Habitáculo para el sistema de rodadura montado.

El siguiente paso sería seccionar los tubos nombrados “anillos” que albergaran ventanas o puertas, sabiendo la altura mínima que deberían tener los cortes.

Por último para la estructura tubular faltaría hacer los agujeros en el primer tubo de cada extremo para atornillar poder atornillar la chapa exterior, además de soldar las pletinas en la parte media inferior de los anillos para poder soldar la chapa exterior.



Figura 3.177: Montaje de las pletinas soldadas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación suponemos que haría falta agujerear en los anillos necesarios para poder atornillar tanto chapas interiores como las partes que forman el suelo.

Por último en la estructura tubular se tendría que hacer un agujero en el tubo de perfil rectangular de la parte delantera de la estructura (figura 3.178) para poder introducir el eje roscado del conjunto de unión entre vagones.

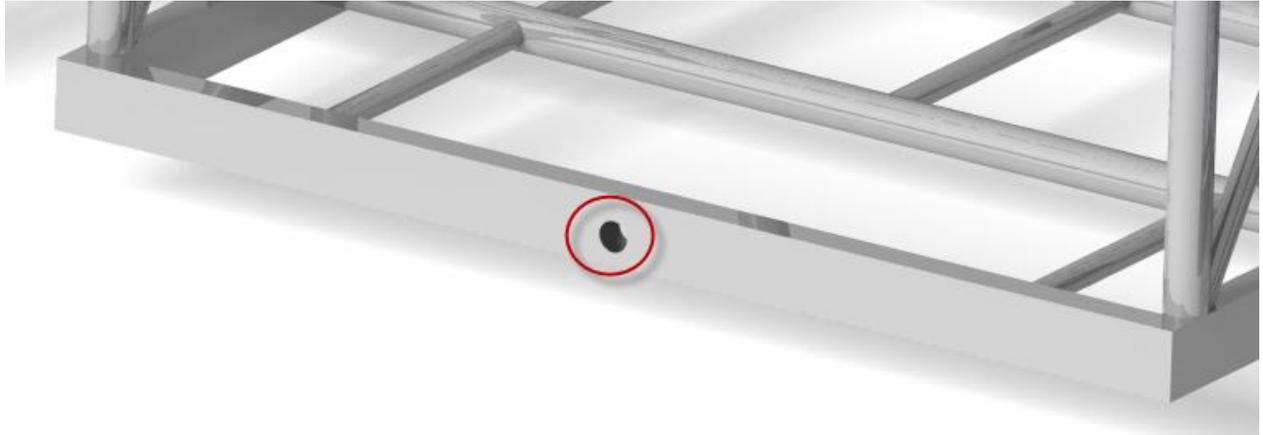


Figura 3.178: Agujero producido en el tubo rectangular para poder introducir el eje roscado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.5. Posible proceso de montaje del conjunto de rodadura

Para montar todo el conjunto de rodadura que aparece en la figura 3.179 suponemos que se podían seguir los pasos descritos a continuación.

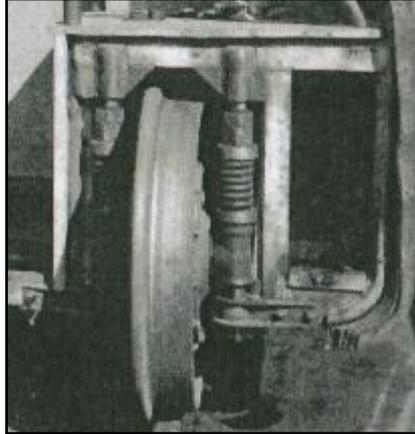


Figura 3.179: Conjunto de rodadura.

Ya montada la estructura tubular, el siguiente paso podría ser montar el soporte superior para la suspensión, que se sujetaría mediante cordones de soldadura en las zonas de contacto del soporte con los tubos.

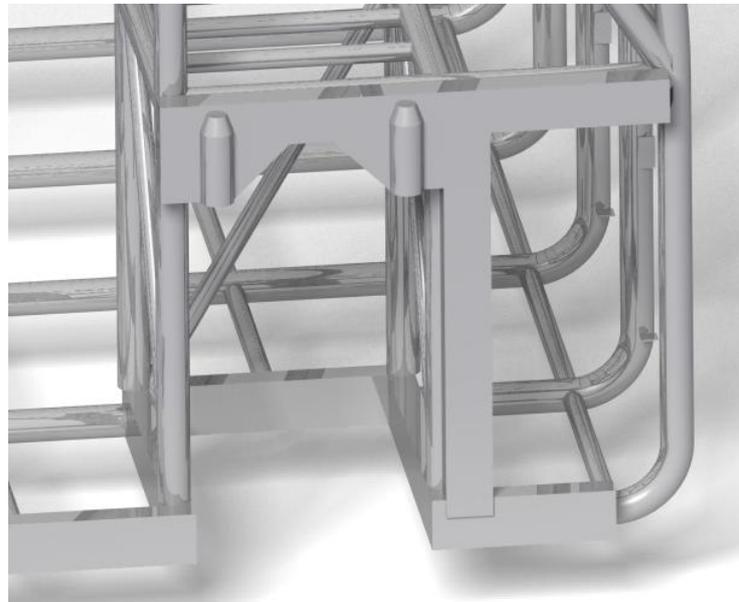


Figura 3.180: Montaje del soporte superior del amortiguador a la estructura tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación se podría montar en conjunto la rueda con el eje sujeto a ambas suspensiones ya que una vez situadas las suspensiones sería tarea imposible encajar el eje con la rueda.

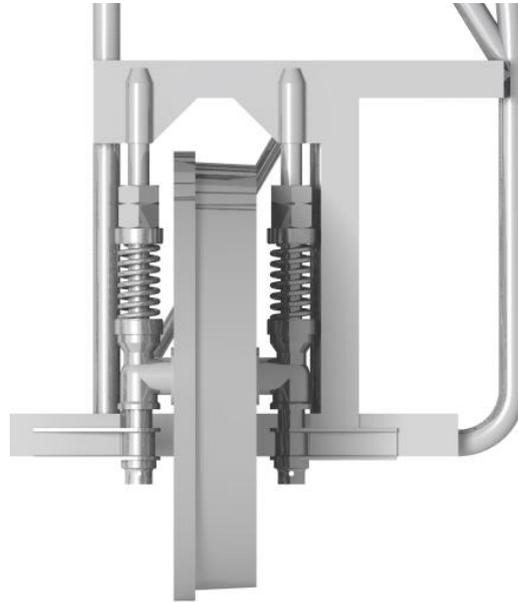


Figura 3.181: Montaje del conjunto de rodadura y suspensión.

Con el conjunto de rodadura y suspensión montado en la estructura, el siguiente paso podía ser el montaje de la caja que cubre el habitáculo.

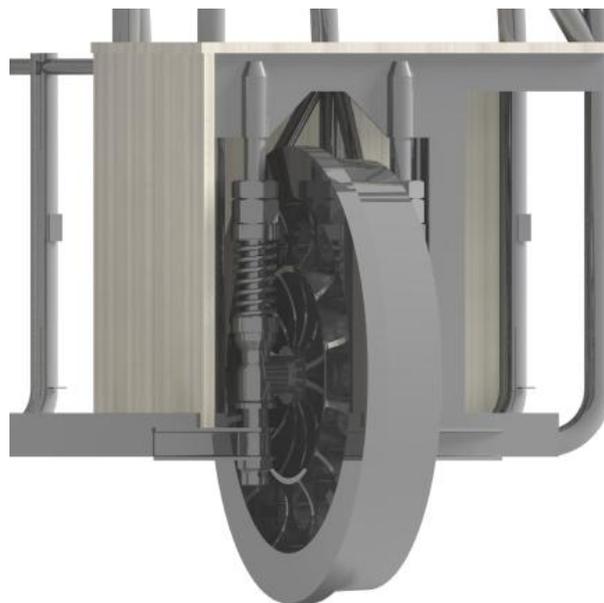


Figura 3.182: Montaje de la caja que cubre el habitáculo.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.3.2.6. *Posible proceso de montaje del suelo y las chapas*

Para el proceso de montaje del suelo y las chapas del Talgo-I, el primer paso era situar los tabloncillos de madera en el interior de la estructura tubular, con el fin de que los operarios pudieran introducirse dentro del vagón y tener un sitio por donde pisar para poder trabajar en unas condiciones adecuadas.

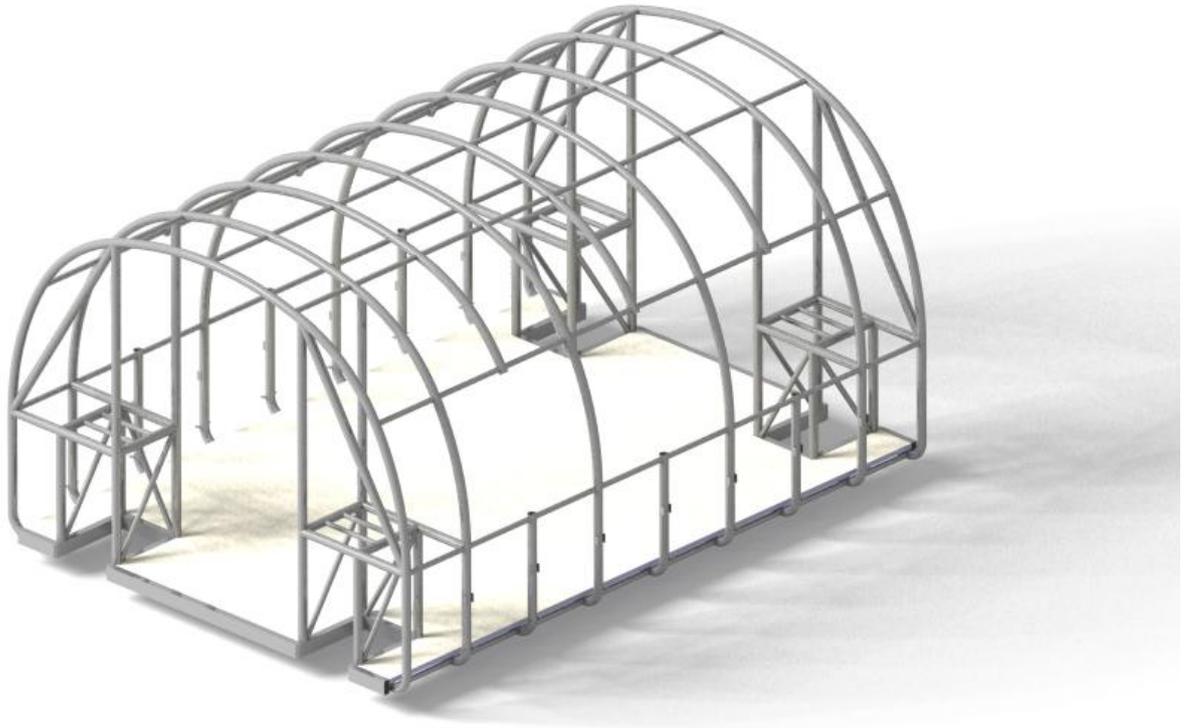


Figura 3.183: Montaje de los tabloncillos de madera en la estructura tubular.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Una vez había una base sólida donde pisar, se procedía al posicionamiento de la chapa exterior mediante una grúa. Los operarios la situaban desde el interior y el exterior del vagón y una vez orientada, se procedía a perforarla para obtener las cavidades de puertas y ventanas. Para la perforación de la chapa se utilizaba el oxicorte. Posteriormente se unían la chapa y la estructura mediante soldadura y se remachaba en la parte inferior del vagón de forma que quedaba totalmente sellada.

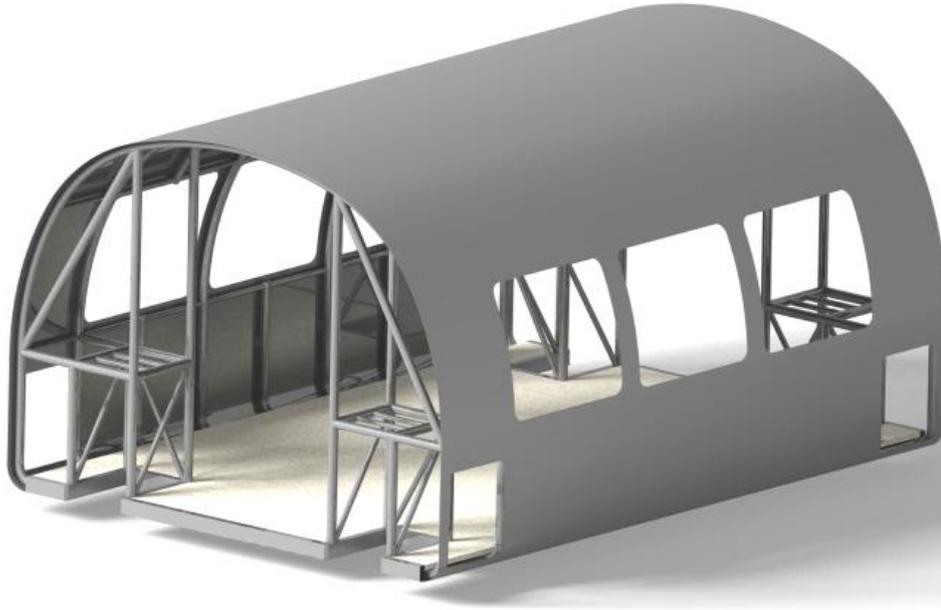


Figura 3.184: Montaje de la chapa exterior.

Posteriormente, se procedía a cubrir los tablones de madera para evitar su deterioro, con las chapas interiores del suelo. Para mantener fijadas las chapas a los tablones se usaban uniones roscadas.

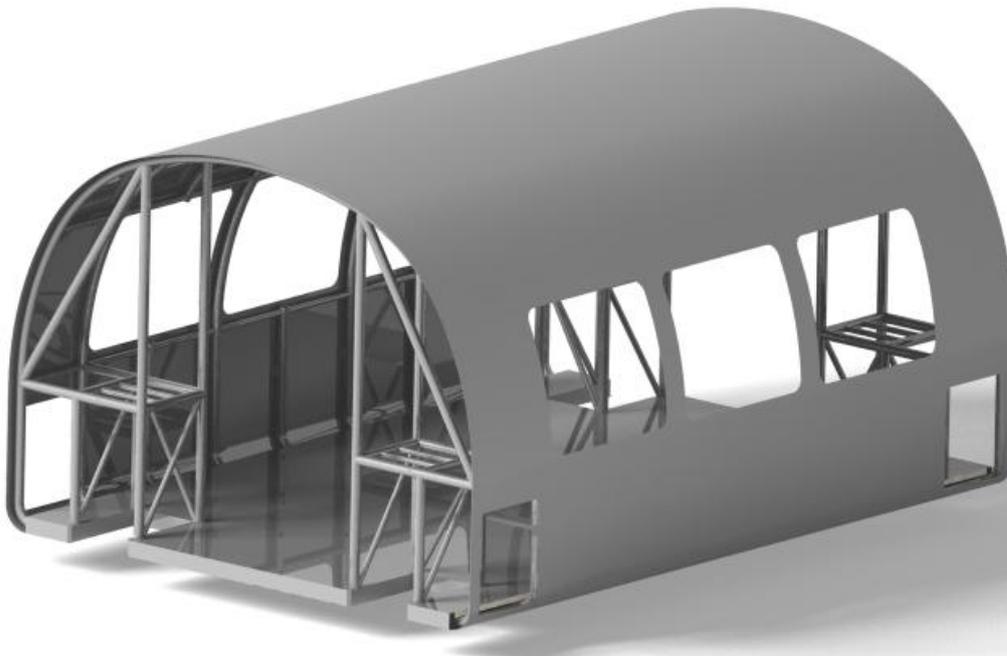


Figura 3.185: Montaje de las chapas que cubren los tablones.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Por último, se colocaba la chapa interior que se encargaba de cubrir los tubos por dentro del vagón. Para ello se cogían los diferentes módulos y entre varios operarios se posicionaba la chapa y mediante uniones roscadas se fijaba a los tubos. Estos módulos se unían a la estructura tubular mediante una unión roscada que atravesaba el tubo, la chapa interior y una pletina auxiliar.

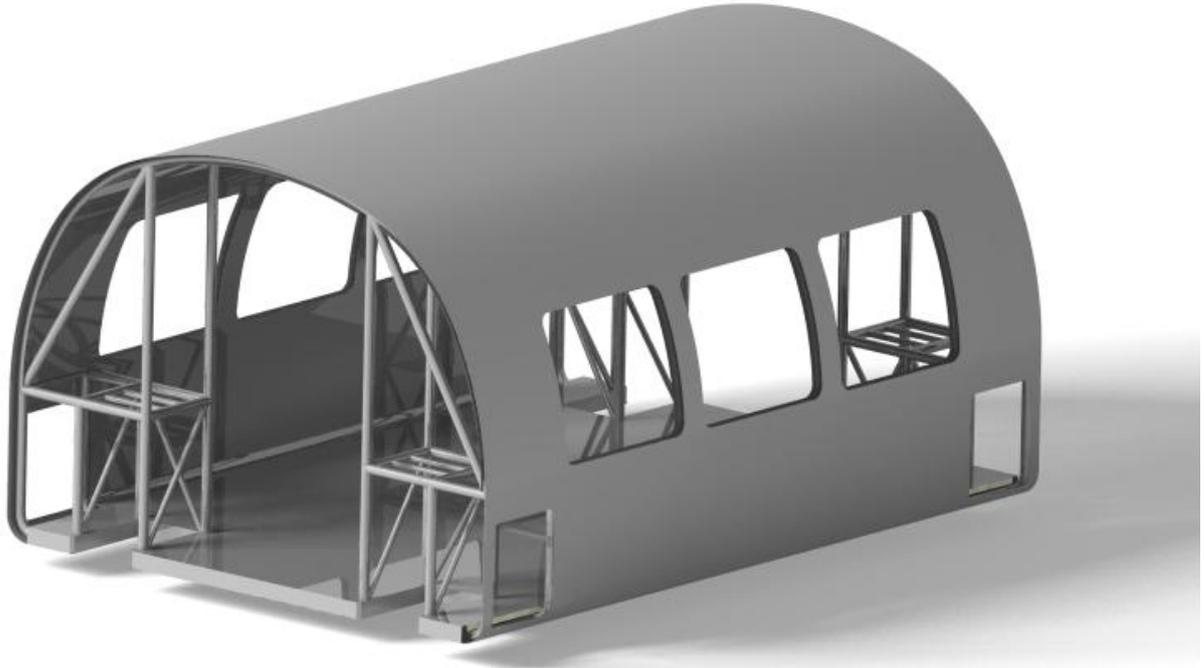


Figura 3.186: Montaje de las chapas interiores.

Este tipo de unión lo hemos deducido a partir de una visita al Talgo-II, en la que pudimos comprobar que para la unión de la chapa interior con los tubos se usaba una técnica como la que se puede apreciar en la figura 3.187, y de la cual sabemos que es una evolución de la que se usó en el Talgo-I.

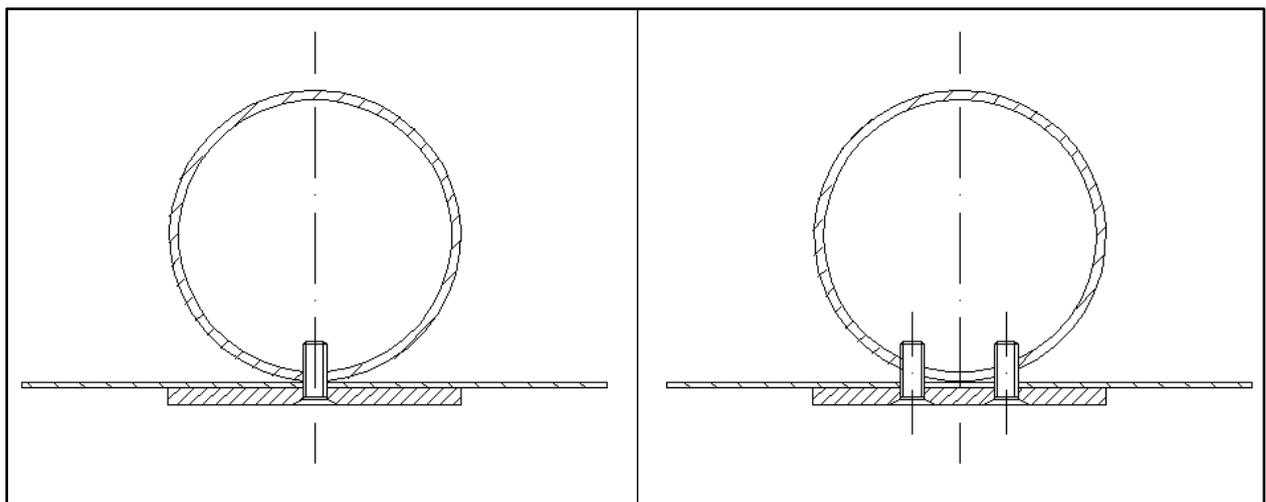


Figura 3.187: Montaje de la estructura tubular, chapa interior y pletina. (Izquierda talgo-I, derecha Talgo-II)

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Cabe destacar, que la chapa interior que está en contacto con la chapa que cubre a los tablonos, también estará unida mediante uniones roscadas, y que de esta manera evitamos que la suciedad entre por las ranuras y quede sobre la superficie, además de una buena sujeción de las chapas laterales.

### 3.4. Evolución del proceso de ejecución de la ingeniería inversa del Talgo-I

Como se ha podido ir observando durante los pasos anteriores, hemos ido introduciendo pequeños comentarios de cómo y de dónde íbamos obteniendo medidas, formas y detalles.

A continuación profundizaremos más en como partimos de cero para llegar a poder modelar y detallar cada parte del Talgo-I, describiendo “paso a paso” los métodos y técnicas usadas para llevar a cabo la ingeniería inversa.

#### 3.4.1. Comienzo

Una vez tuvimos claro el tipo de proyecto que queríamos realizar, vimos que el título que le caracterizaba era el de Ingeniería Inversa del Talgo-I debido a que queríamos alcanzar el máximo nivel de detalle técnico para poder llegar a fabricar un prototipo, en un futuro, lo más fidedigno posible.

#### 3.4.2. Estudio de características técnicas y geométricas

Ya encontrada y diferenciada la documentación existente, estudiamos todas las características técnicas y geométricas, que otorgaban al tren de Alejandro Goicoechea Omar el apodo de sistema innovador, para hacernos a la idea de las posibles dimensiones, formas y estructuras que podía tener el tren.

El primer paso fue diseñar en dos dimensiones, concretamente con el programa AutoCAD, los distintos vagones que formaban el Talgo a partir de unas imágenes halladas en el artículo de “Maquetren” con el nombre de Talgo I, Un tren diferente donde aparecen planos de todos los elementos del tren creados por Manuel Galán Eruste/Gabriel G. Ors.

Para poder obtener las medidas aproximadas y poder empezar a diseñar, utilizamos “reglas de tres” en base a las escasas medidas dadas en los distintos vagones de un artículo publicado en Maquetren, para llegar a acotar aproximadamente detalles como puertas, ventanas, trampillas escamoteables y demás diseños que no se podía apreciar su tamaño real.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

## 3.4.3. Obtención de medidas aproximadas

A continuación podemos ver comparadas cada imagen con nuestros diseños.

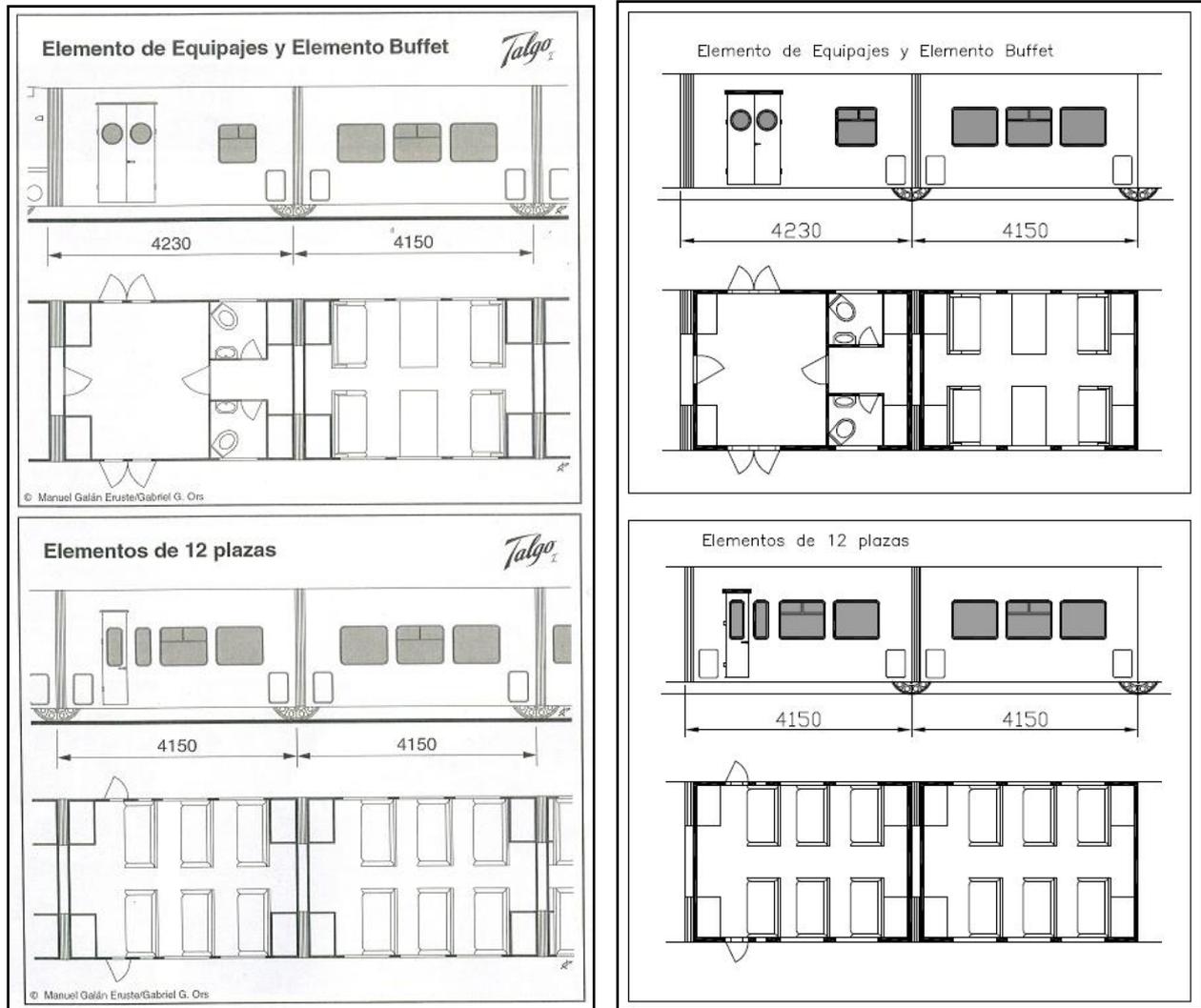


Figura 3.188: Planos de Maquetren (izquierda) y nuestros planos (derecha).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.4. Obtención de medidas más exactas

Una vez obtenidas las cotas aproximadas, el siguiente paso fue la obtención de medidas más esclarecedoras y exactas con el uso de la técnica de dibujo de la perspectiva cónica a partir de una de las imágenes donde aparece la sección de uno de los vagones (figura 3.189).

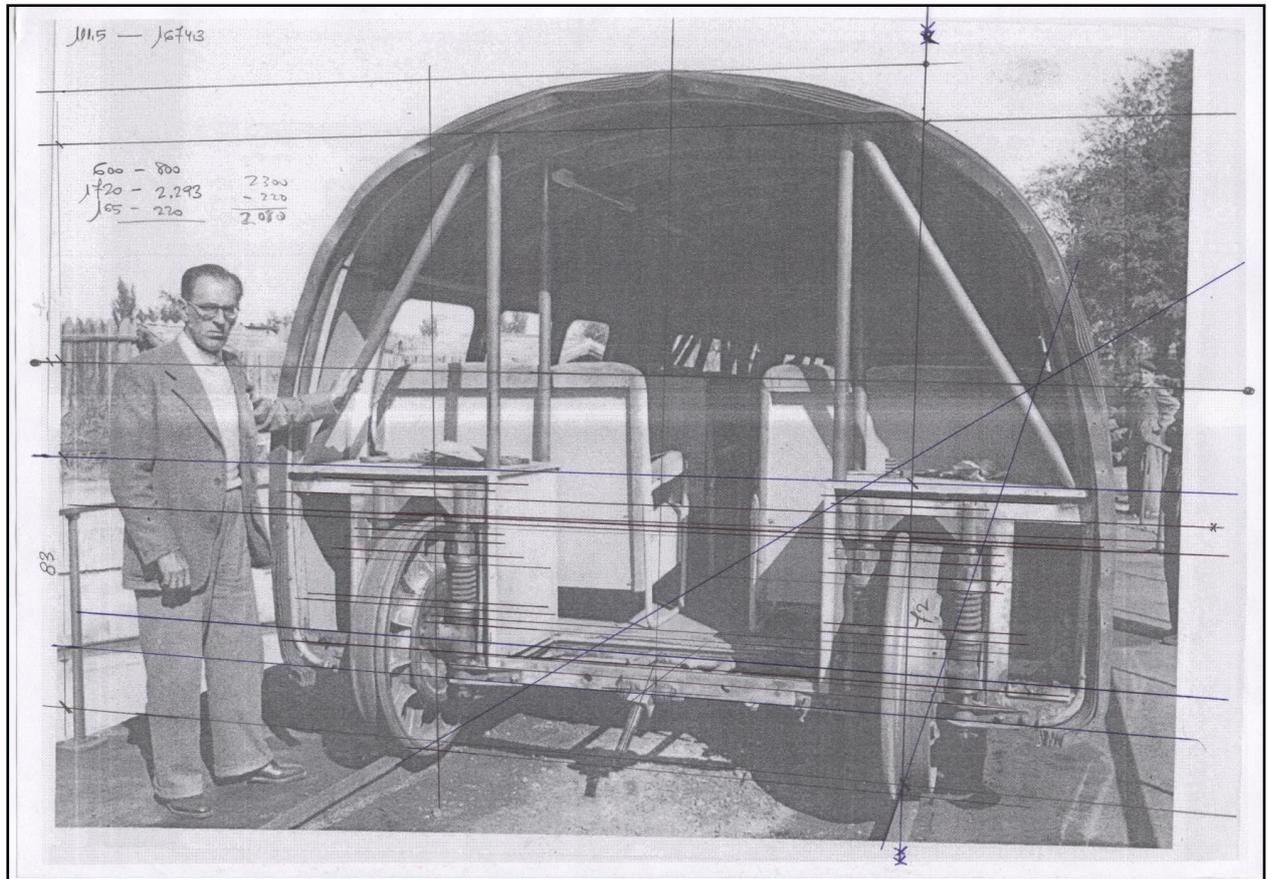


Figura 3.189: Imagen de partida para la obtención de medidas más exactas.

Como se puede observar en la figura anterior, la imagen contiene varias líneas de lado a lado de la fotografía, al cruzar dichas líneas sobre la línea vertical de la derecha hemos ido obteniendo distancias que haciendo posteriormente reglas de tres con el factor escala de la fotografía tomando como referencia el diámetro de 800 mm de la rueda, conseguimos medidas más exactas en comparación con las obtenidas a partir de los planos de Maquetren.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.5. Diseño de la estructura tubular autoportante

Una vez obtuvimos todas las medidas que nos fueron necesarias, empezamos a modelar las diferentes partes que formaban la estructura tubular.

#### 3.4.5.1. Pruebas del modelaje con CATIA V5 R18 (módulo de superficies)

A partir de las características técnicas que íbamos observando en los artículos donde comentaban que la estructura era autoportante y contenía anillos tubulares que formaban las “costillas” de cada vagón, además de las imágenes recopiladas, fuimos modelando a base de pruebas las diferentes estructuras tubulares que veremos descritas a continuación.

Para saber cómo llegar a distribuir los diferentes tubos a lo largo y ancho de la estructura nos basamos en las medidas aproximadas obtenidas a partir de los planos de Maquetren. Escogimos las vistas de perfil de los cuatro vagones que íbamos a modelar posteriormente y a partir de las imágenes donde se puede apreciar alguna estructura tubular, situamos los tubos de la manera que se puede observar en la figura 3.190.

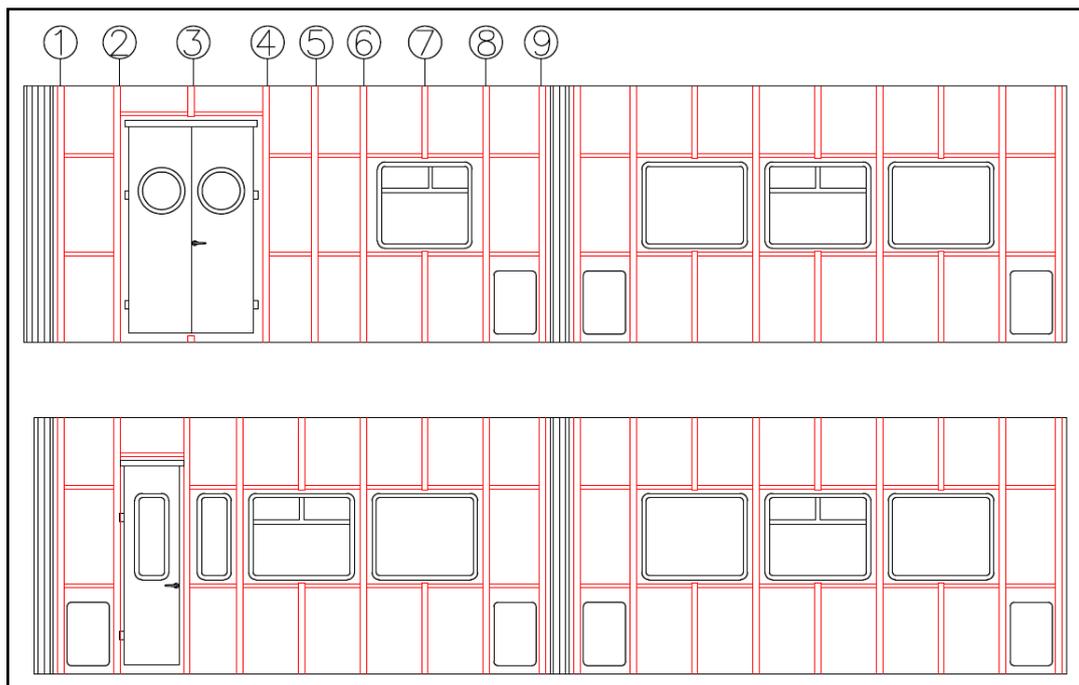


Figura 3.190: Situación y distribución de los tubos.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el criterio que hemos seguido para la distribución de los “anillos” que vemos numerados desde el número 1 al 9 (color rojo) ha sido situarlos junto a las ventanas y puertas, además de los tubos que van por encima y debajo de las ventanas.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.5.1.1. 1ª PRUEBA DE ESTRUCTURA TUBULAR (ANILLOS + ENTRAMADOS)

En la figura 3.191 podemos apreciar como ideamos y modelamos en un primer momento la estructura tubular sin tener en cuenta las verdaderas formas de los anillos en este caso.

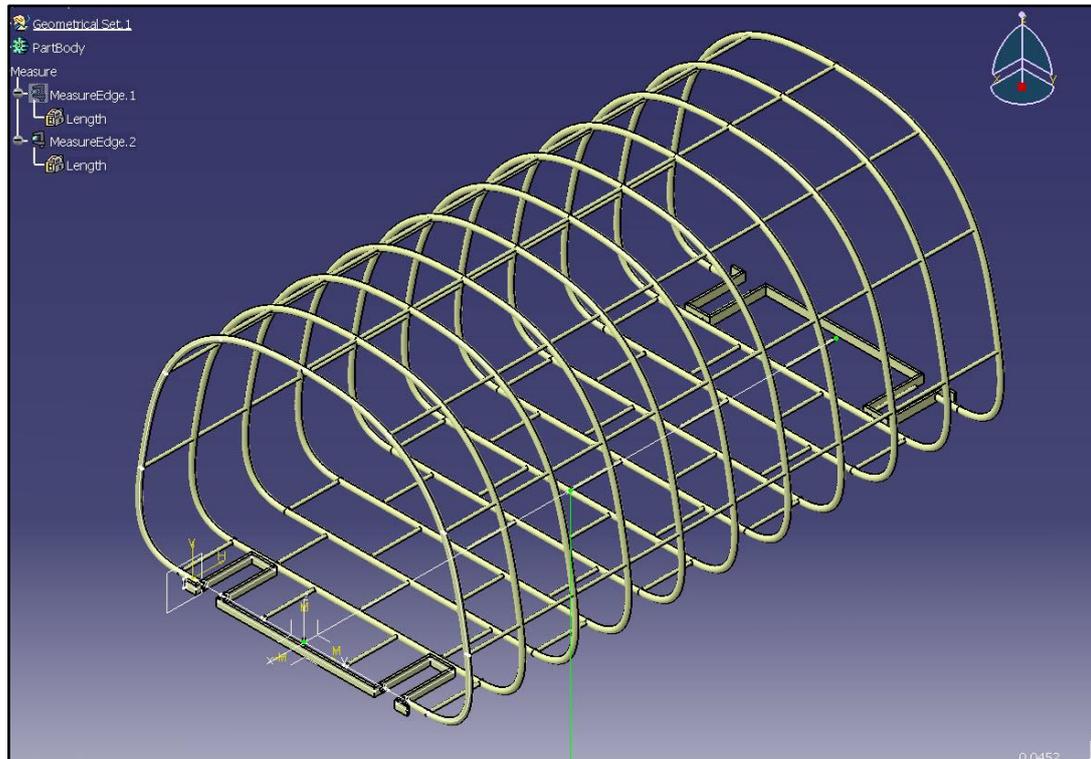


Figura 3.191: 1ª prueba de modelaje de la estructura.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la estructura estaba modelada con el módulo de superficies (Wireframe and surface design), por eso vemos el tono amarillento de los tubos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.5.1.2. 2ª PRUEBA DE ESTRUCTURA TUBULAR (ANILLOS + ENTRAMADOS)

Una vez modelada la estructura anterior, reflexionamos sobre las estructuras modeladas y encontramos posibles errores que serían dificultosos a la hora de construir realmente la estructura tubular. Una de estas complicaciones la encontramos en los tubos de los laterales y los de la parte superior, ya que al ser tubos tan largos como todo el vagón y tener que ir introducidos en los agujeros hechos en cada anillo de la estructura, conseguir pasarlos a lo largo de los diferentes anillos sería tarea casi imposible por así decir.

Vistas las dificultades decidimos crear un entramado de tubos en la parte superior y en los laterales modificar los tubos largos que iban por encima y por debajo de las ventanas, por tubos de más corta longitud.

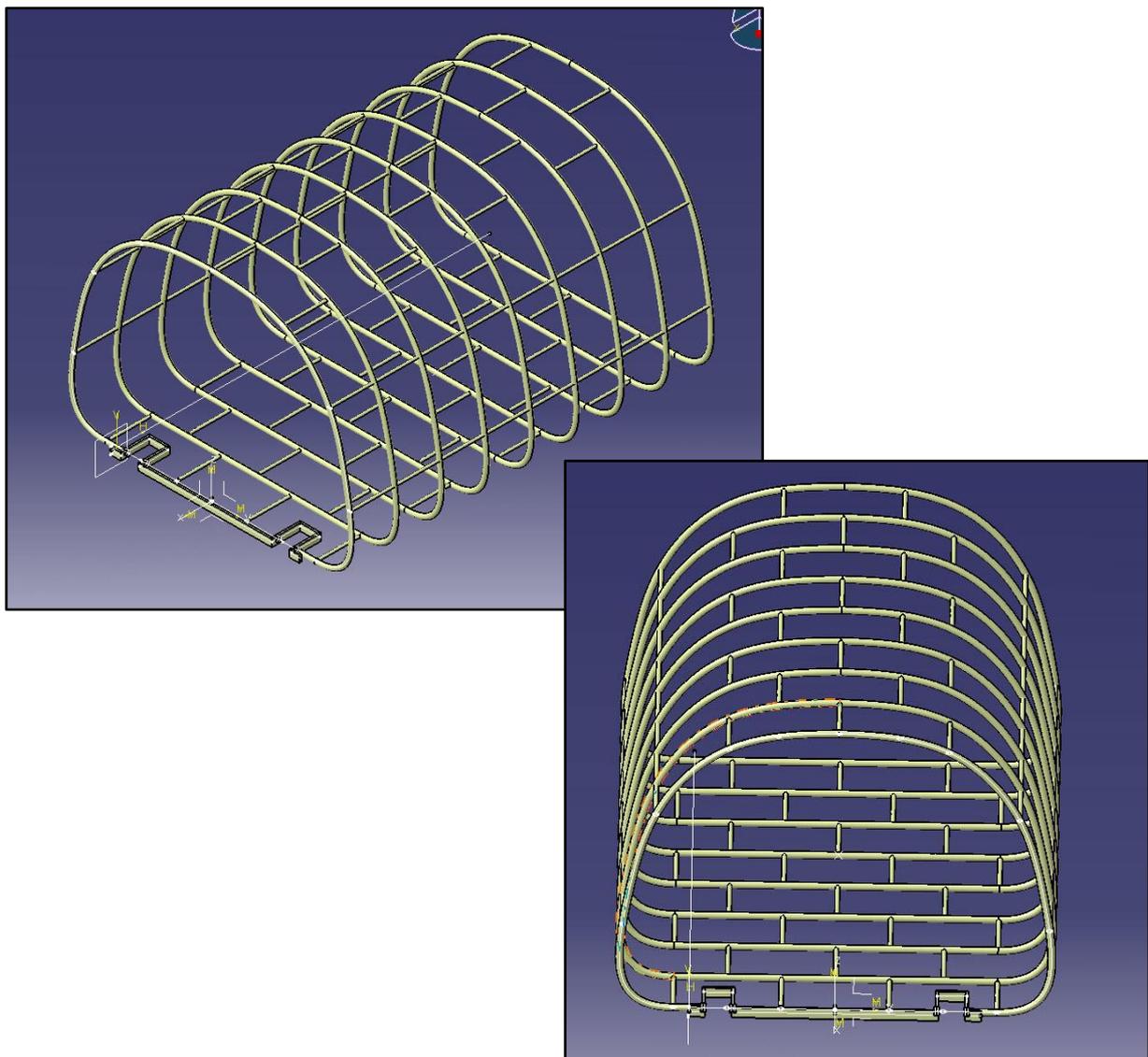


Figura 3.192: 2ª prueba de modelaje de la estructura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Otro de los problemas que encontramos en la nueva estructura tubular hacía referencia a los entramados, tanto el inferior como el superior, ya que al ser tubos tan cortos y que ocupaban el espacio de tan solo dos anillos cada uno, la estructura no resistiría los esfuerzos y flectaría demasiado.

En base a los conocimientos adquiridos en tipos de estructuras, decidimos cambiar la longitud de dichos tubos por otra que tuviera la distancia de tres anillos, ya que intercalando sus posiciones, unos tubos respaldarían a otros y en conjunto la estructura sería más resistente.

### 3.4.5.1.3. DISEÑO DE LOS TUBOS QUE FORMAN EL HABITÁCULO

Una vez tuvimos claro el tipo de estructura y como estaría configurada, procedimos a modelar el conjunto de tubos que estaban situados en la parte delantera y trasera de cada vagón en función de las imágenes que habíamos seleccionado como por ejemplo la que podemos observar en la figura 3.193, donde aparece parte del conjunto de tubos mencionados.

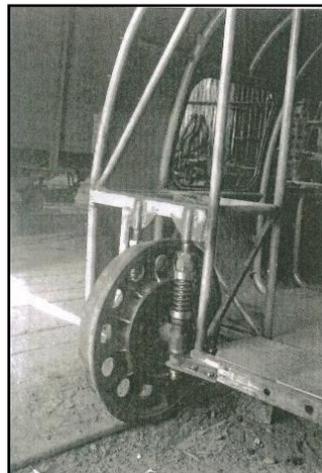


Figura 3.193: Conjunto de tubos situado en los extremos de cada vagón.

En base a la imagen anterior y a las medidas ya definidas, procedimos a modelar dicho conjunto de tubos (figura 3.194) que haría la función de habitáculo para el sistema de rodadura.

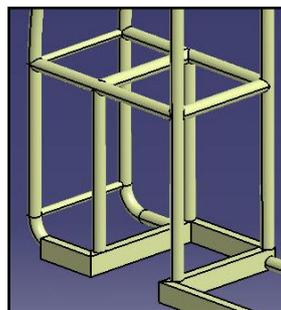


Figura 3.194: Conjunto de tubos que formaba el habitáculo para el sistema de rodadura.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.5.2. Estructura modelada con espesores

Posteriormente a la obtención de las características geométricas finales, a base de ir modelando estructuras en el módulo de superficies y todo seguido mejorándolas, procedimos a buscar perfiles normalizados de los tubos. Para los perfiles escogimos los que tuvieran menor espesor por los siguientes motivos:

- Construir una estructura con un perfil con gran espesor sería más caro.
- Para trabajar con tubos a los que después tienes que doblar y manipular, es más fácil con pequeños espesores.
- Una vez hemos hecho los ensayos de elementos finitos, si observamos que la estructura podía soportar el peso aplicado y no se deformaba demasiado eso quería decir que cualquier espesor mayor al elegido sería correcto para la estructura, así que partimos del espesor mínimo para modelar las estructuras autoportantes.

En el caso en el que los cálculos nos dieran resultados erróneos, se tendría que pensar en varias soluciones, como por ejemplo:

- Modificar el espesor.
- Cambiar el material en función de su resistencia mecánica.
- Cambiar el perfil tubular.
- Modificar la estructura tubular, ya sea cambiando los tubos de situación, aplicando tirantes o demás.

Hay que tener en cuenta que para el modelaje en tres dimensiones no se han usado cordones de soldadura entre las diferentes uniones de los tubos, debido a que no disponíamos de un ordenador con suficiente potencia para soportarlo, y haber utilizado dichos cordones de soldadura nos hubiera hecho ralentizar todo el proyecto de manera considerable.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.5.2.1. MODELAJE CON TUBOS DE PERFIL NORMALIZADO

Para empezar a modelar partimos con una sola estructura que tomamos como referencia para hacer las demás una vez finalizada esta, dicha estructura es la del elemento buffet (figura 3.195). Escogimos esta como estructura base debido a que entre los cuatro vagones que teníamos que modelar existía otro vagón con idéntica estructura tubular, en este caso el vagón de doce plazas trasero. A partir de la estructura de referencia obtuvimos las otras dos, elemento de equipajes y elemento de 12 plazas delantero.

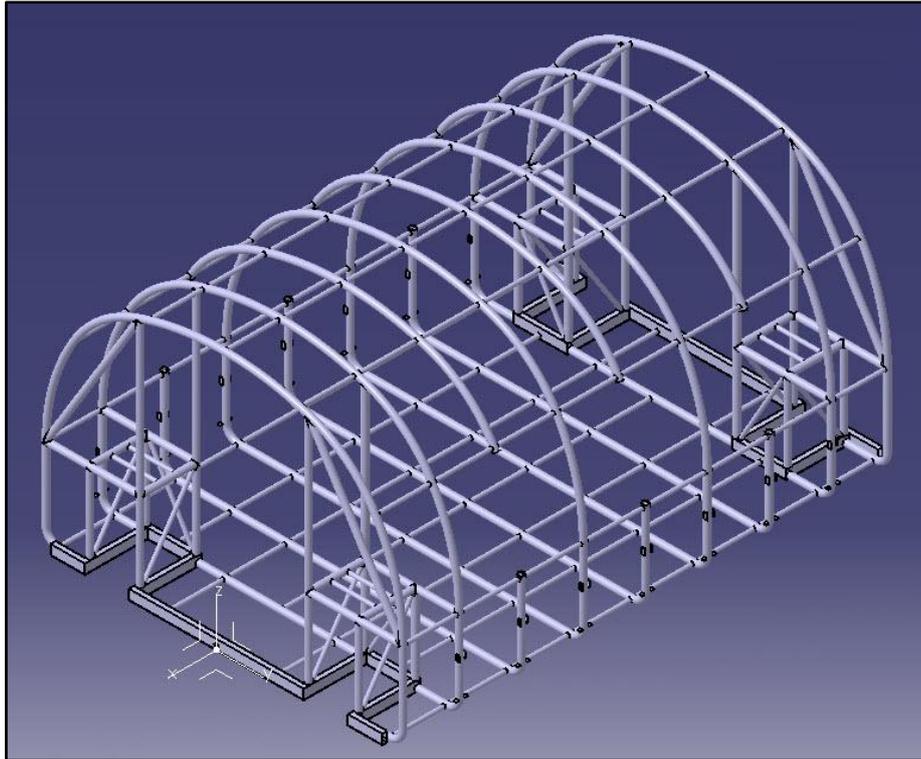


Figura 3.195: Estructura tubular elemento buffet.

Una vez tuvimos modelada la estructura tubular que observamos en la imagen anterior, procedimos a modelar las otras restantes. Ya que para las estructuras llegamos a la conclusión que todas contenían el mismo número de “anillos” y tubos que forman el entramado, el proceso de modelaje constaba en desplazar los anillos dependiendo si entre ellos se encontraba alguna puerta, ventana más pequeña o si entre ellos no había nada.

Ya modeladas las estructuras restantes, el paso final fue modificar los “anillos” que quedaban en el lugar donde iba una puerta o ventana nueva, ya que debía ser cortado parte del tubo para poder albergar dichas salidas al exterior.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.6. Diseño del amortiguador

Una vez tuvimos diseñadas todas las estructuras y mediante las imágenes donde aparecía la sección de los vagones, procedimos a obtener las dimensiones de la suspensión mediante la técnica de la perspectiva cónica. Primero diseñamos el amortiguador con el AutoCAD en dos dimensiones y a continuación corregimos algunas medidas para que quedaran más exactas. El siguiente paso fue modelarlo en tres dimensiones con el CATIA.

A continuación podemos ver tres imágenes que describirían los pasos seguidos para conseguir la creación del amortiguador.

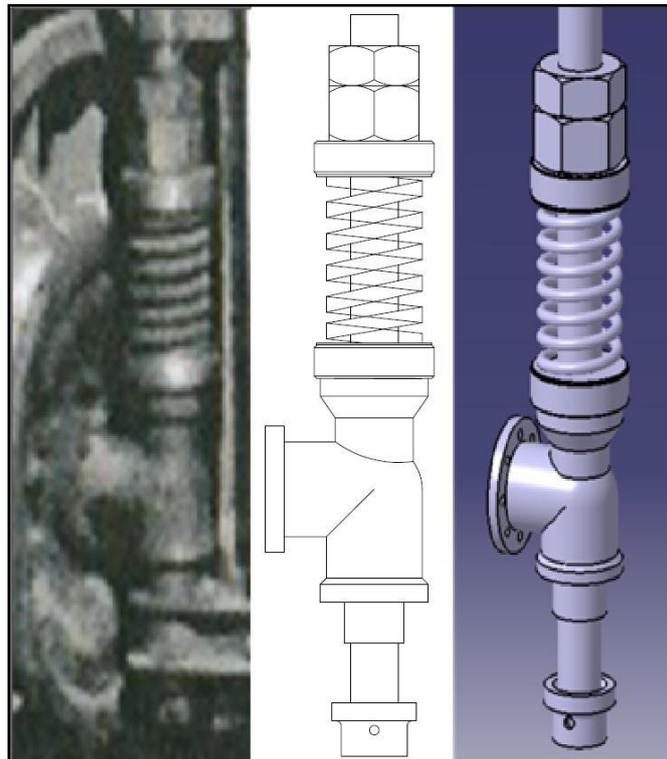


Figura 3.196: Pasos seguidos para modelar el amortiguador.

Como cada vagón constaba de cuatro amortiguadores, tan solo nos hizo falta diseñar uno.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.7. Diseño del soporte superior para el amortiguador

Igual que en todos los pasos anteriores, nos hemos basado en las imágenes para poder modelar cada pieza, y para el soporte del amortiguador hemos seguido los mismos pasos.

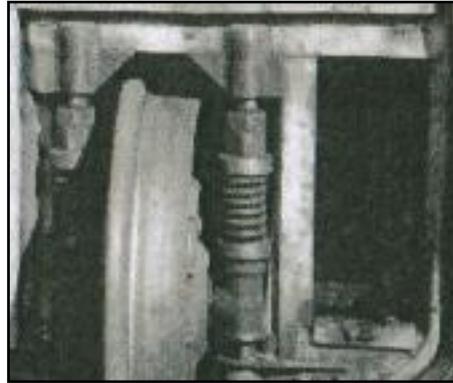


Figura 3.197: Imagen del soporte construido del amortiguador.

Aparte de la imagen, hemos utilizado las medidas necesarias obtenidas para saber cómo quedaban situados los amortiguadores respecto de la rueda y sabiendo que la distancia entre pestañas de la rueda hacía 1674 mm, hemos determinado las medidas finales del soporte que podemos ver modelado en la figura 3.198.

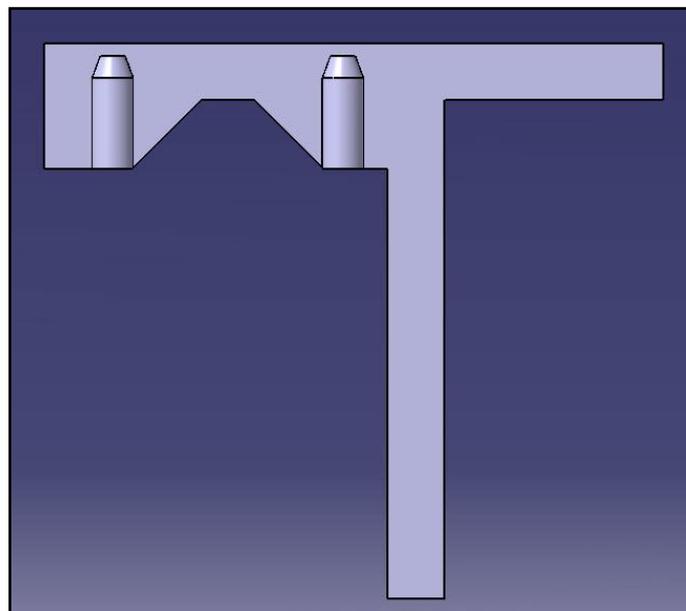


Figura 3.198: Soporte del amortiguador modelado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.8. Diseño del soporte inferior para el amortiguador

En base a las imágenes, vimos que para fijar cada amortiguador, hacía falta un conjunto de piezas unidas a una pletina doblada formando una escuadra y está a la vez unida a la estructura tubular.



Figura 3.199: Imagen del soporte inferior real.

A partir de hacer varias pruebas de modelaje y ver cuál era la más eficiente y correcta, llegamos al modelo final, el cual se puede observar en la figura 3.200.

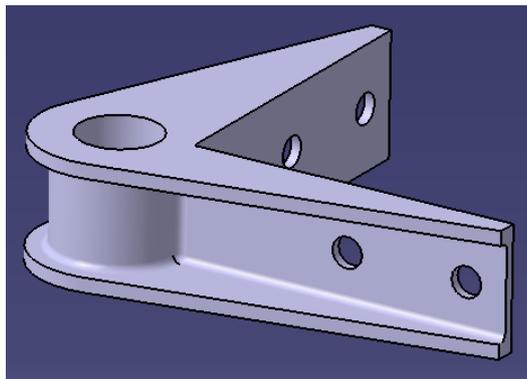


Figura 3.200: Soporte inferior de la suspensión modelado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.9. Diseño de la rueda y eje

A partir de imágenes deducimos las partes de las cuales constaba cada rueda, espesores, altura y anchura, mediante la perspectiva cónica como podemos apreciar en la figura 3.201, donde aparecen los pasos seguidos para conseguir dichos datos geométricos y la rueda modelada en tres dimensiones.



Figura 3.201: Método de obtención de las medidas de la rueda.

Para que la rueda pudiera funcionar correctamente, necesitaba un eje que pasara por su centro al mismo tiempo que estuviera fijado a cada uno de los amortiguadores que tenía a lado y lado.

Ya que no existe imagen donde aparezca dicho eje, decidimos crearlo en base a las medidas obtenidas de la rueda, el resultado se puede apreciar en la figura 3.202.

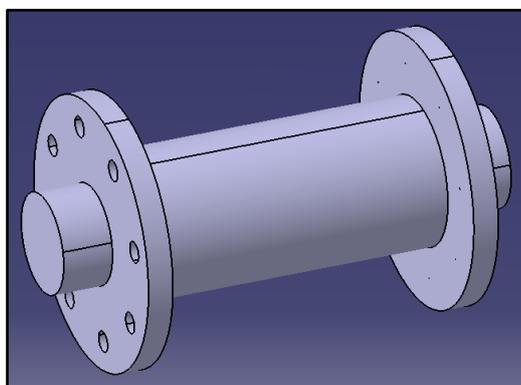


Figura 3.202: Eje de la rueda modelado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.10. Diseño de la pieza de unión entre vagones

Partiendo de las mismas imágenes que las anteriores donde aparece la sección del vagones (figura 3.203), pudimos observar que la parte trasera de cada vagón contenía un conjunto de piezas que servía para unir, mediante un eje roscado, vagón con vagón.

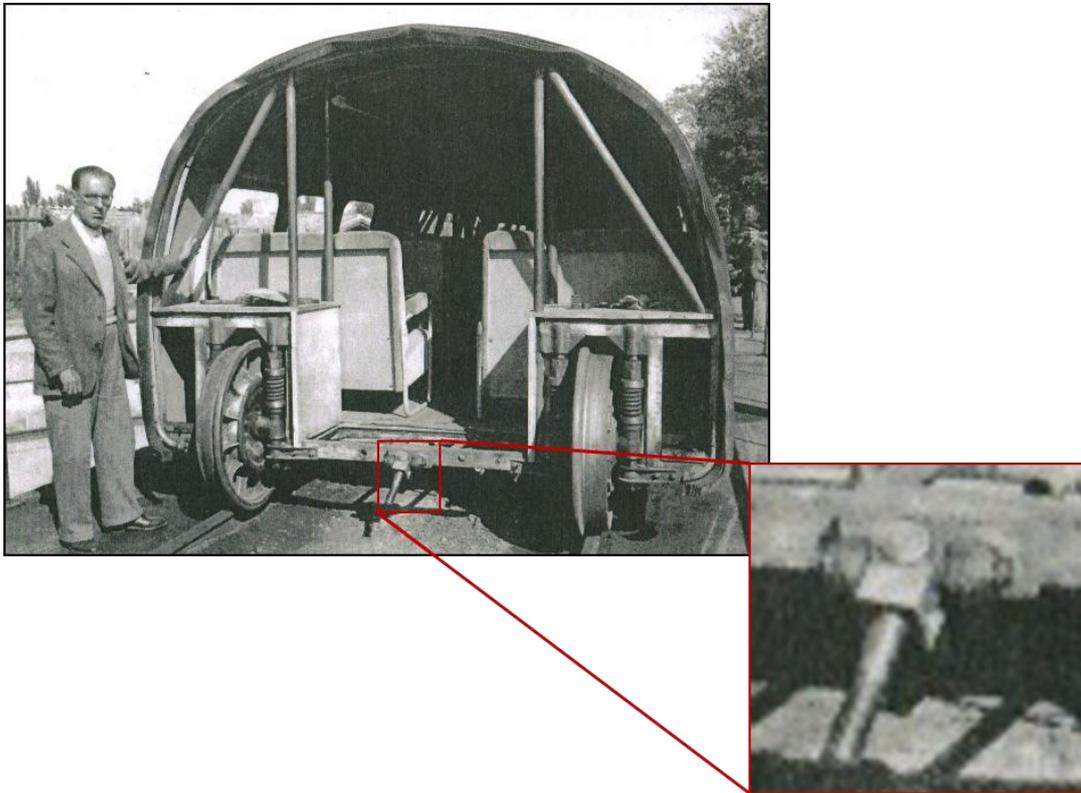


Figura 3.203: Conjunto de unión entre vagones.

Posteriormente tras meditar sobre las piezas, sobre que movimientos debían permitir entre cada vagón, llegamos a la conclusión de que dicho conjunto debía tener dos grados de libertad, es decir, que permitiera el giro tanto vertical como horizontalmente, ya que si el tren aparte de encontrarse en curva circulaba por un camino con desnivel, cosa que en aquella época era bastante probable debido al mal estado de las vías, tenía que poder atravesarlo sin problemas.

Al tener en cuenta los giros que debía permitir el elemento de unión, obtuvimos las piezas que forman el conjunto que podemos observar en la figura 3.204.

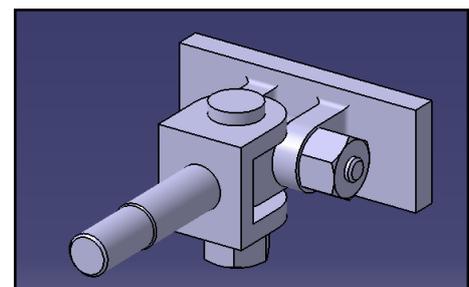


Figura 3.204: Conjunto de unión entre vagones modelado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Una vez montado, probamos de manipular las piezas como si entre los vagones hubiera tanto giro vertical como horizontal y observamos que no había ningún tipo de problema entre las distintas piezas ya que no se podían solapar. En la figura 3.205 podemos ver como el eje roscado está orientado hacia abajo y a la derecha, en el caso que, en dos de los vagones, uno se encontrara más elevado que otro y encarando una curva de derechas.

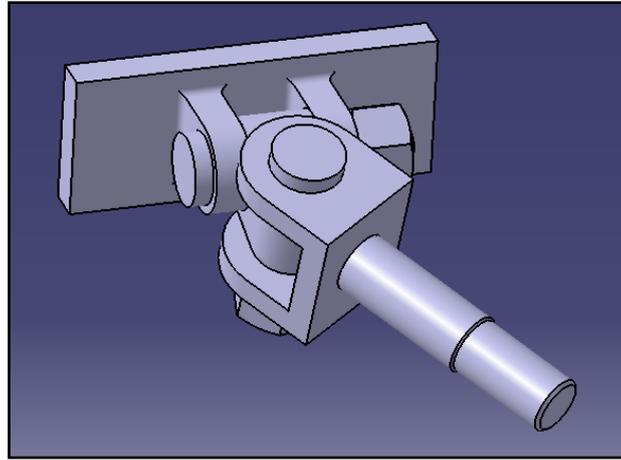


Figura 3.205: Conjunto de unión entre vagones manipulado.

### 3.4.11. Diseño de las chapas y el suelo

En base a las medidas obtenidas al modelar la estructura tubular y con la poca información que aparece en los artículos que hablan sobre Talgo I procedimos a modelar las chapas que cubrirían dicha estructura tubular tanto interior como exteriormente, además del suelo.

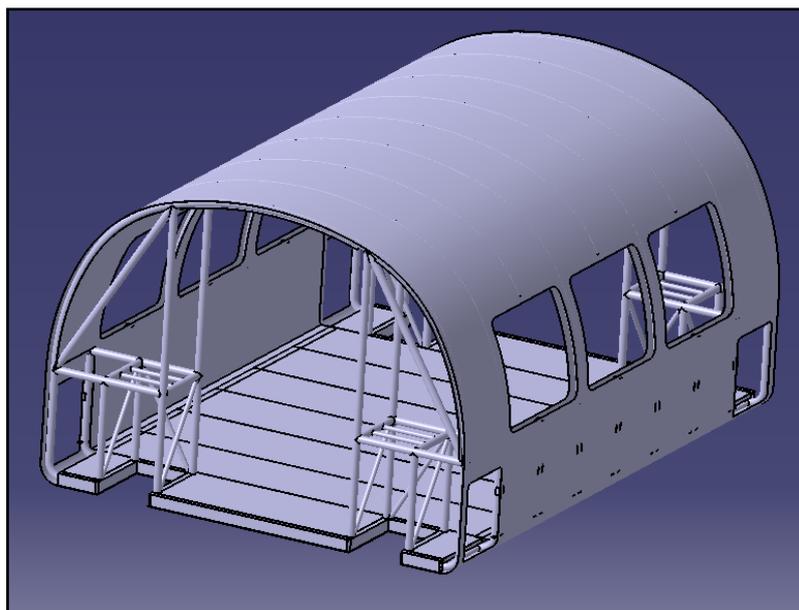


Figura 3.206: Chapas interiores, exteriores y suelo modelados.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.12. Diseño de los asientos y mesas

Para que nuestro diseño tuviera una mejor imagen de semejanza al Talgo I original, modelamos el mobiliario interior con geometrías obtenidas a partir de las imágenes donde se pueden apreciar los escasos detalles de dicho mobiliario.

#### - Asiento del elemento buffet

El vagón buffet estaba compuesto por cuatro asientos dobles como el que aparece en la figura 3.207.



Figura 3.207: Asiento del elemento buffet modelado.

#### - Asiento del elemento de 12 plazas delantero y trasero

Cada vagón de 12 plazas estaba compuesto por seis asientos dobles como el de la figura 3.208.



Figura 3.208: Asiento del elemento de 12 plazas delantero y trasero.

### - Mesa del elemento buffet

El vagón buffet estaba compuesto por dos mesas como la que aparece en la figura 3.209.



Figura 3.209: Mesa del elemento buffet.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 3.4.13. Ensamblaje de todas las partes de cada vagón por separado

Ya obtenidas todas las piezas modeladas hemos procedido a ensamblar todos y cada uno de los componentes que forman cada vagón obteniendo el siguiente resultado.

#### 3.4.13.1. Vagón equipajes



Figura 3.210: Ensamblaje de los componentes del vagón equipajes.

3.4.13.2. *Vagón Buffet*



Figura 3.211: Ensamblaje de los componentes del vagón buffet.

3.4.13.3. *Vagón de 12 plazas delantero*



Figura 3.212: Ensamblaje de los componentes del vagón de 12 plazas delantero.

3.4.13.4. *Vagón de 12 plazas trasero*



Figura 3.213: Ensamblaje de los componentes del vagón de 12 plazas trasero.

3.4.13.5. *Ensamblaje de los cuatro vagones modelados*

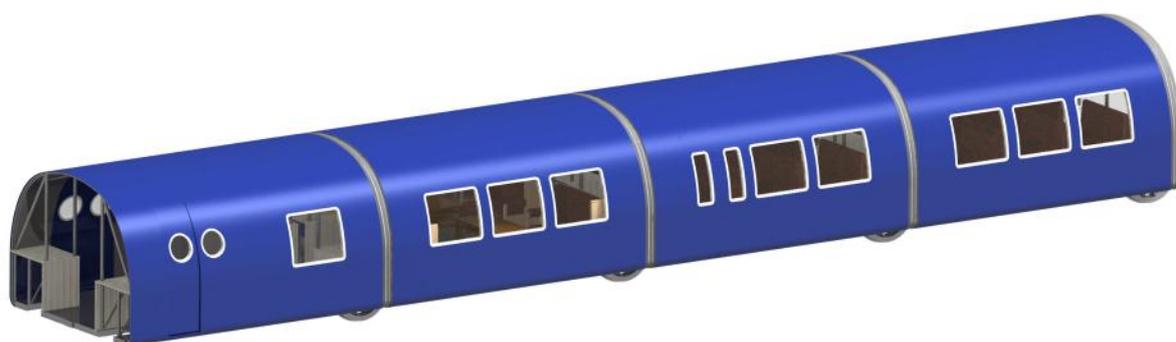


Figura 3.214: Ensamblaje de los cuatro vagones modelados.

## 4. Cálculos

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.1. Cálculos justificativos

Antes de empezar a calcular con el módulo de simulación de elementos finitos (FEM) de CATIA, comprobaremos mediante un cálculo sencillo si los datos obtenidos en dicho modulo son de fiar para hacer el resto de cálculos pertinentes a la estructura tubular.

El cálculo que usaremos para la comprobación, relaciona tensiones y deformaciones con tal de obtener un incremento de longitud experimental, el cual comprobaremos que no dista del valor obtenido al calcular los mismos valores mediante CATIA.

#### 4.1.1. Cálculo analítico

La parte del tren seleccionada para llevar a cabo dichas comprobaciones es el eje roscado del conjunto de unión entre vagones (figura 4.1). El eje está sometido a tracción ya que es el encargado de transmitir el esfuerzo de la locomotora al desplazarse a cada uno de los vagones. A partir de una de las tablas de los artículos recopilados sobre el Talgo I, observamos que el tractor era capaz de transmitir un esfuerzo de tracción de 3.000 Kg, que si lo multiplicamos por una gravedad aproximada de  $10 \left( \frac{m}{s^2} \right)$  obtenemos un esfuerzo de 30.000 N aplicados sobre el eje roscado.

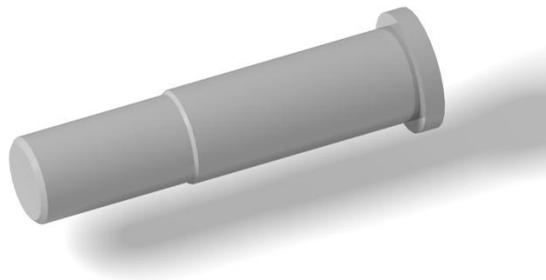


Figura 4.1: Eje roscado.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Para simplificar los cálculos, hemos seleccionado uno de los tramos del eje, ya que la parte que sufriría mayor deformación sería la zona del centro de la pieza, debido a que dicho eje tiene como bancada la parte que vemos marcada en la figura 4.2.

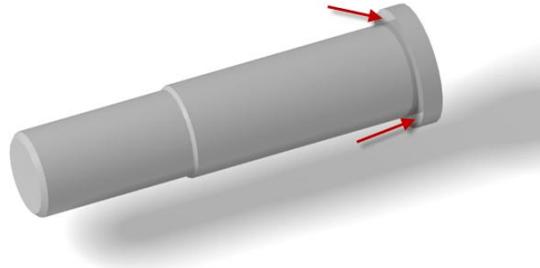


Figura 4.2: Bancada del eje roscado.

Otro de los motivos que nos llevó a calcular solo esa parte simplificada era debido a la arandela que iba roscada casi al máximo de la zona roscada del eje, quedando aplicado el esfuerzo de tracción en el final de sección del tramo central (figura 4.3).

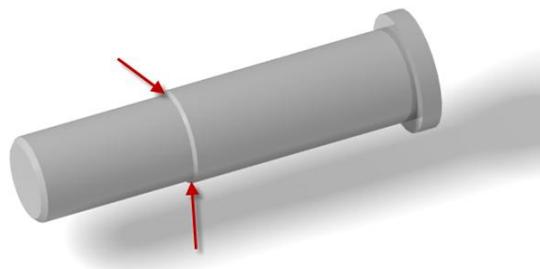


Figura 4.3: Zona del esfuerzo de tracción del eje roscado.

Para el cálculo analítico hemos tenido en cuenta los siguientes valores que se pueden observar a continuación:

Módulo de Young =  $205 \cdot 10^3$  (MPa)

Esfuerzo de tracción = 30.000 (N)

Longitud del cilindro = 94,25 (mm)

Radio del cilindro = 17,5 (mm)



Figura 4.4: Esfuerzo para el cálculo analítico.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Como el material que hemos escogido para la pieza a calcular no estaba entre los básicos en el programa utilizado, buscamos las propiedades del material a usar y obtuvimos los siguientes:

**Material:** AISI 1015

Descripción	Rango de valores		Valor escogido
	De:	A:	
<i>Young's modulus</i>	2,05e+011N_m2	2,15e+011N_m2	2,05e+011N_m2
<i>Poisson's ratio</i>	0,285	0,295	0,285
<i>Density</i>	7800kg_m3	7900kg_m3	7800kg_m3
<i>Coefficient of thermal expansion</i>	1,15e-005_Kdeg	1,3e-005_Kdeg	1,15e-005_Kdeg
<i>Yield strength</i>	3e+008N_m2	3,55e+008N_m2	3e+008N_m2

Tabla 4.1: Propiedades del material utilizado.

Del rango de valores obtenido hemos escogido los más bajos ya que si nos encontráramos en el peor de los casos, el material escogido con sus respectivas propiedades debería soportar los esfuerzos.

Además en la época en que se construyó no se podía practicar muchos ensayos para comprobar la validez, entonces los materiales suponemos que no debían estar en muy buenas condiciones.

Para los cálculos que veremos a continuación donde aparecen fuerzas, hemos tomado como gravedad  $10 \left(\frac{m}{s^2}\right)$  ya que hemos aproximado el  $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$  para ahorrar decimales y poder ir más rápido calculando. Además al coger un valor mayor del apropiado, el resultado que obtendremos será de mayor seguridad ya que si la estructura resiste con dicho valor, no hace falta mirar valores más pequeños como sería el  $9,81 \frac{m}{s^2}$ .

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación podemos ver en la tabla 4.2 la relación de fórmulas utilizadas con el fin de averiguar el desplazamiento.

<u>Descripción</u>	<u>Fórmula</u>	<u>Unidades</u>
Tensión mecánica	$\sigma = \frac{F}{A}$	MPa
	$\sigma = E \cdot \varepsilon$	
Deformación	$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{A \cdot E}$	Adimensional
	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$	
Área	$A = \pi \cdot r^2$	mm <sup>2</sup>
Incremento de longitud	$\Delta L = \frac{F \cdot L}{A \cdot E}$	mm

Tabla 4.2: Relación de fórmulas utilizadas.

En las fórmulas anteriores se puede observar que intervienen otras fórmulas más y a continuación las vemos descritas junto a las anteriores.

$F$ : Fuerza (N)

$L$ : Longitud (mm)

$\Delta L$ : Incremento de longitud (mm)

$E$ : Módulo de Young (MPa)

$\pi$ : Número pi

$r$ : Radio (mm)

A partir de la última fórmula descrita y con los valores mostrados procedemos a hacer el cálculo analítico:

$$A = 3,1416 \cdot 17,5^2 = 962,1127 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\Delta L = \frac{30.000(N) \cdot 94,25(mm)}{962,1127 \text{ mm}^2 \cdot 205 \cdot 10^3 \left(\frac{N}{\text{mm}^2}\right)} = 0,0143358 \text{ (mm)}$$

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.1.2. Simulación CATIA V5R18

Seleccionada la parte del eje roscado del conjunto de unión entre vagones, procedimos a calcular, mediante el módulo de simulación de elementos finitos, el desplazamiento que podría llegar a sufrir la pieza si le aplicáramos un esfuerzo de tracción de 30.000 N en uno de los extremos tal como se puede observar en la imagen siguiente:

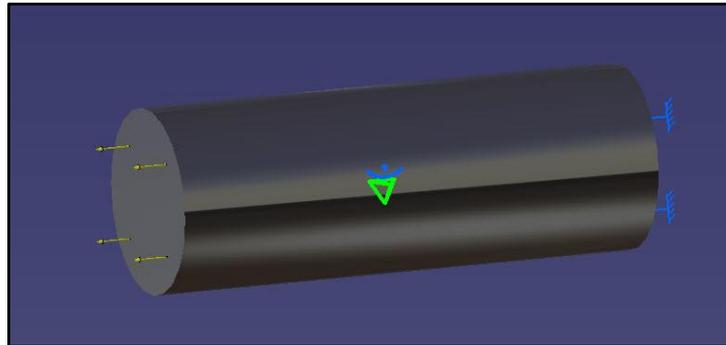


Figura 4.5: Fuerzas aplicadas en uno de los extremos del cilindro a comprobar.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el extremo opuesto del cilindro lo hemos considerado como bancada ya que sería la parte de dicho cilindro que estaría en contacto con la siguiente pieza del conjunto de unión entre vagones.

Una vez definidas las zonas donde aplicar las fuerzas y las zonas consideradas como bancada, el siguiente paso fue calcular para obtener los valores de desplazamiento de los nodos (figura 4.6).

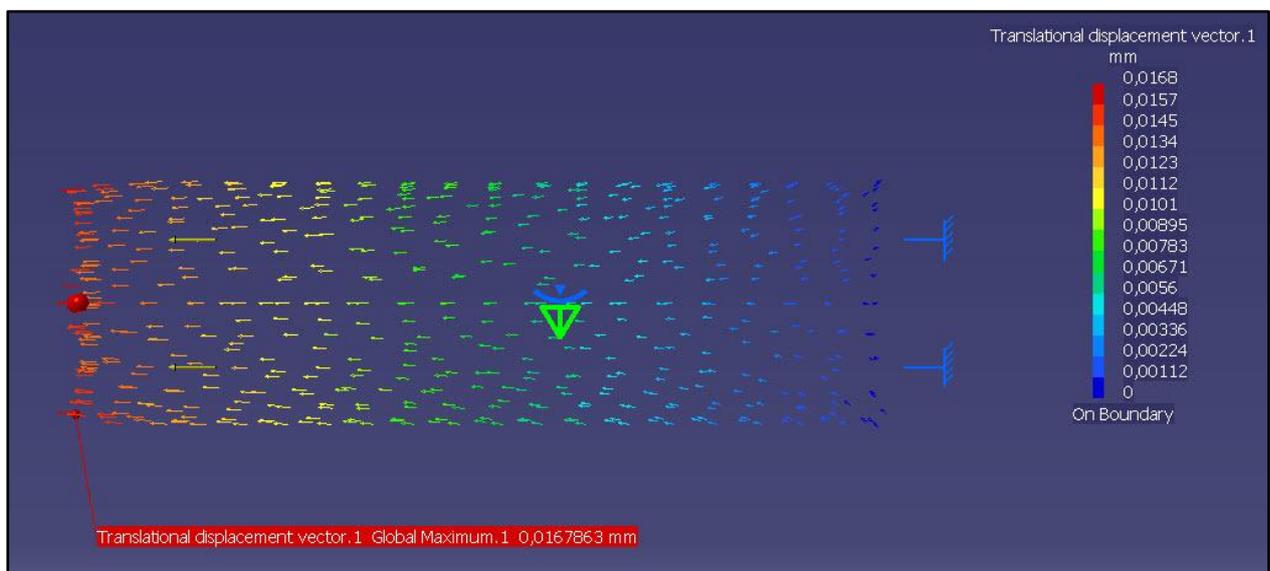


Figura 4.6: Desplazamiento de los nodos del cilindro aplicados 30.000 N a tracción.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Comparando los resultados tanto experimentales como teóricos, observamos que hay una pequeña desviación:

Cálculo experimental	Cálculo teórico
Valor de desplazamiento: 0,0143358	Valor de desplazamiento: 0,0167863 mm

Tabla 4.3: Comparación de los datos obtenidos.

Esta desviación se debe a la aplicación de las fuerzas en la sección del extremo del cilindro y la explicación de tal desviación se puede relacionar con el principio de Saint-Venant:

*"A cierta distancia de la sección donde actúa un sistema de fuerzas, la distribución de tensiones es prácticamente independiente de la distribución del sistema de fuerzas, siempre que su resultante y momento resultante sean iguales".*

Este principio permite el que podamos calcular las tensiones en fibras y estudiar las secciones en barras, en base a los diagramas de sollicitaciones (axiles, cortantes, flectores y torsores).

El procedimiento para obtener tales diagramas se basa en el concepto de reducción de un sistema de vectores en un punto desarrollado en la teoría de vectores y que puede verse en cualquier texto de Mecánica general.

Básicamente, el principio dice que las cargas concentradas o discontinuidades geométricas causan sólo tensiones y deformaciones en las zonas próximas a la carga o discontinuidad, es por este motivo que al tener la carga aplicada concentrada en uno de los extremos, las deformaciones obtenidas en el cálculo experimental son las referentes a las deformaciones en la zona próxima a la colocación de las fuerzas.

Como se puede observar en la figura 4.7, en el cálculo mediante elementos finitos, en la zona próxima a la situación de las cargas existe el punto obtenido mediante el cálculo analítico ( $\Delta L=0,0143$ ).

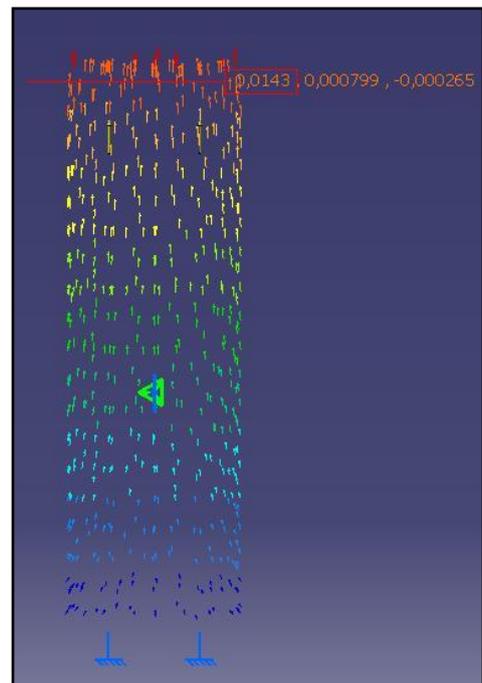


Figura 4.7: Desplazamiento del nodo calculado analíticamente.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2. Cálculos de las estructuras tubulares mediante elementos finitos (FEM)

Para calcular las estructuras, las hemos dividido en grupos y cada grupo lo hemos dividido en subgrupo como vemos a continuación:

#### **Elemento de equipajes**

- Cálculo con el peso del elemento vagón equipajes
- Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

#### **Elemento buffet**

- Cálculo con el peso del elemento vagón buffet
- Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

#### **Elemento de doce plazas delantero**

- Cálculo con el peso del elemento vagón de doce plazas delantero
- Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

#### **Elemento de doce plazas trasero**

- Cálculo con el peso del elemento vagón de doce plazas trasero
- Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Una vez vistos los grupos y subgrupos que usaremos para distribuir los cálculos hechos mediante elementos finitos, procederemos a describir el método usado para cada uno.

### - Cálculos con pesos de los vagones

Para este tipo de cálculo hemos tenido en cuenta la tara de cada vagón, en el caso de los elementos de doce plazas, encontramos en uno de los artículos de la recopilación de documentos sobre el Talgo I y aplicamos dicho peso repartido como fuerza en toda la superficie inferior del vagón.

Debido a que solamente tenemos tubos en la parte inferior, para poder repartir la fuerza que produce dicha tara del vagón, hemos modelado un tipo de chapa que cubriera cada uno de los tubos de la parte inferior de la estructura y posteriormente aplicando la carga repartida podríamos proceder a calcular con elementos finitos.

### - Cálculos añadiendo el peso de los viajeros

Visto ya cómo reaccionaba la estructura al aplicarle las fuerzas repartidas, el siguiente paso es calcular cómo reacciona la estructura al aplicarle las fuerzas anteriores referentes a las taras más las fuerzas producidas por el peso de los viajeros siempre contando el número de pasajeros a la alza, por el simple caso de que por emergencia se encontraran más pasajeros en un vagón de los que éste podría albergar.

En este caso que sumamos pesos de los viajeros dependiendo de los metros cuadrados de superficie libre de cada vagón, hemos supuesto un peso de 100 Kg por persona, ya que con dicho peso estaremos sobre asegurando los resultados obtenidos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2.1. Elemento de equipajes

Para comprobar que la estructura, con las formas geométricas y detalles técnicos que nosotros hemos supuesto, podía soportar los esfuerzos pertinentes al peso del propio vagón y además a la sobrecarga de peso producida por los viajeros, hemos hecho dos tipos de cálculos, uno para cada tipo de los casos.

#### 4.2.1.1. Cálculo con el peso del elemento vagón equipajes

Para el primer cálculo, hemos tenido en cuenta solo el peso del vagón, es decir su tara, la cual hemos supuesto, ya que en ninguna tabla aparecía detallada dicha característica sobre este elemento. Para determinar el peso que debíamos aplicar a la estructura hemos supuesto que era el mismo que para el caso del elemento de doce plazas que tenía un peso por vagón de 1.200 Kg, entonces la fuerza a aplicar era una carga repartida de 12.000 N. Al repartir la carga hemos usado una chapa fina de 1 mm de espesor situada justo encima de la parte inferior de los tubos con forma de “anillo” para que al aplicar la carga en la chapa, ésta la repartiera entre todos los tubos por igual.

Una vez introducida la fuerza repartida de 12.000 N, hemos calculado la estructura y hemos observado que la tensión de Von Mises era la siguiente:

**Tensión de Von Mises:**  $2,878 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 287 \text{ MPa}$ .

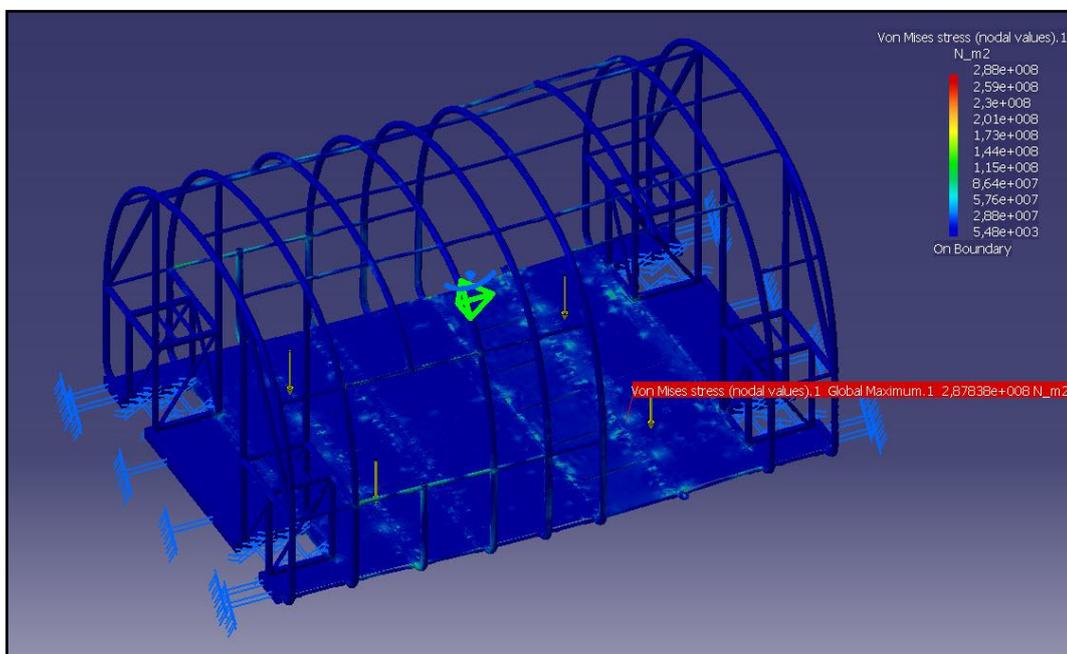


Figura 4.8: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

En la imagen anterior se puede apreciar como la máxima tensión se encuentra en uno de los tubos que forma el entramado. Dicho tubo es el que atraviesa el “anillo” seccionado para albergar las puertas dobles, al estar seccionado tiene menos puntos de sujeción mediante entramados y eso hace que el tubo inferior tienda a aplicar más fuerza sobre el entramado de esa zona.

En la imagen siguiente se puede apreciar cómo se deforma la estructura por su parte inferior volviendo a mostrar la tensión de Von Mises (figura 4.9).

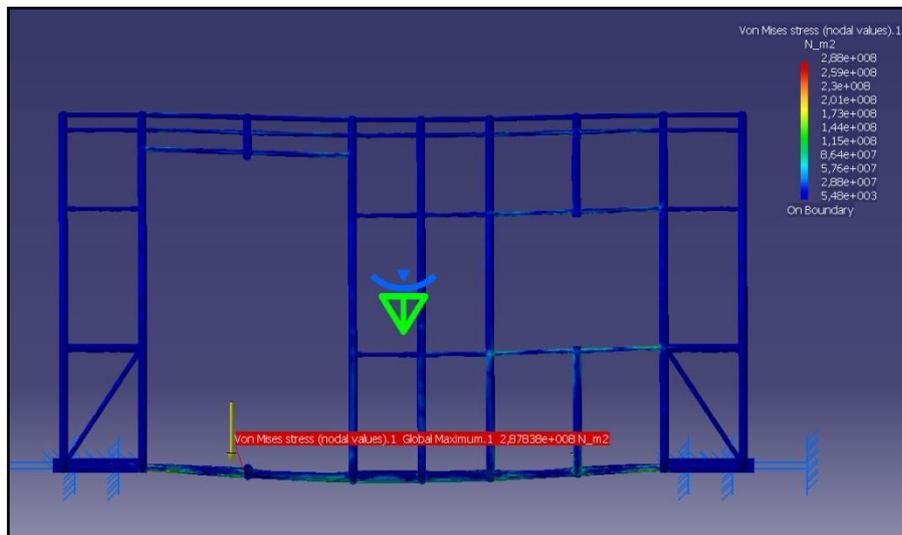


Figura 4.9: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes de perfil con peso del vagón)

Ya calculada la tensión, hemos observado el desplazamiento de los nodos y se puede apreciar en la imagen siguiente (figura 4.10) que el punto que ha variado más su situación, se encuentra en la parte inferior de la estructura y situado en el centro de ésta.

**Desplazamiento traslacional: 11,2 mm.**

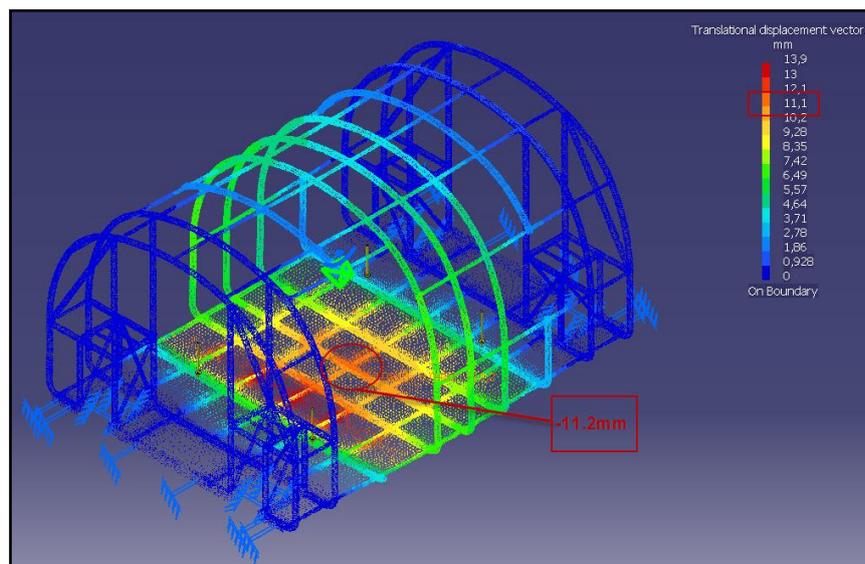


Figura 4.10: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

En la tabla de colores que aparece en la imagen anterior se puede apreciar como hay más desplazamiento aparte del tubo nombrado. Este desplazamiento se debe a que la chapa que hemos usado para repartir la fuerza también flectaría y el programa toma la distancia de su desplazamiento pero nosotros no hemos dado importancia a dicha chapa centrándonos solamente con la estructura tubular.

A continuación podemos observar una imagen de la vista de perfil de la estructura (figura 4.11) donde se puede apreciar mejor el desplazamiento, aunque la escala del desplazamiento esté aumentada para poder mostrar correctamente y sin problemas.

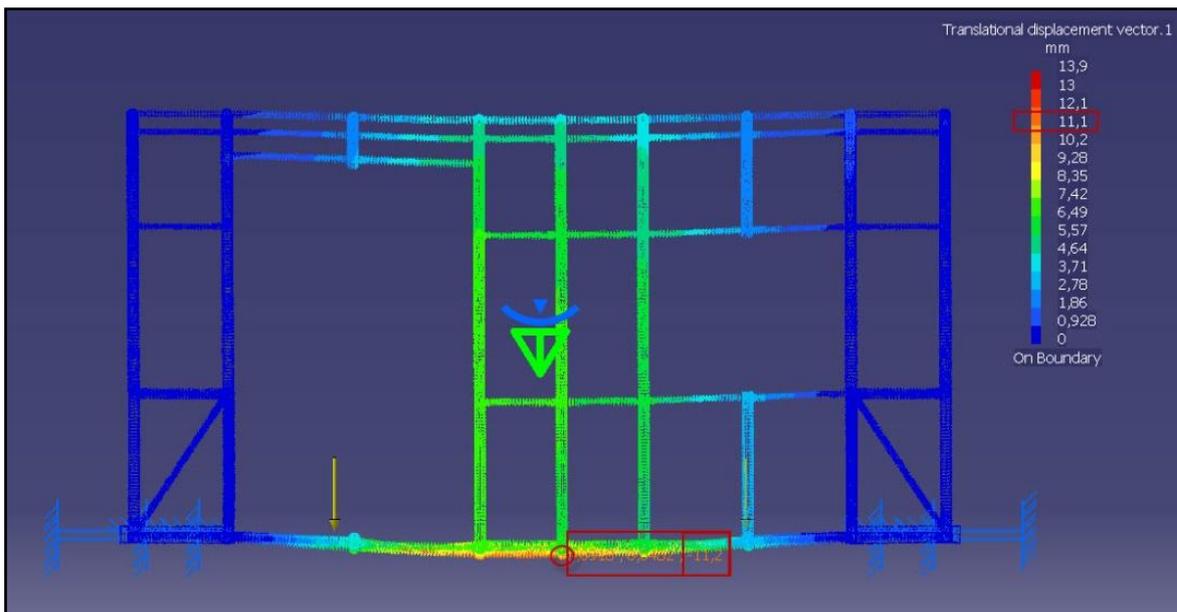


Figura 4.11: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes de perfil).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2.1.2. Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

Una vez hemos calculado la estructura tubular del elemento equipajes con el peso del vagón solamente, el siguiente paso es añadir el peso de los pasajeros. Para elegir dicho peso hemos tenido en cuenta la superficie habitable del vagón y hemos llegado a la conclusión de que lo podían haber habitado quince pasajeros. La fuerza total a repartir sobre la chapa es la suma de  $12.000 \text{ N} + 15.000 \text{ N} = 27.000 \text{ N}$ .

Ya introducida la fuerza sobre la chapa que tenía la función de repartir la carga sobre los distintos anillos, observamos que el punto que soportaba mayor tensión de Von Mises volvía a ser el tubo del entramado que pasaba por el interior del anillo seccionado (figura 4.12).

**Tensión de Von Mises:**  $6,47 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 647 \text{ MPa}$ .

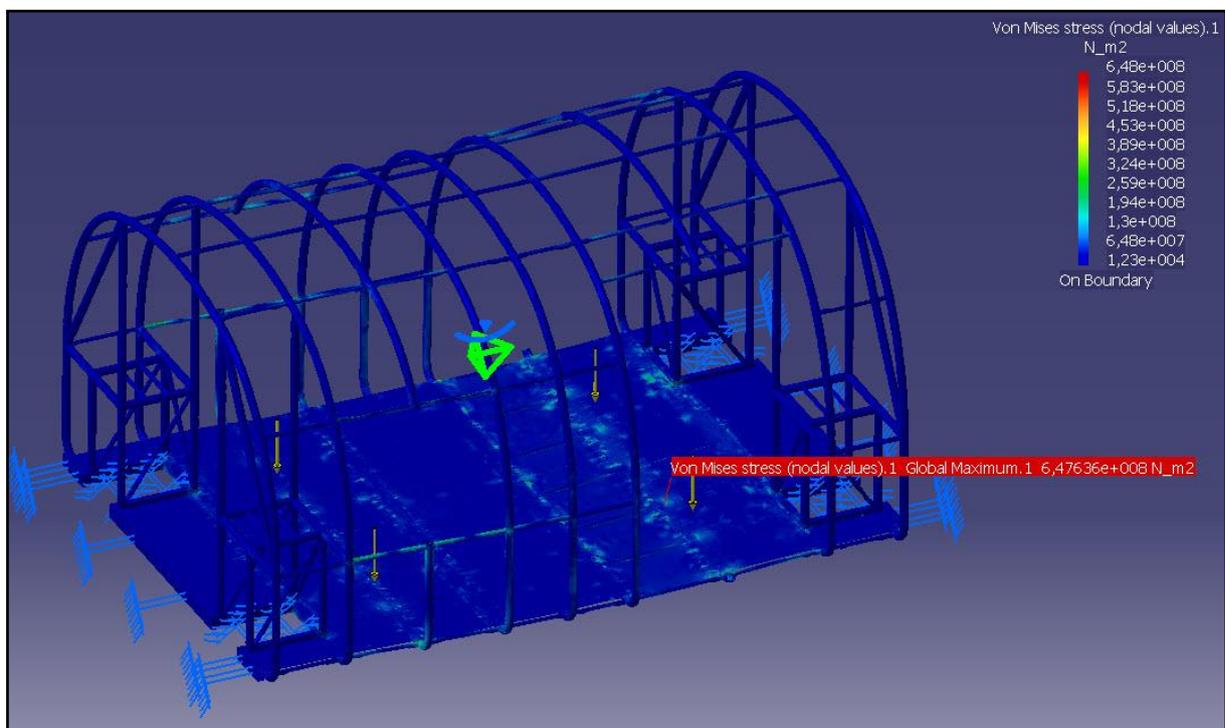


Figura 4.12: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva con peso vagón y viajeros).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación podemos observar la estructura tubular vista de perfil (figura 4.13) donde se puede apreciar como flectaría en el caso de aplicar dicha fuerza.

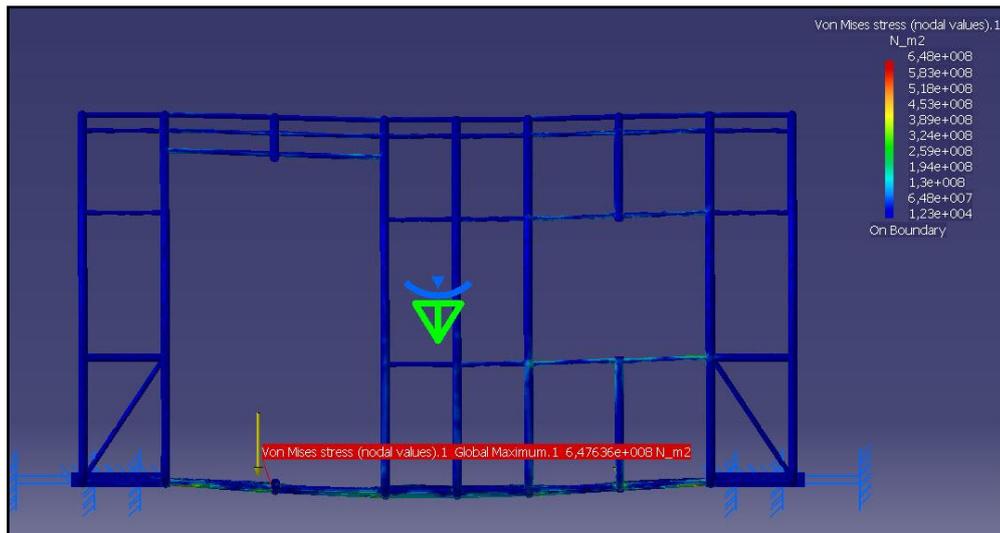


Figura 4.13: Von Mises stress (estructura tubular del elemento equipajes de perfil con peso vagón y viajeros).

Como la tensión de Von Mises supera con creces el límite elástico del material utilizado (AISI 1015; Yield Strength = 300 MPa), no nos podemos fiar de los resultados obtenidos ya que cuando material supera su límite elástico, éste abandona su campo elástico y se introduce en la zona de fluencia.

Por lo tanto la imagen que veremos a continuación no es de fiar, ya que el comportamiento del material una vez superado el límite elástico es indeducible.

**Desplazamiento traslacional: 25 mm.**

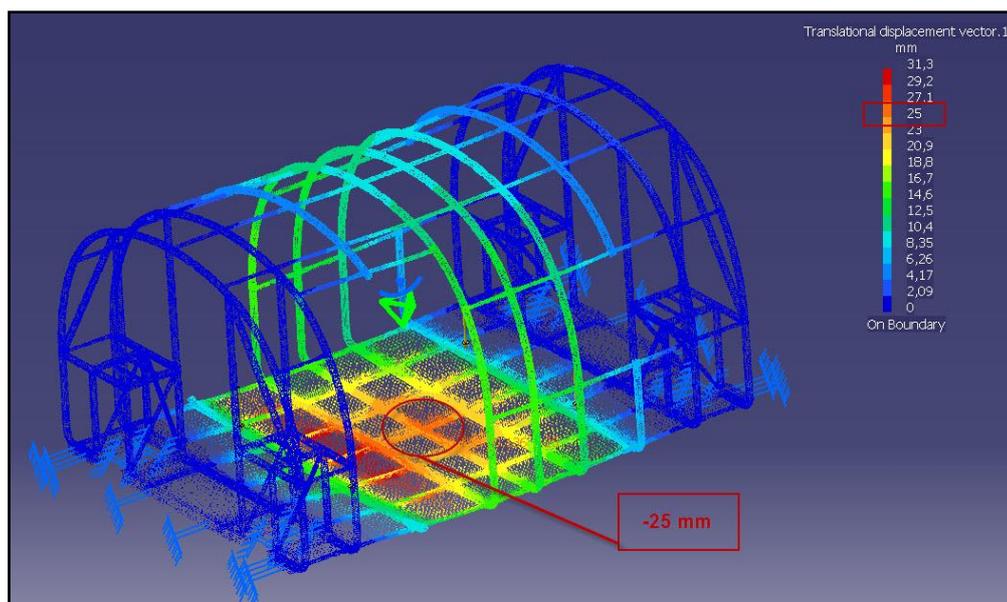


Figura 4.14: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento equipajes en perspectiva).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2.2. Elemento buffet

Debido a que dicho elemento estaba formado por una estructura tubular autoportante idéntica a la del elemento de doce plazas trasero y que dicho elemento podía albergar a más gente, los cálculos para el elemento buffet serán los obtenidos para el caso del elemento de doce plazas.

Hemos escogido utilizar los mismos cálculos ya que al ser la misma estructura y soportar distintos esfuerzos, nos aferramos al resultado de dicho vagón de doce plazas debido a que cualquier resultado obtenido para este vagón será mayor que para el elemento buffet y por lo tanto si el que soporta mayor esfuerzo llega a cumplir, el otro elemento por fuerza también lo resistirá.

#### 4.2.2.1. Cálculo con el peso del elemento buffet

Para los cálculos hemos tenido en cuenta el valor que aparece en una de las tablas que vimos en uno de los artículos recopilados sobre Talgo I, el cuál clasificaba el peso del vagón en 1.200 Kg, por lo tanto la fuerza a repartir sobre la chapa inferior es aproximadamente 12.000 N.

Una vez introducida la fuerza podemos observar que la tensión mayor en toda la estructura estaba situada en uno de los tubos del entramado que travesaba uno de los anillos seccionados para albergar la ventana.

**Tensión de Von Mises:**  $2,85 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 285 \text{ Mpa.}$

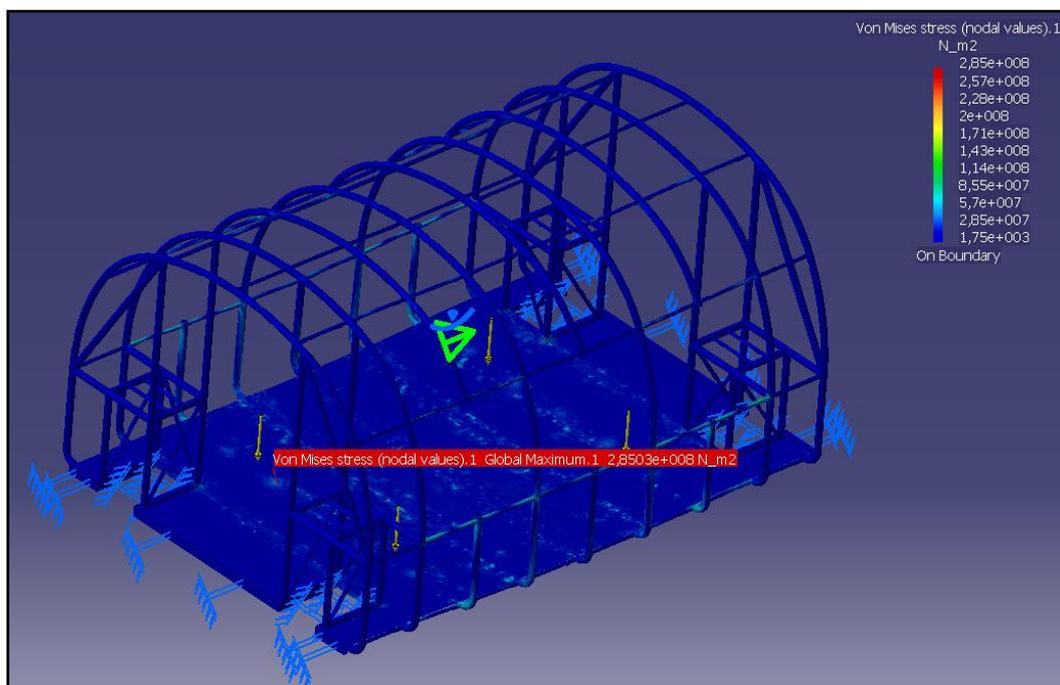


Figura 4.15: Von Mises stress (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva con peso vagón).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Detallada la tensió màxima de Von Mises i observant que dicha tensió no supera el valor de límit elàstic del material escogido, podem fer-nos del resultat del desplaçament de los nodos de la estructura (figura 4.16), en este caso el nodo més desplaçat està a 9,91 mm de su respectiva posició.

**Desplaçament traslacional: 9,91 mm.**

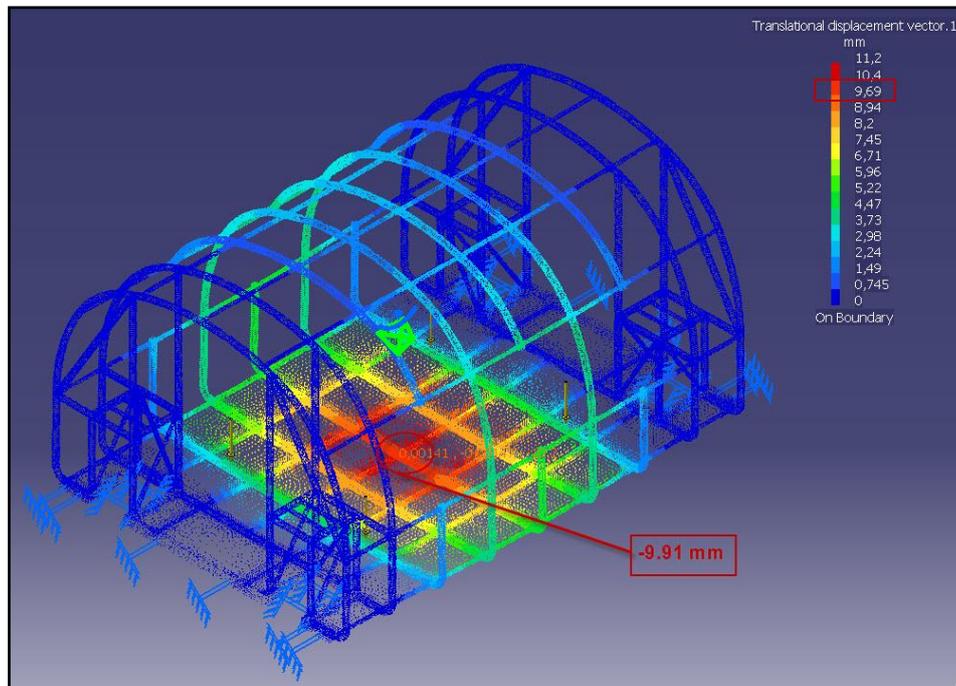


Figura 4.16: Translational displacement vector (estructura tubular del element buffet en perspectiva).

Como se puede ver en la imagen anterior, el máximo desplaçament se encuentra justo en el centro del vagón y además coincide con el nodo de uno de los tubos seccionados para albergar la ventana.

Si quisiéramos evitar que dicho nodo tuviera tal desplaçamiento deberíamos proceder a mejorar la estructura, es decir, usando tubos atirantados, modificando espesores interiores de los tubos, cambiando la disposición tubular, podríamos llegar a rebajar considerablemente dicho desplaçamiento.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2.2.2. Cálculo añadiendo el peso de los viajeros

Vistos los esfuerzos que podía llegar a soportar la estructura tubular del elemento buffet, procedimos a añadirle la fuerza respectiva al peso de los viajeros en el vagón. Para decidir entre un peso u otro nos hemos basado en la superficie habitable del vagón y hemos supuesto que junto a los viajeros que ocupaban sus asientos, podían llegar a subir un total de quince personas con un peso de 100 Kg para así asegurar los cálculos y enfocarlos como si de un momento puntual extremo se tratara.

La fuerza total repartida a añadir a la anterior introducida de 12.000 N es de 15.000 N quedando un total de 27.000 N repartidos entre todas los tubos de la parte inferior de la estructura.

A continuación aparece una imagen (figura 4.17) de la estructura calculada con la fuerza aplicada sobre la chapa inferior y sus respectivas tensiones de Von Mises.

**Tensión de Von Mises:**  $6,41 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 641 \text{ MPa}$ .

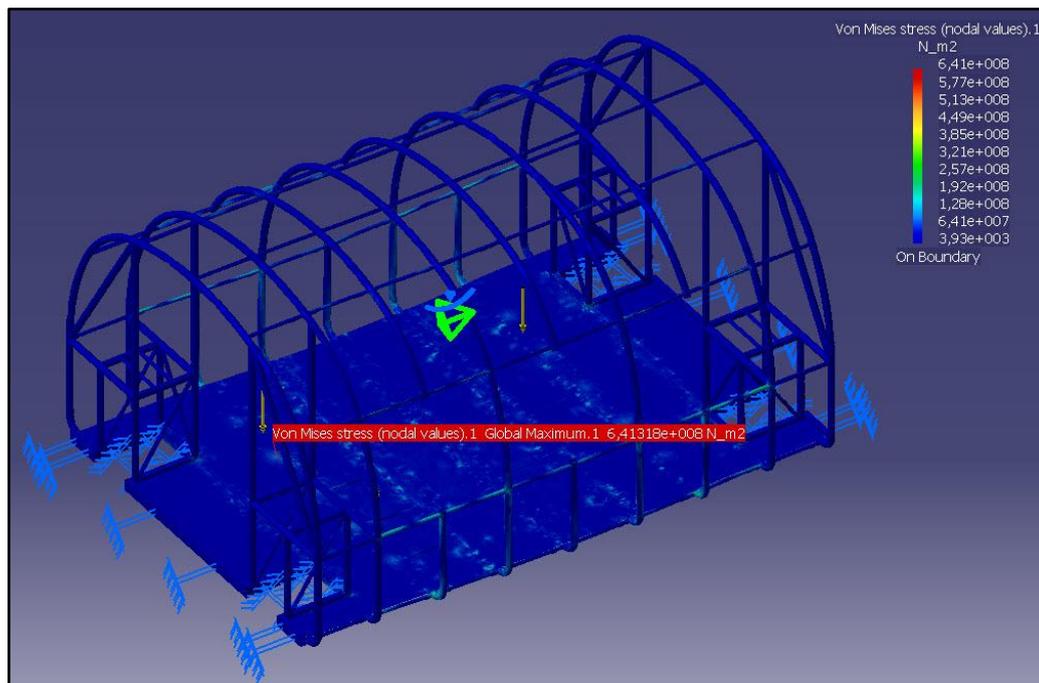


Figura 4.17: Von Mises stress (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva con peso vagón y viajeros).

Como se puede ver en la imagen anterior, la tensión máxima de Von Mises supera con creces el límite elástico definido para el material, por lo tanto los cálculos que aparecen a continuación no serían de fiar.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A continuación se puede ver cómo sería el desplazamiento de los nodos de la estructura tubular del elemento buffet.

**Desplazamiento traslacional: 23 mm.**

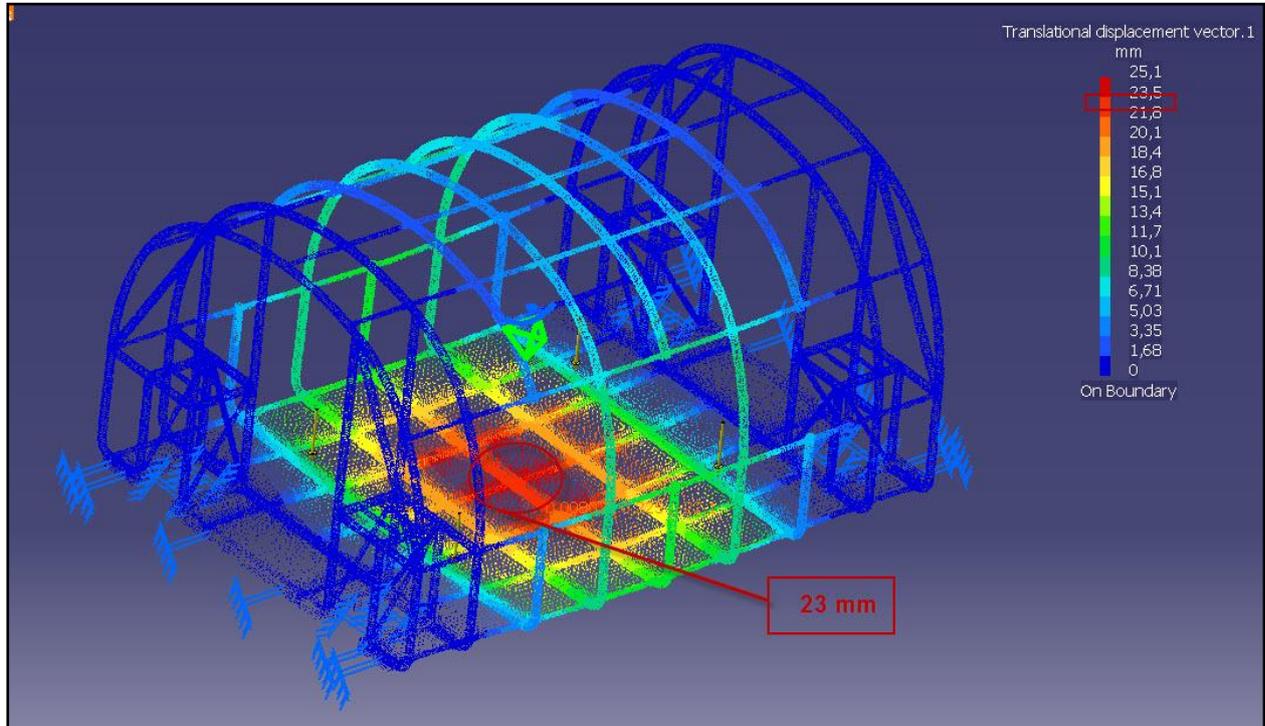


Figura 4.18: Translational displacement vector (estructura tubular del elemento buffet en perspectiva).

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 4.2.3. Elemento de doce plazas delantero

En el caso de la simulación para el elemento de doce plazas delantero surgió un problema con la memoria de los dos ordenadores de sobremesa que tienen instalado el programa CATIA V5 R18, situados en el aula de proyectistas AL-102. Dicho problema está vinculado a la memoria que ocupan los archivos temporales al calcular mediante los elementos finitos ya que para calcular la estructura hace falta introducir un mallado parabólico debido a su geometría. El inconveniente del mallado parabólico es que ocupa mucho más tiempo y espacio en el disco por la cantidad de nodos que edita.

Después de estar toda la noche del día 16 al día 17 de Junio probando sin obtener buenos resultados, conseguimos poder calcular solamente las dos primeras estructuras mediante (FEM).

Observando los resultados obtenidos en las dos primeras estructuras tubulares podemos intuir que los cálculos de la estructura del elemento de doce plazas delantero seguirían el mismo rumbo y por lo tanto la tensión de Von Mises para el cálculo con el peso del vagón solamente aplicado sobre la estructura tubular, cumpliría las especificaciones necesarias para ser válida.

En el caso del cálculo añadiendo el peso de los viajeros, suponemos que la máxima tensión de Von Mises superaría el límite elástico del material definido.

### 4.2.4. Elemento de doce plazas trasero

Como entre los cuatro vagones modelados, supusimos que había otro vagón con la misma estructura tubular, para los cálculos mediante elementos finitos (FEM) de CATIA decidimos calcular solamente una de las dos estructuras, pero con los esfuerzos referentes a la tuviera que soportar más pesos de vagón y viajeros.

Decidimos aplicar los esfuerzos del elemento de doce plazas trasero ya que podía albergar a más viajeros y ya disponíamos de un peso del vagón que aparece en una de las tablas de los artículos recopilados.

Los cálculos de estas dos estructuras se pueden encontrar en el punto 4.2.2 Elemento buffet con sus respectivos resultados.

### 4.3. Conclusiones de los cálculos

Para las conclusiones hemos dividido en dos apartados que podemos ver a continuación:

#### 4.3.1. Cálculos con peso del vagón

En los cálculos referentes a la estructura soportando los esfuerzos que provocaría el peso del propio vagón se puede observar como la tensión máxima de Von Mises se encuentra a punto de superar el límite elástico (300 MPa) del material escogido para llevar a cabo dichas simulaciones. Dado que la tensión no supera dicho valor podemos fiarnos de los cálculos y observar el desplazamiento nodal de cada parte de la estructura.

En ambas estructuras calculadas, el desplazamiento dista entre 9 y 11,5 mm, lo cual para una estructura de una longitud de 4 m creemos que es un valor aceptable.

Descripción	Tensión de Von Mises	Desplazamiento
<b>Elemento equipajes</b>	287 MPa	11,2 mm
<b>Elemento buffet y 12pl. trasero</b>	285 MPa	9,91 mm

Tabla 4.4: Resumen de resultados para cálculos con peso del vagón.

#### 4.3.2. Cálculos con peso añadido de los viajeros

Una vez calculadas las estructuras aplicando el peso de los vagones y añadiendo el peso de los posibles viajeros que podían habitar el vagón, se puede ver como la tensión máxima de Von Mises supera con creces el valor del límite elástico definido para el material escogido. Debido a que las tensiones superan dicho valor, el comportamiento del material con estos esfuerzos es imposible de predecir y por este motivo los cálculos siguientes con el módulo de simulación no son de fiar. Aún y así, mostramos los valores obtenidos:

Descripción	Tensión de Von Mises	Desplazamiento
<b>Elemento equipajes</b>	647 MPa	25 mm
<b>Elemento buffet y 12pl. trasero</b>	641 MPa	23 mm

Tabla 4.5: Resumen de resultados para cálculos con peso añadido de viajeros.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

A partir de observar los resultados anteriores, creemos que el factor que ha determinado los valores tan altos de tensiones de Von Mises ha sido el mínimo espesor escogido para todo los tubos que forman la estructura. A continuación podemos ver las mejoras que suponemos, harían rebajar el valor de las tensiones obtenidas.

### 4.3.3. Mejoras posibles

Visto que las tensiones obtenidas han sido bastante altas y que algunas estructuras no resistirían a los esfuerzos aplicados, creemos que mejorando el factor espesor en la estructura, los valores se rebajarían dependiendo de la mejora aplicada.

Además siendo la parte inferior de la estructura la más débil, si se diseñaran unos tirantes para reforzar la estructura y los entramados, ésta aún sería más resistente.

## 5. Pliego de condiciones

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 5.1. Objetivos de la ingeniería inversa

A partir de la poca información existente repartida en varias publicaciones sobre el Talgo I alcanzar el máximo nivel de detalle técnico para poder llegar a fabricar un prototipo lo más fidedigno posible.

En base a las imágenes donde se muestran distintas partes de cada vagón llegar a obtener el máximo detalle de constructivos de cuatro de los vagones que componían el Talgo I, exactamente los vagones siguientes:

- Elemento equipajes
- Elemento buffet
- Elemento de doce plazas delantero
- Elemento de doce plazas trasero

Una vez se obtengan las distintas partes de cada vagón dimensionadas y modeladas, deducir que procesos de producción se podían haber usado y cuáles eran los más adecuados para la época en que tuvo lugar la construcción del Talgo I.

Dedución de los métodos de fabricación detallando el orden de operaciones a realizar para un posible montaje de un prototipo.

Con las estructuras modeladas en tres dimensiones, hacer dos tipos de cálculos de análisis y simulación. Estos cálculos serán referentes a las estructuras con el peso del vagón y a continuación, añadiendo el posible peso estimado de los pasajeros que viajaran en dicho vagón.

### 5.2. Materiales

Documentarse sobre la época en que se llevó a cabo el proyecto innovador de Alejandro Goicoechea Omar y especificar los posibles materiales usados para cada tipo de piezas.

Una vez determinados los materiales describir sus propiedades para ser usadas en simulaciones y comprobar la resistencia de las estructuras a los esfuerzos.

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 5.3. Herramientas de diseño

Para detallar las geometrías y medidas obtenidas, utilizar tanto el programa AutoCAD, como el módulo Drafting de CATIA V5 R18.

A la hora de modelar en tres dimensiones, utilizar el programa de diseño CATIA V5 R18 con sus diferentes módulos:

- Mechanical Design
  - Part Design
  - Assembly Design
  - Sketcher
  - Wireframe and Surface Design

### 5.4. Herramientas de simulación y cálculos

Para llevar a cabo las simulaciones de las estructuras obtenidas, utilizar el programa CATIA V5 R18 con el modulo siguiente:

- Analysis & Simulation
  - Generative Structural Analysis
    - Static Analysis

### 5.5. Presupuesto

Dejar constancia de las horas trabajadas para la elaboración de todo el proyecto, teniendo en cuenta las horas de ingeniería dedicadas.

Diferenciar las distintas fases de trabajo en función de la faena realizada.

### 5.6. **Herramientas secundarias**

Una vez obtenidas las diferentes partes que forman el vagón y alcanzadas las metas propuestas, redactar la memoria del proyecto y los consiguientes puntos con el procesador de textos Microsoft Word.

Para detallar los valores del presupuesto utilizar el editor de hojas de cálculo Microsoft Excel.

## 6. Presupuesto

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Debido al contenido y alcance de este proyecto, el presupuesto solo tendrá en cuenta la parte de investigación y desarrollo omitiendo los costes constructivos de un hipotético prototipo.

Presupuesto	Euros/Hora	Horas	Precio (€)
1.- Estudio y búsqueda de la información	35	125	4.375,00 €
2.- Obtención de medidas aproximadas	25	30	750,00 €
3.- Diseño en 2D (AutoCAD) con medidas aproximadas	27,5	500	13.750,00 €
4.- Obtención de medidas más precisas	26	30	780,00 €
5.- Diseño en 3D (CATIA V5 R18) con medidas más precisas	30	1800	54.000,00 €
6.- Cálculos			
6.1- Cálculos analíticos	40	4	160,00 €
6.2- Simulaciones de elementos finitos	58	42	2.436,00 €
7.- Creación de planos detallados	25	68	1.700,00 €
8.- Imprimir			385,00 €
<b>TOTAL EUROS</b>			<b>78.336,00 €</b>

Los Precios/hora de este presupuesto, contemplan los Costes Directos más los Costes Indirectos de una hipotética empresa de Ingeniería.

## 7. Conclusiones

Inicialmente, el proyecto sobre la Ingeniería Inversa del Talgo I se planteó con la idea de alcanzar unos objetivos asequibles, debido a la dificultad que podía suponer por la escasa información que existía.

Posteriormente, y viendo la posibilidad de alcanzar la meta marcada, decidimos involucrarnos un poco más en el proyecto hasta el punto de sobrepasar las expectativas iniciales. Esto se refleja en hechos como, por ejemplo, la decisión de diseñar cuatro vagones, en lugar de uno, o en el afán de perfeccionar detalles de la estructura para acercar al máximo nuestro diseño a las imágenes de la época.

Cabe destacar que, debido a la escasez de tiempo, no se ha podido llegar a elaborar resultados 100% óptimos y que todavía hay un margen de mejora en algunos aspectos como el cálculo de elementos finitos de la estructura o el diseño de algunas piezas como pueden ser las bisagras o los mangos de las puertas.

Por último, después de haber realizado este proyecto y todas sus tareas correspondientes (desde la búsqueda de información, el diseño o los cálculos hasta la redacción) cabe mencionar el gran desarrollo personal que hemos experimentado a lo largo de este tiempo, tanto a nivel personal como de trabajo en equipo y la gran cantidad de conocimientos adquiridos de los métodos usados, así como de las herramientas utilizadas.

## 8. Bibliografía

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

Recopilación de documentos y artículos sobre Talgo I

### **El tren español: nueva orientación ferroviaria.**

Autor: Alejandro Goicoechea

Publicado originalmente en: Imprenta del Najzén, 1950. De esta edición, facsímil editado por IberCaja, Zaragoza, 1995.

### **El Talgo.**

Separata de Alejandro Goicoechea

Publicado originalmente en: Motor Mundial, nº ago. Y sep. 1944. Editado por Motor Mundial, Tomo 2, nov. 1949

### **Talgo I, un tren diferente.**

Artículo de Manuel Galán Eruste

Publicado en: Documentos Maquetrén

### **El Talgo I.**

Artículo de Miguel Cano, Manuel Galán

Publicado en: Fascículos Colección Talgo, fasc. 4, 5 y 6. Ediciones Altaya 2006

### **El Talgo I.**

Artículo de Juan M<sup>a</sup> Gallardo

Publicado en: Carril, nº 9, septiembre de 1984

### **Gestación y Construcción del tren Talgo I.**

Artículo de Ángel Luis Díaz

Publicado en: Vía Libre, nº 443, junio de 2001

### **Renfe construyó en Valladolid la primera “locomotora” Talgo.**

Artículo de: Ángel Luis Rodríguez

Publicado en: Vía Libre, nº 449, enero de 2002

### **Talgo I.**

Extraído de: Talgo 1942-2005. De un sueño a la alta velocidad

Miguel Cano López-Luzzati y Miguel Galán Eruste

Publicado en: Revistas Profesionales S.L. 2006

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### **Talgo I.**

Extraído de: 1950 Las estrellas llegan a España. Se acabó el aislamiento.

Juan Carlos Laviana (ed.)

Publicado en: Col. El franquismo año a año. Nº 10; Unidad Editorial S.A.,

Madrid, 2006

### **Primeras ideas, “Talgo 0” y Talgo 1.**

Extraído de: Evolución técnica de Talgo

Faustino Archilla Aldeanueva

Publicado en: Manual para la formación del personal de “Patentes Talgo”. 2000

## 9. Anexos

- 9.1. **Anexo A: Técnica de la perspectiva cónica**
- 9.2. **Anexo B: Biografía de Alejandro Goicoechea Omar**

## 10. Planos

### 10.1. Conjunto cuatro vagones

#### 10.1.1. Vagón equipajes

10.1.1.1. *Chapa exterior*

10.1.1.2. *Chapa interior*

10.1.1.3. *Puertas*

10.1.1.4. *Marco circular ventana*

10.1.1.5. *Estructura tubular*

#### 10.1.2. Vagón buffet y 12 plazas trasero

10.1.2.1. *Chapa exterior*

10.1.2.2. *Chapa interior*

10.1.2.3. *Marco ancho ventana*

10.1.2.4. *Tapa escotilla escamoteable*

10.1.2.5. *Suelo*

10.1.2.5.1. TABLÓN EXTREMO

10.1.2.5.2. TABLÓN CENTRAL

10.1.2.5.3. TAPA

10.1.2.5.4. CHAPA EXTREMO

10.1.2.5.5. CHAPA CENTRAL

10.1.2.5.6. CHAPA TAPA

10.1.2.6. *Estructura tubular*

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 10.1.2.7. Conjunto rodadura

- 10.1.2.7.1. RUEDA
- 10.1.2.7.2. EJE RUEDA
- 10.1.2.7.3. AMORTIGUADOR
  - 10.1.2.7.3.1. BARRA VERTICAL
  - 10.1.2.7.3.2. TUERCA DE APRIETE
  - 10.1.2.7.3.3. TUERCA DE FIJACIÓN
  - 10.1.2.7.3.4. ARANDELA SUFRIDERA
  - 10.1.2.7.3.5. ARANDELA
  - 10.1.2.7.3.6. MUELLE
  - 10.1.2.7.3.7. GUÍA
  - 10.1.2.7.3.8. TOPE
  - 10.1.2.7.3.9. TUERCA INFERIOR
- 10.1.2.7.4. SOPORTE SUPERIOR AMORTIGUADOR
- 10.1.2.7.5. SOPORTE INFERIOR ESCUADRA
- 10.1.2.7.6. CAJA CUBRE HABITÁCULO
  - 10.1.2.7.6.1. TABLÓN SUPERIOR
  - 10.1.2.7.6.2. TABLÓN LATERAL
  - 10.1.2.7.6.3. TABLÓN TRASERO
- 10.1.2.7.7. CONJUNTO UNIÓN VAGONES
  - 10.1.2.7.7.1. PLETINA CON CILINDROS
  - 10.1.2.7.7.2. RÓTULA
  - 10.1.2.7.7.3. PIEZA GIRO HORIZONTAL
  - 10.1.2.7.7.4. EJE ROSCADO
  - 10.1.2.7.7.5. TORNILLO PASADOR
  - 10.1.2.7.7.6. TUERCA

## Ingeniería Inversa del TALGO-I

### 10.1.3. Vagón 12 plazas delantero

10.1.3.1. *Chapa exterior*

10.1.3.2. *Chapa interior*

10.1.3.3. *Puertas*

10.1.3.4. *Marco alargado ventana*

10.1.3.5. *Estructura tubular*