

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Aeronáutica

Modelado, recreación y animación de la locomotora a vapor NCS 76

Autor: Carlos Ángel Gutiérrez Portilla

Tutor: Rafael Ortiz Marín

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Aeronáutica

Modelado, recreación y animación de la locomotora a vapor NCS 76

Autor:

Carlos Ángel Gutiérrez Portilla

Tutor:

Rafael Ortiz Marín

Profesor Contratado Doctor

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Autor: Carlos Ángel Gutiérrez Portilla

Tutor: Rafael Ortiz Marín

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor por la paciencia y comprensión durante este proyecto. También agradecer a toda la universidad tanto profesores como a la administración por construir un centro de tan alta calidad que a conseguido ayudarme a desarrollarme como persona y como profesional.

A mis compañeros de clase, convirtiéndose en amigos para toda la vida. Por haber estado compartiendo juntos experiencias dentro y fuera de las aulas.

A mis amigos que siempre están a mi lado en todas las etapas de mi vida y espero que me sigan acompañando en las que quedan por venir.

Por último, agradecer a lo más importante que tengo en mi vida. Mi familia, a los presentes y a los que ya no están, pero nos acompañan en el camino. Gracias por todo.

Carlos Ángel Gutiérrez Portilla
Máster en Ingeniería Aeronáutica
Sevilla, 2024

Resumen

Este trabajo de fin de máster diseña, modela y recrea virtualmente la locomotora de vapor modelo NCS 76 de los ferrocarriles holandeses, utilizando el software CATIA V5. El proyecto presenta la historia de la locomotora de vapor, desde sus inicios hasta la actualidad y en concreto el modelo NCS 76; seguida de los componentes principales de una locomotora y el funcionamiento energético y mecánico de las locomotoras de vapor.

A continuación, se presenta el diseño y modelado 3D de los subensamblajes y las piezas que los forman, seguido de los ensamblajes principales que son la estructura de la locomotora, la caldera, la cabina del maquinista y el sistema mecánico, y concluyendo con el diseño final y la renderización de la locomotora NCS 76.

Por último, se simula la cinemática del ensamblaje final comprobando que es fiel al movimiento real de la máquina.

Abstract

This master's thesis employs the use of CATIA V5 software to design, model and virtually recreate the NCS 76 steam locomotive of the Dutch railways. The project presents a historical overview of the steam locomotive, from its origins to the present day, with a particular focus on the NCS 76 model. This is followed by an examination of the main components of a locomotive and an analysis of the energetic and mechanical functioning of steam locomotives.

Subsequently, the design and 3D modelling of the sub-assemblies and the parts that form them is presented, followed by the main assemblies, which are the locomotive structure, the boiler, the driver's cab and the mechanical system. The final design and rendering of the NCS 76 locomotive is then presented as the concluding element of this section.

Subsequently, the kinematics of the final assembly are simulated to ascertain their fidelity to the actual movement of the machine..

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	12
Índice de Figuras	14
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivo</i>	1
1.2 <i>Metodología</i>	1
2 Estado del arte y marco histórico	3
2.1 <i>Historia y Desarrollo de las locomotoras de vapor</i>	3
2.1.1 Origen	3
2.1.2 Evolución histórica	5
2.1.3 Importancia en el desarrollo industrial	9
2.2 <i>El modelo NCS 76</i>	10
2.2.1 Especificaciones técnicas	10
2.2.2 Historia y desarrollo	11
2.3 <i>Funcionamiento de una locomotora a vapor</i>	12
2.3.1 Componentes principales	12
2.3.2 Funcionamiento	15
3 Herramientas CAD utilizada: CATIA V5	19
3.1 <i>Características generales de CATIA V5</i>	19
3.2 <i>Módulos empleados en el proyecto</i>	19
3.2.1 Part Design	19
3.2.2 Assembly Design	22
3.2.3 Wireframe and Surface Design	23
3.2.4 DMU Kinematics	23
3.3 <i>Ventaja de CATIA V5 en el diseño de la locomotora</i>	24
4 Modelado de la locomotora NCS 76	11
4.1 <i>Modelado de las Simple Parts y Assembly de los subconjuntos</i>	11
4.1.1 Estructura de la locomotora	11
4.1.2 Caldera	34
4.1.3 Cabina del maquinista	53
4.1.4 Sistema mecánico	58
4.2 <i>Ensamblaje de los conjuntos principales</i>	78
4.2.1 Estructura de la locomotora	78

4.2.2	Caldera	79
4.2.3	Cabina del maquinista	82
4.2.4	Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices	83
5	Ensamblaje final y renderizado	85
6	Estudio de la cinemática de la locomotora NSC 76	92
7	Conclusiones	95
	Bibliografía	96

Figura 2-1. Máquina de Newcomen, referencia: [1]	3
Figura 2-2 Máquina James Watt, referencia: [3]	4
Figura 2-3 Locomotora "Pen-y-Darren", referencia: [6]	4
Figura 2-4 Locomotora "The Rocket", referencia [9]	4
Figura 2-5 Vías ferroviarias en Europa en el año 1840, referencia [14]	5
Figura 2-6 Vías ferroviarias en Europa en el año 1850, referencia [14]	5
Figura 2-7 Vías ferroviarias en Estados Unidos en el año 1840, referencia [14]	6
Figura 2-8 Vías ferroviarias en Estados Unidos en el año 1850, referencia [14]	6
Figura 2-9 Sistema de funcionamiento de una máquina de vapor compuesta, referencia [18]	7
Figura 2-10 Locomotora "Württembergian", referencia [19]	7
Figura 2-11 Vías ferroviarias en Europa segunda mitad siglo XIX, referencia [14]	8
Figura 2-12 Vías ferroviarias en Estados Unidos segunda mitad siglo XIX, referencia [14]	8
Figura 2-13 Locomotora "Mallard", referencia [22]	9
Figura 2-14 NS 3600 "Zeppelins", referencia [27]	11
Figura 2-15 Caldera, referencia: [30]	12
Figura 2-16 Fogón, referencia [31]	13
Figura 2-17 Domo de vapor, referencia [32]	13
Figura 2-18 Cilindro y pistón, referencia [33]	14
Figura 2-19 Biela, manivelas y ruedas motrices, referencia [33]	14
Figura 2-20 Chimenea, referencia [34]	15
Figura 2-21 Frenos, referencia [35]	15
Figura 2-22 Ciclo del pistón dentro del cilindro, referencia [36]	16
Figura 2-23 Ciclo del vapor en la locomotora, referencia [37]	17
Figura 3-1 Sketcher	20
Figura 3-2 Sketch-Based Features	20
Figura 3-3 Reference Elements	21
Figura 3-4 Transformation Features	21
Figura 3-5 Dress-Up Features	21
Figura 3-6 Apply material	22
Figura 3-7 Render	22
Figura 3-8 Move	22
Figura 3-9 Constraints	23
Figura 3-10 Join	23
Figura 3-11 Helix	23
Figura 3-12 Kinematics joints	24

Figura 4-1 L1-01: UNDER FRAME	12
Figura 4-2 L1-01: UNDER FRAME (Función: <i>Explode</i>)	13
Figura 4-3 L1-02.4	13
Figura 4-4 L1-02 SMOKE BOX REST y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	14
Figura 4-5 L1-03: BOILER REST FRAME PLATE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	14
Figura 4-6 L1-04: BOILER REST FRAME PLATE-1 y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	15
Figura 4-7 L1-06: STRECHER FRAME	15
Figura 4-8 L1-07: CABIN FLOOR FRAME	16
Figura 4-9 Parámetros de la función <i>Helix</i>	17
Figura 4-10 L1-09: AXLE BOX y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	17
Figura 4-11 L1-10: FLAT BUFFER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	18
Figura 4-12 L1-11: CURVED BUFFER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	18
Figura 4-13 Sketch pieza L1-12.1	19
Figura 4-14 L1-12: COUPLING y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	20
Figura 4-15 L1-18: SLIDE VALVE SPINDLE BEARING BRACKER	20
Figura 4-16 L1-19: FRONT COVER PLATE	21
Figura 4-17 L1-24: MECH. FEED PUMP y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	21
Figura 4-18 L1-25: CROSSHEAD GUIDE	22
Figura 4-19 L1-26: STEAM EXHAUST MANIFOLD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	23
Figura 4-20 L1-27: EXPANSION LINK BEARING BRACKET y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	23
Figura 4-21 L1-28: LIFTING ARM BEARING	24
Figura 4-22 L1-29: BOGIE FRAME	24
Figura 4-23 L1-29: BOGIE FRAME (Función: <i>Explode</i>)	25
Figura 4-24 L1-30: BOGIE AXLE BOX y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	25
Figura 4-25 L1-44: SPIRIT BURNER	26
Figura 4-26 L1-44: SPIRIT BURNER (Función: <i>Explode</i>)	26
Figura 4-27 L1-56: STEAM INLET MANIFOLD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	27
Figura 4-28 L1-57: PIPE NUT M10x7	27
Figura 4-29 L1-65: SMOKE BOX STEPS HOLDING BRACKET	28
Figura 4-30 Sketches del ejede la tubería	28
Figura 4-31 Diseño de la tubería con la herramienta Rib	29
Figura 4-32 L1-70: WATER SUPPLY PIPE FROM TENDER	29
Figura 4-33 L1-71: BYPASS SUPPLY PIPE FROM MECH.PUMP	30
Figura 4-34 L1-72: HAND PUMP SUPPLY PIPE FROM TENDER	30
Figura 4-35 L1-89: SIDE FOOT PLATE	31
Figura 4-36 L1-90: DUM MY OILER	31
Figura 4-37 L1-92: WHISTLE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	32
Figura 4-38 L1-96: PULL LINK PLATE	32
Figura 4-39 L1-97A DUMMY LEAFSPRING-MIDDLE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	33

Figura 4-40 L1-97B: DUMMY LEAFSPRING-REAR	33
Figura 4-41 L1-97C: DUMMY LEAFSPRING-FRONT	34
Figura 4-42 L1-13: CYLINDER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	35
Figura 4-43 L1-14: VALVE CHEST y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	36
Figura 4-44 L1-15: VALVE CHEST COVER	36
Figura 4-45 L1-16: CYLINDER FRONT COVER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	37
Figura 4-46 L1-17: CYLINDER REAR COVER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	37
Figura 4-47 L1-32: BOILER+SMOKE BOX	38
Figura 4-48 L1-32: BOILER+SMOKE BOX (Función: <i>Explode</i>)	38
Figura 4-49 L1-35: FIRE DOOR HINGE NIPPLE	39
Figura 4-50 L1-36: BOGIE AXLE BOX	39
Figura 4-51 L1-39: BLOWER PIPE+NIPPLE-2y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	39
Figura 4-52 L1-40: BOILER LONG STAY+NIPPLES	40
Figura 4-53 L1-40: BOILER LONG STAY+NIPPLES (Función: <i>Explode</i>)	40
Figura 4-54 L1-41: BOILER WATER TUBE TYPE-1	40
Figura 4-55 L1-42: BOILER WATER TUBE TYPE-2	41
Figura 4-56 L1-45: STEAM MANIFOLD	41
Figura 4-57 L1-46: THROTTLE HOUSING y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	42
Figura 4-58 L1-47: INNER STEAM DOME	42
Figura 4-59 L1-48: BOILER THERMAL INSULATION	43
Figura 4-60 L1-49: BOILER CLADDING+STRAP	43
Figura 4-61 L1-50: DOME	44
Figura 4-62 L1-51: SAFETY VALVE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	44
Figura 4-63 L1-52: CHECK VALVE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	45
Figura 4-64 L1-53: BLOWER VALVE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	45
Figura 4-65 L1-54: PIPE NUT M10x5	46
Figura 4-66 L1-55: DISPLACEMENT OILER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	46
Figura 4-67 L1-58: FIRE HOLE RING	47
Figura 4-68 L1-59: WATER LEVEL GAUGE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	47
Figura 4-69 L1-60: BOILER FIRE DOOR HINGE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	48
Figura 4-70 L1-61: BOILER FIRE DOOR LEDGE	48
Figura 4-71 L1-62: WHISTLE OPERATOR HOUSING y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	49
Figura 4-72 L1-64: SMOKE BOX STEPS y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	49
Figura 4-73 L1-66: SMOKE BOX HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	50
Figura 4-74 L1-68: BOILER HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	50
Figura 4-75 L1-75: SUPER HEASTER	51
Figura 4-76 L1-77: BLOWER PIPE	51
Figura 4-77 L1-79: DUMMY WHISTLE	52
Figura 4-78 L1-94: DUMMY VALVE OPERATION ROD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	52

Figura 4-79 L1-95: DUMMY SMOKE BOX VALVE OPERATION ROD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	52
Figura 4-80 L2-22: SMOKE BOX DOOR y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	53
Figura 4-81 L2-23: FIRE DOOR y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	53
Figura 4-82 L1-80: DRIVERS CABIN FLOOR	54
Figura 4-83 L1-81: DRIVERS CABIN STEPS y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	55
Figura 4-84 L1-82: REVERSER STAND	55
Figura 4-85 L1-83: DRIVERS CABIN STRUCTURE	56
Figura 4-86 L1-83: DRIVERS CABIN STRUCTURE (Función: <i>Explode</i>)	56
Figura 4-87 L1-84: DRIVERS CABIN DOOR	57
Figura 4-88 L1-85: DRIVERS CABIN HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	57
Figura 4-89 L1-87: CABIN ROOF y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	58
Figura 4-90 L1-88: REAR WHEEL GUARD	58
Figura 4-91 L1-05: BRAKE CYLINDER FRAME y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	60
Figura 4-92 L1-08: BRAKE MAIN SHAFT y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	60
Figura 4-93 L1-20: BRAKE HANGER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	61
Figura 4-94 L1-21: BRAKE CROSS BAR	61
Figura 4-95 L1-21: BRAKE CROSS BAR (Función: <i>Explode</i>)	62
Figura 4-96 L1-22: BRAKE SHOE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	62
Figura 4-97 L1-23: BRAKE CON-ROD	63
Figura 4-98 L1-23: BRAKE CON-ROD (Función: <i>Explode</i>)	63
Figura 4-99 Boceto del perfil de la rueda	64
Figura 4-100 Forma de la rueda mediante la función Shaft	64
Figura 4-101 Boceto de utilizado en la función Hole	65
Figura 4-102 Función Circle Pattern en la rueda	65
Figura 4-103 Rueda motriz	66
Figura 4-104 L2-01: DRIVE WHEEL SET-1	66
Figura 4-105 L2-01: DRIVE WHEEL SET-1 (Función: <i>Explode</i>)	67
Figura 4-106 L2-02: DRIVE WHEEL SET-2 AND 3	67
Figura 4-107 L2-02: DRIVE WHEEL SET-2 AND 3 (Función: <i>Explode</i>)	68
Figura 4-108 L2-03: PISTON + CROSSHEAD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	68
Figura 4-109 L2-04: CON-ROD TYPE-1	69
Figura 4-110 L2-05: CON-ROD TYPE-2	69
Figura 4-111 L2-06: CON-ROD TYPE-3y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	69
Figura 4-112 L2--07: MECH. PUMP ECCENTRIC STRAP	70
Figura 4-113 L2-08: MECH. PUMP PLUNGER y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	70
Figura 4-114 L2-09: SLIDE VALVE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	71
Figura 4-115 L2-10: LIFTING ARM + ROD y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	71
Figura 4-116 L2-11 LIFTING LINK	72
Figura 4-117 L2-12: EXPANSION LINK y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	72

Figura 4-118 L2-13: ECCENTRIC ROD	73
Figura 4-119 L2-14: RADIUS BAR y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	73
Figura 4-120 L1-15: COMBINATION LEVER	73
Figura 4-121 L1-16: UNION LINK	74
Figura 4-122 L2-17: SLIDE VALVE CONNECTOR CRANK SHAFT y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	74
Figura 4-123 L1-18: BOGIE WHEELS+ AXLE	75
Figura 4-124 L2-25: REVERSER SCREW SPINDLE y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	75
Figura 4-125 L2-26: REACH ROD	76
Figura 4-126 L2-27: DUMMY OILER VALVE STEM y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	76
Figura 4-127 L2-28: DUMMY OILER ARM LEVER OPERATOR y a la izquierda aplicando la función <i>Explode</i>	77
Figura 4-128 L2-29: DUMMY OILER CON ROD	77
Figura 4-129 Remache standard	78
Figura 4-130 Estructura vista isométrica	78
Figura 4-131 Estructura vista isométrica renderizada	79
Figura 4-132 Caldera vista isométrica	79
Figura 4-133 Caldera vista isométrica renderizada	80
Figura 4-134 Caldera vista trasera	80
Figura 4-135 Caldera vista trasera renderizada	81
Figura 4-136 Cabina del maquinista vista isométrica	82
Figura 4-137 Cabina del maquinista vista isométrica renderizada	82
Figura 4-138 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista isométrica	83
Figura 4-139 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista isométrica renderizada	83
Figura 4-140 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista lateral	84
Figura 4-141 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista lateral renderizada	84
Figura 5-1 Vista isométrica de la locomotora NCS 76	85
Figura 5-2 Vista isométrica de la locomotora NCS 76 renderizada	86
Figura 5-3 Vista lateral de la locomotora NCS 76	87
Figura 5-4 Vista lateral de la locomotora NCS 76 renderizada	87
Figura 5-5 Vista frontal de la locomotora NCS 76	88
Figura 5-6 Vista frontal de la locomotora NCS 76 renderizada	88
Figura 5-7 Vista trasera de la locomotora NCS 76	89
Figura 5-8 Vista trasera de la locomotora NCS 76 renderizada	89
Figura 5-9 Vista en planta de la locomotora NCS 76	90
Figura 5-10 Vista en planta de la locomotora NCS 76 renderizada	90
Figura 5-11 Locomotora seccionada por el plano longitudinal	90
Figura 5-12 Locomotora NCS 76 renderizada	91
Figura 6-1 Arbol de DMU Kinematics Parte 1	92
Figura 6-2 Arbol de DMU Kinematics Parte 2	93

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo

Este trabajo de fin de máster tiene como objetivo principal diseñar, modelar y recrear el funcionamiento de la locomotora de vapor NCS 76 mediante el software de diseño asistido por ordenador CATIA V5, basándose en los planos históricos del modelo original [1]. Se centra en la creación de una simulación 3D detallada partiendo de las piezas que mediante ensamblajes se consigue un modelo completo de la locomotora NCS 76. Por último, se analiza y recrea los mecanismos que permite el movimiento de la locomotora.

Las locomotoras de vapor supusieron un hito en el avance de la humanidad en el siglo XIX y mediante este trabajo se rescata el valor patrimonial y técnico de estos sistemas históricos. Además de contribuir al estudio de los sistemas mecánicos utilizados en el pasado ofreciendo una comprensión moderna de estos.

1.2 Metodología

El desarrollo del proyecto se divide en varias etapas:

1. Estudio teórico del funcionamiento de las locomotoras a vapor y contextualización histórica: Se investiga el contexto histórico y estado del arte de las locomotoras, partiendo de la primera máquina de vapor hasta las actuales locomotoras. También se analizan los componentes principales y las funciones que tienen; y como es el flujo de la energía partiendo de la combustión del carbón hasta conseguir energía cinética en las ruedas y el funcionamiento mecánico.
2. Interpretación y análisis de los planos: Se revisarán detalladamente los planos de la locomotora NCS 76 [1], identificando los ensamblajes principales y su colocación.
3. Modelado en CATIA V5: Mediante el módulo Part Design y Surface Design se crean los modelos 3D de las piezas. A continuación, en el módulo Assembly Design se ensamblan los componentes y luego con ellos se forman los ensamblajes principales que finalmente se unen en conformando la locomotora. Se seguirán las disposiciones de los planos.
4. Simulación y análisis cinético: Utilizando el módulo DMU Kinematics se aplicarán las restricciones necesarias para replicar los mecanismos de movimiento. Se simulará el comportamiento cinético del sistema, analizando la interacción entre componentes y verificando el funcionamiento.

2 ESTADO DEL ARTE Y MARCO HISTÓRICO

2.1 Historia y Desarrollo de las locomotoras de vapor

2.1.1 Origen

El origen de las locomotoras de vapor se remonta al desarrollo de las primeras máquinas de vapor a finales del siglo XVII y principios del XVIII, como parte de la Revolución Industrial. La primera máquina de vapor fue inventada por Thomas Newcomen en 1712, conocida como máquina de Newcomen o máquina de vapor atmosférica⁹⁸. Se utilizaba principalmente para el bombeo del agua de las minas. Se introducía vapor en un cilindro, que luego se enfriaba con un chorro de agua. Esto hacía que el vapor se condensara, formando un vacío parcial en el cilindro, y la presión atmosférica en la parte superior empujaba el pistón hacia abajo, consiguiendo de esta manera bombear el agua [2].

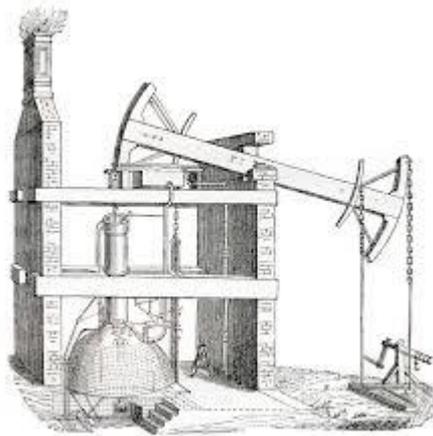


Figura 2-1. Máquina de Newcomen, [2]

Aunque la máquina de Newcomen tenía un rendimiento energético de apenas el uno por ciento no tuvo rival durante más de medio siglo. Hasta que el inventor James Watt en 1769 introdujera mejoras significativas en la eficiencia de conversión de energía en el motor de Newcomen. La una de las mejoras que introduzco Watt fue separar la cámara de condensación. Separó las partes que interferían en la eficacia de la acción de condensación, ya que el cilindro del pistón se enfriaba innecesariamente cuando se inyectaba agua para crear el vapor.

Posteriormente James Watt realizó unas modificaciones al modelo original, el vapor se introducía ahora en ambos extremos del pistón alternativamente. De esta manera por un lado del pistón el vapor lo empujaba y por el otro el vacío debido al ciclo anterior tiraba de él aumentando el rendimiento del motor. Otra modificación clave fue la transformación del movimiento lineal del pistón, cadenas y varillas en un movimiento giratorio por medio de un volante de inercia conectado por engranajes sol y planeta. Aunque el diseño de Watt fue utilizado inicialmente en fábricas y minas, sentó las bases para las locomotoras de vapor, ya que su diseño permitía la transformación del vapor en movimiento rotativo [3].

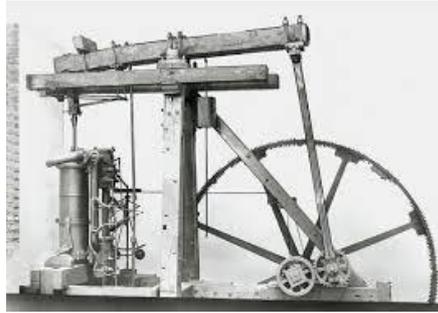


Figura 2-2 Máquina James Watt, [4]

No fue hasta que Richard Trevithick [5], inventor e ingeniero inglés, inventara la máquina de vapor de alta presión y la primera locomotora de vapor ferroviaria en funcionamiento. Sus esfuerzos desde el inicio se centraron en mejorar las máquinas de vapor, especialmente en reducir las de tamaño y construir calderas potentes y capaces de producir mayor presión y, por tanto, aumentar su rendimiento. Y en 1802 Trevithick unió una máquina de alta presión a un bastidor creando la primera locomotora de vapor.

Esta máquina tendría el nombre de locomotora "Pen-y-Darren" [6], siendo capaz de transportar 5 vagones con 11,5 toneladas de carbón a lo largo de 15,7km a 3,9km/h. Este diseño se convirtió más tarde en la base de todas las locomotoras de vapor; pero el diseño estaba limitado por la tecnología de su época.

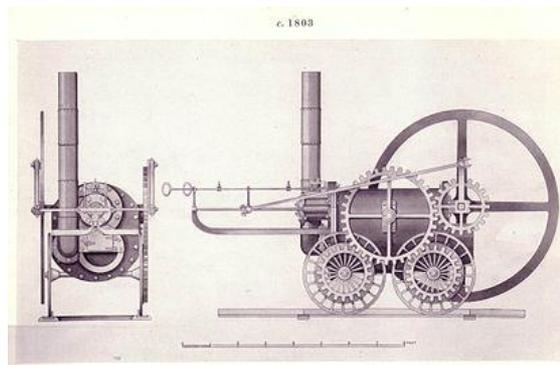


Figura 2-3 Locomotora "Pen-y-Darren", [7]

Una década más tarde en 1814 con la invención de la locomotora Blücher por George Stephenson [8], cuando el transporte ferroviario a vapor comenzó a ganar impulso. Esta nueva máquina se caracterizaba por redirigir la salida de vapor de los cilindros a la chimenea, aumentando así la eficiencia de la caldera notablemente y disminuyendo la molestia causada por el escape del vapor. Perfeccionó el diseño de las locomotoras al mejorar la relación entre la potencia del motor y la tracción en los rieles.

La vía ferroviaria de Liverpool y Manchester en 1825 con la locomotora "The Rocket" con la que se consolidó la eficacia de la locomotora y la fama del inventor [9]. "The Rocket" era capaz de remolcar el quintuple de su peso a la velocidad de 14 hasta 20 millas por hora. Este éxito se debía principalmente al empleo de un tiro forzado que mejoraba la combustión y a una mayor caldera con tubos que producía mayor cantidad de vapor.



Figura 2-4 Locomotora "The Rocket", [10]

2.1.2 Evolución histórica

La evolución histórica de las locomotoras de vapor abarca más de un siglo, desde los primeros experimentos de principios del siglo XIX como acabamos de exponer hasta la llegada de locomotoras más potentes y eficientes a mediados del siglo XX. A lo largo de este tiempo, el diseño y la tecnología de las locomotoras avanzaron considerablemente, permitiendo su uso masivo en el transporte de pasajeros y mercancías.

2.1.2.1 Expansión del ferrocarril (1830-1850)

Tras el éxito de las capacidades del ferrocarril por Reino Unido, inició la construcción de vías ferroviarias por toda Europa y Estados Unidos. En esta época, los trenes a vapor se convirtieron en el principal medio de transporte para pasajeros y mercancías.

En Europa, la primera línea interurbana del mundo fue la Liverpool and Manchester Railway. Utilizando únicamente la potencia del vapor para el transporte de personas [11]. Fuera de Reino Unido el primer servicio ferroviario se inauguró en 1831 en Francia entre Saint-Etienne y Lyon. Se utilizó la locomotora “Seguin” [12]. En 1835 en Bélgica se utilizó “The Elephant” entre Mechelen y Bruselas [13], y en Alemania la locomotora “Adler” funcionó por primera vez en la línea ferroviaria Bavarian Ludwig entre Nuremberg y Fürth [14].



Figura 2-5 Vías ferroviarias en Europa en el año 1840, [15]



Figura 2-6 Vías ferroviarias en Europa en el año 1850, [15]

Mientras en Estados Unidos, muchas de las primeras locomotoras fueron importadas de Reino Unido como “Stourbridge Lion” [16] o “John Bull”. [17] Sin embargo, poco después se estableció una manufacturación interna en el país y en 1830 se realizó la locomotora fabricada en Estados Unidos, diseñada por Peter Cooper con el nombre “Tom Thumb” [18]. Funcionó por las líneas ferroviarias del Baltimore y Ohio, pero fue más una

demonstración del potencial de la locomotora a vapor que como una locomotora generadora de ingresos.



Figura 2-7 Vías ferroviarias en Estados Unidos en el año 1840, [15]



Figura 2-8 Vías ferroviarias en Estados Unidos en el año 1850, [15]

2.1.2.2 Era dorada de las locomotoras (1850-1900)

Se considera que la segunda mitad del siglo XIX fue la «era dorada» de las locomotoras de vapor. Durante este periodo, las locomotoras fueron aumentando de tamaño y eficiencia, con mejoras en la potencia y el rendimiento. Las máquinas de vapor se convirtieron en un componente esencial del transporte a nivel mundial, lo que permitió la rápida expansión del comercio y la industrialización.

En estos años se caracterizan por el diseño de las locomotoras compuestas [19], que son un tipo de máquina de vapor donde el vapor se expande en dos o más etapas. En la configuración convencional de una locomotora de expansión compuesta, como se muestra en [fig. 2-9], el vapor se expande inicialmente en uno o dos cilindros de alta presión. Posteriormente, se descarga en un cilindro de baja presión de mayor volumen (o dos o más), extendiendo así la fase de expansión del ciclo termodinámico. Los cilindros pueden describirse como que funcionan en una configuración "en serie", en contraste con la disposición típica de una locomotora de expansión simple, donde funcionan de manera "en paralelo". Las principales ventajas buscadas a través del proceso de expansión son un menor consumo de combustible y agua, junto con una mejor relación potencia-peso debido a la mayor expansión dentro del cilindro antes de la apertura de la válvula de escape, lo que da como resultado una mayor eficiencia. Los beneficios adicionales incluyen un par motor más constante y, en numerosos casos, cualidades de conducción superiores, lo que conduce a un menor desgaste de la vía y el tren de rodaje. En los casos en que se combinaban pendientes pesadas y cargas bajas sobre los ejes, la locomotora de expansión simple

a menudo se consideraba la solución más viable.

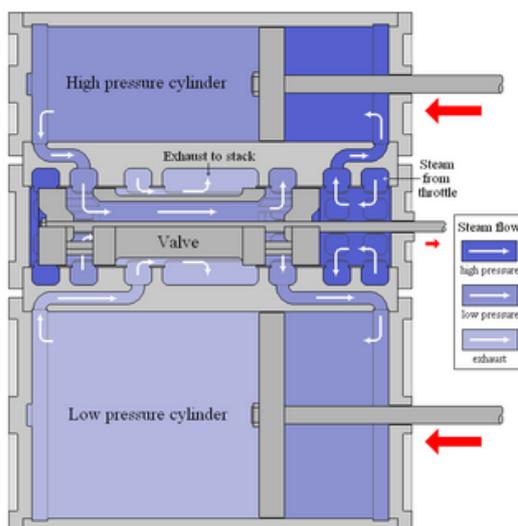


Figura 2-9 Sistema de funcionamiento de una máquina de vapor compuesta, [19]

La patente surgió en 1850 en Reino Unido por el inventor James Samuel. Algunos primeros diseños notables fueron "Baxter" y "Hudson" [19]. Se empezaron a utilizar a inicios de la década de 1880 y la siguiente década se volvió bastante popular este tipo de locomotora. Sin embargo, décadas más tarde se dejarían de utilizar por los problemas de mantenimiento y porque el sistema de sobrecalentamiento permitía obtener eficiencias similares a menor costo.

Otra característica reseñable de este periodo de tiempo fueron los trenes "Ten Wheeler" con una configuración de 10 ruedas dispuestas de la forma 4-6-0 [20], cuatro ruedas delanteras en dos ejes y seis ruedas motrices acopladas y accionadas en tres ejes, sin ruedas traseras. Poseían una gran estabilidad cuando trabajaban en regímenes de velocidad de 160 km/h con una carga liviana comúnmente vagones para el transporte de personas. Algunos ejemplos en Europa fueron el "Baldwin" en Francia o el "Württembergian" en Alemania.

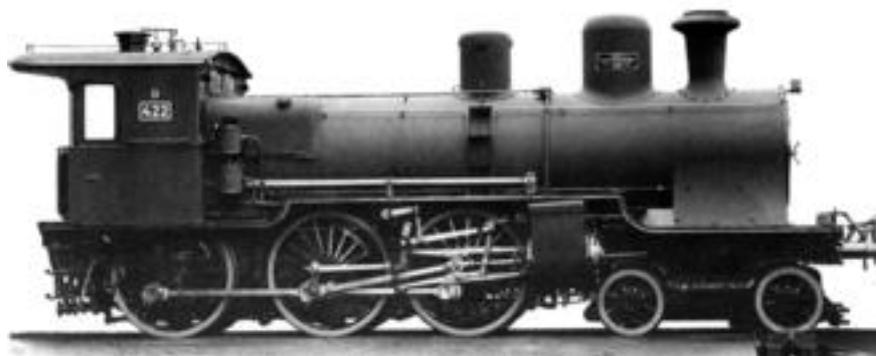


Figura 2-10 Locomotora "Württembergian", [20]

Respecto a las líneas ferroviarias en Europa durante esta época, En Estados Unidos, la construcción del Ferrocarril Transcontinental en 1869 marcó un hito en la historia del transporte, al conectar por primera vez las costas este y oeste del país. Las locomotoras de vapor permitieron la expansión hacia el oeste y la conexión de mercados en todo el continente, fomentando el comercio y la migración.



Figura 2-11 Vías ferroviarias en Europa segunda mitad siglo XIX, [15]



Figura 2-12 Vías ferroviarias en Estados Unidos segunda mitad siglo XIX, [15]

2.1.2.3 Locomotoras de vapor de alta potencia (1900-1950)

En las primeras décadas del siglo XX, las locomotoras de vapor alcanzaron su apogeo en términos de potencia y eficiencia. En este periodo se diseñaron algunas de las locomotoras más grandes y potentes de la historia. Los pasajeros valoraban más la velocidad, mientras que los trenes de mercancías primaban el esfuerzo de tracción. El aumento de tamaño de la caldera provocó que se colocara un bisel trasero para proporcionar apoyo.

La Union Pacific Railroad desarrolló un papel fundamental en Estados Unidos. Se fundó en por el gobierno de Estados Unidos en 1862 hasta la actualidad [21]. En esta época se enfocaron en mejorar la infraestructura de ferroviaria del país y las locomotoras que funcionaban en ellas. La institución ferroviaria en los Estados Unidos se centró en la potencia. Los trenes de mercancías debían desplazarse a mayor velocidad y los de pasajeros debían arrastrar un mayor peso manteniendo la velocidad. El tamaño de las parrillas y calderas aumentó sin producirse cambios en el resto de la locomotora. La Union Pacific Railroad solicitó la fabricación a la American Locomotive Company (ALCO) una de las locomotoras más icónicas de la época “Union Pacific Big Boy” [22]. Esta locomotora tenía una configuración 4-8-8-4: cuatro ruedas delanteras para estabilidad al entrar en curvas, dos juegos de ocho ruedas motrices y cuatro ruedas traseras para sostener la caldera. Se construyeron un total de 25 locomotoras para transportar mercancías por la cordillera Wasatch entre Ogden (Utah) y Green River

(Wyoming). Con una longitud de más de 25 metros y un peso de 548 toneladas, las Big Boy eran capaces de arrastrar cargas masivas a través de las montañas rocosas y son consideradas unas de las locomotoras más poderosas jamás construidas.

En Europa, las locomotoras de vapor también se volvieron más eficientes y especializadas. En el Reino Unido, se construyeron locomotoras para trenes de alta velocidad. La configuración que destacaba era la 4-6-2 (cuatro ruedas guía, seis ruedas motrices acopladas y dos ruedas traseras) conocidas también como Pacific. La locomotora "Mallard" forma parte de este tipo de configuración poseyendo el récord de velocidad de locomotora de vapor en 1938 alcanzando los 202.58 km/h. Este tipo de trenes se utilizaron principalmente para el transporte de pasajeros en rutas largas y se convirtieron en símbolos de la era del vapor [23].



Figura 2-13 Locomotora "Mallard", [23]

2.1.2.4 Declive y sustitución (1950-1970)

A principios del siglo XX aparecieron las primeras locomotoras diésel-eléctricas, lo que llevó a un declive gradual del uso de las locomotoras de vapor. Durante las dos primeras décadas del siglo XX, Europa electrificó la mayor parte de sus vías férreas, especialmente las líneas cortas donde los ingresos de un gran tránsito abatieron los altos costos iniciales. Estas locomotoras ofrecían mayor eficiencia y menores costes operativos, lo que llevó a un declive gradual del uso de las locomotoras de vapor. Las locomotoras de vapor se utilizaron hasta mitad del siglo XX en Europa y Estados Unidos; y se continuaron utilizando en el resto del mundo hasta finales de siglo. Aunque pueden ser máquinas bastante sencillas y adaptables a una gran variedad de combustibles, son menos eficientes que los motores diésel o eléctricos y requieren un mantenimiento constante que implica un trabajo considerable, tal y como se refiere en [24].

El motor eléctrico, según [25], proporciona un enorme momento de torsión desde un punto de partida a una velocidad constante. Además, es silencioso, confiable y requiere un mantenimiento más barato y sencillo que uno de vapor. Otra ventaja es la necesidad de una menor tripulación y sencillos de manejar. Se ha calculado que el coste en mano de obra y carburante de una locomotora de vapor supera en unas dos veces y media al de una locomotora diésel y el kilometraje diario es mucho menor.

En los comienzos del siglo XXI, la locomotora de vapor solamente reina en algunas regiones aisladas como en Corea del Norte y en actividades turísticas [24].

2.1.3 Importancia en el desarrollo industrial

El invento de la máquina de vapor y su principal aplicación en la locomotora y el ferrocarril fueron claves en la Revolución Industrial desde principios del siglo XIX hasta mediados del siglo XX. Al igual que las innovaciones en la producción textil y siderúrgica.

Basándonos en los aspectos descritos en el apartado anterior, los ferrocarriles se dedicaron principalmente al transporte de mercancías y materias primas en sus inicios y posteriormente en el transporte de personas. Antes del ferrocarril este el transporte se realizaba por medio de carreteras o canales por tracción animal o la fuerza del viento; limitando la cantidad de volumen capaz de transportar de forma rápida y económica. Surge la necesidad de contar con un medio de transporte de gran capacidad, barato y rápido para trasladar el creciente volumen de mercancías y productos agrarios que se estaban generando, además del hierro y el carbón necesarios para la industria.

El carbón que era esencial para el desarrollo industrial que se estaba produciendo en las ciudades; y el acero y

hierro importantes para la construcción de infraestructuras y máquinas pudieron ser distribuidas de una manera más eficiente y rápida. De esta manera se reducían los costes y tiempos impulsando el desarrollo de la industria.

Además, el aumento del uso de las locomotoras produjo una retroalimentación en otras industrias claves. La industria siderúrgica creció por la necesidad de invertir en una infraestructura fiable de vías ferroviarias. Las locomotoras, los raíles y los vagones requerían una gran cantidad de acero y hierro. La creación de esta infraestructura también condujo a una innovación en el campo de la ingeniería civil y la construcción por la necesidad de diseñar nuevos puentes, túneles y nueva forma de dirigir y controlar el tráfico ferroviario. Otro sector que se favoreció de esta retroalimentación fue la minería del carbón necesaria como combustible para los motores de vapor.

Otra característica clave es la conexión en de zonas rurales y ciudades al igual que conexiones más eficaces entre ciudades y entre países afectando a la economía y a la sociedad.

Los mercados locales se expandieron a nivel regional, nacional e incluso internacional. Teniendo en cuenta [26], esta conectividad mejorada no solo permitió a las fábricas obtener los recursos necesarios a precios más bajos, sino que también permitió la distribución de productos terminados a mercados más amplios. Otra consecuencia fue la incorporación de regiones aisladas a la economía global, lo que incentivó el crecimiento económico en áreas menos desarrolladas. La reducción de los costes de transporte permitió a los productores agrícolas y manufactureros acceder a nuevos mercados, aumentando su producción y generando mayor demanda para bienes industriales, como maquinaria agrícola y productos manufacturados.

Respecto a la sociedad, el desarrollo del ferrocarril provocó el proceso de urbanización. Las locomotoras hicieron posible que los trabajadores se desplazaran de rápidamente de los hogares a los centros industriales, al igual que la migración de zonas rurales a las ciudades donde se demandaba mucha mano de obra, basándonos en [27]. Ciudades como Manchester en Inglaterra o Pittsburgh en Estados Unidos se convirtieron en grandes centros industriales, y el ferrocarril fue vital para su expansión y sostenibilidad económica.

Este transporte permitía que zonas alejadas geográficamente recibieran influencia de otras culturas. De esta manera nuevas formas de pensar e ideas se distribuían por el mundo a mayor velocidad acelerando el desarrollo de la humanidad.

El ferrocarril también tuvo una influencia significativa en la cultura popular, desde la literatura y el arte hasta la música y el cine, donde las locomotoras de vapor se convirtieron en un símbolo de la modernidad y el progreso.

2.2 El modelo NCS 76

Este modelo fue construido por la empresa alemana J.A. Maffei en 1913, y fue diseñada específicamente para los Nederlandsche Centraal Spoorwegmaatschappij (NCS), los Ferrocarriles Centrales de los Países Bajos. También se utilizaron en Dutch Railways (NS) y en Maatschappij tot Exploitatie van Staatsspoorwegen (SS). Debido a la puerta de la caja de humos de forma cónica, estas estas locomotoras pronto recibieron el apodo de "Zeppelins".

De esta serie se produjeron 8 locomotoras yendo del número 71 a la 78, la NCS 76 corresponde en los otros operadores como SS 976 para Maatschappij tot Exploitatie van Staatsspoorwegen y NS 3606 para Dutch Railways, como se refleja en [28].

2.2.1 Especificaciones técnicas

Estas son algunas de sus especificaciones más destacadas basándonos en los planos de la locomotora NCS 76 [1]:

- **Año de fabricación:** 1914.
- **Fabricante:** J.A. Maffei, Múnich, Alemania.
- **Notación Whyte:** 4-6-0 8cuatro ruedas delanteras en dos ejes pertenecientes al bogie frontal, y otras seis ruedas motrices acopladas en tres ejes, careciendo de ruedas traseras).
- **Diámetro de las ruedas motrices:** 1,9 metros
- **Longitud:** 20,034 metros

- **Altura:** 4,6 metros
- **Peso de la locomotora:** 76 toneladas
- **Número de cilindros:** 4, con un diámetro de 400 mm y un recorrido del pistón de 640 mm.
- **Velocidad máxima:** 110 km/h.
- **Esfuerzo de tracción:** 88,75 kN

2.2.2 Historia y desarrollo

La NSC fue fundamental en la creación de una red ferroviaria nacional construyendo el ferrocarril central Utrecht – Amersfoort – Zwolle – Kampen. Esta compañía adquirió 8 locomotoras de la compañía J.A. Maffei para su flota (siendo una de ella NSC 76).

En 1921 esta fue renombrada como NS 3606 cuando el sistema ferroviario holandés fue nacionalizado y consolidado bajo la compañía estatal Nederlandse Spoorwegen (NS). En 1925, estas locomotoras fueron reconstruidas con una cámara de combustión similar a la de la serie NS 3700. En 1935, las locomotoras fueron dotadas de frenos en el bogie y recibieron un tender completamente soldado que tenía la misma capacidad de agua y carbón que el tender de la serie NS 3900. De esta manera, la velocidad máxima se pudo aumentar a 110 km/h. La última locomotora de esta serie fue retirada del servicio en 1953. En la actualidad no se ha conservado ninguna locomotora de la serie NS 3600 [28].



Figura 2-14 NS 3600 “Zeppelins”, [28]

En los Países Bajos las locomotoras de vapor desempeñaron un papel crucial en la transformación de país en un país. Durante los primeros años de su servicio, ayudaron a conectar regiones industriales con los puertos, facilitando el transporte de bienes a gran escala, un factor clave para la economía del país.

Durante la Primera Guerra Mundial, cuando muchos recursos de transporte marítimo fueron bloqueados o interrumpidos, el transporte ferroviario se volvió aún más esencial, y las locomotoras asumieron un papel crítico en el mantenimiento de las líneas de suministro internas.

Sin embargo, con el tiempo fueron reemplazadas por locomotoras diésel y eléctricas durante la segunda mitad del siglo XX como en el resto de Europa.

2.3 Funcionamiento de una locomotora a vapor

2.3.1 Componentes principales

A continuación se describen los componentes principales de la locomotora de vapor y la función que desempeña:

2.3.1.1 Caldera

Es el componente central donde se genera el vapor, es un espacio cerrado que almacena el agua y cubre el fogón y una serie de tubos conectados a este por los cuales se evacuan los gases procedentes de la combustión. Suele estar compuesta por una carcasa exterior resistente a la presión [29].

En la caldera el agua se vaporiza gracias al calor generado por el combustible que se quema en el fogón y los gases derivados que circulan por los tubos.

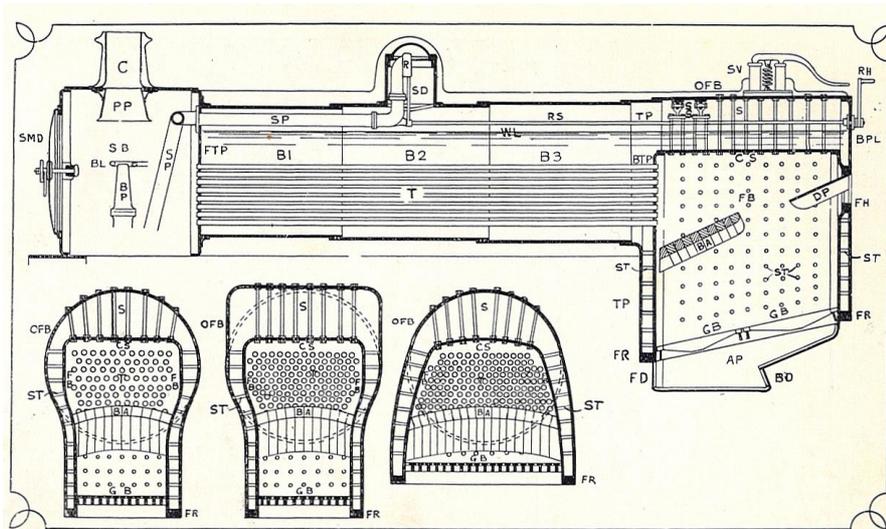


Figura 2-15 Caldera, [30]

2.3.1.2 Fogón

Cámara donde se quema el combustible siendo los más comunes el carbón, madera y los derivados del petróleo. Está ubicada en la parte trasera de la caldera y directamente debajo de la cabina del maquinista, y la función es generar calor para convertir el agua en vapor. El aire necesario para la combustión entra a través de las parrillas al inferior del fogón. Esta entrada de aire también provoca el movimiento de los gases de combustión por los tubos centro de la caldera [29].

La caja de fuego está diseñada para maximizar la combustión del combustible y es usualmente de hierro fundido o acero. Se incluye un sistema de parrillas móviles que permiten ajustar el flujo de aire y la eliminación de cenizas.

Todos los tubos juntos proporcionan una gran área de contacto, llamada superficie de calentamiento del tubo, entre el gas y el agua en la caldera [31]. El agua de la caldera rodea la caja de fuego para evitar que el metal se caliente demasiado. Esta es otra área donde el gas transfiere calor al agua y se llama superficie de calentamiento de la caja de fuego.

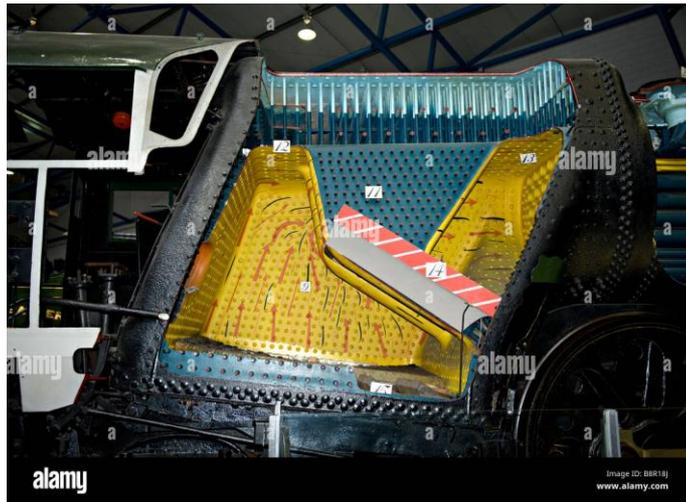


Figura 2-16 Fogón, [32]

2.3.1.3 Domos de vapor

Se encuentra en la parte superior de la caldera donde se almacena el vapor generado por la evaporación del agua de la caldera. Este vapor se encuentra a muy alta presión. Se dirige posteriormente a los mecanismos del movimiento.

El domo tiene un regulador que controla la cantidad de vapor que pasa a los cilindros. De esta manera se regula la velocidad y la potencia de la locomotora [31].



Figura 2-17 Domo de vapor, [33]

2.3.1.4 Cilindros y pistones

Los cilindros son las cámaras donde el vapor realiza el trabajo de mover los pistones, siendo estos los que transforman la presión del vapor en movimiento lineal. Los cilindros son estructuras cilíndricas huecas que contienen los pistones móviles. Normalmente se ubican en la parte delantera de la locomotora. En cada extremo del cilindro hay una válvula que controla la entrada y salida del vapor.

Los pistones tienen dos extremos, uno por donde el vapor lo empuja y genera el movimiento; y otro donde el vapor usado en el ciclo anterior es expulsado [31].

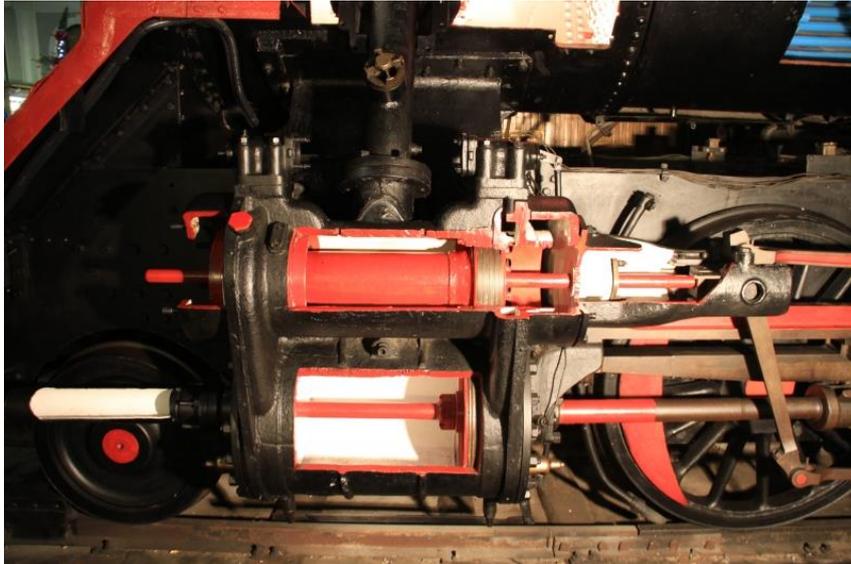


Figura 2-18 Cilindro y pistón [31]

2.3.1.5 Bielas, manivelas y ruedas motrices

Las bielas son las barras que conectan los pistones a las ruedas motrices. Las manivelas son los puntos donde las bielas están conectadas a las ruedas y permite la transformación del movimiento alternativo en movimiento rotativo.

Mientras que las ruedas motrices impulsan la locomotora sobre los rieles. Su gran tamaño permite un movimiento eficiente y suave. Son el componente final del sistema de transmisión proporcionando la tracción necesaria para mover la locomotora [31].



Figura 2-19 Biela, manivelas y ruedas motrices, [31]

2.3.1.6 Chimenea

La chimenea es el componente que expulsa el vapor de los cilindros y los gases de escape de la combustión del carbón. Esta no solo expulsa el vapor usado, sino que también ayuda a mejorar el tiro en la caja de fuego, lo que aumenta la eficiencia de la combustión [30].



Figura 2-20 Chimenea, [34]

2.3.1.7 Frenos

El sistema de frenos de una locomotora de vapor es crucial para garantizar su seguridad y control durante la operación. Debido a su gran masa y la cantidad de energía generada por el movimiento, detener una locomotora y su tren requiere un sistema eficiente y robusto que pueda disipar grandes cantidades de energía cinética de manera rápida y controlada.

Las zapatillas de freno son las piezas que se presionan contra las ruedas para generar fricción y detener el tren. Estas zapatillas están fabricadas generalmente de hierro fundido o materiales compuestos y están diseñadas para soportar altas temperaturas y resistir el desgaste [30].



Figura 2-21 Frenos, [35]

2.3.2 Funcionamiento

El inicio del proceso es en el fogón donde el combustible se introduce en su interior y quemándolo. Esto provoca unas temperaturas extremadamente altas. El aire necesario para la combustión se introduce por la parrilla en la parte inferior del fogón. De esta combustión surgen unos gases a alta temperatura que fluyen por los tubos hacia la chimenea. Tanto el fogón como los tubos están rodeados por agua contenida en la caldera. Gracias a estos tubos el contacto entre el agua y el metal a alta temperatura es mayor y la transmisión de calor superior [31].

Este calor provoca un aumento en la temperatura del agua llevándola a la ebullición y convirtiéndose en vapor. Este vapor al ser menos denso asciende y se almacena en el domo consiguiendo un vapor más seco, minimizando

la cantidad de agua que se mezcla con el vapor [31].

La eficiencia de esta etapa depende de varios factores, como la cantidad de aire que entra en la caja de fuego, la calidad del carbón y la configuración de los tubos de fuego. La correcta operación de la caldera asegura una producción continua de vapor a alta presión, generalmente entre 10 a 14 bar, aunque algunas locomotoras avanzadas podían manejar mayores presiones [31].

A continuación, el vapor almacenado en el domo se conduce hasta los cilindros controlando el acceso por medio de válvulas. De esta manera el maquinista puede elegir la cantidad de flujo de vapor, es decir, la cantidad de potencia generada por los cilindros y el pistón. Las válvulas juegan un papel clave en la sincronización del motor, asegurando que el vapor ingrese en el momento exacto y se utilice de manera eficiente para generar movimiento [31].

El ciclo del pistón es lineal, primero el vapor entra por uno de los lados del cilindro aplicando la presión en un lado del pistón y empujándolo hacia atrás. Una vez que el pistón llega al final de su recorrido, la válvula de escape se abre para dejar salir el vapor usado mientras que otra válvula deja entrar nuevamente el vapor a alta presión en el lado contrario del cilindro empujando el pistón en dirección contraria y finalizando el ciclo. Este movimiento alternativo (hacia adelante y hacia atrás) es lo que genera la fuerza inicial que mueve la locomotora, como se puede observar en [fig. 2-22].

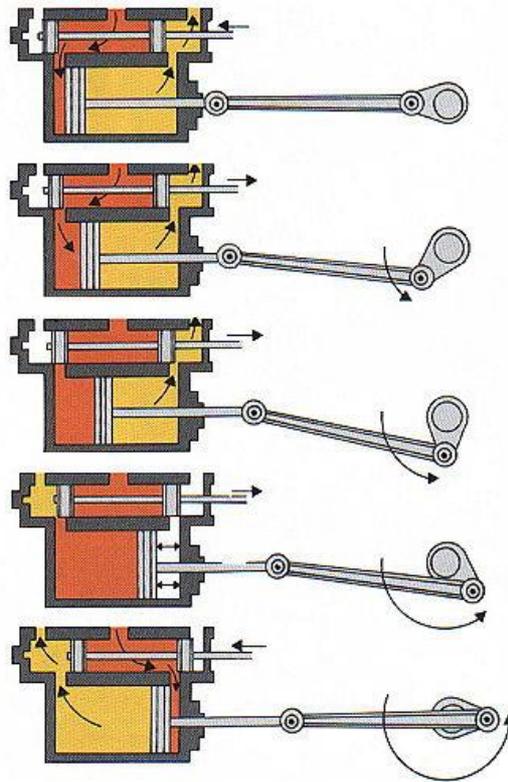


Figura 2-22 Ciclo del pistón dentro del cilindro, [36]

De esta manera obtenemos un movimiento alternativo lineal, pero necesitamos convertirlo en movimiento rotativo para el giro de las ruedas. Para esta función están las bielas y manivelas; las bielas están conectadas a los pistones y a las ruedas motrices. A medida que el pistón se mueve hacia adelante y hacia atrás, las bielas transfieren este movimiento a las ruedas, que están montadas sobre un eje rotativo. Las manivelas están fijadas a las ruedas motrices y permiten que el movimiento alternativo de las bielas se convierta en rotación. A medida que las bielas se mueven, las manivelas transforman este movimiento en un giro continuo de las ruedas [31].

Para finalizar, el vapor con menor presión, que ha realizado el trabajo en los cilindros, se expulsa por las válvulas de escape y se libera por la chimenea junto a los gases de la combustión a menor temperatura. Sin embargo, aunque este vapor ya no tiene presión suficiente para seguir siendo útil cumple dos funciones importantes: mejorar el tiro y liberación del vapor usado. El escape de vapor ayuda a generar un vacío en la caja de fuego, mejorando el tiro y, por lo tanto, avivando la combustión. Esto ayuda a mantener una combustión constante y

eficiente. Al liberar el vapor gastado, se evita que se acumule en los cilindros, lo que permitiría que la locomotora mantenga un ciclo continuo de entrada de vapor fresco y expulsión del vapor usado [31].

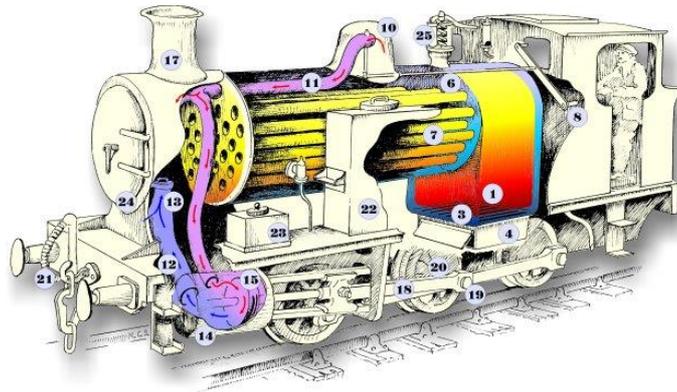


Figura 2-23 Ciclo del vapor en la locomotora, [37]

Este sería el ciclo termodinámico que se produce dentro de la locomotora. Pero, además, esta máquina posee una serie de sistemas que permiten al maquinista controlar la locomotora. El primero sería el regulador, este es una válvula que controla la cantidad de vapor que entra en los cilindros. Al abrir o cerrar el regulador, el maquinista puede aumentar o disminuir la potencia de la locomotora y, por lo tanto, su velocidad [37].

Para controlar la velocidad, también tenemos el sistema de frenos, permiten reducir la velocidad e incluso detener la máquina. Había diversos tipos de frenos, había frenos de vacío, frenos de aire comprimido, frenos manuales y frenos dinámico o de contravapor [29].

Otro sistema es el soplador de aire, en locomotoras modernas, el maquinista también puede controlar la cantidad de aire que entra en la caja de fuego, ajustando así la eficiencia de la combustión [29].

Para mantener la locomotora en funcionamiento durante largas distancias, es necesario que haya un sistema de suministro constante de agua y que la presión en la caldera se mantenga dentro de límites seguros. A medida que el agua se evapora en la caldera, debe reponerse constantemente. El tender, acoplado a la locomotora, almacena grandes cantidades de agua que son inyectadas en la caldera mediante bombas de alimentación. Estas bombas están diseñadas para introducir agua fría en la caldera sin disminuir drásticamente la temperatura o la presión [29].

La presión dentro de la caldera se controla mediante válvulas de seguridad, que liberan vapor si la presión supera los límites seguros, evitando así explosiones [30].

3 HERRAMIENTAS CAD UTILIZADA: CATIA V5

CATIA (computer-aided three-dimensional interactive application) [38] es software multiplataforma diseño asistido por ordenador (CAD), fabricación asistida por ordenador (CAM), análisis de ingeniería asistido por ordenador (CAE), modelado 3D y gestión del ciclo de vida del producto (PLM) desarrollado por la empresa francesa Dassault Systèmes.

3.1 Características generales de CATIA V5

CATIA se distingue por su capacidad para manejar proyectos de gran complejidad, permitiendo a los ingenieros crear, modificar y analizar productos en un entorno totalmente integrado. Las características, según se describe en [39], de este software son:

- CATIA te permite gestionar las geometrías de múltiples piezas o partes mediante el modelado paramétrico 3D. Estos parámetros definen dimensiones y las relaciones entre los componentes, permitiendo que los modelos puedan ser modificados rápidamente en todo el diseño.
- Aporta una visión muy semejante a la pieza final incluyendo el diseño mediante CAD-CAM-CAE (Diseño, fabricación y análisis). Esto permite tener una visión global del producto desde etapas tempranas del diseño.
- La gestión de proyecto puede hacerse a tiempo real. Esto permite que las diversas partes del proyecto puedan trabajarse con la misma fuente de diseño, aporten de forma conjunta y retroalimenten sus actividades.
- CATIA facilita la generación de planos técnicos detallados y documentación de diseño, lo que simplifica la comunicación entre equipos de diseño y fabricación.

En el software se introdujo hace una década el 3DExperience [40] para la ingeniería de sistemas basada en modelos, la arquitectura empresarial, el modelado de conceptos y las ontologías. Estas soluciones permiten a los líderes de la industria global desarrollar la “Internet de las experiencias”: las experiencias virtuales inteligentes y autónomas que conectan digitalmente los productos, la naturaleza y la vida en el mundo real.

Cabe destacar también que, al tratarse de un software tan complejo y potente, requiera un hardware con requisitos medio-altos y también técnicos cualificados para su uso.

En la actualidad, las aplicaciones para las que más se utiliza son: Ingeniería e Ingeniería de Sistemas, Diseño y Construcción. Esto lo convierte en una herramienta ideal para industrias como la aeroespacial antes mencionada, pero también la de construcción, transporte, marina, automoción, etc. Y, sin duda, es uno de los programas CAD más utilizados en fabricación aditiva.

3.2 Módulos empleados en el proyecto

Para llevar a cabo el modelado de la locomotora de vapor, se han empleado varios módulos de CATIA V5, cada uno con su función específica. A continuación, se describirán los utilizados en el desarrollo del diseño [41] :

3.2.1 Part Design

Permite el diseño de partes mecánicas en 3D desde un sketch para un ensamblaje hasta un proceso iterativo de diseño. A partir de bocetos en 2D que luego se extruyen o se revolucionan y se crean sólidos paramétricos en 3D. El módulo fue utilizado para crear los componentes individuales de la locomotora.

Las herramientas utilizadas son:

3.2.1.1 Sketcher

Creamos los sketches en 2D en esta herramienta con la que posteriormente con otras funciones se conforman las piezas en 3D. Dentro de esta función hay otras con las que se permiten definir el boceto aplicándoles condiciones y dimensiones como distancias o ángulos [41].



Figura 3-1 Sketcher

3.2.1.2 Sketch-Based Features

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Pad:** Permite convertir un boceto 2D en un volumen 3D mediante la extrusión del perfil
- **Pocket:** Extrae el material de una pieza existente mediante la extrusión de un sketch hacia el interior del sólido.
- **Shaft:** Crea geometrías 3D al hacer revolucionar el diseño 2D alrededor de un eje.
- **Groove:** Extrae material de una pieza existente girando un perfil 2D alrededor de un eje.
- **Hole:** crea agujeros de diversas formas y características en un modelo 3D y se le puede indicar que siga la norma.
- **Rib:** Forma un sólido a partir de un perfil 2D que sigue una trayectoria definida. La trayectoria puede ser abierta o cerrada.
- **Slot:** Corta material de un sólido con un perfil 2D que sigue una trayectoria definida.
- **Stiffener:** Crea refuerzos estructurales a la pieza añadiendo material a lo largo de una dirección específica.
- **Thickness:** Añade o reduce el espesor a un sólido, creando un sólido con un grosor uniforme a partir de una forma superficial.

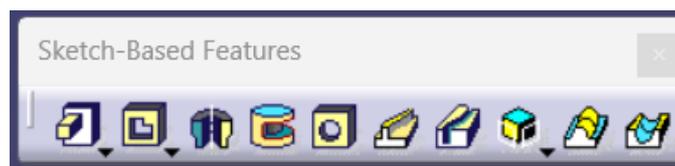


Figura 3-2 Sketch-Based Features

3.2.1.3 Reference Elements

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Plane:** Permite crear superficies planas utilizadas como referencia para construir bocetos 2D o para definir la posición de otras geometrías en el espacio 3D.
- **Line:** Permite crear líneas que sirven como geometrías auxiliares que guían la construcción de piezas y operaciones.
- **Point:** Permite crear puntos que son ubicaciones en el espacio 3D que actúan como referencias para posicionar otros elementos o para realizar operaciones geométricas precisas.

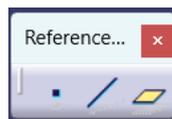


Figura 3-3 Reference Elements

3.2.1.4 Transformation Features

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Translate:** permite mover una geometría o una característica de una ubicación a otra en el espacio 3D.
- **Rotate:** permite girar una geometría alrededor de un eje determinado.
- **Symmetry:** permite crear una réplica especular de una geometría o característica respecto a un plano, punto o eje de simetría.
- **Mirror:** crea una copia reflejada de la geometría seleccionada en función de un plano de referencia.
- **Pattern:** crear múltiples copias de una geometría en patrones lineales o circulares.
- **Scale:** ajusta el tamaño de una geometría ampliándola o reduciéndola en función de un factor de escala.

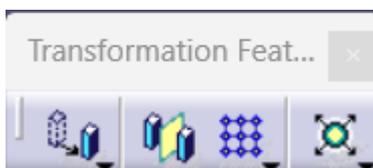


Figura 3-4 Transformation Features

3.2.1.5 Dress-Up Features

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Fillet:** se utiliza para suavizar los bordes o esquinas de una pieza redondeándolos.
- **Chamfer:** crea un corte en ángulo en los bordes de una pieza
- **Shell:** Vacía una pieza al eliminar el material interior y mantener las superficies externas con un espesor uniforme.
- **Thickness:** añade o resta espesor a una superficie o sólido, creando una pieza hueca con un espesor uniforme.
- **Draft:** aplica un ángulo de inclinación a las superficies indicadas.
- **Thread/Tap:** permite crear **roscas** externas e internas en un modelo 3D.
- **Remove Face:** elimina una o varias caras de la pieza

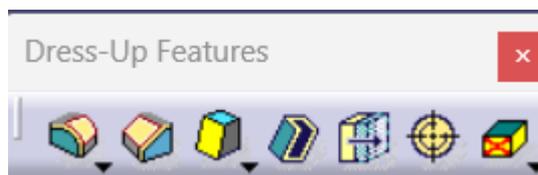


Figura 3-5 Dress-Up Features

3.2.1.6 Apply material

Asigna materiales a los componentes 3D diseñados. Esto también los dota de unas propiedades como textura, color, propiedades mecánicas, térmicas y físicas [41].

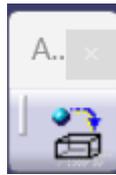


Figura 3-6 Apply material

3.2.1.7 Render

Generar representaciones visuales de alta calidad de los modelos 3D, simulando de manera realista cómo se verían en la realidad [41].



Figura 3-7 Render

3.2.2 Assembly Design

3.2.2.1 Move

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Manipulation:** permite mover un componente en las direcciones X, Y, Z o rotarlo alrededor de un eje.
- **Snap:** ajusta la posición de un componente para que coincida con una referencia geométrica de otra pieza, como una cara, un plano o un eje.
- **Explode:** separa automáticamente las piezas de un ensamblaje en diferentes direcciones, sin cambiar su ubicación original. Los componentes permanecen asociados entre sí, pero la vista muestra las piezas separadas.
- **Stop Manipulate on Crash:** mientras manipulas un componente detiene el movimiento automáticamente cuando se detecta una colisión con otra pieza.



Figura 3-8 Move

3.2.2.2 Constraints

Las funciones que encontramos son [41]:

- **Coincidence:** asegura que dos objetos geométricos coincidan y puede aplicarse a superficies planas, bordes, o ejes.
- **Contact:** asegura que dos superficies estén en contacto sin superponerse.
- **Offset:** permite definir una distancia entre dos superficies o ejes de componentes diferentes.
- **Angle:** permite definir el ángulo entre dos superficies, planos o ejes.
- **Fix:** bloquea completamente el movimiento de un componente, inmovilizándolo en el espacio.
- **Fix Together:** agrupa varios componentes y los fija de manera que se muevan juntos como una única

pieza.

- **Quick Constraints:** aplicar restricciones geométricas de manera automática
- **Flexible/rigid subassembly:** permite cambiar la configuración del subconjunto de flexible o rígido según sea necesario.
- **Change Constraint:** modifica una restricción existente entre dos piezas en un ensamblaje variando sus parámetros sin necesidad de eliminar la restricción anterior y crear una nueva.
- **Reuse Pattern:** reutiliza patrones geométricos aplicados en una pieza y transferir esas posiciones o configuraciones de patrón a otras piezas dentro del ensamblaje.

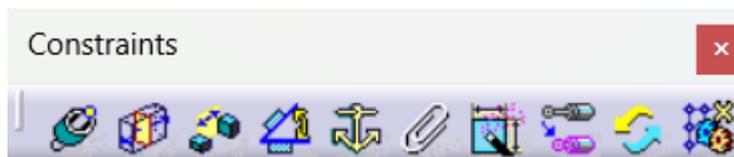


Figura 3-9 Constraints

3.2.3 Wireframe and Surface Design

En este módulo únicamente se utilizan dos herramientas [41]:

- **Join:** permite combinar múltiples elementos geométricos (como superficies, curvas o bordes) en una única entidad. Una vez unidos, estos elementos pueden tratarse como un solo conjunto, aunque conservan sus características individuales.



Figura 3-10 Join

- **Helix:** genera una curva helicoidal a lo largo de un eje definido por el usuario. Se puede controlar el paso, el radio y el número de revoluciones.



Figura 3-11 Helix

3.2.4 DMU Kinematics

En este módulo se utilizan las herramientas de kinematics Joints [42]:

- **Revolute Joint:** permite el movimiento relativo de dos componentes alrededor de un único eje, proporcionando un grado de libertad de rotación.
- **Prismatic Joint:** permite el movimiento lineal de dos componentes a lo largo de un eje definido, proporcionando un grado de libertad de traslación.
- **Cylindrical Joint:** permite tanto el movimiento de rotación como el de traslación entre dos componentes a lo largo de un mismo eje, proporcionando dos grados de libertad.
- **Screw Joint:** es una combinación de un movimiento rotacional y lineal, donde la traslación es proporcional a la rotación.
- **Spherical Joint:** proporciona libertad de movimiento en tres direcciones angulares, permitiendo rotaciones en torno a un punto fijo.
- **Planar Joint:** permite que dos componentes se deslicen y giren uno sobre el otro en un plano definido, proporcionando tres grados de libertad: dos movimientos de traslación y un movimiento de rotación.
- **Rigid Joint:** conecta dos componentes de manera fija, de modo que no existe movimiento relativo entre

ellos. Proporciona 0 grados de libertad.

- **Point Curve Joint:** permite que un punto en un componente se desplace a lo largo de una curva en otro componente, proporcionando un grado de libertad de traslación.
- **Slide Curve Joint:** permite que una superficie se desplace a lo largo de una curva, proporcionando un grado de libertad.
- **Roll Curve Joint:** permite que un componente ruede a lo largo de una curva sin deslizamiento, simulando el contacto rodante entre dos superficies.
- **Point Surface Joint:** permite que un punto en un componente se desplace libremente sobre una superficie en otro componente, proporcionando dos grados de libertad.
- **Universal Joint:** permite rotación en dos ejes perpendiculares, proporcionando dos grados de libertad de rotación.
- **Gear Joint:** permite simular el movimiento de dos componentes acoplados por engranajes, de modo que el giro de un componente impulsa el giro del otro de manera proporcional.
- **Rack and Pinion Joint:** permite simular el movimiento de un piñón que convierte un movimiento rotacional en movimiento lineal a lo largo de una cremallera.
- **Cable Joint:** simula el comportamiento de un cable o cuerda que conecta dos componentes, permitiendo una restricción flexible.
- **Axis-Based Joint:** permite definir una relación de movimiento entre dos ejes



Figura 3-12 Kinematics joints

3.3 Ventaja de CATIA V5 en el diseño de la locomotora

El uso de CATIA V5 ha permitido alcanzar un alto grado de precisión y eficiencia en el modelado de la locomotora de vapor. Entre las principales ventajas se encuentran:

- **Interfaz integrada:** CATIA ofrece una plataforma única donde el diseño, ensamblaje y simulación se pueden realizar sin necesidad de cambiar de software. Esto permite mantener la coherencia y precisión en todo el proyecto.
- **Validación temprana del diseño:** Con las herramientas de simulación fue posible validar el diseño desde las primeras etapas del modelado, evitando problemas durante el ensamblaje final.
- **Adaptabilidad:** El enfoque paramétrico de CATIA facilitó los ajustes en las dimensiones y el diseño de las piezas, ya que cualquier cambio en un componente se actualiza automáticamente en el ensamblaje general.

4 MODELADO DE LA LOCOMOTORA NCS 76

En este capítulo vamos a describir las piezas que conforman el modelo de la locomotora NCS 76 al igual que los subconjuntos que la conforman. Los módulos y las funciones utilizadas se han expuesto en el capítulo anterior. A continuación, se mostrarán los sub-subconjuntos y utilizando la función *Explode* se podrá observar en detalle la composición de estos. En algunos en específico se detallará el proceso de diseño utilizado.

4.1 Modelado de las Simple Parts y Assembly de los subconjuntos

4.1.1 Estructura de la locomotora

El bill of material de este ensamblaje es:

Estructura de la locomotora	
Cantidad	Part Number
1	L1-01-UNDER FRAME
1	L1-02-SMOKE BOX REST
1	L1-03-BOILER REST FRAME PLATE
1	L1-04-BOILER REST FRAME PLATE-1
1	L1-06-STRECHER FRAME
1	L1-07-CABIN FLOOR FRAME
6	L1-09-AXLE BOX
1	L1-10-FLAT BUFFER
1	L1-11-CURVED BUFFER
1	L1-12-COUPLING
2	L1-18-SLIDE VALVE SPINDLE BEARING BRACKER
2	L1-18-SLIDE VALVE SPINDLE BEARING BRACKER
1	L1-19-FRONT COVER PLATE
1	L1-24-MECH. FEED PUMP
2	L1-25-CROSSHEAD GUIDE
1	L1-26-STEAM EXHAUST MANIFOLD
2	L1-27-EXPANSION LINK BEARING BRACKET
2	L1-28-LIFTING ARM BEARING
1	L1-29-BOGIE FRAME
4	L1-30-BOGIE AXLE BOX
1	L1-44-SPIRIT BURNER
1	L1-56-STEAM INLET MANIFOLD
9	L1-57-PIPE NUT M10x7
2	L1-65-SMOKE BOX STEPS HOLDING BRACKET
1	L1-70-WATER SUPPLY PIPE FROM TENDER
1	L1-71-BYPASS SUPPLY PIPE FROM MECH.PUMP
1	L1-72-HAND PUMP SUPPLY PIPE FROM TENDER
1	L1-89-SIDE FOOT PLATE
1	L1-89-SIDE FOOT PLATE
2	L1-90-DUM MY OILER

1	L1-92-WHISTLE
1	L1-96-PULL LINK PLATE
2	L1-97A-DUMMY LEAFSPRING-MIDDLE
1	L1-97B-DUMMY LEAFSPRING-REAR
1	L1-97B-DUMMY LEAFSPRING-REAR
1	L1-97C-DUMMY LEAFSPRING-FRONT
1	L1-97C-DUMMY LEAFSPRING-FRONT

4.1.1.1 L1-01: UNDER FRAME

El marco inferior este compuesto por 15 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio

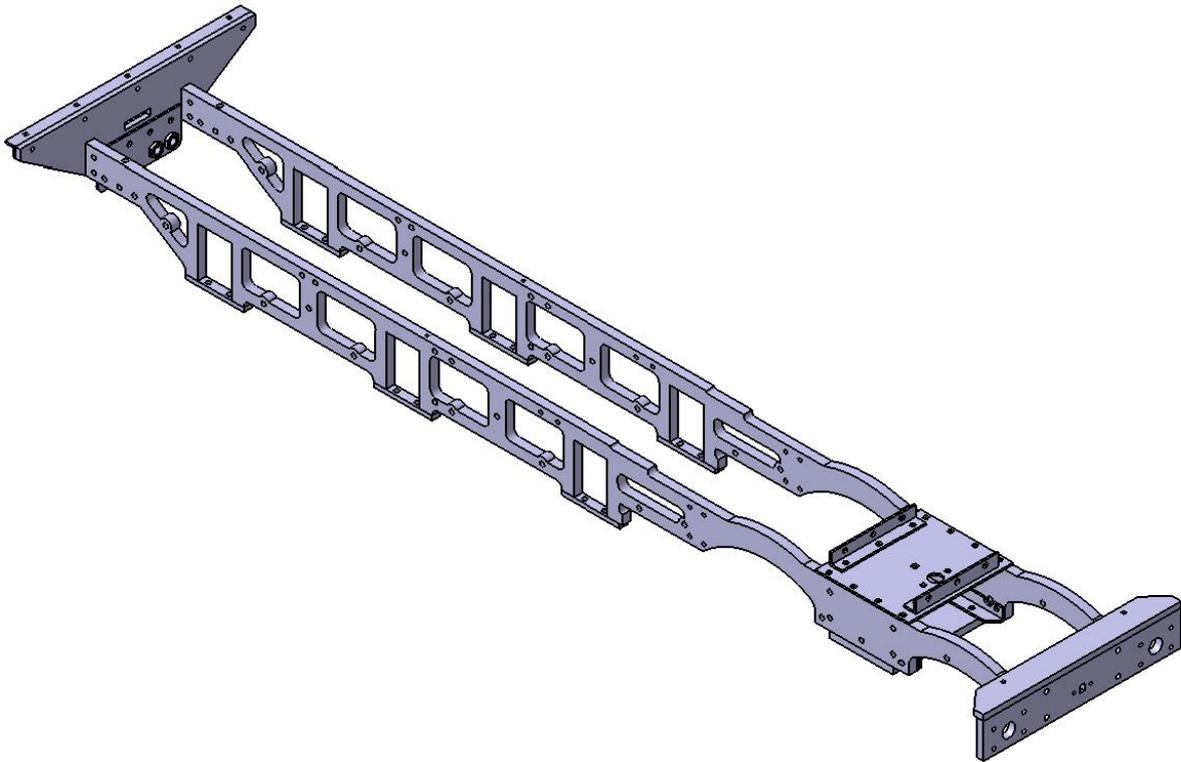


Figura 4-1 L1-01: UNDER FRAME

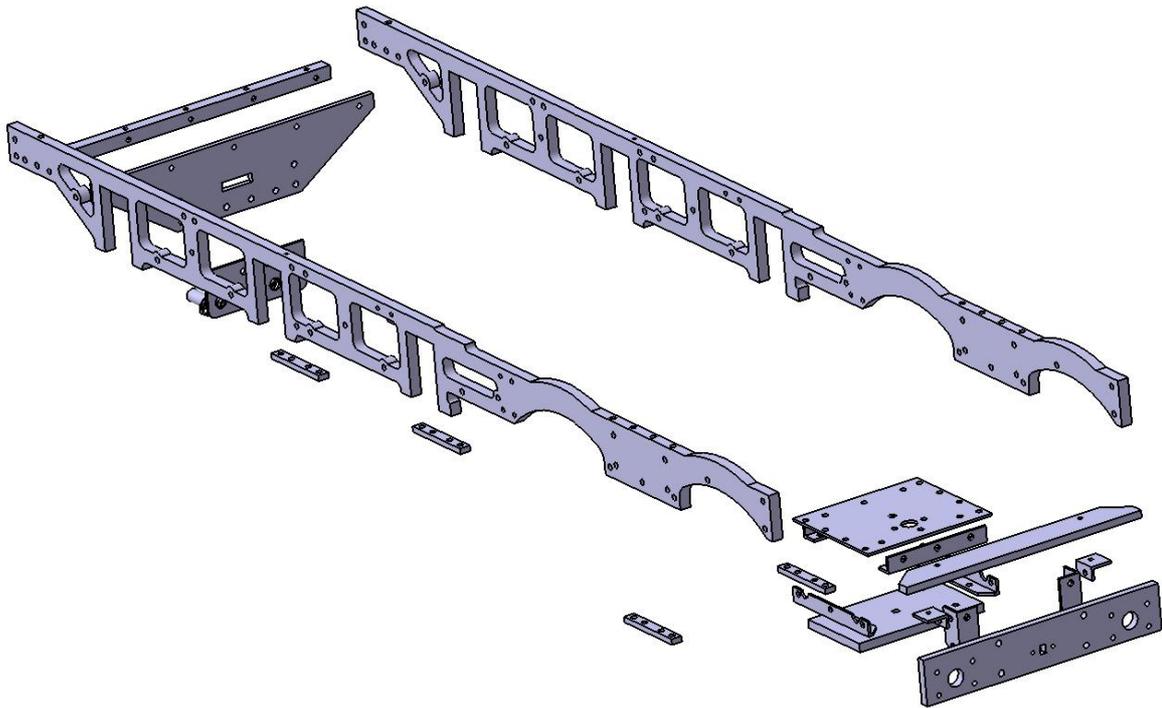


Figura 4-2 L1-01: UNDER FRAME (Función: *Explode*)

4.1.1.2 L1-02: SMOKE BOX REST

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio

Cabría destacar la pieza número L1-02.4 por sus curvaturas:

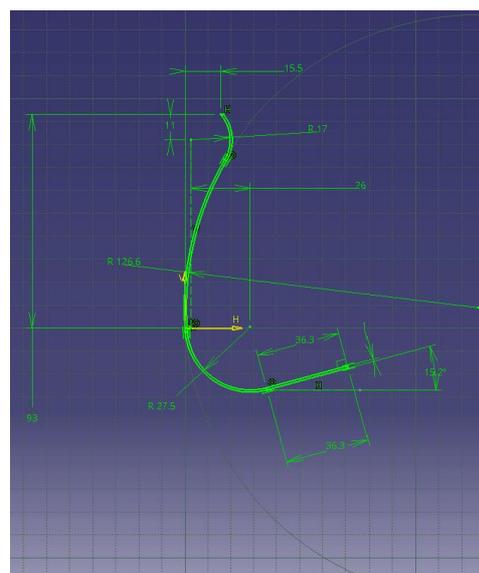
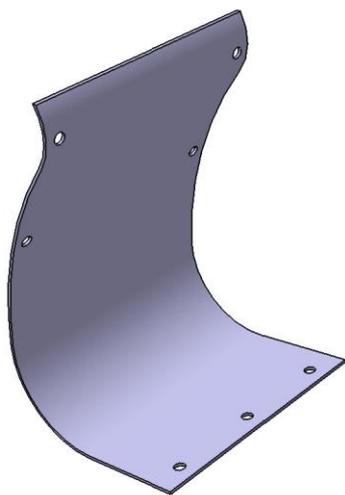


Figura 4-3 L1-02.4

El assembly del subconjunto es el siguiente:

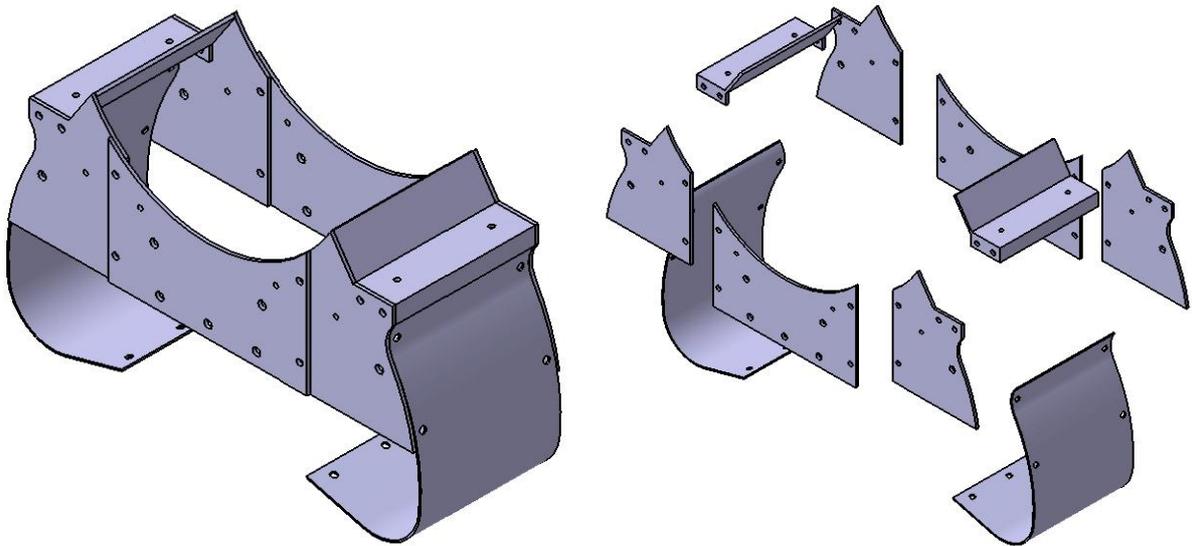


Figura 4-4 L1-02 SMOKE BOX REST y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.3 L1-03: BOILER REST FRAME PLATE

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

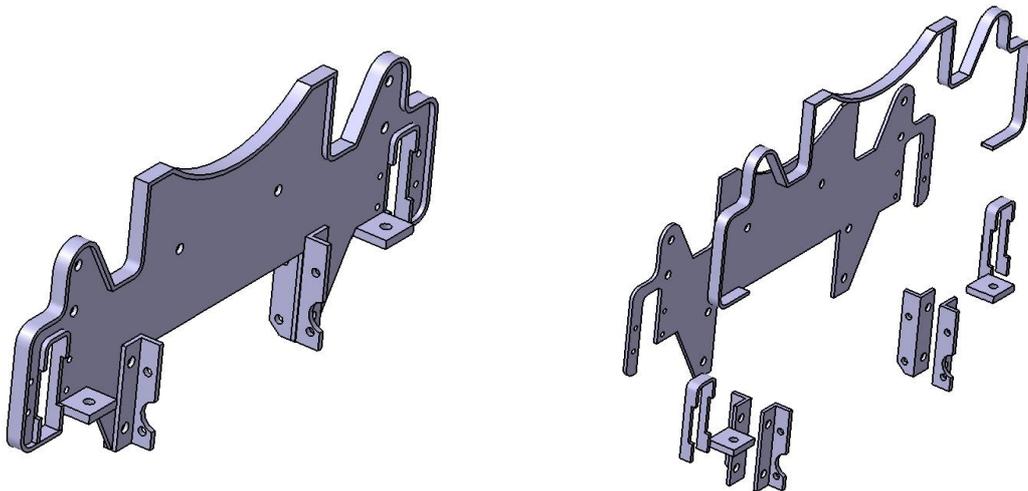


Figura 4-5 L1-03: BOILER REST FRAME PLATE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.4 L1-04: BOILER REST FRAME PLATE-1

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de

los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

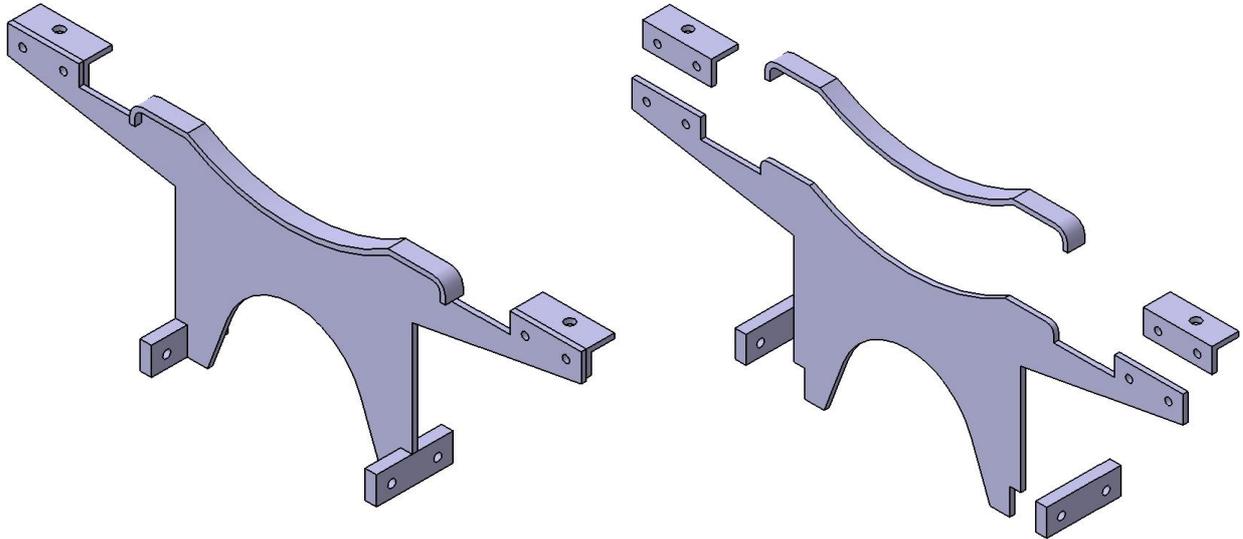


Figura 4-6 L1-04: BOILER REST FRAME PLATE-1 y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.5 L1-06: STRECHER FRAME

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

La pieza es la siguiente:

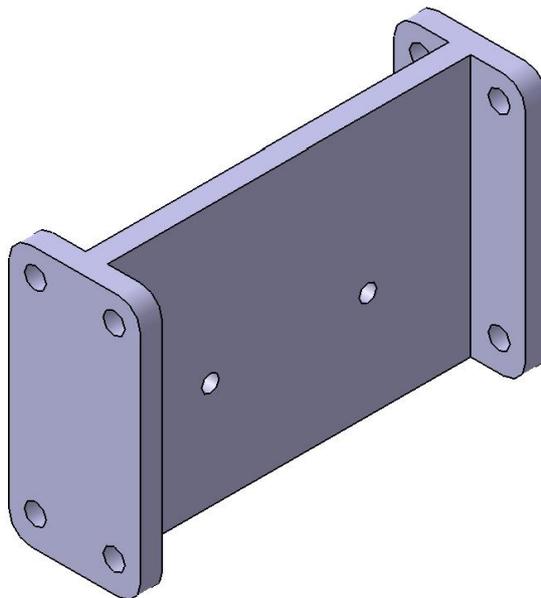


Figura 4-7 L1-06: STRECHER FRAME

4.1.1.6 L1-07: CABIN FLOOR FRAME

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con

la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

La pieza es la siguiente:

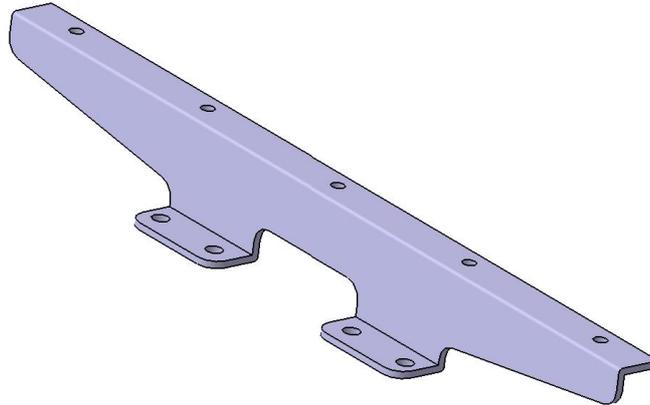


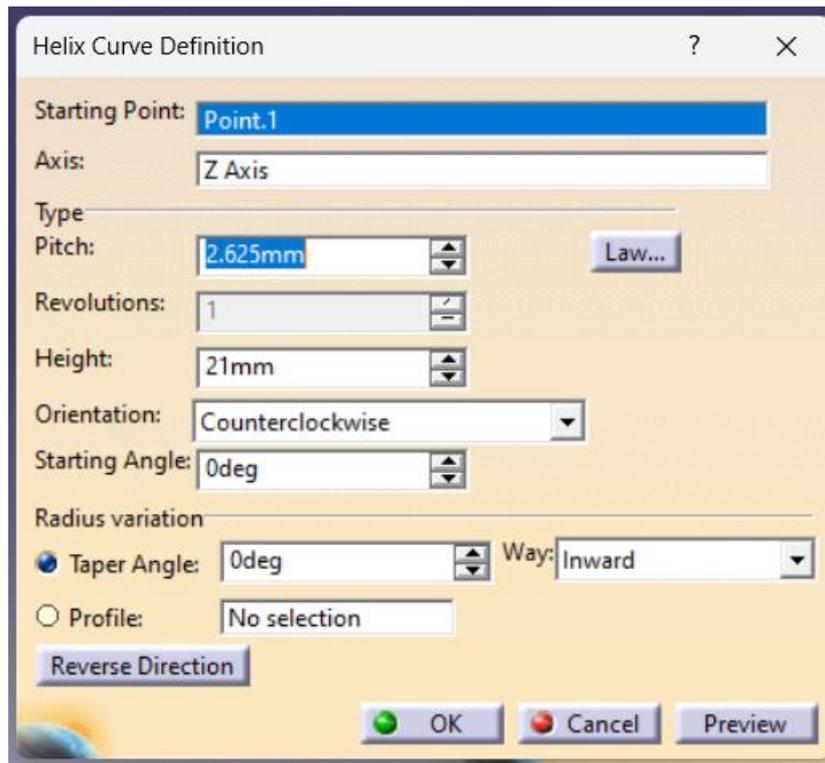
Figura 4-8 L1-07: CABIN FLOOR FRAME

4.1.1.7 L1-09: AXLE BOX

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

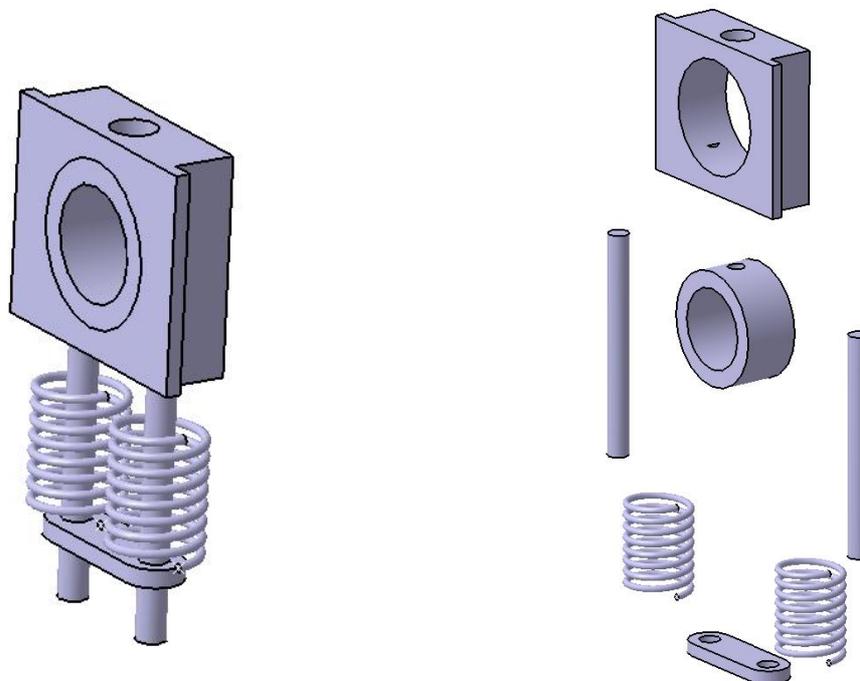
Para el muelle se coloca un primer punto donde debe de comenzar la hélice que posteriormente será el eje del muelle. En ese punto se realiza un sketch con el perfil del muelle y en el módulo Wireframe and Surface Design se utiliza la función *Helix*. En esta fusión se le introducen los siguientes parámetros:

- Starting point: El punto definido anteriormente
- Axis: Eje entorno al cual rota la hélice, en nuestro caso eje Z.
- Pitch: 2.625mm
- Height: 21mm
- Starting angle: 0°

Figura 4-9 Parámetros de la función *Helix*

Por último, en el módulo Part Design se usa la función *Rib*. Utilizamos el sketch como el perfil y la hélice como el centro de la curva.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-10 L1-09: AXLE BOX y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.8 L1-10: FLAT BUFFER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. El muelle se realiza con el procedimiento descrito en la pieza L1-09. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

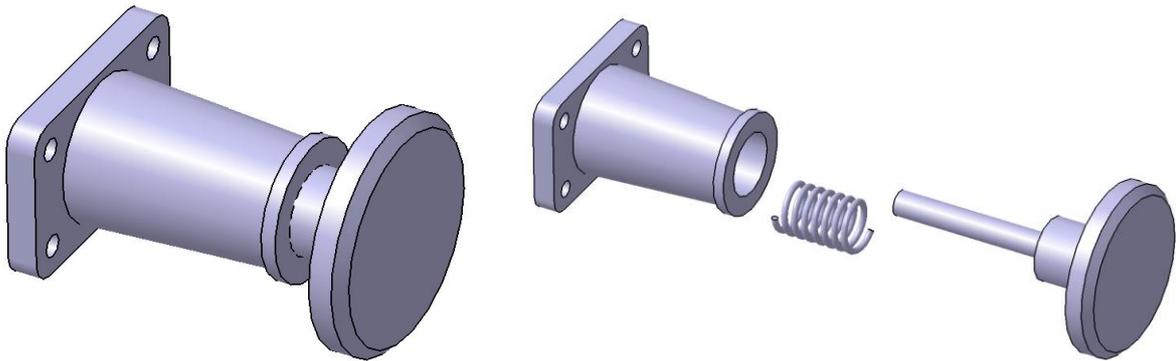


Figura 4-11 L1-10: FLAT BUFFER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.9 L1-11: CURVED BUFFER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. El muelle se realiza con el procedimiento descrito en la pieza L1-09. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

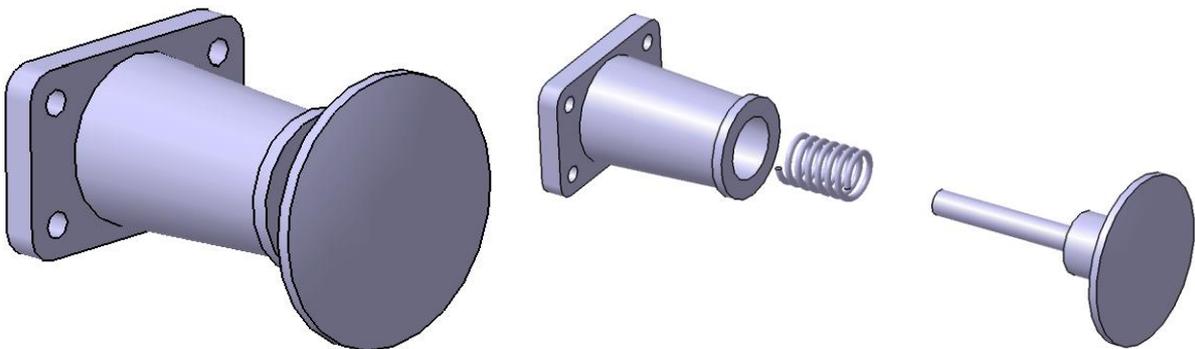


Figura 4-12 L1-11: CURVED BUFFER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.10 L1-12: COUPLING

Esta pieza está compuesta por 9 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. El muelle se realiza con el procedimiento descrito en la pieza L1-09. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

En este assembly además se puede destacar en la pieza L1-12.7 en la cual se utiliza la función *Rib* para la curvatura inferior. Además, la pieza L1-12.1 tiene un sketch complejo por la curvatura del gancho:

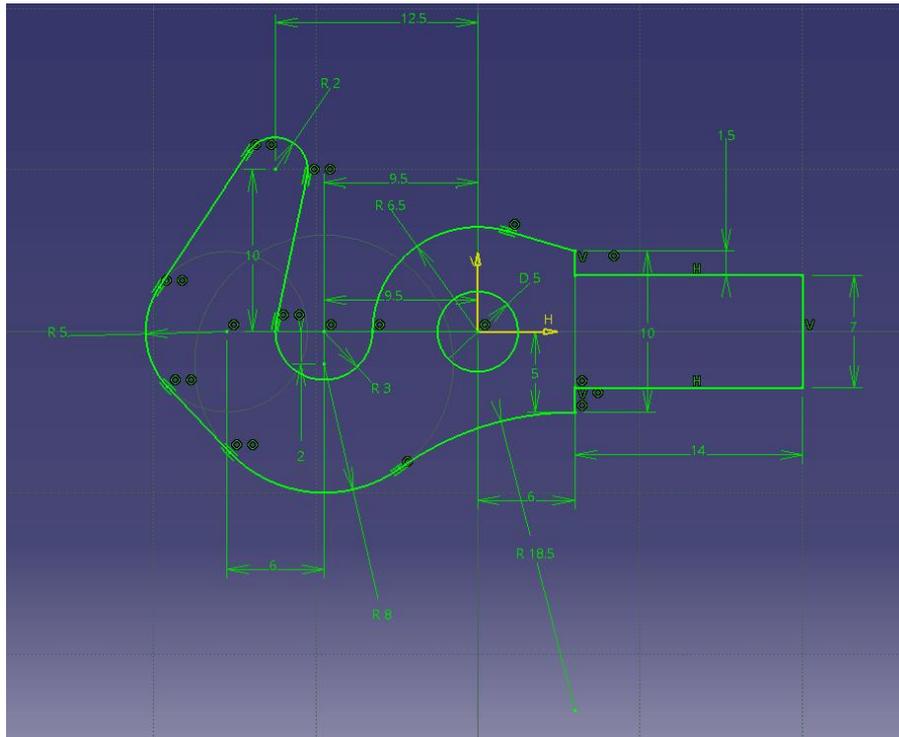


Figura 4-13 Sketch pieza L1-12.1

El assembly del subconjunto es el siguiente:

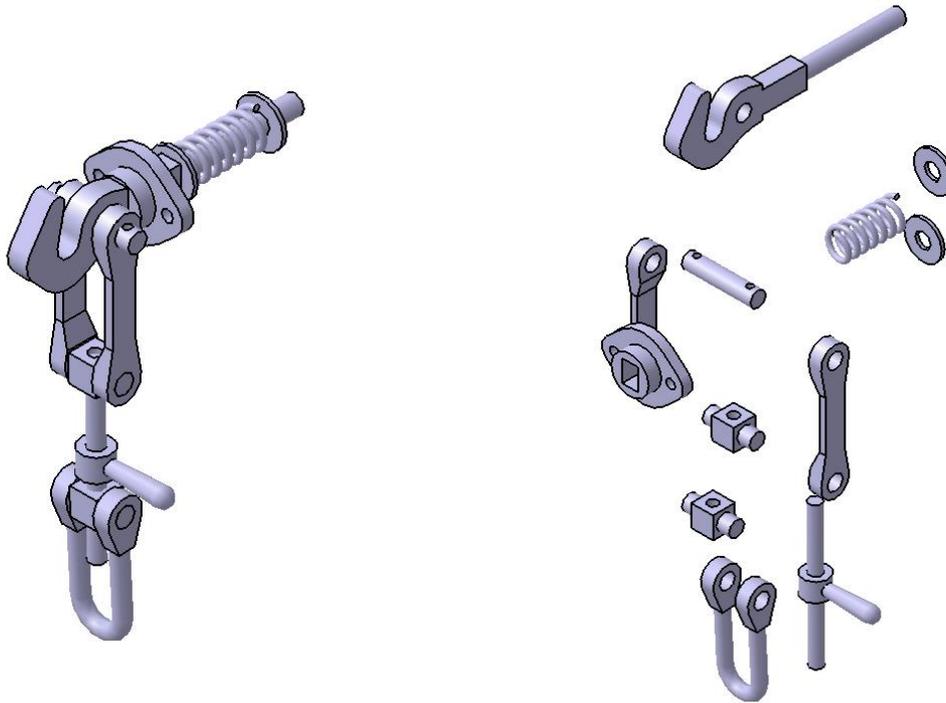


Figura 4-14 L1-12: COUPLING y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.11 L1-18: SLIDE VALVE SPINDLE BEARING BRACKER

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

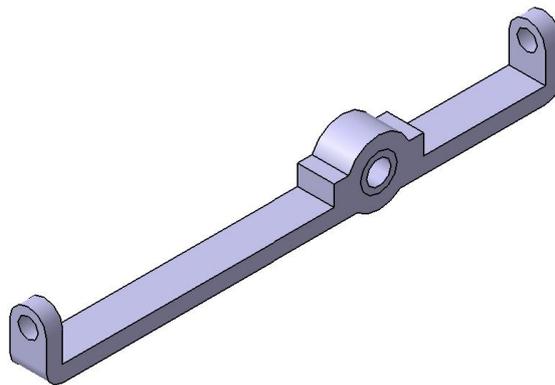


Figura 4-15 L1-18: SLIDE VALVE SPINDLE BEARING BRACKER

4.1.1.12 L1-19: FRONT COVER PLATE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

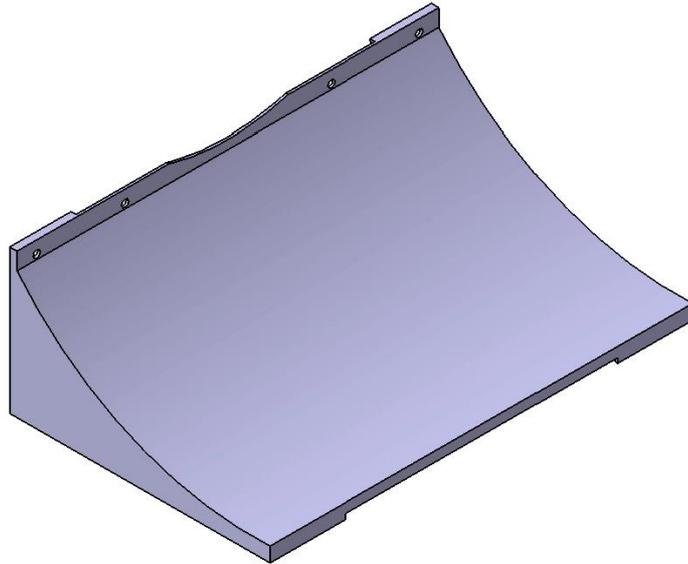


Figura 4-16 L1-19: FRONT COVER PLATE

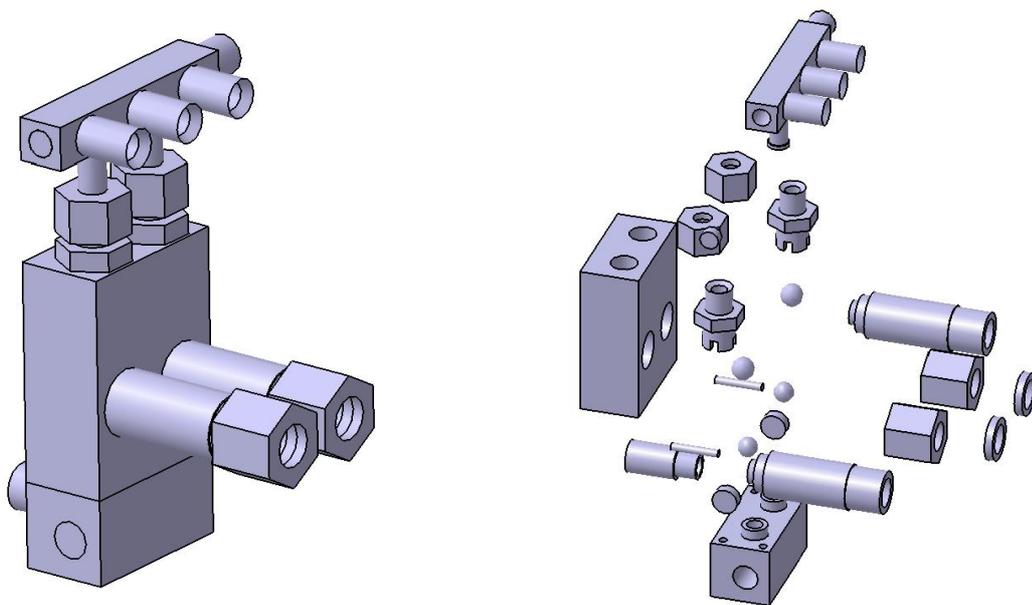
4.1.1.13 L1-24: MECH. FEED PUMP

Esta pieza está compuesta por 13 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies.

Para las piezas L1-24.5 y L1-24.9 que son esferas, se realiza un sketch con la forma de un semicírculo del radio de la esfera. A este sketch se le aplica la función *Shaft* con eje la línea del semicírculo.

Las piezas L1-24.1, L1-24.6, L1-24.7, L1-24.8, L1-24.10, L1-24.11, L1-24.12 y L1-24.13 tienen como material el bronce. Las piezas L1-24.2 y L1-24.3 son de cobre, la L1-24.5 y L1-24.9 son de acero y L1-24.4 es de caucho.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-17 L1-24: MECH. FEED PUMP y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.14 L1-25: CROSSHEAD GUIDE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

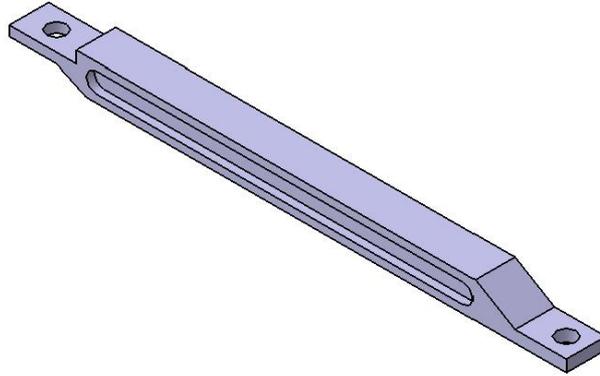


Figura 4-18 L1-25: CROSSHEAD GUIDE

4.1.1.15 L1-26: STEAM EXHAUST MANIFOLD

Esta pieza está compuesta por 7 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies.

Las piezas L1-26.1, L1-26.2, L1-26.3, L1-26.4 y L1-26.6 se les asigna como material el bronce. L1-26.5 se le asigna el cobre y L1-26.7 es de caucho.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

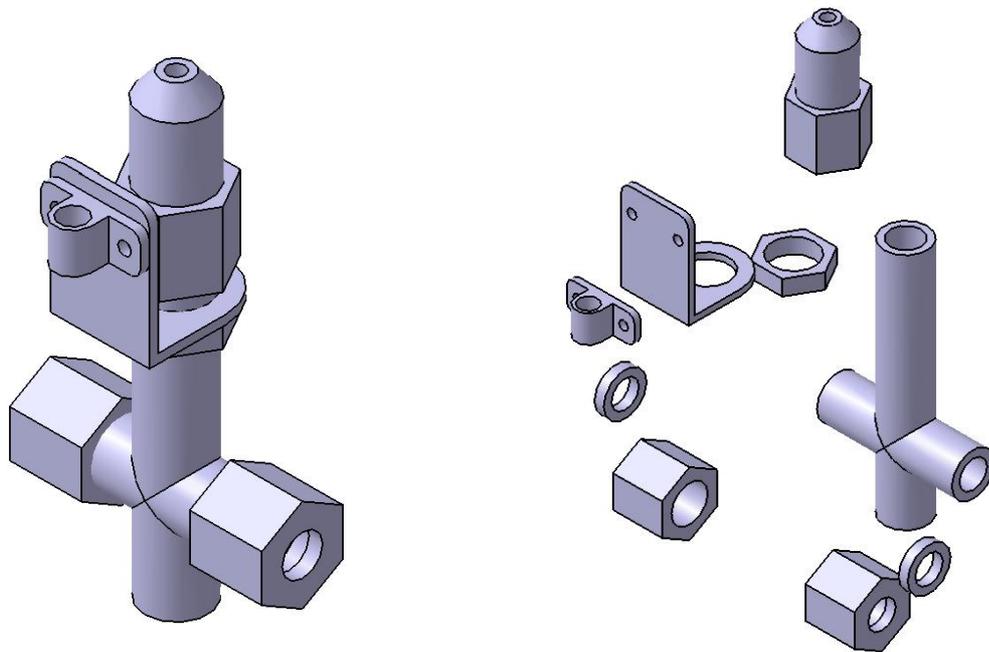


Figura 4-19 L1-26: STEAM EXHAUST MANIFOLD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.16 L1-27: EXPANSION LINK BEARING BRACKET

Esta pieza está compuesta por 7 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

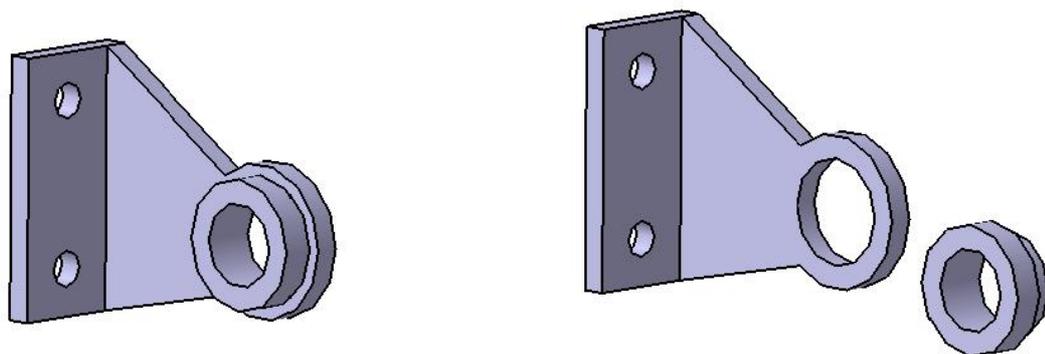


Figura 4-20 L1-27: EXPANSION LINK BEARING BRACKET y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.17 L1-28: LIFTING ARM BEARING

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

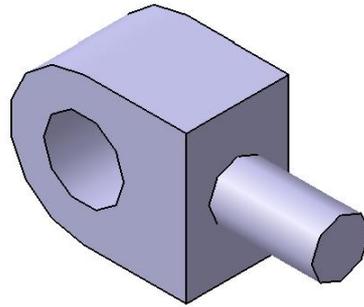


Figura 4-21 L1-28: LIFTING ARM BEARING

4.1.1.18 L1-29: BOGIE FRAME

Esta pieza está compuesta por 12 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. El muelle se realiza con el procedimiento descrito en la pieza L1-09. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

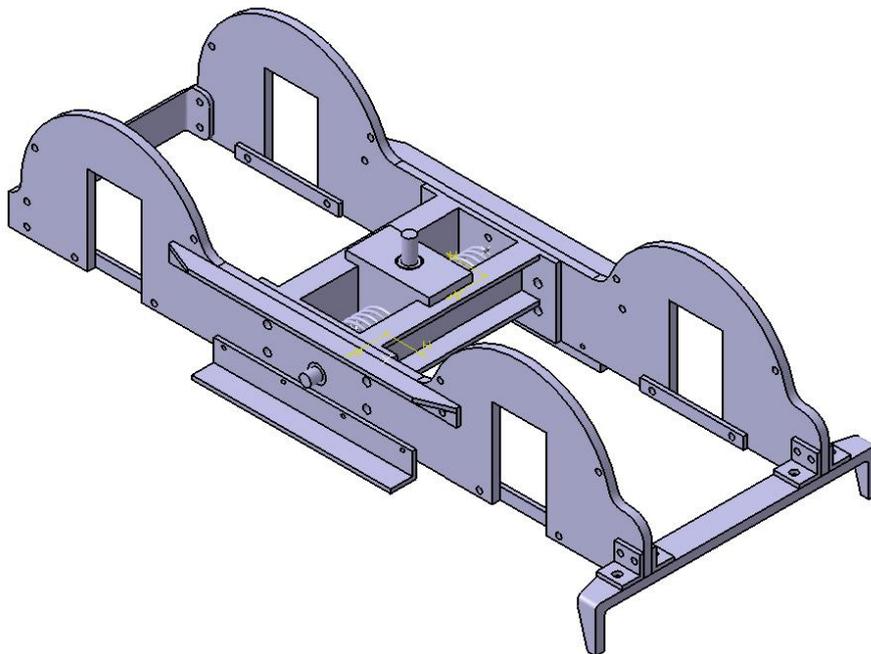
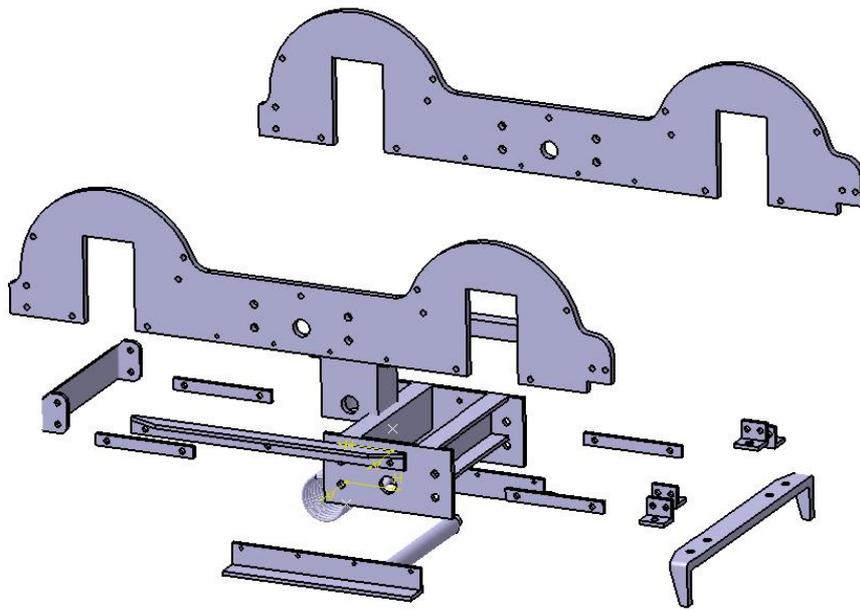


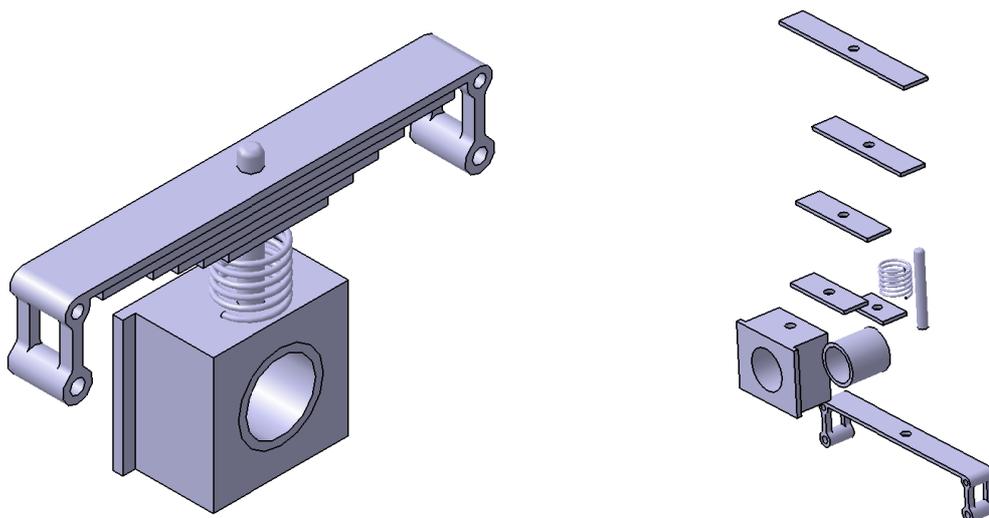
Figura 4-22 L1-29: BOGIE FRAME

Figura 4-23 L1-29: BOGIE FRAME (Función: *Explode*)

4.1.1.19 L1-30: BOGIE AXLE BOX

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. El muelle se realiza con el procedimiento descrito en la pieza L1-09. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-24 L1-30: BOGIE AXLE BOX y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.20 L1-44: SPIRIT BURNER

Esta pieza está compuesta por 9 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies.

Las piezas L1-44.1, L1-44.2, L1-44.3, L1-44.5, L1-44.6 y L1-44.8 se les asigna como material el bronce. L1-44.4, y L1-44.9 tienen asignados el cobre y L1-44.7 es de acero.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

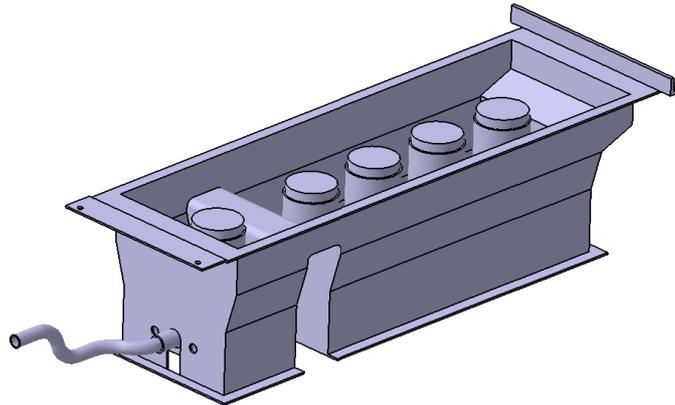


Figura 4-25 L1-44: SPIRIT BURNER

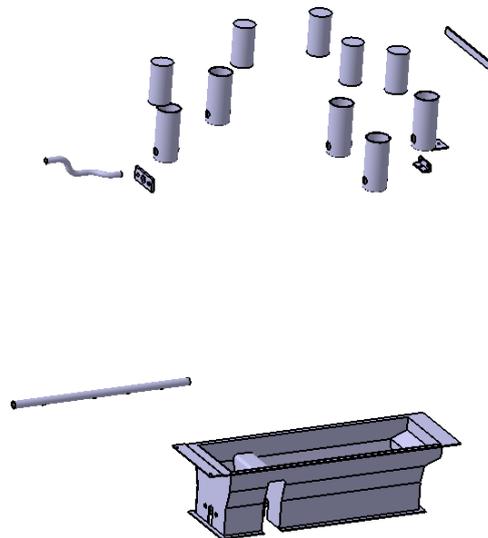


Figura 4-26 L1-44: SPIRIT BURNER (Función: *Explode*)

4.1.1.21 L1-56: STEAM INLET MANIFOLD

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado las piezas mediante diferentes sketches a los que se le aplican la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. En el módulo Assembly Design se ensamblan las diferentes piezas para obtener el subconjunto. Principalmente se utiliza la función *Coincidence Constrain* para alinear los ejes de los huecos de los tornillos; y la función *Contact Constrain* para fijar el contacto de las superficies. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

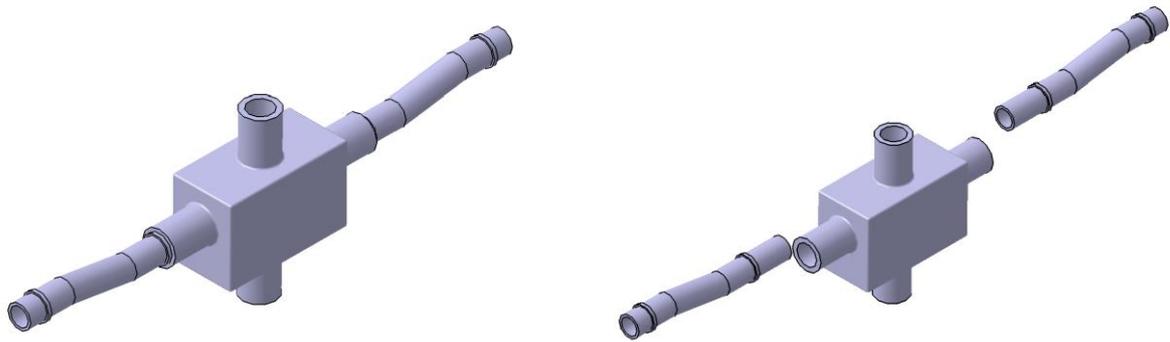


Figura 4-27 L1-56: STEAM INLET MANIFOLD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.22 L1-57: PIPE NUT M10x7

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

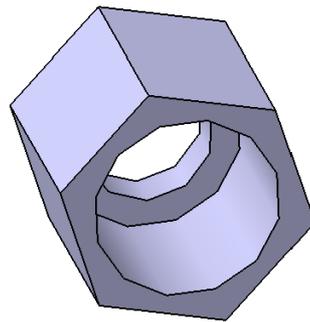


Figura 4-28 L1-57: PIPE NUT M10x7

4.1.1.23 L1-65: SMOKE BOX STEPS HOLDING BRACKET

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. En el módulo Assembly Design se han diseñado la pieza mediante un sketch al que se le aplica la función *Pad* y posteriormente se les realizan los huecos necesarios con la función *Pocket* y *Hole*. La pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

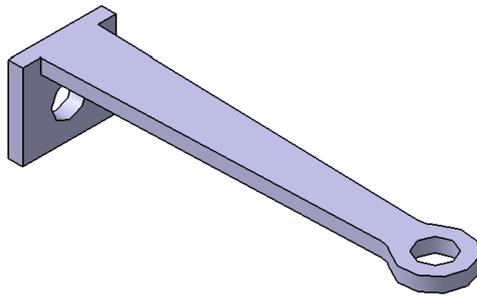


Figura 4-29 L1-65: SMOKE BOX STEPS HOLDING BRACKET

4.1.1.24 L1-70: WATER SUPPLY PIPE FROM TENDER

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. La pieza tiene asignada como material el cobre.

Para realizar las tuberías se realizan los sketches del eje central donde los finales de los sketches deben de coincidir en el espacio:

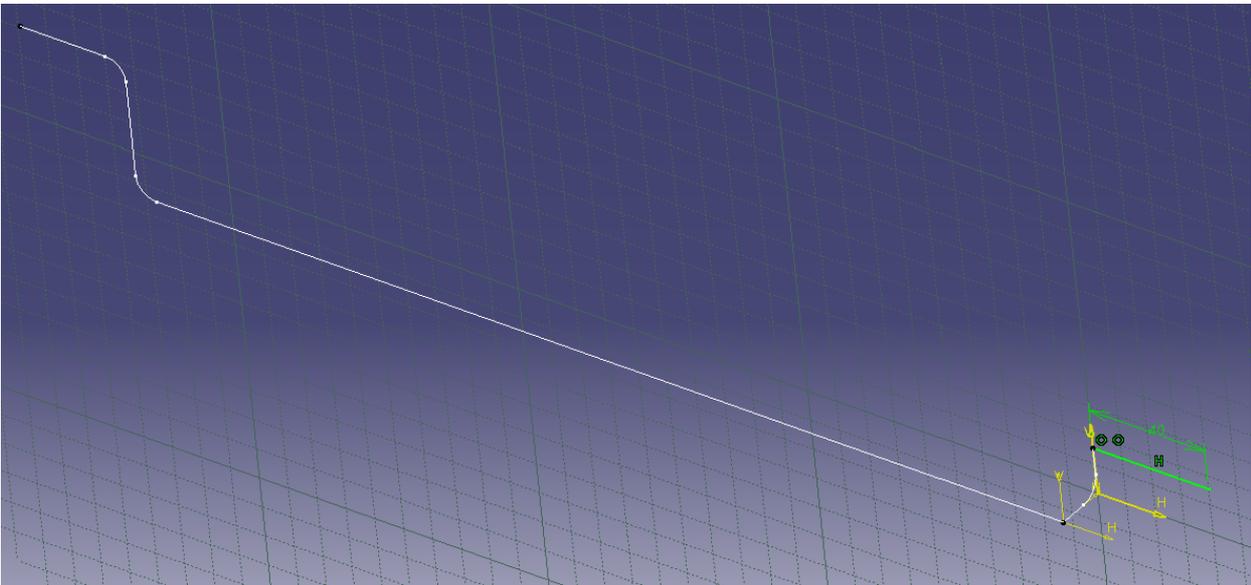


Figura 4-30 Sketches del eje de la tubería

A continuación, se utiliza la herramienta Join en el módulo Wireframe and Surface Design para conformar un único sketch que será la guía por la cual seguirá el perfil de tubería con el diámetro que asignemos.

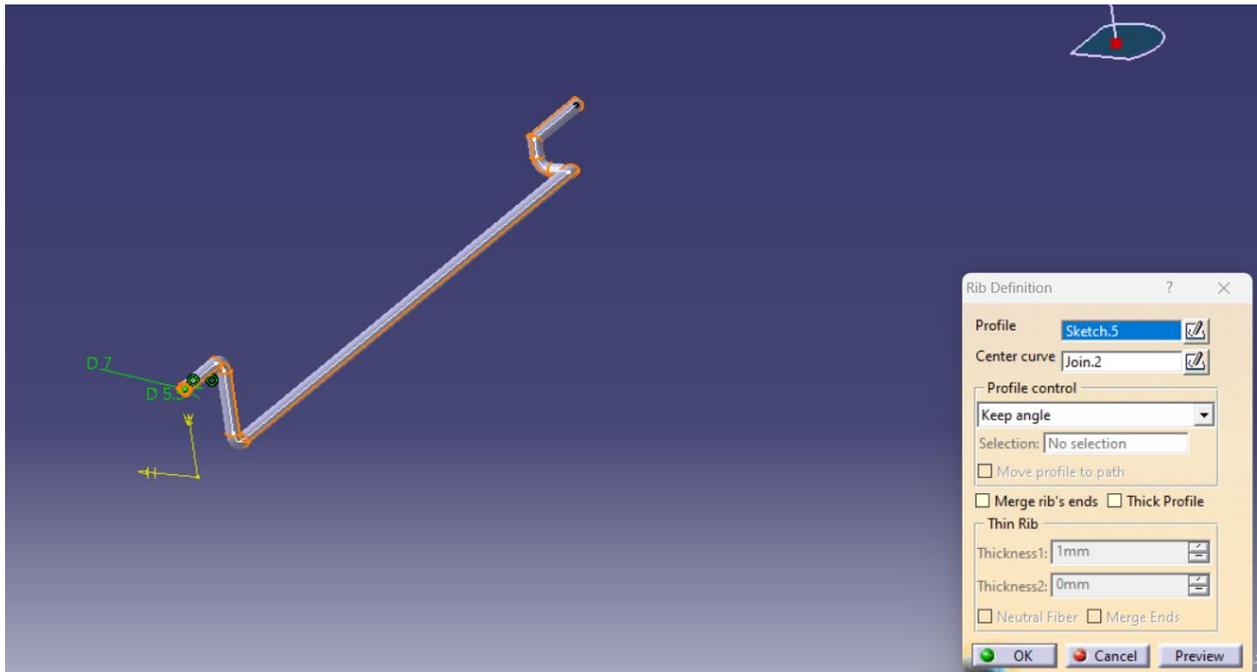


Figura 4-31 Diseño de la tubería con la herramienta Rib

El assembly del subconjunto es el siguiente:

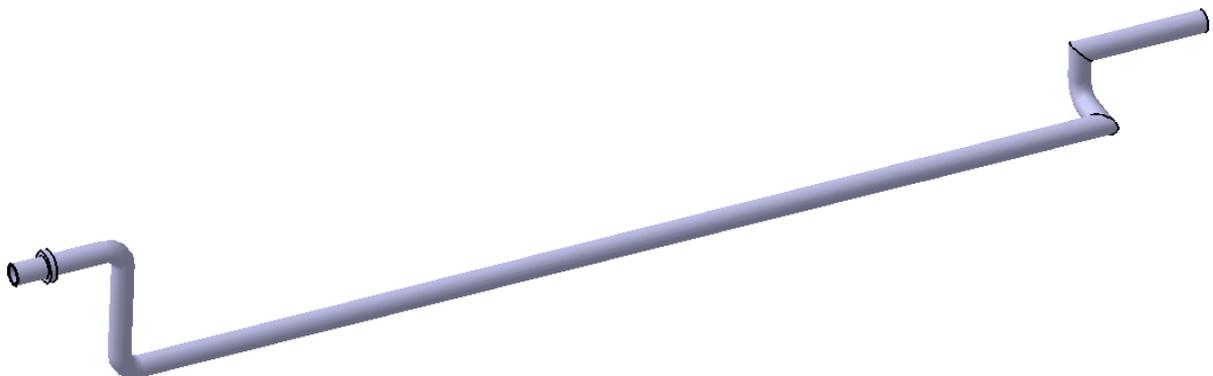


Figura 4-32 L1-70: WATER SUPPLY PIPE FROM TENDER

4.1.1.25 L1-71: BYPASS SUPPLY PIPE FROM MECH.PUMP

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

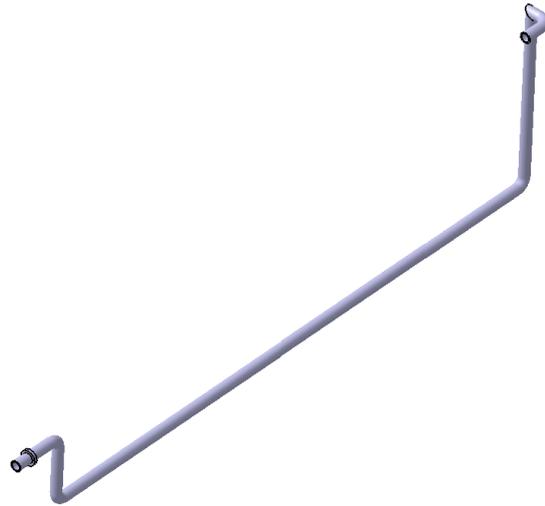


Figura 4-33 L1-71: BYPASS SUPPLY PIPE FROM MECH.PUMP

4.1.1.26 L1-72: HAND PUMP SUPPLY PIPE FROM TENDER

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

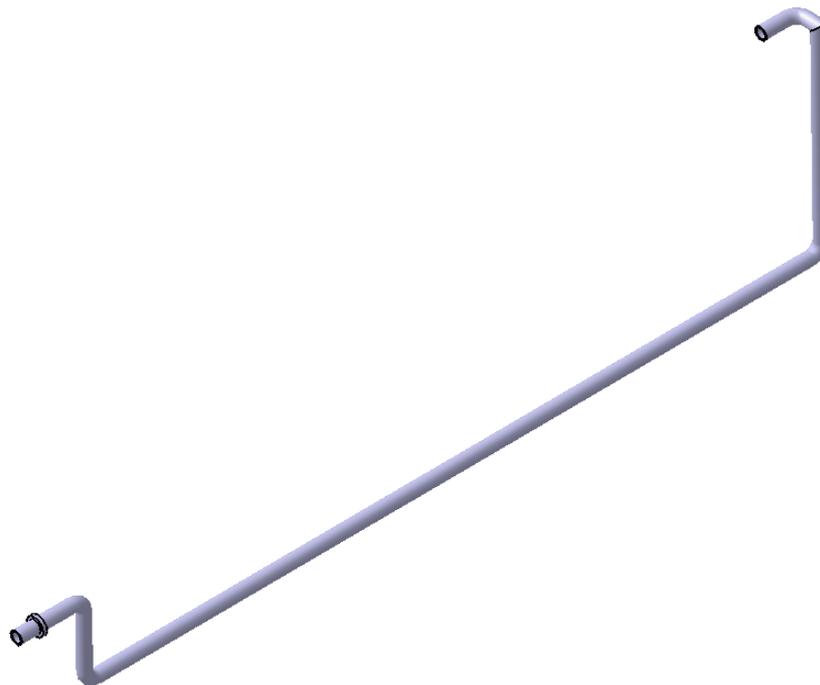


Figura 4-34 L1-72: HAND PUMP SUPPLY PIPE FROM TENDER

4.1.1.27 L1-89: SIDE FOOT PLATE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

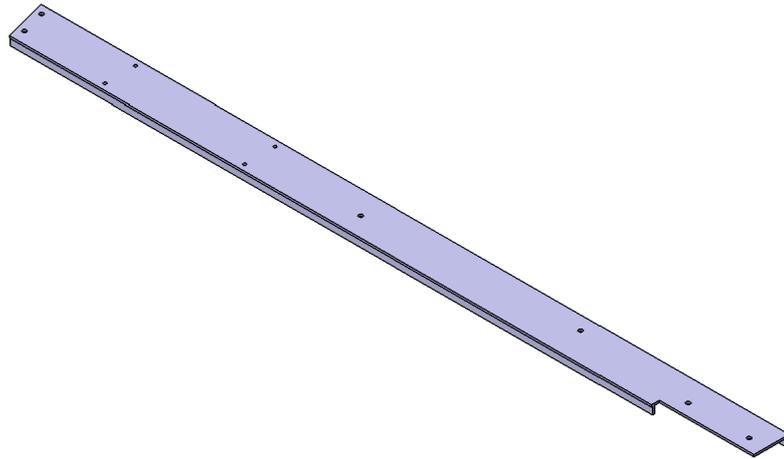


Figura 4-35 L1-89: SIDE FOOT PLATE

4.1.1.28 L1-90: DUM MY OILER

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

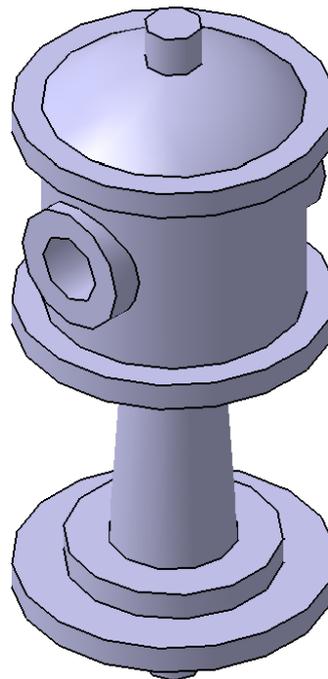


Figura 4-36 L1-90: DUM MY OILER

4.1.1.29 L1-92: WHISTLE

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

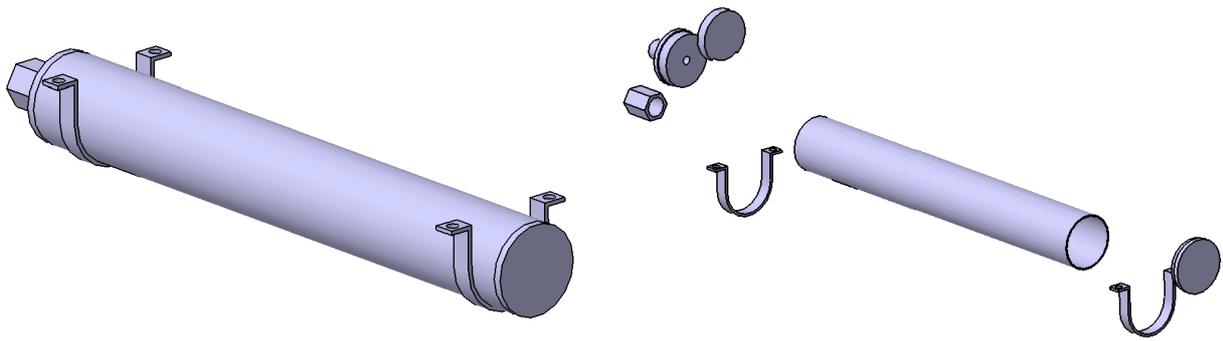


Figura 4-37 L1-92: WHISTLE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.30 L1-96: PULL LINK PLATE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

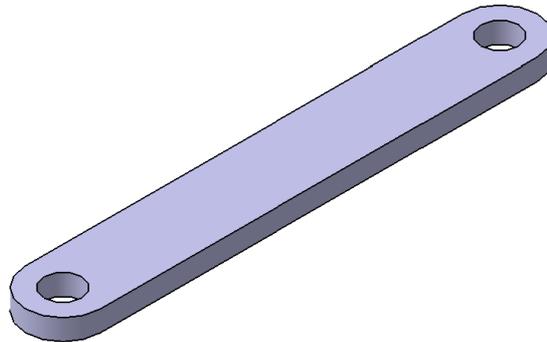


Figura 4-38 L1-96: PULL LINK PLATE

4.1.1.31 L1-97A: DUMMY LEAFSPRING-MIDDLE

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

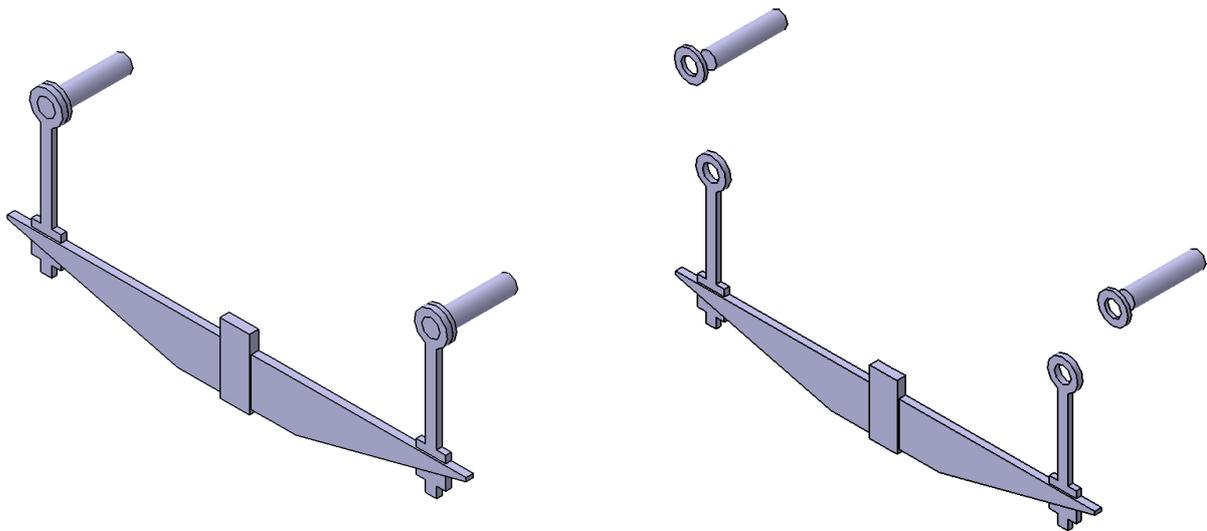


Figura 4-39 L1-97A DUMMY LEAFSPRING-MIDDLE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.1.32 L1-97B: DUMMY LEAFSPRING-REAR

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

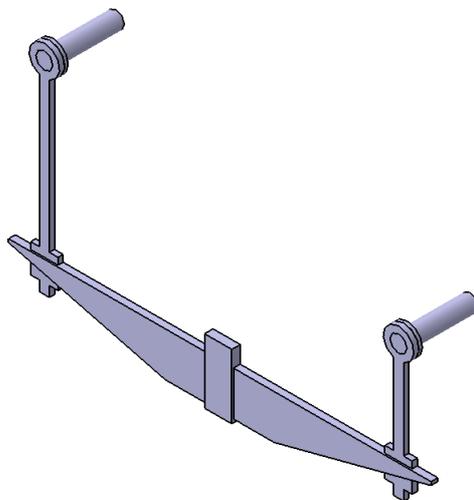


Figura 4-40 L1-97B: DUMMY LEAFSPRING-REAR

4.1.1.33 L1-97C: DUMMY LEAFSPRING-FRONT

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

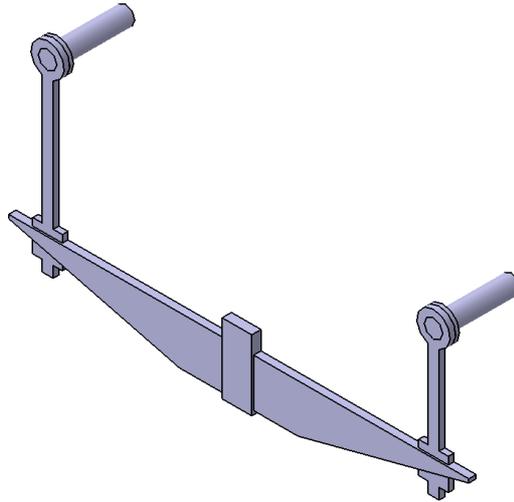


Figura 4-41 L1-97C: DUMMY LEAFSPRING-FRONT

4.1.2 Caldera

El bill of material de este ensamblaje es:

Caldera	
Cantidad	Part Number
2	L1-13-CYLINDER
2	L1-14-VALVE CHEST
2	L1-15-VALVE CHEST COVER
2	L1-16-CYLINDER FRONT COVER
1	L1-17-CYLINDER REAR COVER
1	L1-17-CYLINDER REAR COVER
1	L1-32-BOILER+SMOKE BOX
2	L1-35-FIRE DOOR HINGE NIPPLE
1	L1-36-FIRE DOOR LOCK NIPPLE
1	L1-39-BLOWER PIPE+NIPPLE-2
1	L1-40-BOILER LONG STAY+NIPPLES
1	L1-41-BOILER WATER TUBE TYPE-1
11	L1-42-BOILER WATER TUBE TYPE-2
1	L1-45-STEAM MANIFOLD
1	L1-46-THROTTLE HOUSING
1	L1-47-INNER STEAM DOME
1	L1-48-BOILER THERMAL INSULATION
1	L1-49-BOILER CLADDING+STRAP
2	L1-50-DOME
1	L1-51-SAFETY VALVE
1	L1-52-CHECK VALVE
1	L1-53-BLOWER VALVE
3	L1-54-PIPE NUT M10x5
1	L1-55-DISPLACEMENT OILER
1	L1-58-FIRE HOLE RING
1	L1-59-WATER LEVEL GAUGE

1	L1-60-BOILER FIRE DOOR HINGE
1	L1-61-BOILER FIRE DOOR LEDGE
1	L1-62-WHISTLE OPERATOR HOUSING
2	L1-64-SMOKE BOX STEPS
2	L1-66-SMOKE BOX HAND RAIL
2	L1-68-BOILER HAND RAIL
1	L1-75-SUPER HEASTER
1	L1-77-BLOWER PIPE
1	L1-79-DUMMY WHISTLE
1	L1-94-DUMMY VALVE OPERATION ROD
1	L1-95-DUMMY SMOKE BOX VALVE OPERATION ROD
1	L2-22-SMOKE BOX DOOR
1	L2-23-FIRE DOOR

4.1.2.1 L1-13: CYLINDER

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio, menos L1-13.5 que es de bronce y L1-13.6 que es de cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

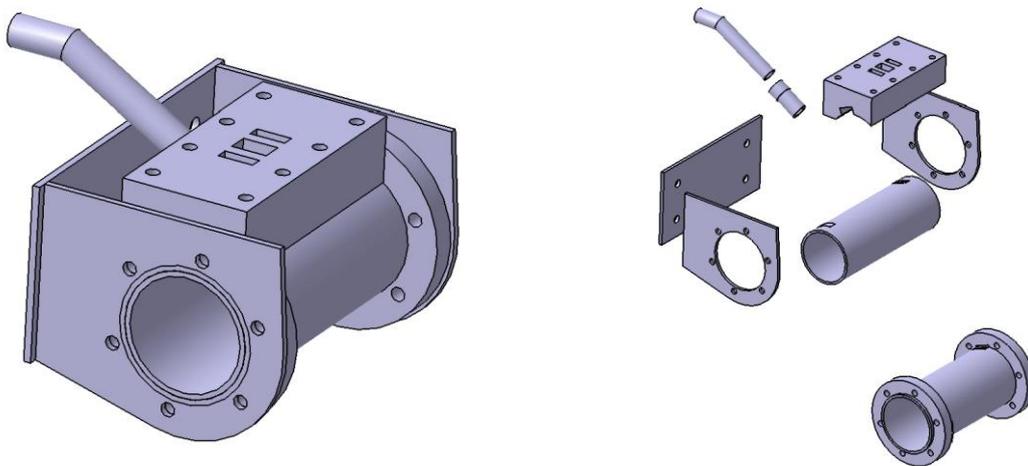


Figura 4-42 L1-13: CYLINDER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.2 L1-14: VALVE CHEST

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Las piezas L1-14.2, L1-14.4, L1-14.5 son de cobre, la pieza L1-14.1 de aluminio, L1-14.3 de caucho y L1-14.6 de bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

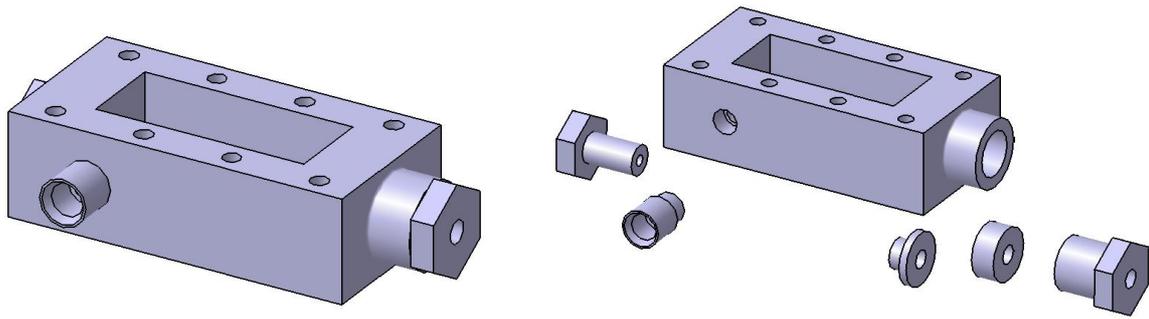


Figura 4-43 L1-14: VALVE CHEST y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.3 L1-15: VALVE CHEST COVER

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

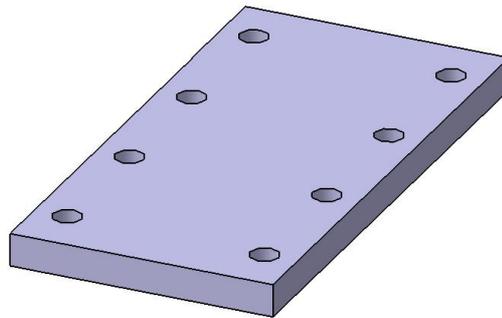


Figura 4-44 L1-15: VALVE CHEST COVER

4.1.2.4 L1-16: CYLINDER FRONT COVER

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

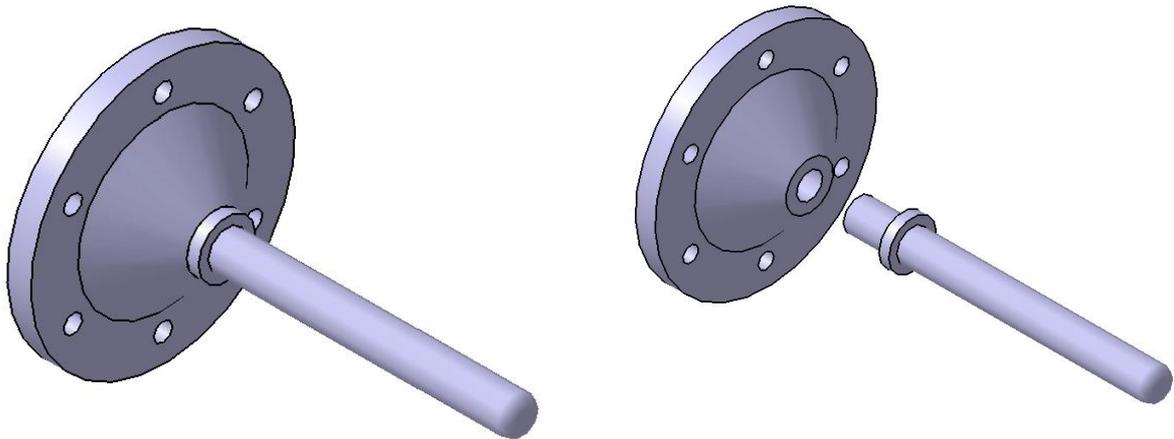


Figura 4-45 L1-16: CYLINDER FRONT COVER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.5 L1-17: CYLINDER REAR COVER

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. La pieza L1-17.1 es de aluminio, L1-17.2 y L1-17.4 son de cobre y L1-17.3 es de caucho .

El assembly del subconjunto es el siguiente:

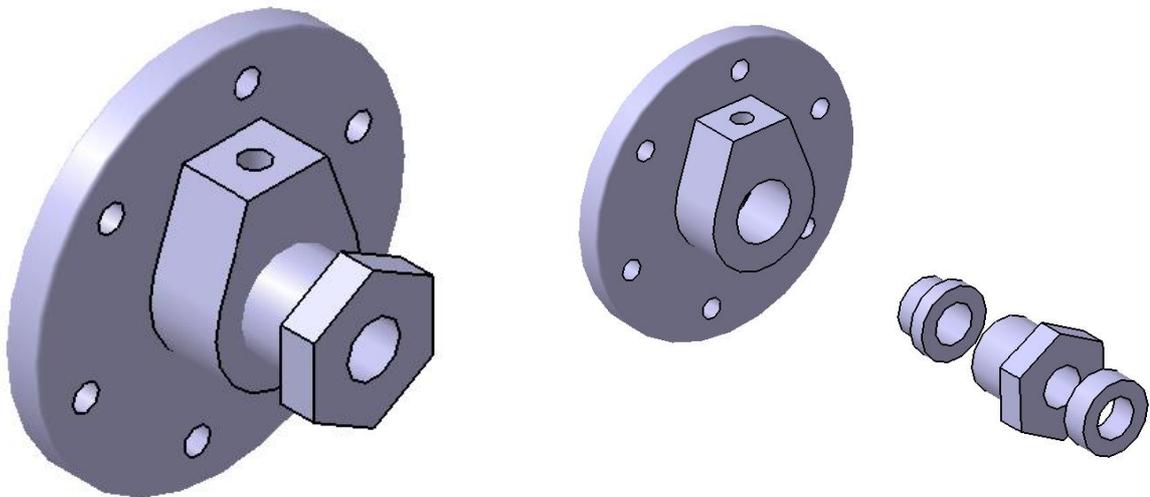


Figura 4-46 L1-17: CYLINDER REAR COVER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.6 L1-32: BOILER+SMOKE BOX

Esta pieza está compuesta por 29 Simple Parts. Las piezas de la parte trasera son de cobre y las de la parte delantera son de aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

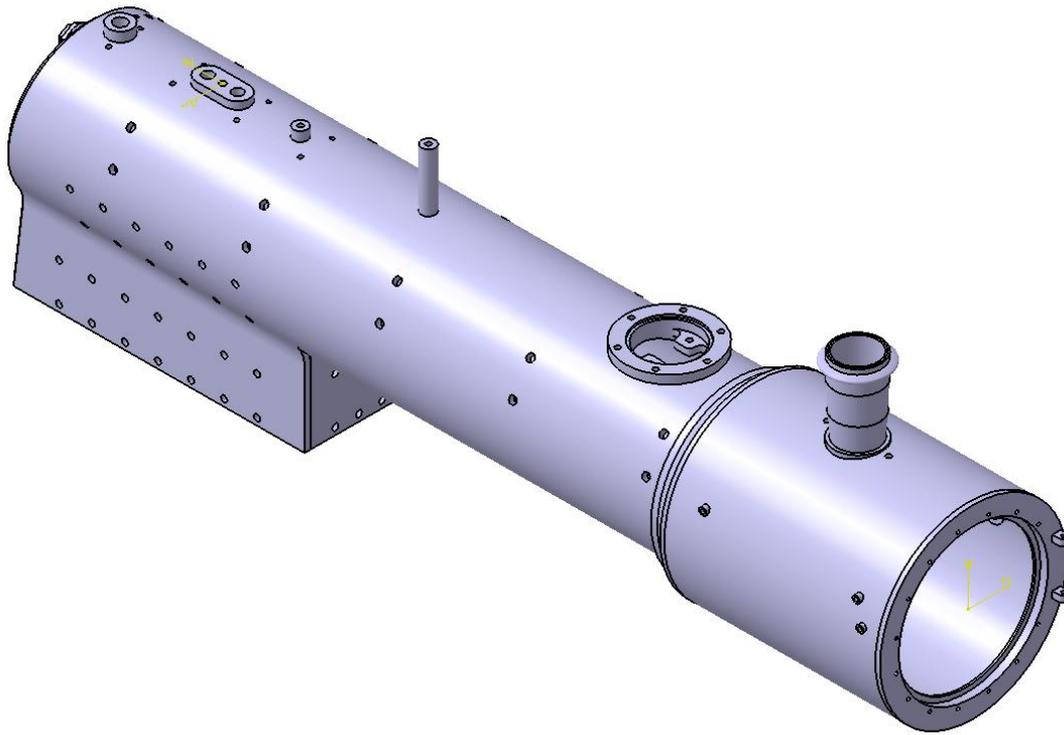


Figura 4-47 L1-32: BOILER+SMOKE BOX

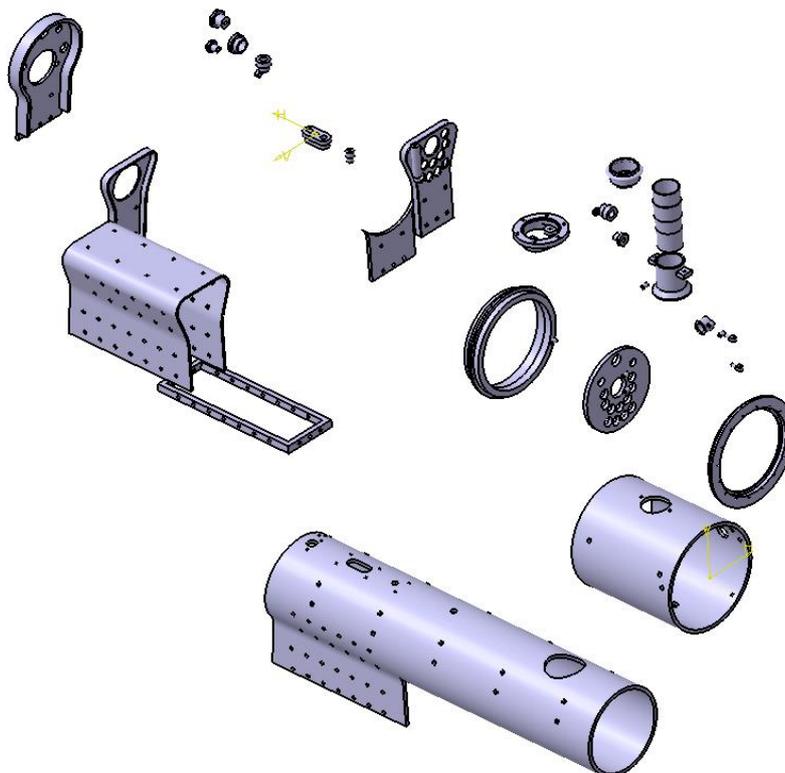


Figura 4-48 L1-32: BOILER+SMOKE BOX (Función: *Explode*)

4.1.2.7 L1-35: FIRE DOOR HINGE NIPPLE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

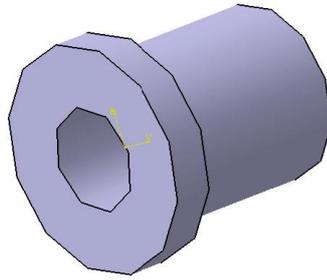


Figura 4-49 L1-35: FIRE DOOR HINGE NIPPLE

4.1.2.8 L1-36: BOGIE AXLE BOX

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

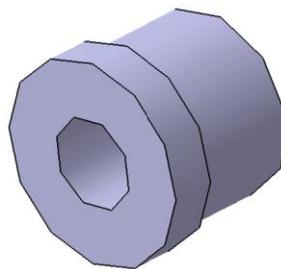


Figura 4-50 L1-36: BOGIE AXLE BOX

4.1.2.9 L1-39: BLOWER PIPE+NIPPLE-2

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el cobre y latón.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

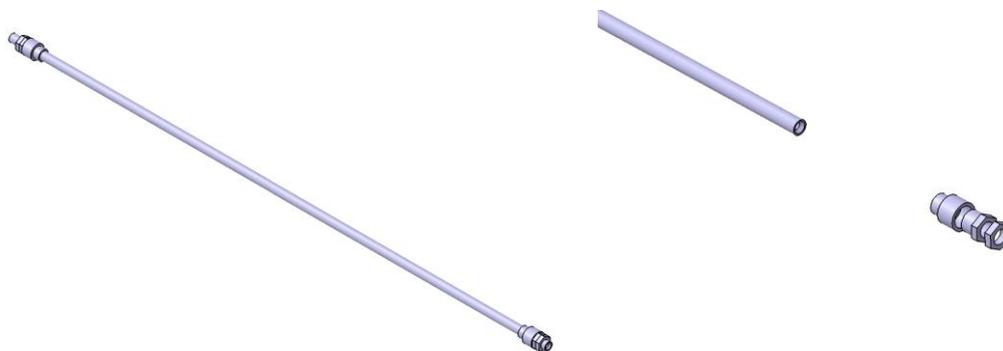


Figura 4-51 L1-39: BLOWER PIPE+NIPPLE-2y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.10 L1-40: BOILER LONG STAY+NIPPLES

Esta pieza está compuesta por 7 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

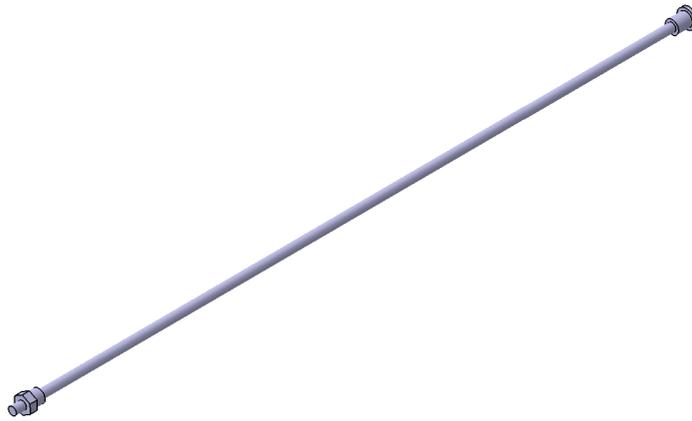


Figura 4-52 L1-40: BOILER LONG STAY+NIPPLES

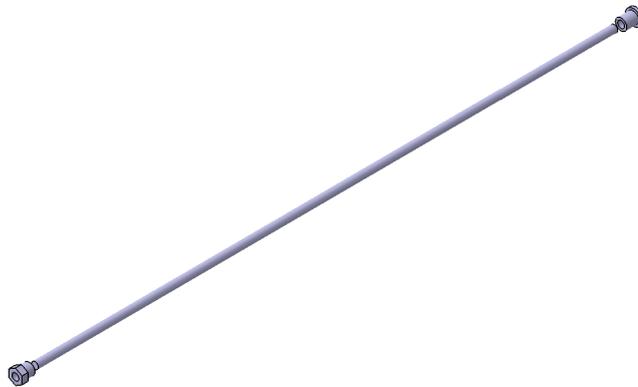


Figura 4-53 L1-40: BOILER LONG STAY+NIPPLES (Función: *Explode*)

4.1.2.11 L1-41: BOILER WATER TUBE TYPE-1

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

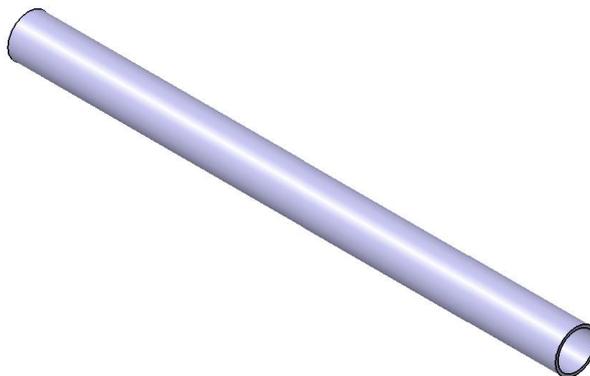


Figura 4-54 L1-41: BOILER WATER TUBE TYPE-1

4.1.2.12 L1-42: BOILER WATER TUBE TYPE-2

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

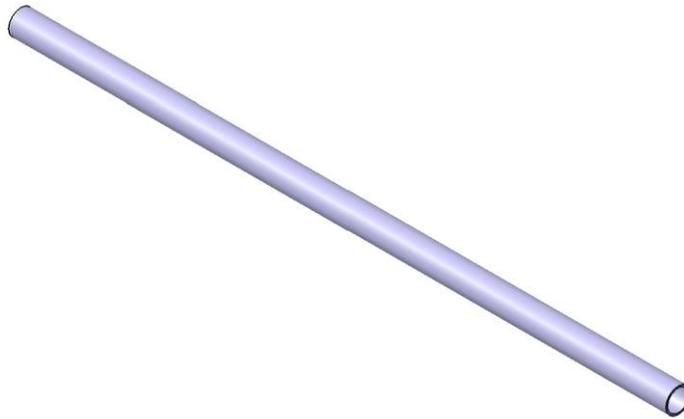


Figura 4-55 L1-42: BOILER WATER TUBE TYPE-2

4.1.2.13 L1-45: STEAM MANIFOLD

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

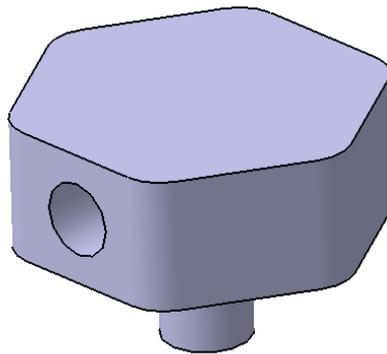


Figura 4-56 L1-45: STEAM MANIFOLD

4.1.2.14 L1-46: THROTTLE HOUSING

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el cobre y el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

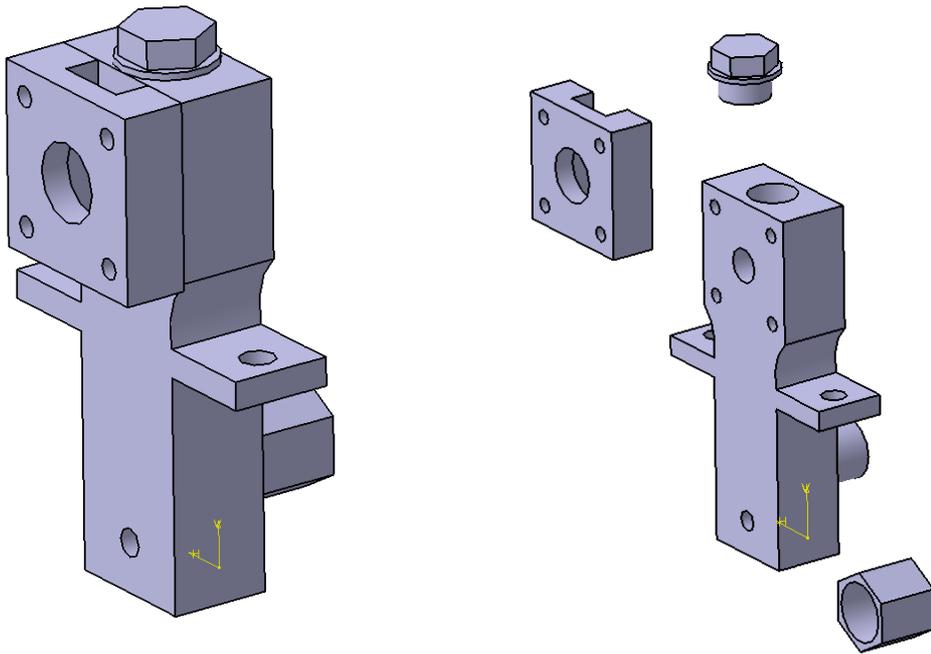


Figura 4-57 L1-46: THROTTLE HOUSING y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.15 L1-47: INNER STEAM DOME

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

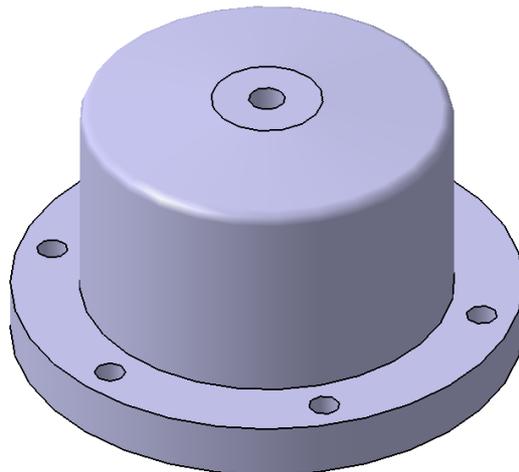


Figura 4-58 L1-47: INNER STEAM DOME

4.1.2.16 L1-48: BOILER THERMAL INSULATION

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material un aislante termico.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

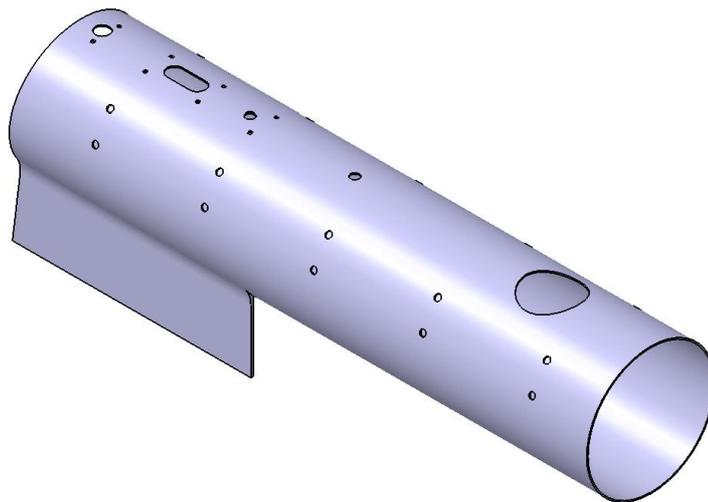


Figura 4-59 L1-48: BOILER THERMAL INSULATION

4.1.2.17 L1-49: BOILER CLADDING+STRAP

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

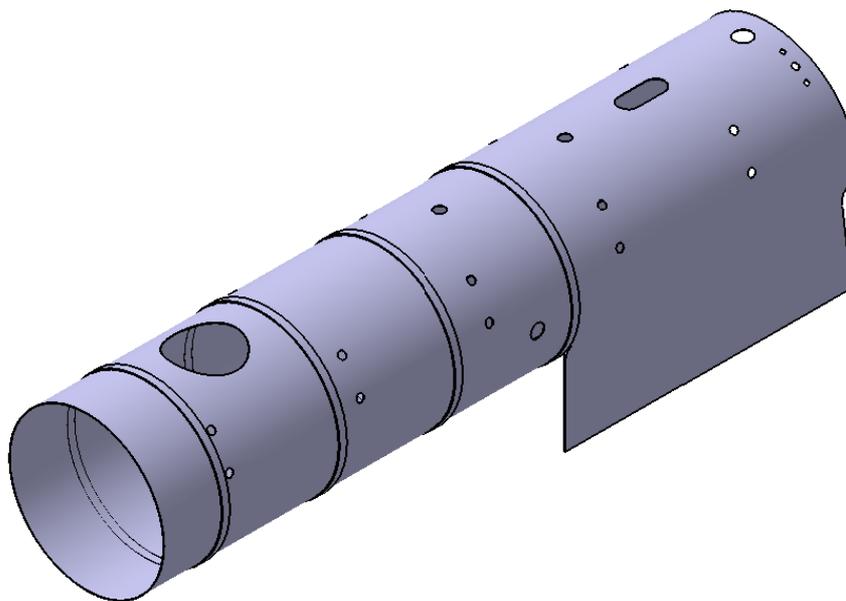


Figura 4-60 L1-49: BOILER CLADDING+STRAP

4.1.2.18 L1-50: DOME

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el latón. El assembly del subconjunto es el siguiente:

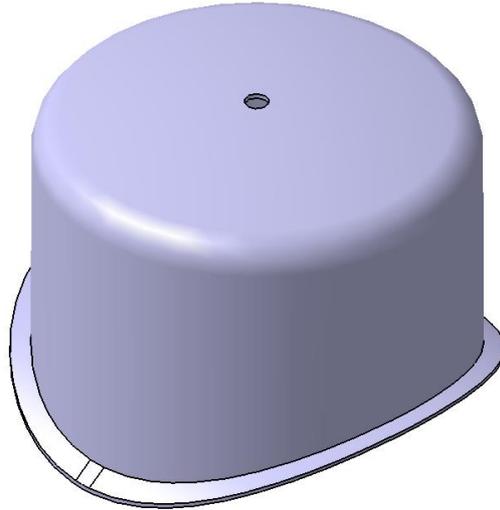


Figura 4-61 L1-50: DOME

4.1.2.19 L1-51: SAFETY VALVE

Esta pieza está compuesta por 8 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el latón. El assembly del subconjunto es el siguiente:

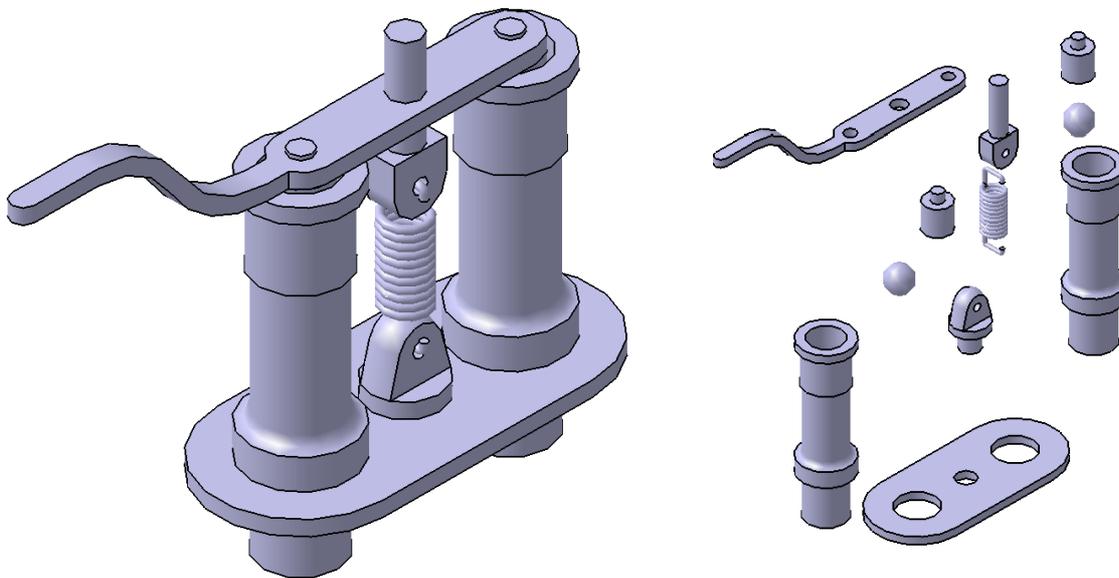


Figura 4-62 L1-51: SAFETY VALVE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.20 L1-52: CHECK VALVE

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el latón. El assembly del subconjunto es el siguiente:

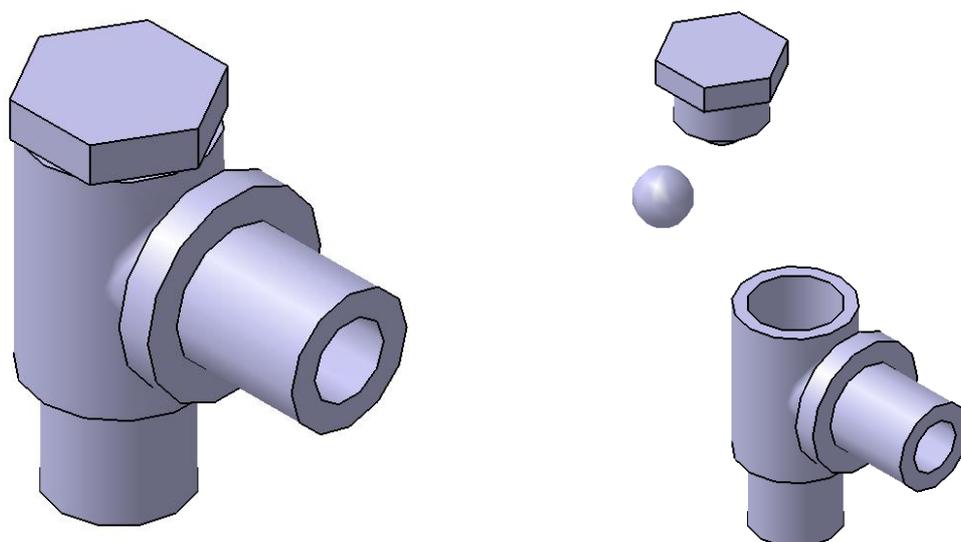


Figura 4-63 L1-52: CHECK VALVE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.21 L1-53: BLOWER VALVE

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

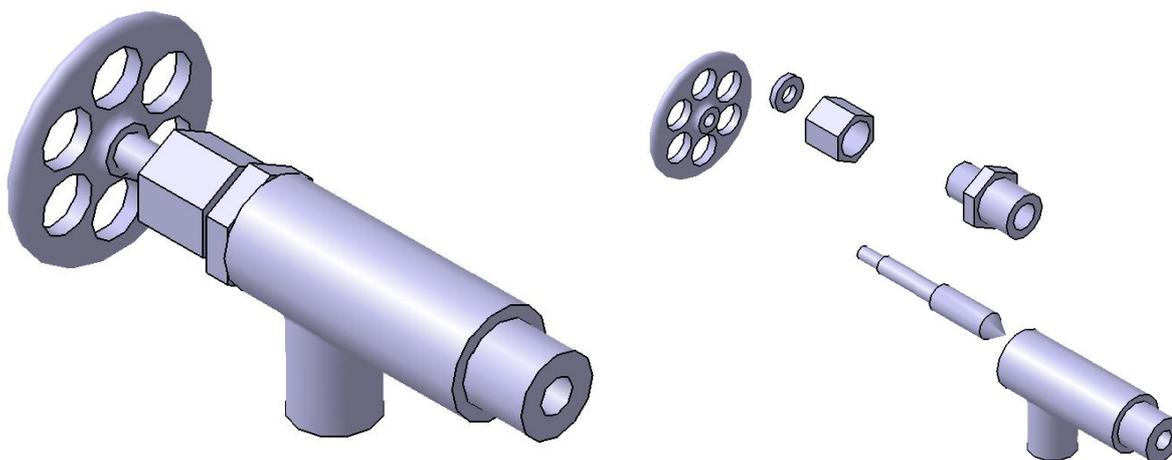


Figura 4-64 L1-53: BLOWER VALVE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.22 L1-54: PIPE NUT M10x5

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:



Figura 4-65 L1-54: PIPE NUT M10x5

4.1.2.23 L1-55: DISPLACEMENT OILER

Esta pieza está compuesta por 12 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el latón. El assembly del subconjunto es el siguiente:

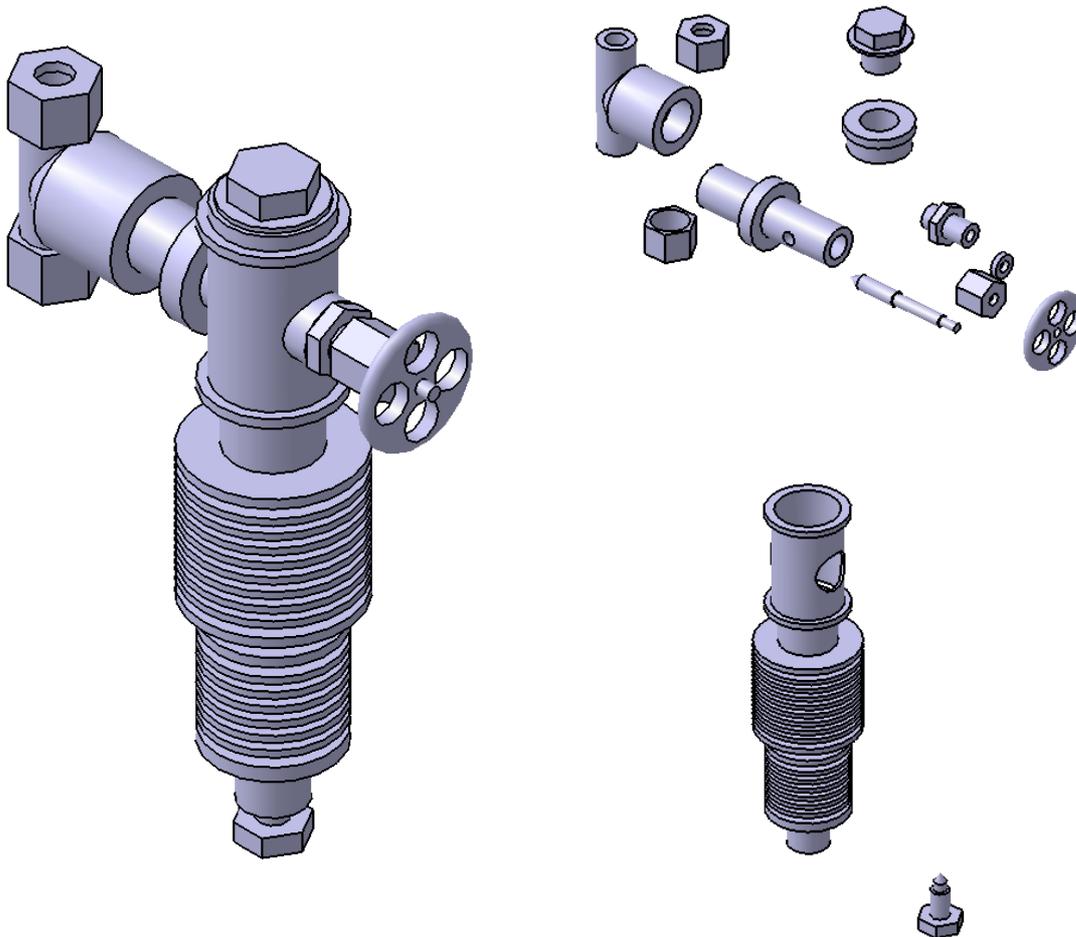


Figura 4-66 L1-55: DISPLACEMENT OILER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.24 L1-58: FIRE HOLE RING

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

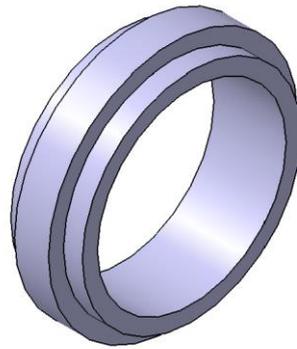
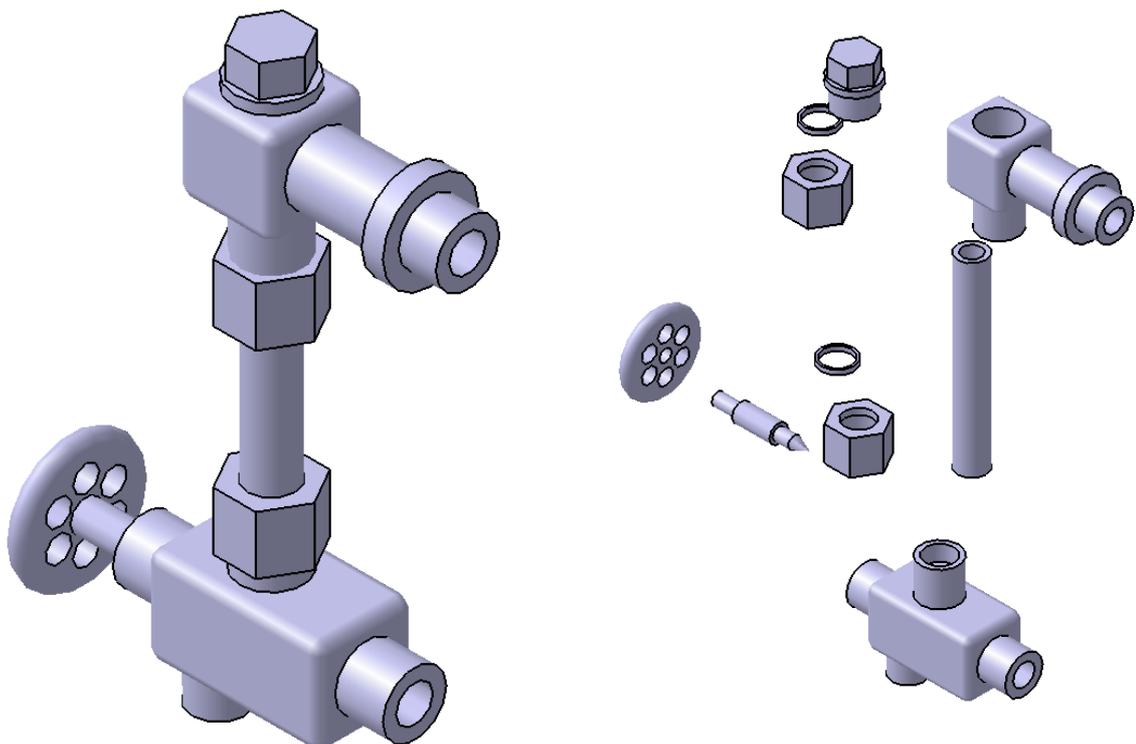


Figura 4-67 L1-58: FIRE HOLE RING

4.1.2.25 L1-59: WATER LEVEL GAUGE

Esta pieza está compuesta por 8 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el latón. El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-68 L1-59: WATER LEVEL GAUGE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.26 L1-60: BOILER FIRE DOOR HINGE

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

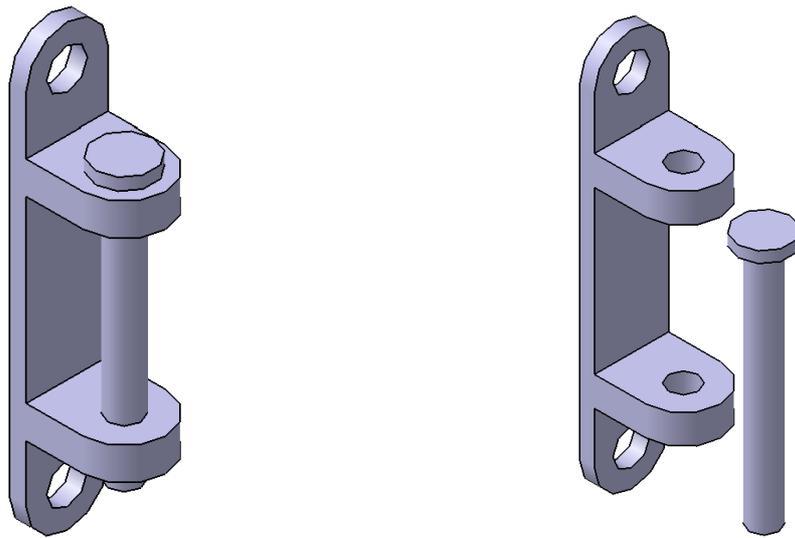


Figura 4-69 L1-60: BOILER FIRE DOOR HINGE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.27 L1-61: BOILER FIRE DOOR LEDGE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

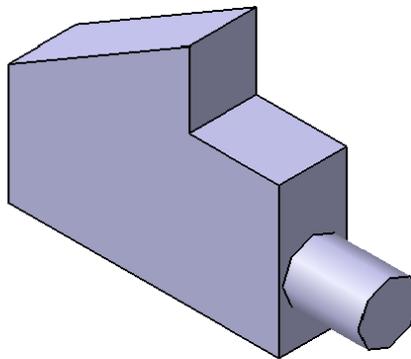


Figura 4-70 L1-61: BOILER FIRE DOOR LEDGE

4.1.2.28 L1-62: WHISTLE OPERATOR HOUSING

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

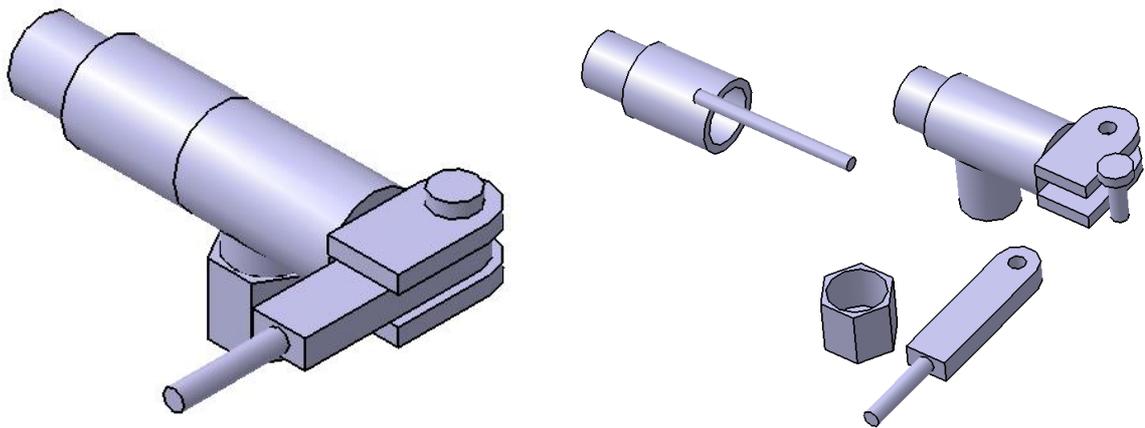


Figura 4-71 L1-62: WHISTLE OPERATOR HOUSING y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.29 L1-64: SMOKE BOX STEPS

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

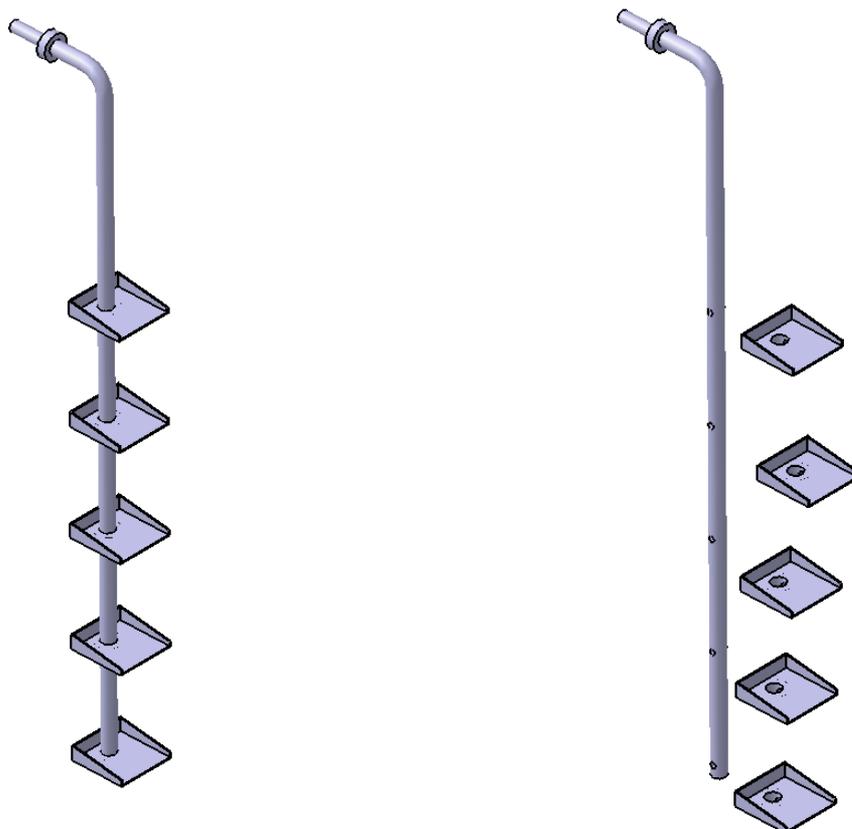


Figura 4-72 L1-64: SMOKE BOX STEPS y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.30 L1-66: SMOKE BOX HAND RAIL

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

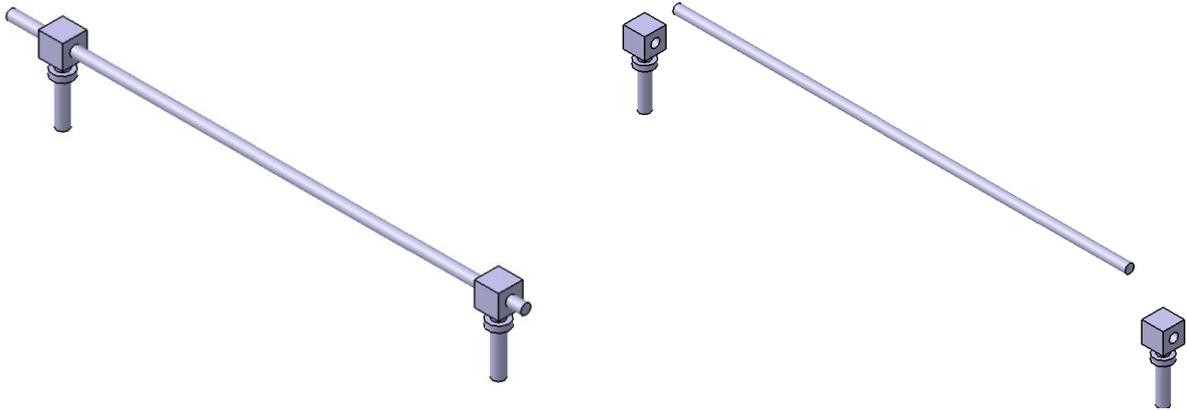


Figura 4-73 L1-66: SMOKE BOX HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.31 L1-68: BOILER HAND RAIL

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:



Figura 4-74 L1-68: BOILER HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.32 L1-75: SUPER HEASTER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el cobre.

El assembly del subconjunto es el siguiente:



Figura 4-75 L1-75: SUPER HEASTER

4.1.2.33 L1-77: BLOWER PIPE

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el cobre. El assembly del subconjunto es el siguiente:

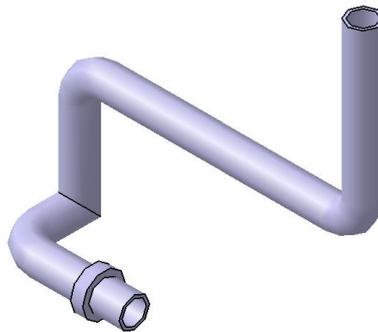


Figura 4-76 L1-77: BLOWER PIPE

4.1.2.34 L1-79: DUMMY WHISTLE

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el cobre y bronce. El assembly del subconjunto es el siguiente:

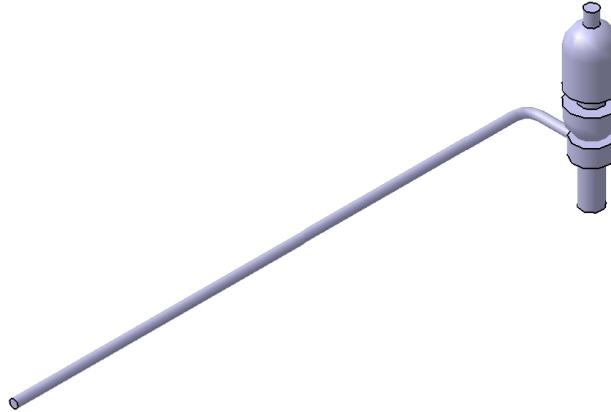


Figura 4-77 L1-79: DUMMY WHISTLE

4.1.2.35 L1-94: DUMMY VALVE OPERATION ROD

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

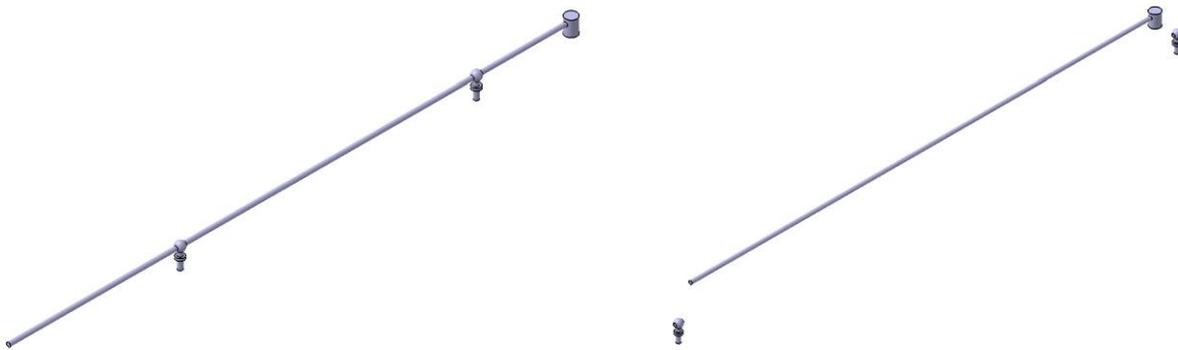


Figura 4-78 L1-94: DUMMY VALVE OPERATION ROD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.36 L1-95: DUMMY SMOKE BOX VALVE OPERATION ROD

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

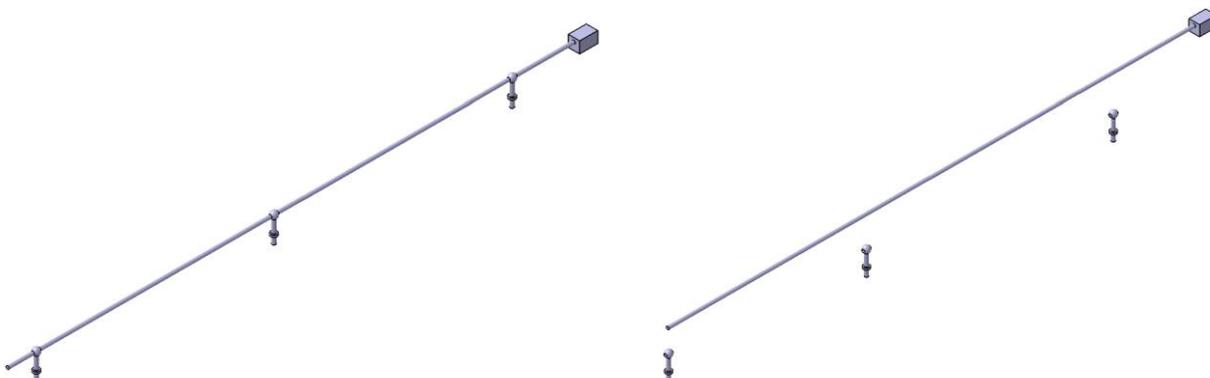


Figura 4-79 L1-95: DUMMY SMOKE BOX VALVE OPERATION ROD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.37 L2-22: SMOKE BOX DOOR

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

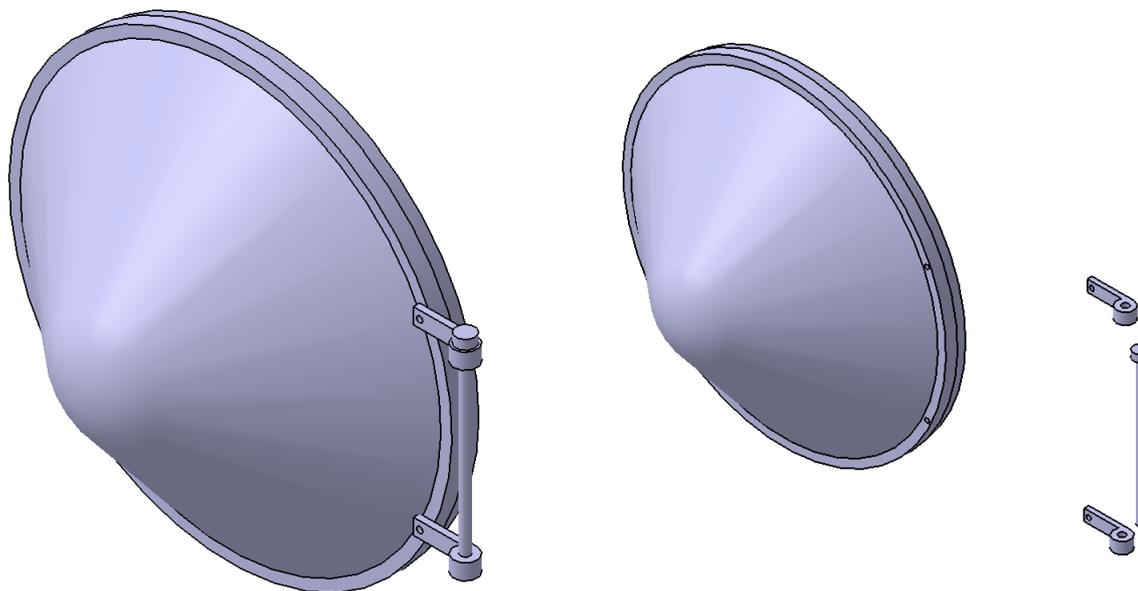


Figura 4-80 L2-22: SMOKE BOX DOOR y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.2.38 L2-23: FIRE DOOR

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

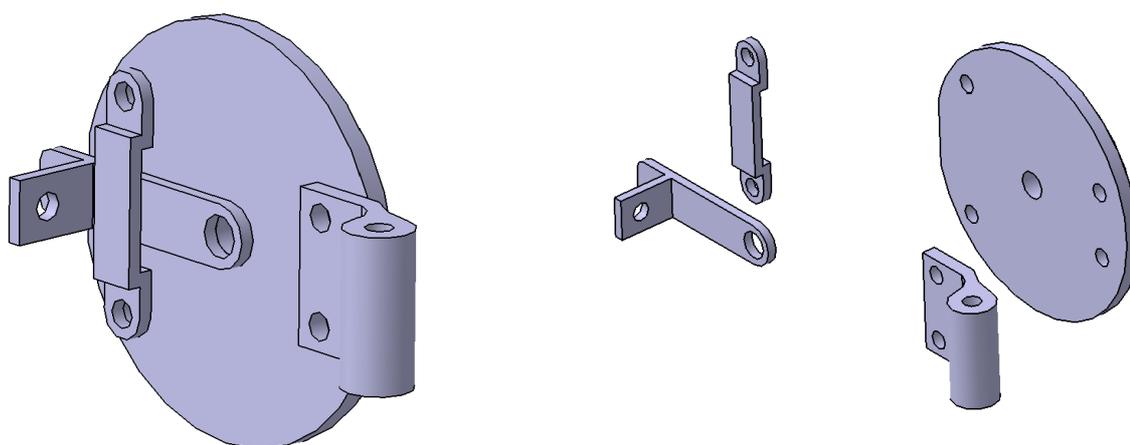


Figura 4-81 L2-23: FIRE DOOR y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.3 Cabina del maquinista

El bill of material de este ensamblaje es:

Cabina del maquinista	
Cantidad	Part Number
1	L1-80-DRIVERS CABIN FLOOR
1	L1-81-DRIVERS CABIN STEPS
1	L1-81-DRIVERS CABIN STEPS
1	L1-82-REVERSER STAND
1	L1-83-DRIVERS CABIN STRUCTURE
1	L1-84-DRIVERS CABIN DOOR
1	L1-84-DRIVERS CABIN DOOR
1	L1-85-DRIVERS CABIN HAND RAIL
1	L1-85-DRIVERS CABIN HAND RAIL
1	L1-87-CABIN ROOF
1	L1-88-REAR WHEEL GUARD
1	L1-88-REAR WHEEL GUARD

4.1.3.1 L1-80: DRIVERS CABIN FLOOR

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

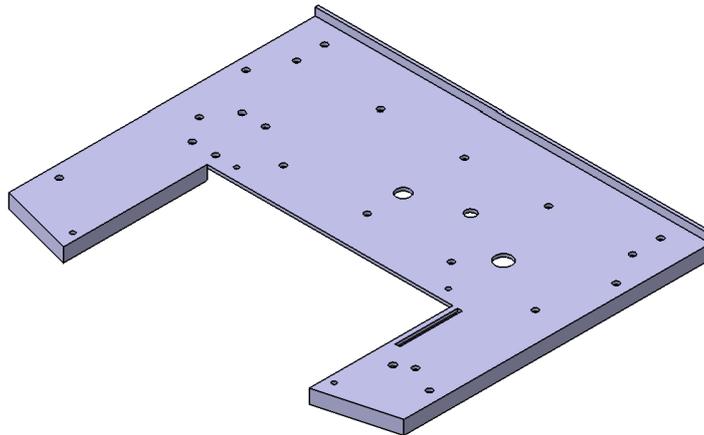


Figura 4-82 L1-80: DRIVERS CABIN FLOOR

4.1.3.2 L1-81: DRIVERS CABIN STEPS

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

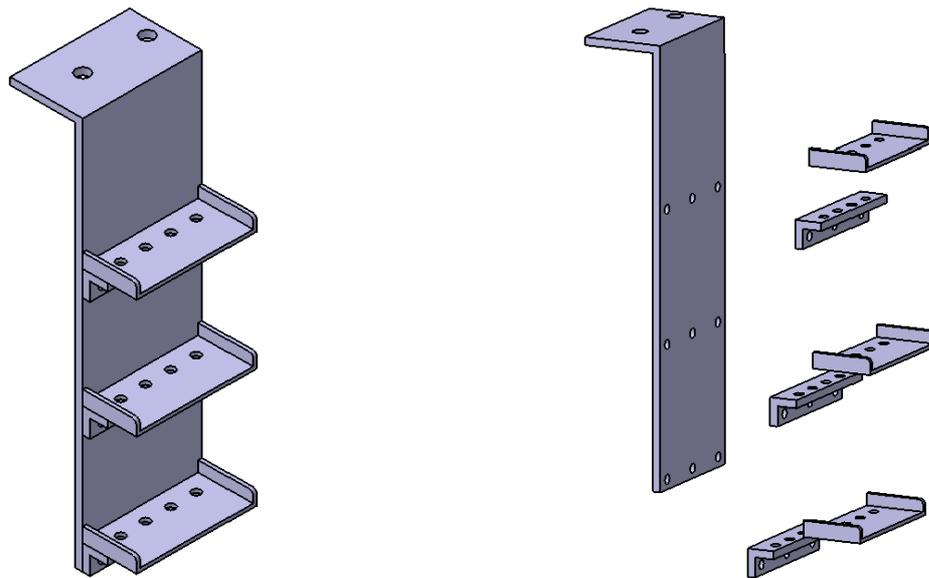


Figura 4-83 L1-81: DRIVERS CABIN STEPS y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.3.3 L1-82: REVERSER STAND

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

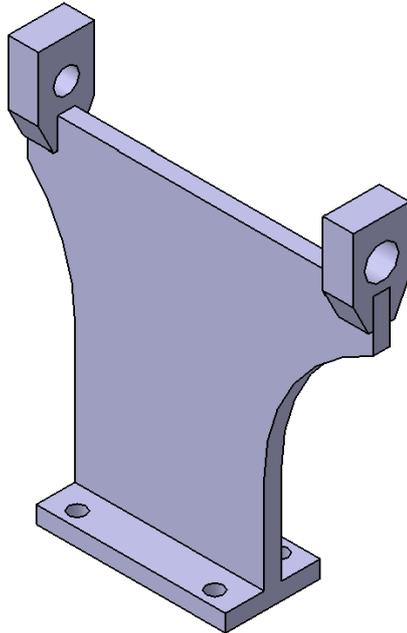


Figura 4-84 L1-82: REVERSER STAND

4.1.3.4 L1-83: DRIVERS CABIN STRUCTURE

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio y bronce.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

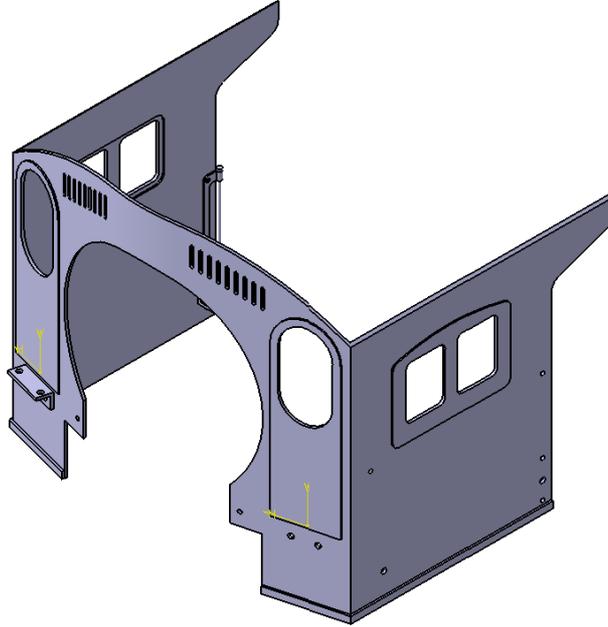


Figura 4-85 L1-83: DRIVERS CABIN STRUCTURE

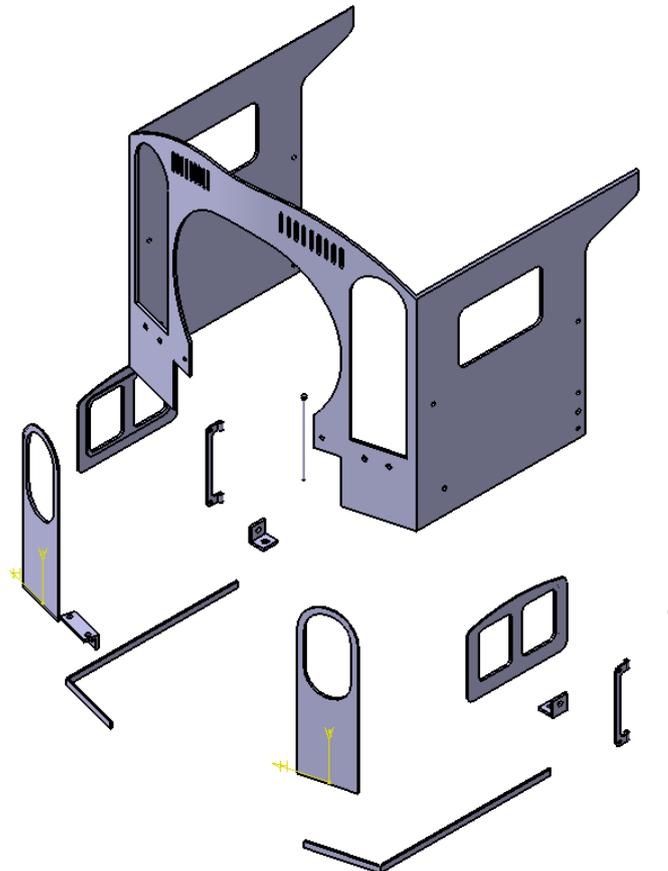


Figura 4-86 L1-83: DRIVERS CABIN STRUCTURE (Función: *Explode*)

4.1.3.5 L1-84: DRIVERS CABIN DOOR

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

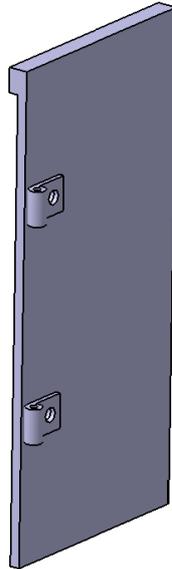


Figura 4-87 L1-84: DRIVERS CABIN DOOR

4.1.3.6 L1-85: DRIVERS CABIN HAND RAIL

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

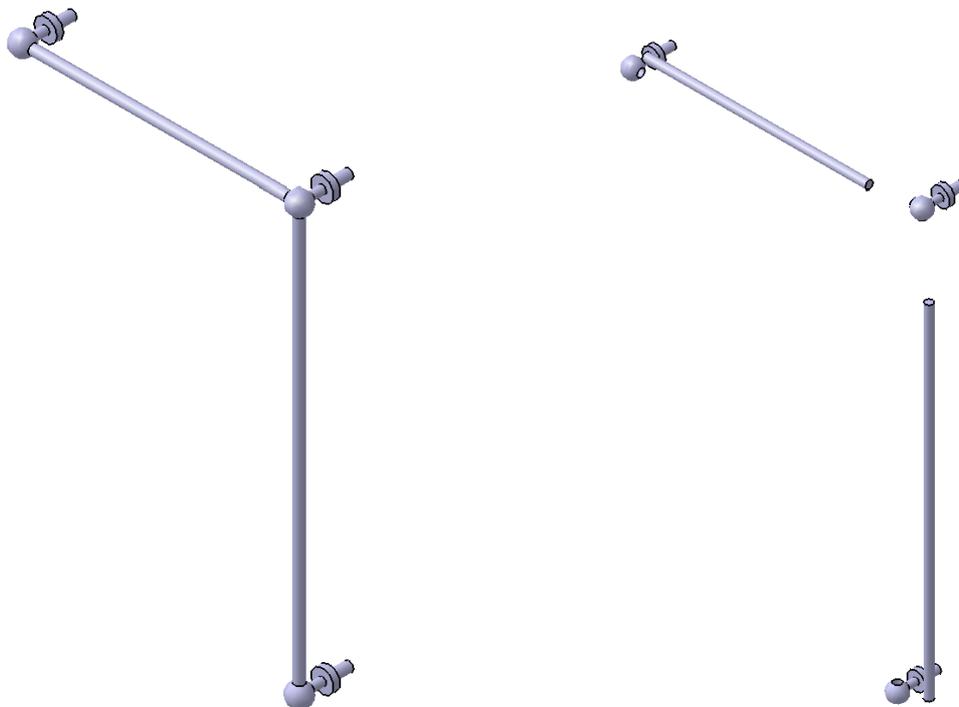


Figura 4-88 L1-85: DRIVERS CABIN HAND RAIL y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.3.7 L1-87: CABIN ROOF

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

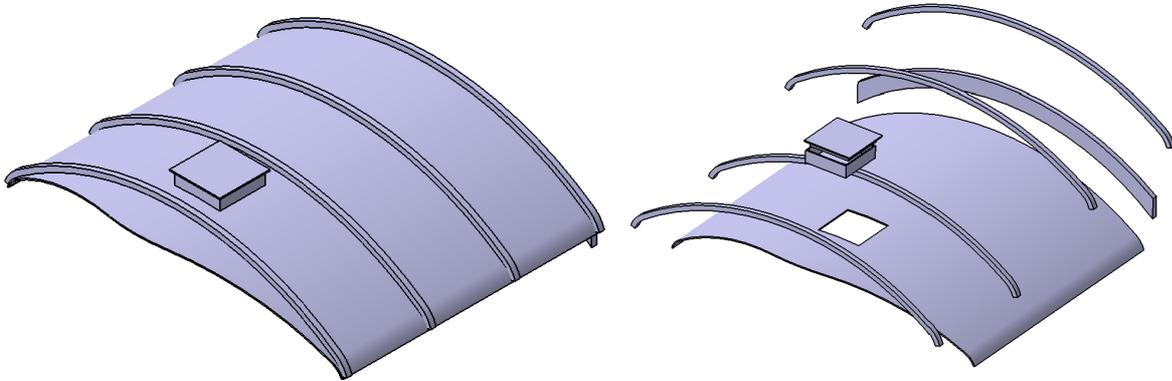


Figura 4-89 L1-87: CABIN ROOF y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.3.8 L1-88: REAR WHEEL GUARD

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

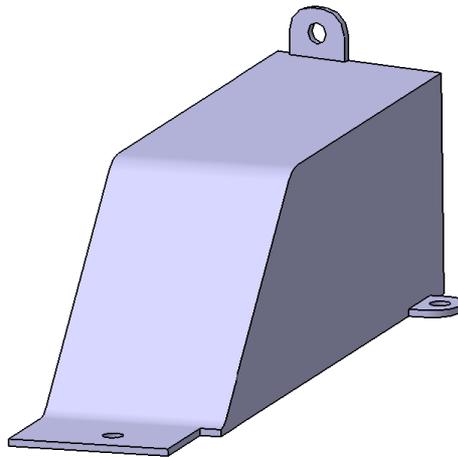


Figura 4-90 L1-88: REAR WHEEL GUARD

4.1.4 Sistema mecánico

El bill of material de este ensamblaje es:

Sistema mecánico	
Cantidad	Part Number
1	L1-05-BRAKE CYLINDER FRAME
1	L1-08-BRAKE MAIN SHAFT
3	L1-20-BRAKE HANGER
3	L1-20-BRAKE HANGER
1	L1-21-BRAKE CROSS BAR
6	L1-22-BRAKE SHOE

2	L1-23-BRAKE CON-ROD
1	L2-01-DRIVE WHEEL SET-1
2	L2-02-DRIVE WHEEL SET-2 AND 3
1	L2-03-PISTON + CROSSHEAD
1	L2-03-PISTON + CROSSHEAD
1	L2-04-CON-ROD TYPE-1
1	L2-04-CON-ROD TYPE-1
1	L2-05-CON-ROD TYPE-2
1	L2-05-CON-ROD TYPE-2
1	L2-06-CON-ROD TYPE-3
1	L2-06-CON-ROD TYPE-3
2	L2-07-MECH. PUMP ECCENTRIC STRAP
2	L2-08-MECH. PUMP PLUNGER
1	L2-09-SLIDE VALVE
1	L2-09-SLIDE VALVE
1	L2-10-LIFTING ARM + ROD
2	L2-11-LIFTING LINK
2	L2-12-EXPANSION LINK
2	L2-13-ECCENTRIC ROD
2	L2-14-RADIUS BAR
2	L2-15-COMBINATION LEVER
2	L2-16-UNION LINK
2	L2-17-SLIDE VALVE CONNECTOR CRANK SHAFT
2	L2-18-BOGIE WHEELS+ AXLE
1	L2-25-REVERSER SCREW SPINDLE
1	L2-26-REACH ROD
2	L2-27-DUMMY OILER VALVE STEM
2	L2-28-DUMMY OILER ARM LEVER OPERATOR
2	L2-29-DUMMY OILER CON ROD

4.1.4.1 L1-05: BRAKE CYLINDER FRAME

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

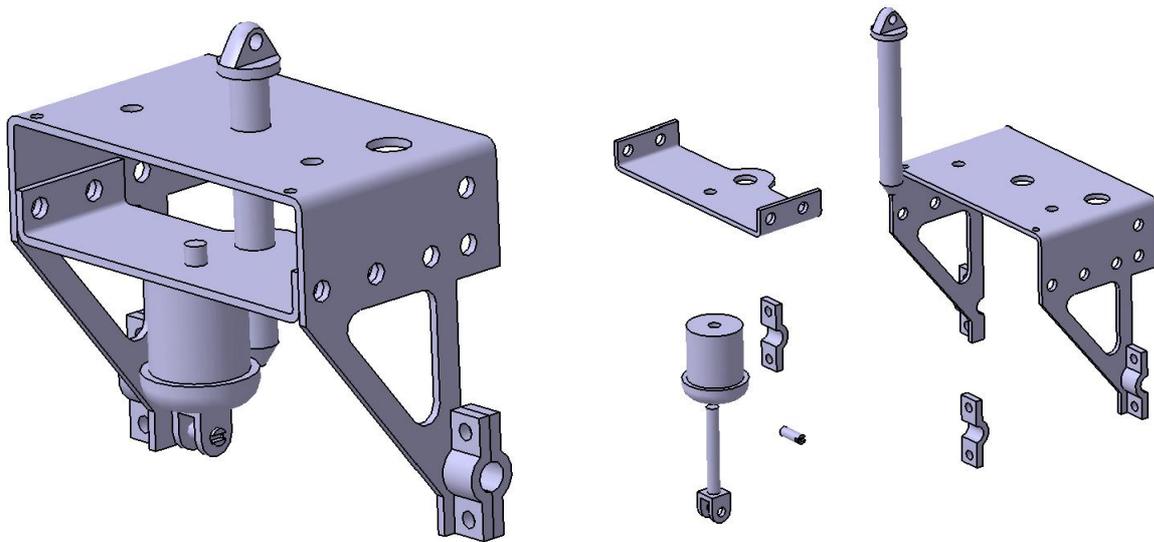


Figura 4-91 L1-05: BRAKE CYLINDER FRAME y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.2 L1-08: BRAKE MAIN SHAFT

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

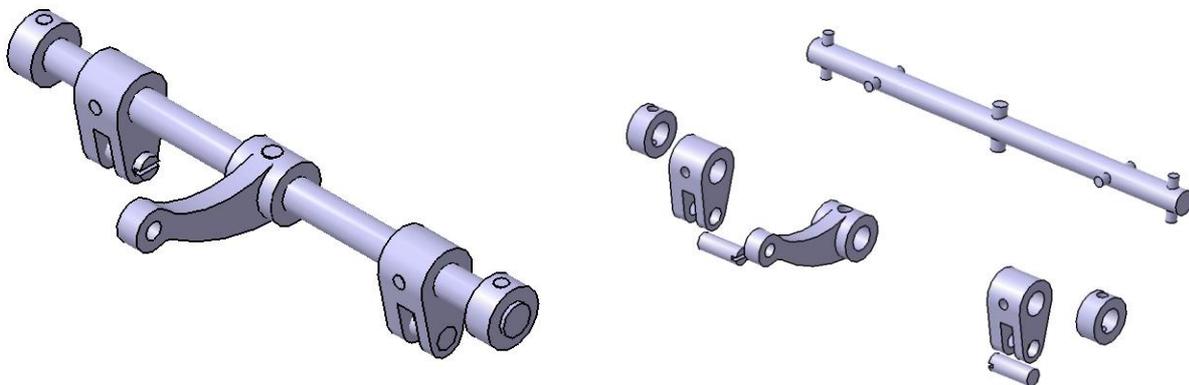


Figura 4-92 L1-08: BRAKE MAIN SHAFT y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.3 L1-20: BRAKE HANGER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

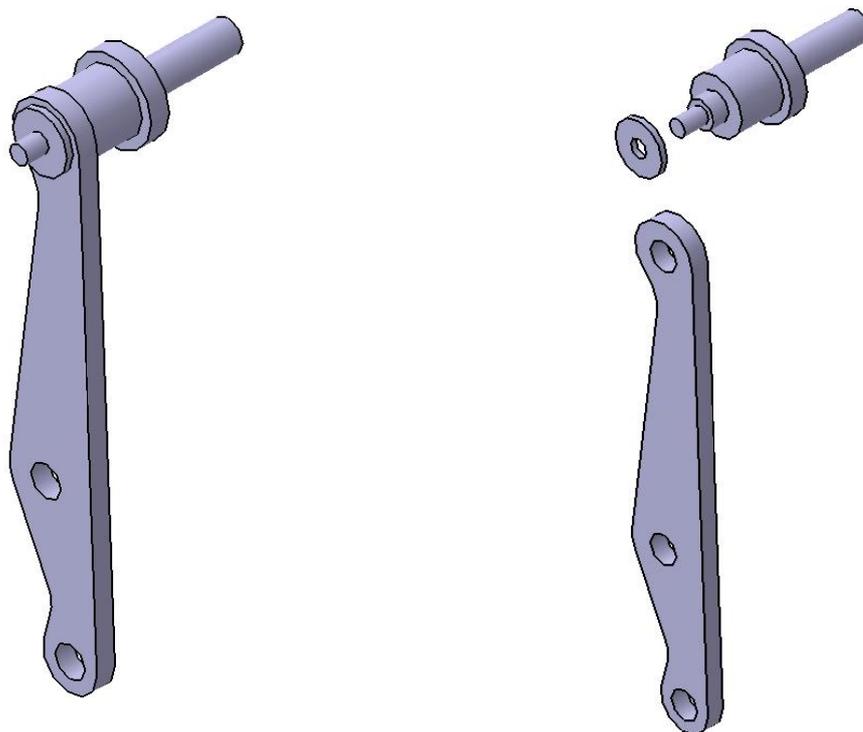


Figura 4-93 L1-20: BRAKE HANGER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.4 L1-21: BRAKE CROSS BAR

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

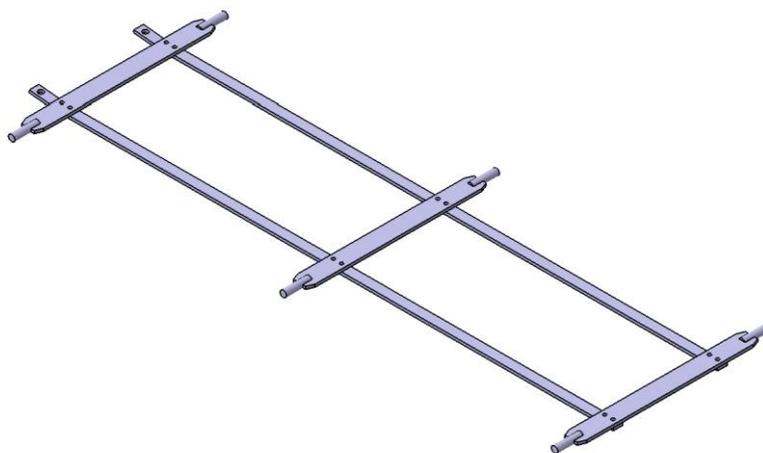


Figura 4-94 L1-21: BRAKE CROSS BAR

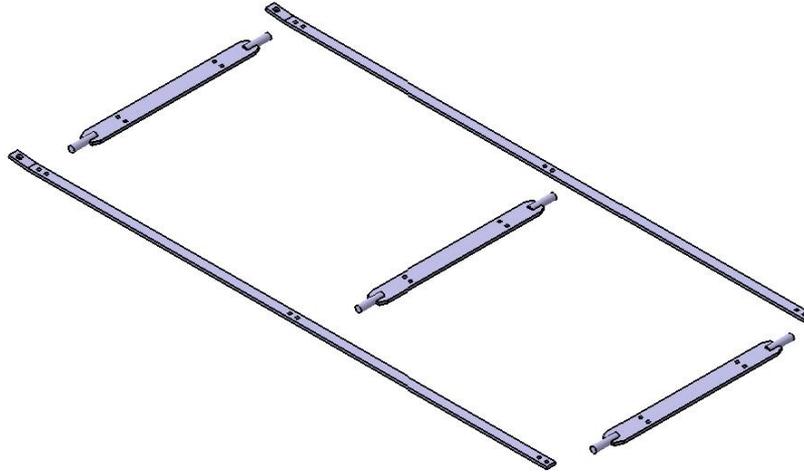


Figura 4-95 L1-21: BRAKE CROSS BAR (Función: *Explode*)

4.1.4.5 L1-22: BRAKE SHOE

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

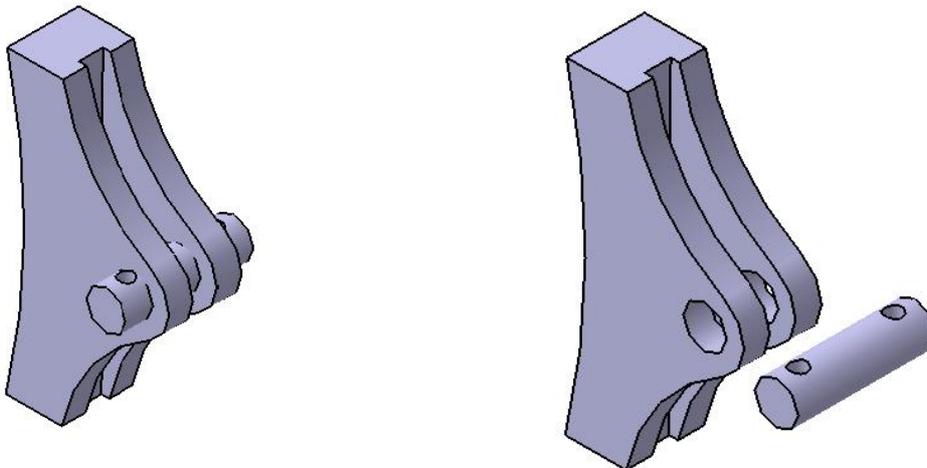


Figura 4-96 L1-22: BRAKE SHOE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.6 L1-23: BRAKE CON-ROD

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

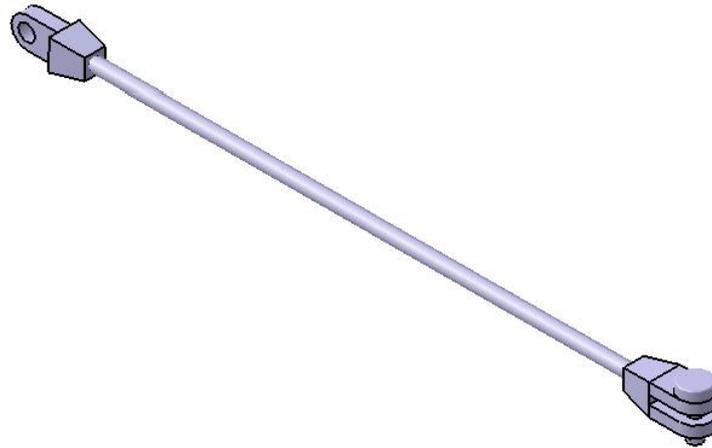


Figura 4-97 L1-23: BRAKE CON-ROD

Figura 4-98 L1-23: BRAKE CON-ROD (Función: *Explode*)

4.1.4.7 L2-01: DRIVE WHEEL SET-1

Esta pieza está compuesta por 6 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

Para realizar la rueda se comienza con los aspectos que siguen un patron circular; se ha diseñado el perfil de la rueda de esta y se le ha aplicado la función revolución para obtener la forma necesaria:

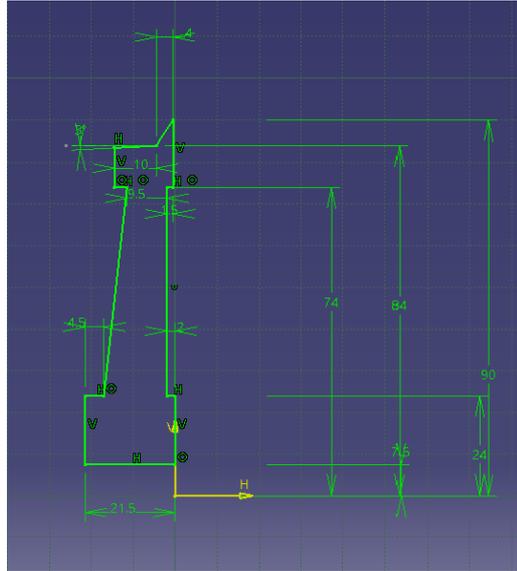


Figura 4-99 Boceto del perfil de la rueda

Con la función Shaft obtenemos la forma de la rueda al hacer que el perfil revolucione entorno al eje X:

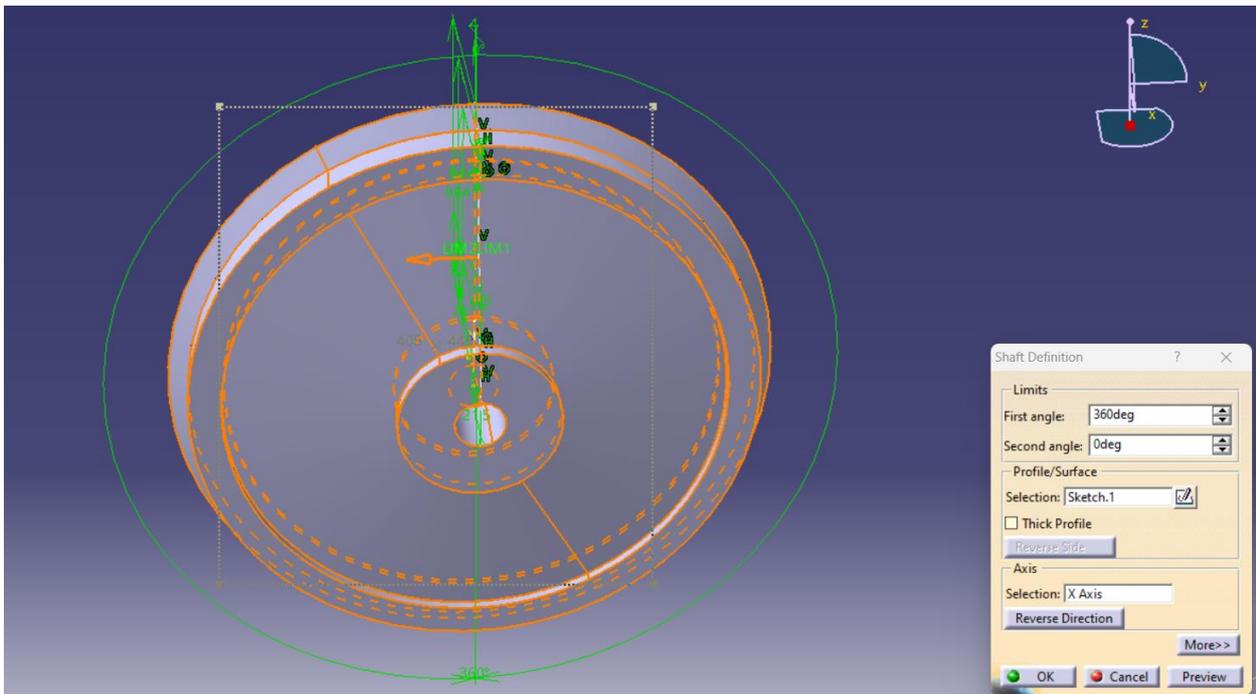


Figura 4-100 Forma de la rueda mediante la funcion Shaft

A continuación, se realiza un agujero con la forma de la rendija:

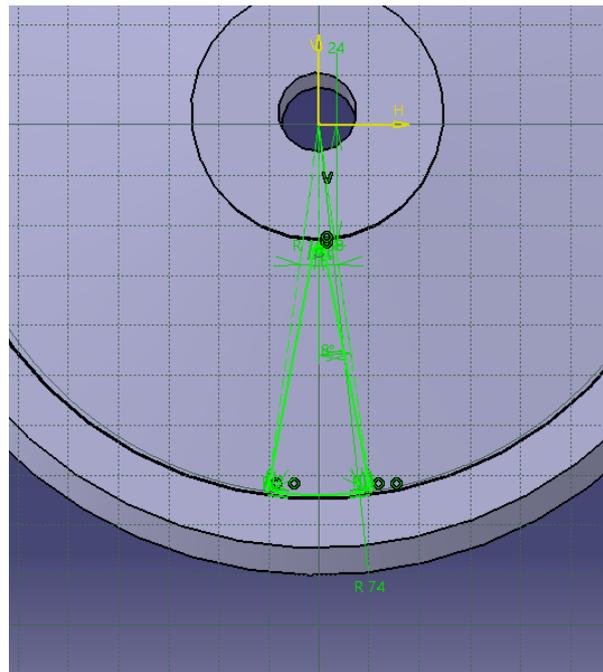


Figura 4-101 Boceto de utilizado en la función Hole

Después, se aplica la función Circle Pattern para que se repita el patrón del agujero a lo largo de la rueda:

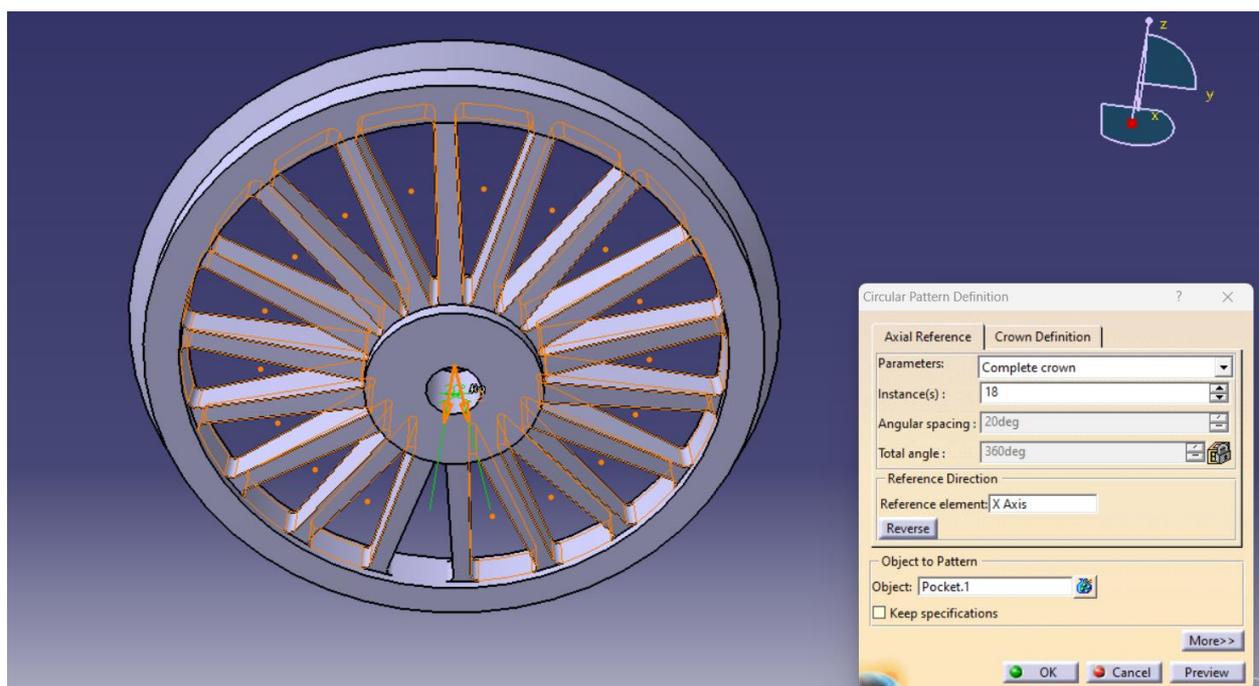


Figura 4-102 Función Circle Pattern en la rueda

Por último, se añaden los aspectos que no son simétricos respecto al origen utilizando la función Pad:

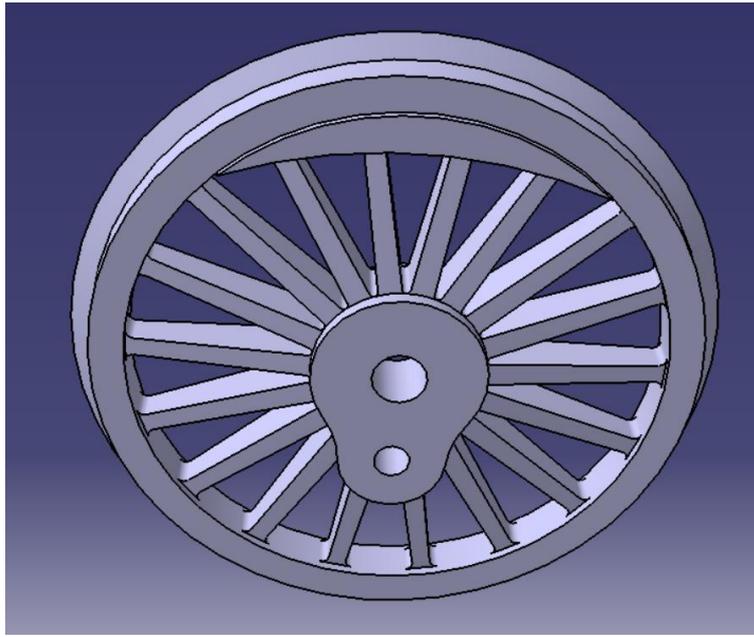


Figura 4-103 Rueda motriz

El assembly del subconjunto es el siguiente:

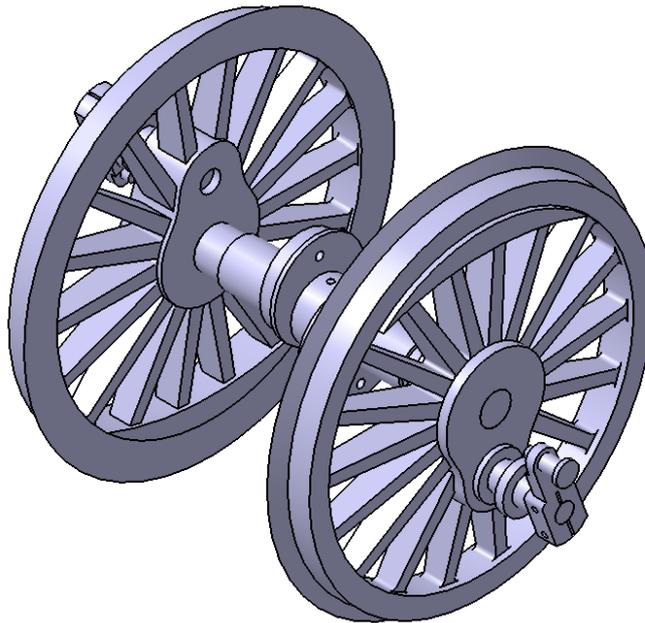


Figura 4-104 L2-01: DRIVE WHEEL SET-1

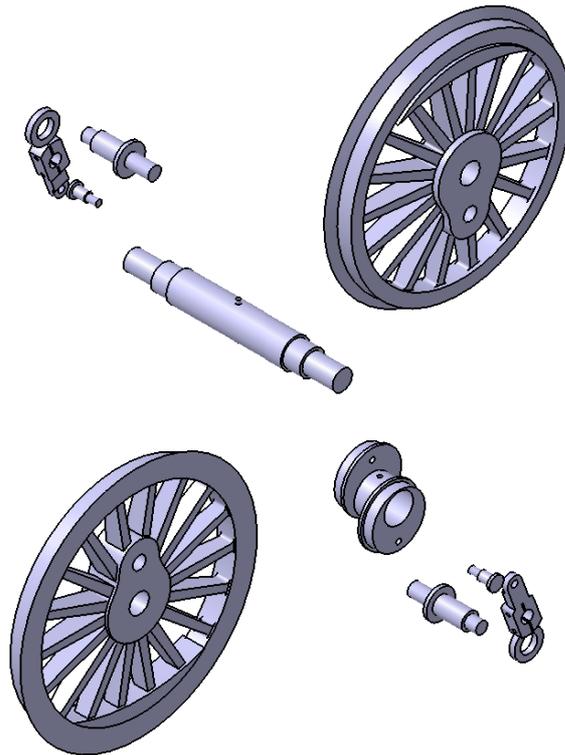


Figura 4-105 L2-01: DRIVE WHEEL SET-1 (Función: *Explode*)

4.1.4.8 L2-02: DRIVE WHEEL SET-2 AND 3

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

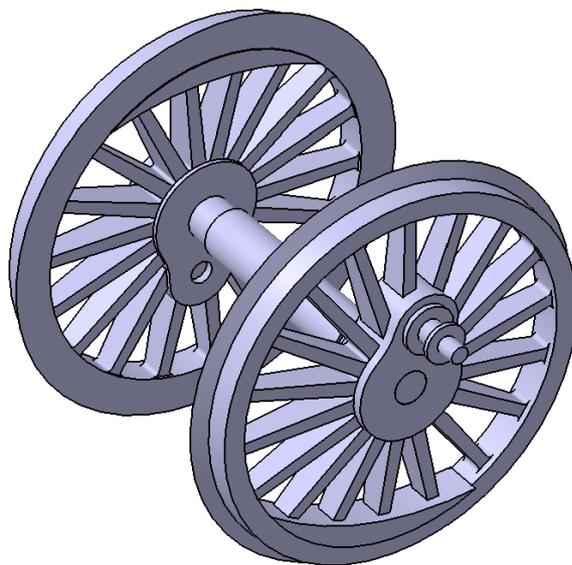


Figura 4-106 L2-02: DRIVE WHEEL SET-2 AND 3

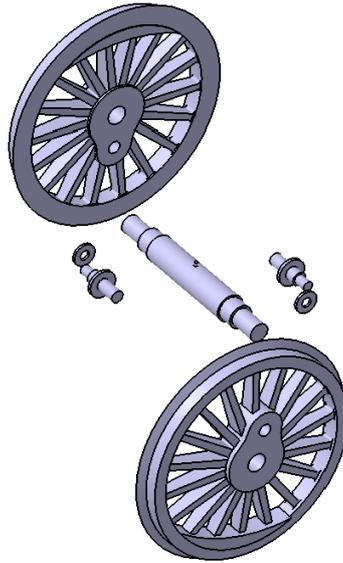


Figura 4-107 L2-02: DRIVE WHEEL SET-2 AND 3 (Función: *Explode*)

4.1.4.9 L2-03: PISTON + CROSSHEAD

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

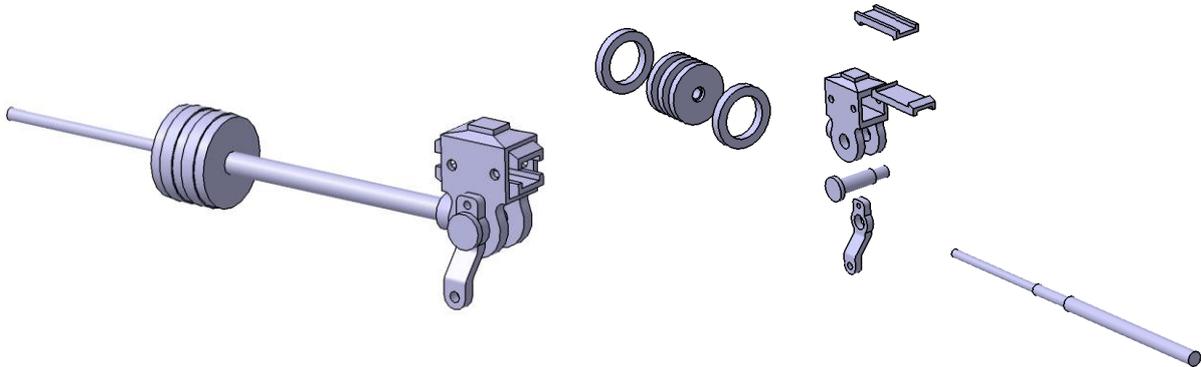


Figura 4-108 L2-03: PISTON + CROSSHEAD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.10 L2-04: CON-ROD TYPE-1

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

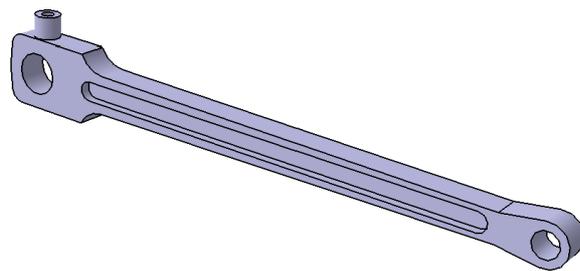


Figura 4-109 L2-04: CON-ROD TYPE-1

4.1.4.11 L2-05: CON-ROD TYPE-2

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

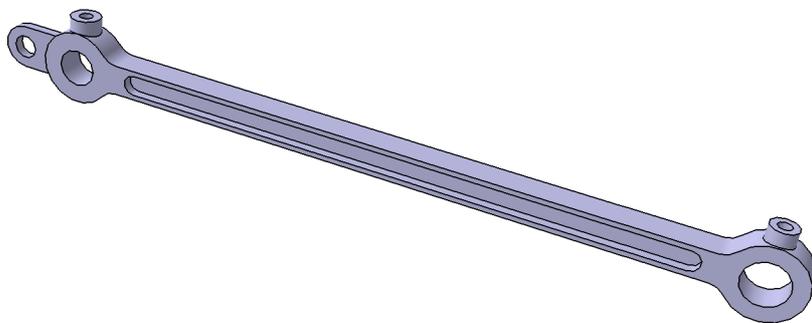


Figura 4-110 L2-05: CON-ROD TYPE-2

4.1.4.12 L2-06: CON-ROD TYPE-3

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-111 L2-06: CON-ROD TYPE-3y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.13 L2-07: MECH. PUMP ECCENTRIC STRAP

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

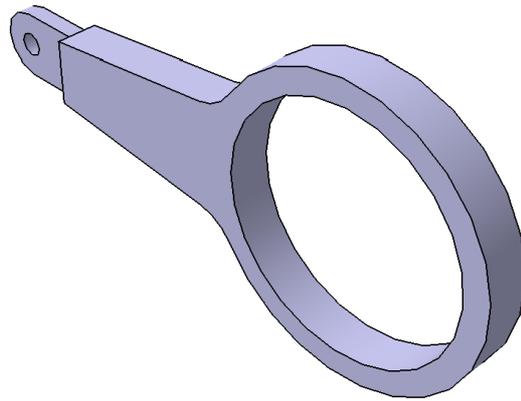


Figura 4-112 L2--07: MECH. PUMP ECCENTRIC STRAP

4.1.4.14 L2-08: MECH. PUMP PLUNGER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

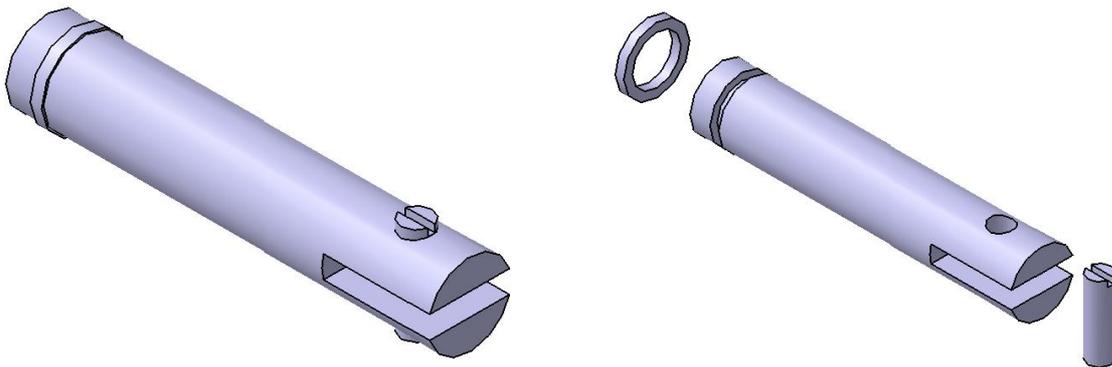


Figura 4-113 L2-08: MECH. PUMP PLUNGER y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.15 L2-09: SLIDE VALVE

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

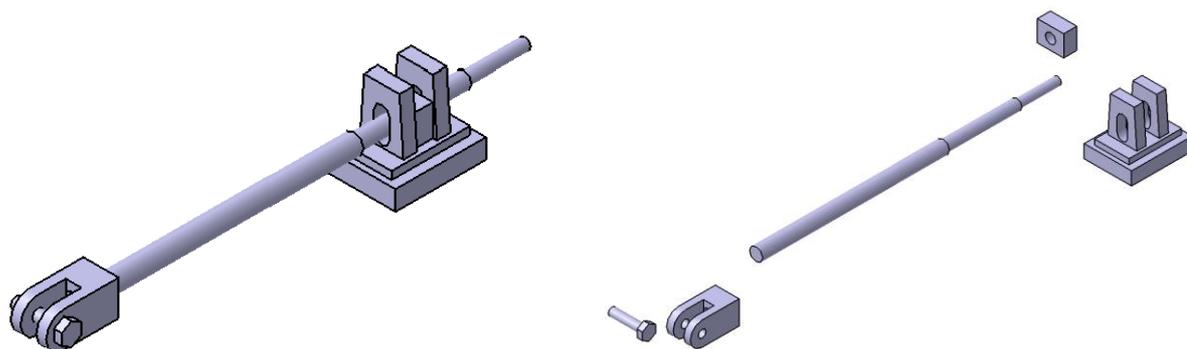


Figura 4-114 L2-09: SLIDE VALVE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.16 L2-10: LIFTING ARM + ROD

Esta pieza está compuesta por 5 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

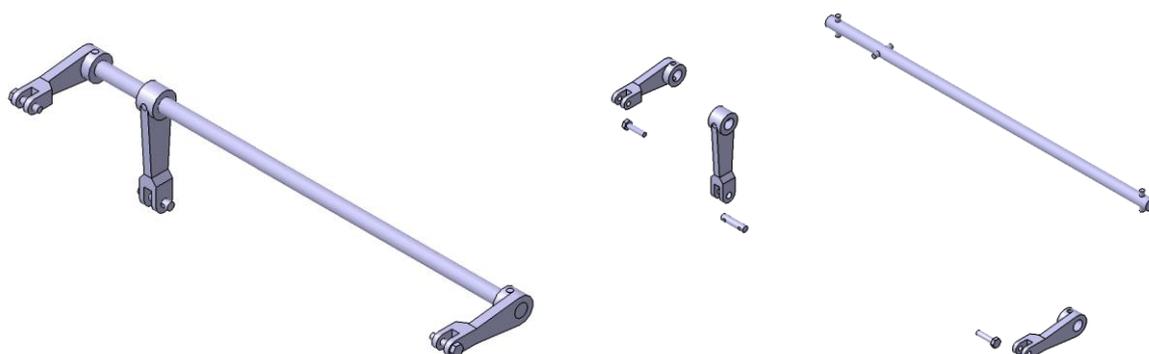


Figura 4-115 L2-10: LIFTING ARM + ROD y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.17 L2-11: LIFTING LINK

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

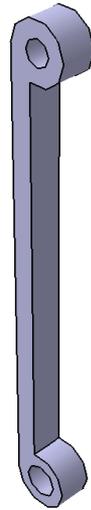


Figura 4-116 L2-11 LIFTING LINK

4.1.4.18 L2-12: EXPANSION LINK

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

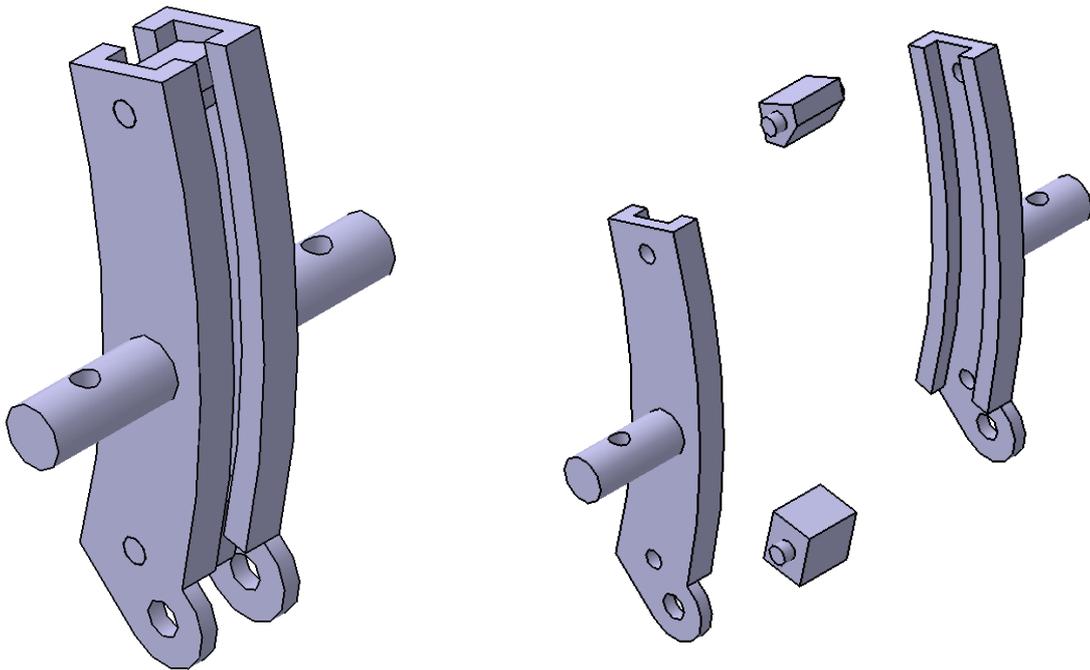


Figura 4-117 L2-12: EXPANSION LINK y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.19 L2-13: ECCENTRIC ROD

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

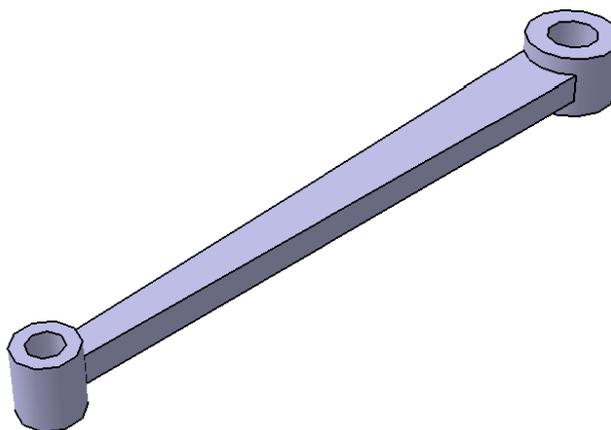
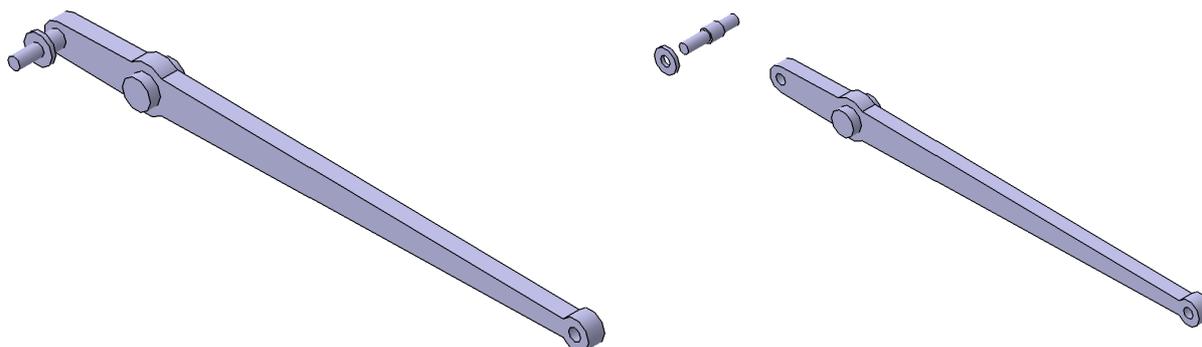


Figura 4-118 L2-13: ECCENTRIC ROD

4.1.4.20 L2-14: RADIUS BAR

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-119 L2-14: RADIUS BAR y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.21 L2-15: COMBINATION LEVER

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

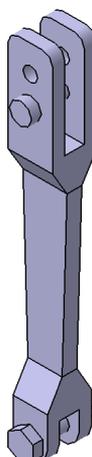


Figura 4-120 L1-15: COMBINATION LEVER

4.1.4.22 L2-16: UNION LINK

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

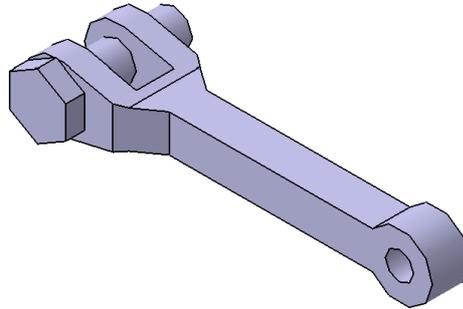


Figura 4-121 L1-16: UNION LINK

4.1.4.23 L2-17: SLIDE VALVE CONNECTOR CRANK SHAFT

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

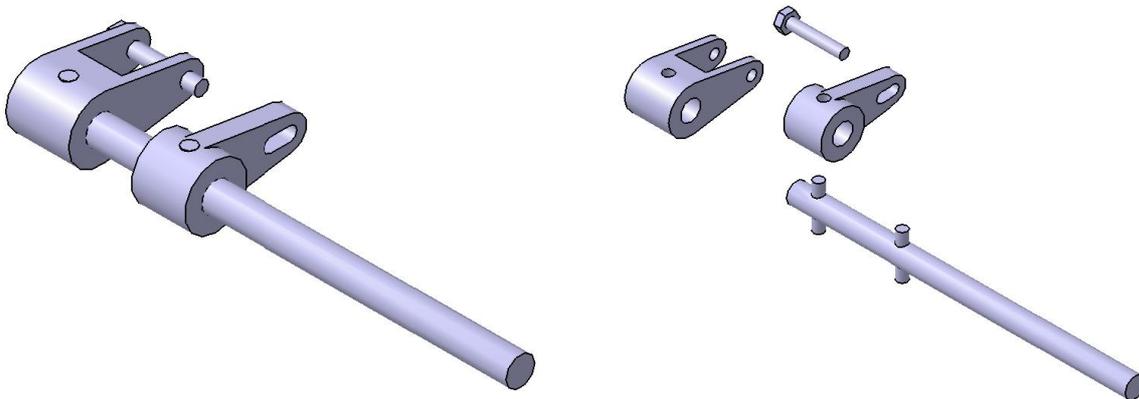


Figura 4-122 L2-17: SLIDE VALVE CONNECTOR CRANK SHAFT y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.24 L2-18: BOGIE WHEELS+ AXLE

Esta pieza está compuesta por 2 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

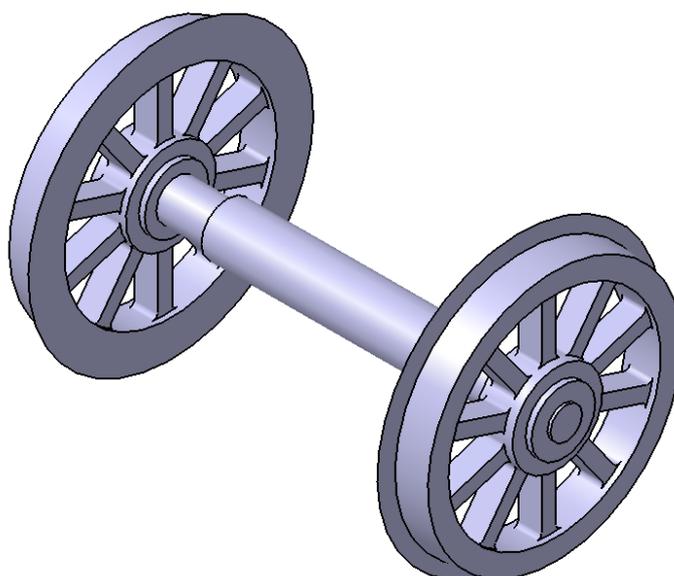
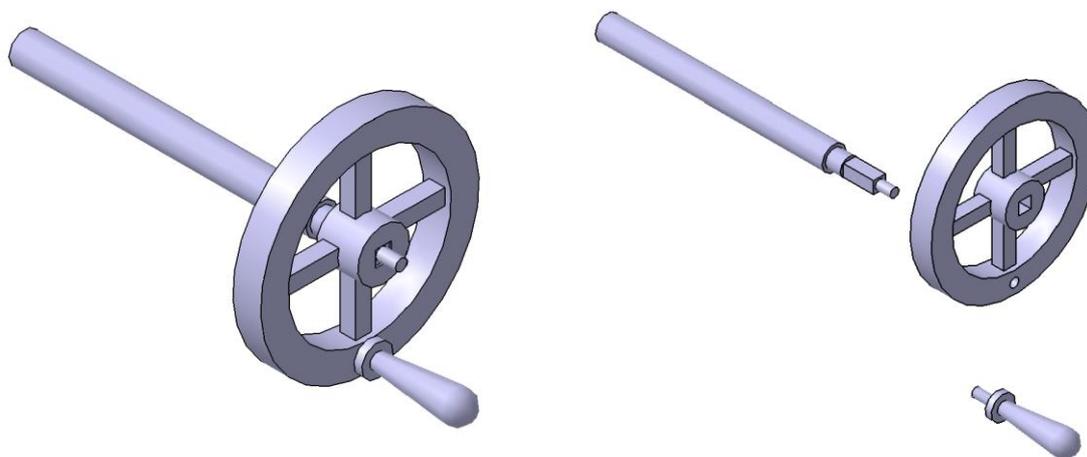


Figura 4-123 L1-18: BOGIE WHEELS+ AXLE

4.1.4.25 L2-25: REVERSER SCREW SPINDLE

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

Figura 4-124 L2-25: REVERSER SCREW SPINDLE y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.26 L2-26: REACH ROD

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

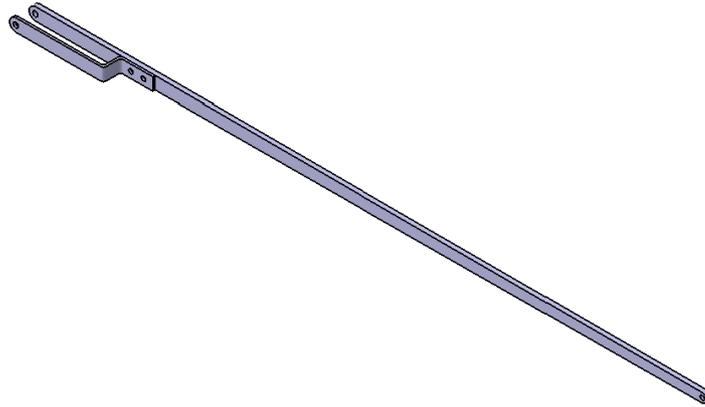


Figura 4-125 L2-26: REACH ROD

4.1.4.27 L2-27: DUMMY OILER VALVE STEM

Esta pieza está compuesta por 4 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

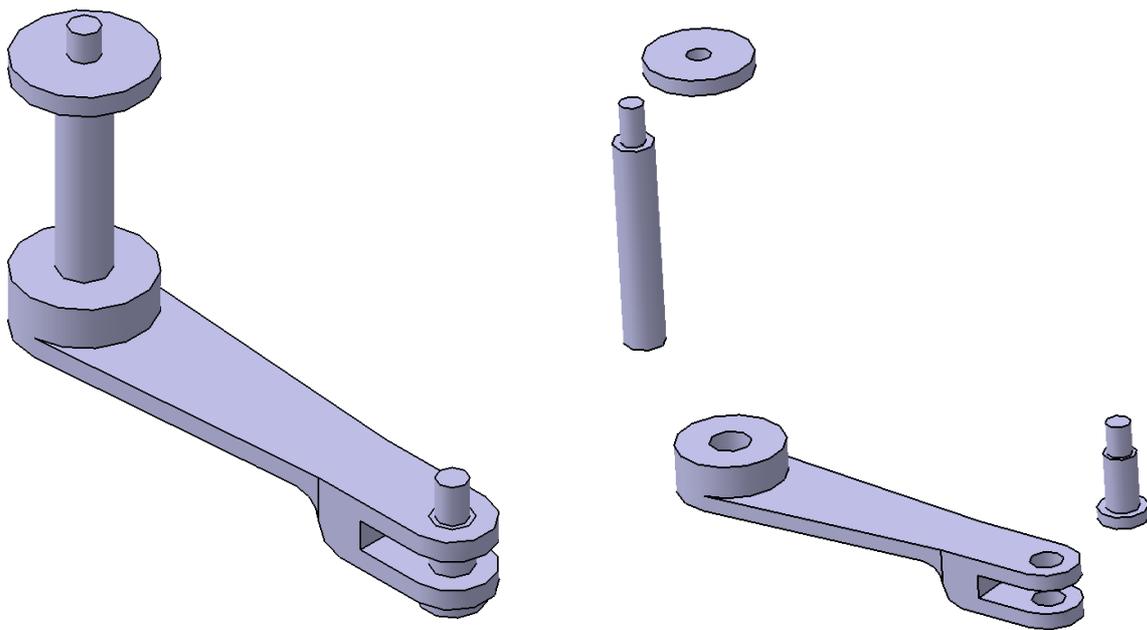


Figura 4-126 L2-27: DUMMY OILER VALVE STEM y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.28 L2-28: DUMMY OILER ARM LEVER OPERATOR

Esta pieza está compuesta por 3 Simple Parts. Todas las piezas tienen asignadas como material el aluminio. El assembly del subconjunto es el siguiente:

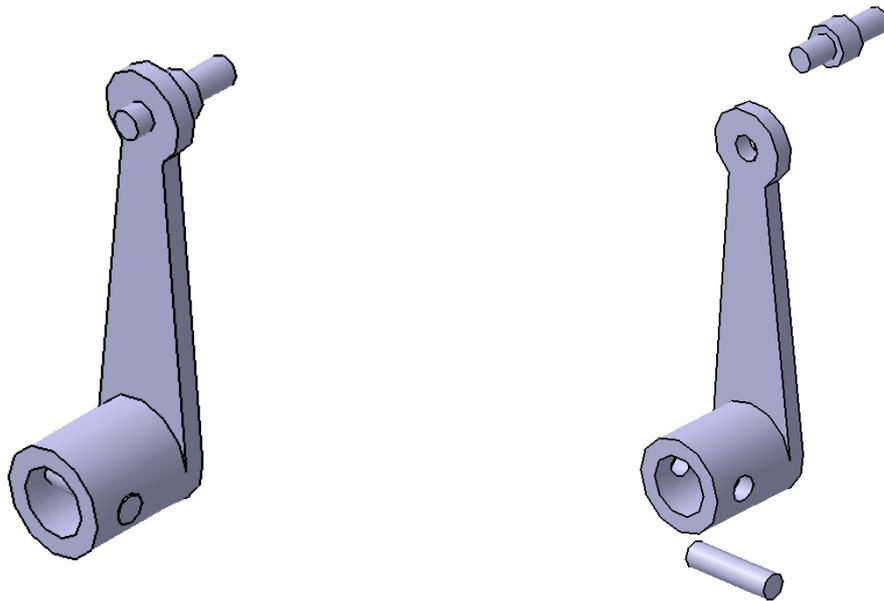


Figura 4-127 L2-28: DUMMY OILER ARM LEVER OPERATOR y a la izquierda aplicando la función *Explode*

4.1.4.29 L2-29: DUMMY OILER CON ROD

Esta pieza está compuesta por un Simple Parts. Toda la pieza tiene asignada como material el aluminio.

El assembly del subconjunto es el siguiente:

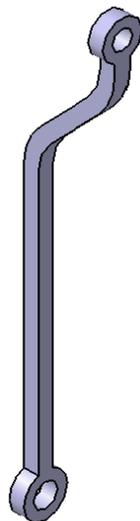


Figura 4-128 L2-29: DUMMY OILER CON ROD

4.2 Ensamblaje de los conjuntos principales

Para realizar estos ensamblajes se han utilizado el módulo Assembly Design y se emplea las herramientas de Constraints. Esto nos permite definir si las piezas entre ellas se encuentran en contacto, tienen eje común, les separa una distancia constante, tienen un ángulo definido entre sus planos; entre otras muchas funciones.

Las piezas de unión entre los sub-ensamblajes son las propias tuberías, tuercas y remaches. Los remaches no se encuentran definidos en los planos [1], por lo que se ha utilizado la siguiente formato para diseñar los remaches:

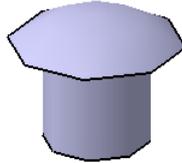


Figura 4-129 Remache standard

Los parámetros que lo definen son: el diámetro del cuerpo del remache y la longitud de este. Dependerá de la posición y las piezas que vaya a unir.

El renderizado se realiza mediante el mismo software CATIA V5 con la herramienta render. Este nos permite observar de forma más definida los materiales y las texturas de las piezas. Destaca el color brillante que adquiere la locomotora debido a la cantidad de metales que la conforman.

4.2.1 Estructura de la locomotora

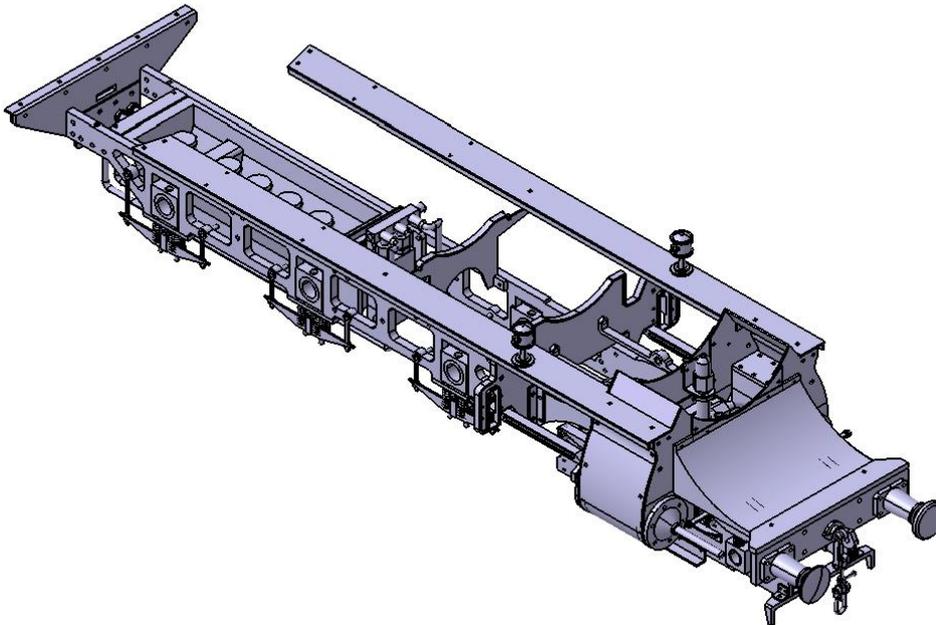


Figura 4-130 Estructura vista isométrica

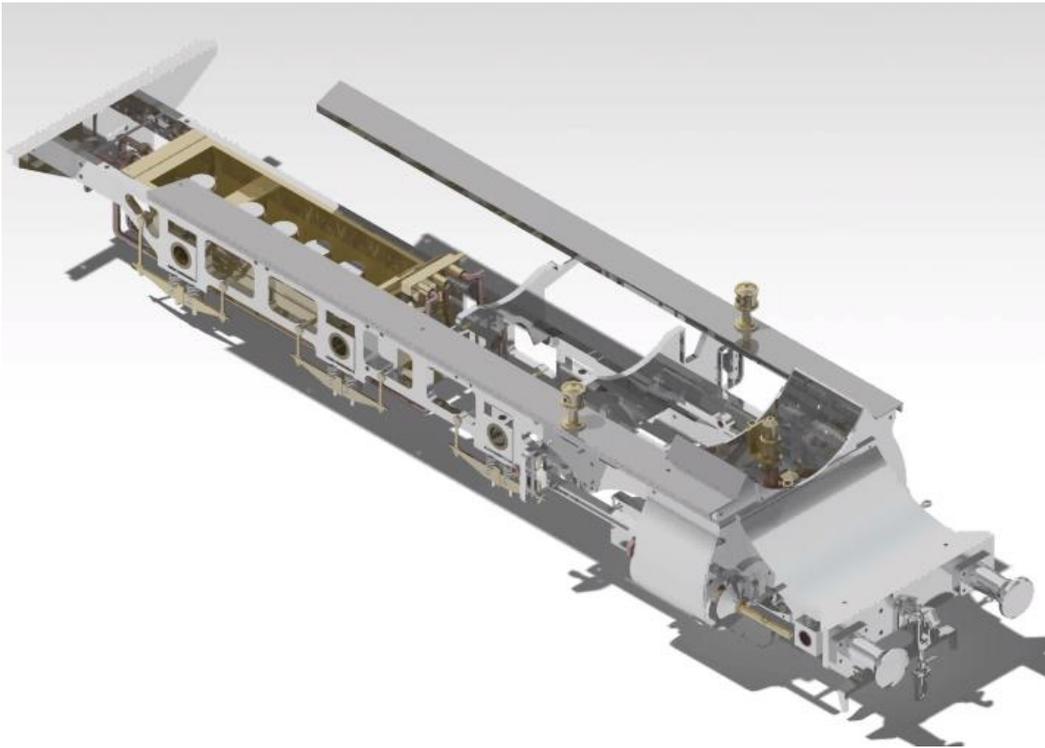


Figura 4-131 Estructura vista isométrica renderizada

4.2.2 Caldera

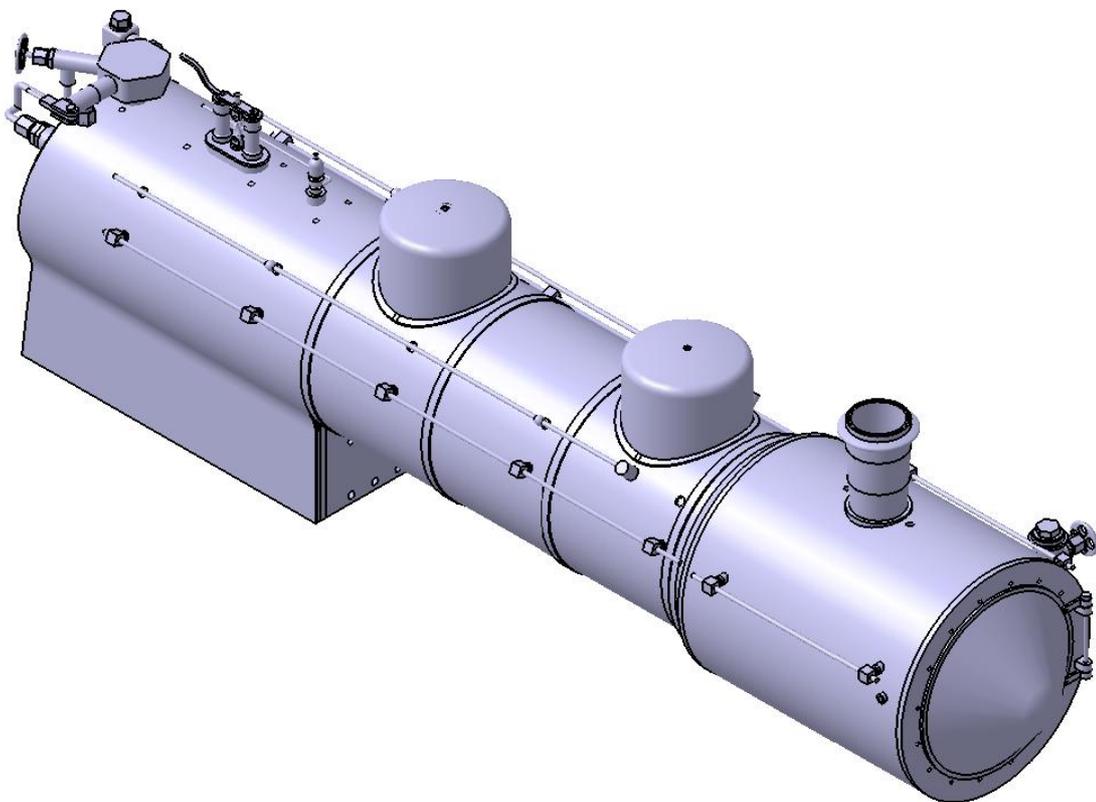


Figura 4-132 Caldera vista isométrica

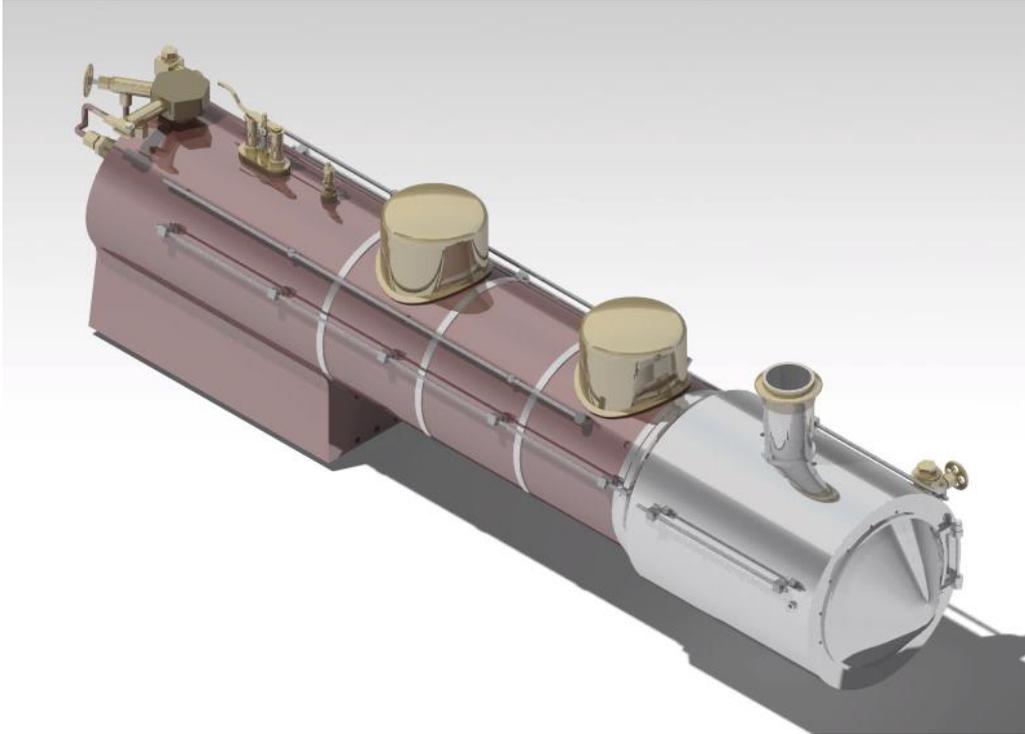


Figura 4-133 Caldera vista isométrica renderizada

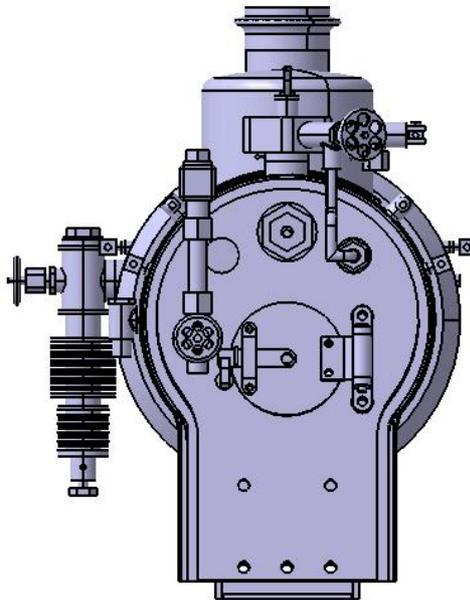


Figura 4-134 Caldera vista trasera

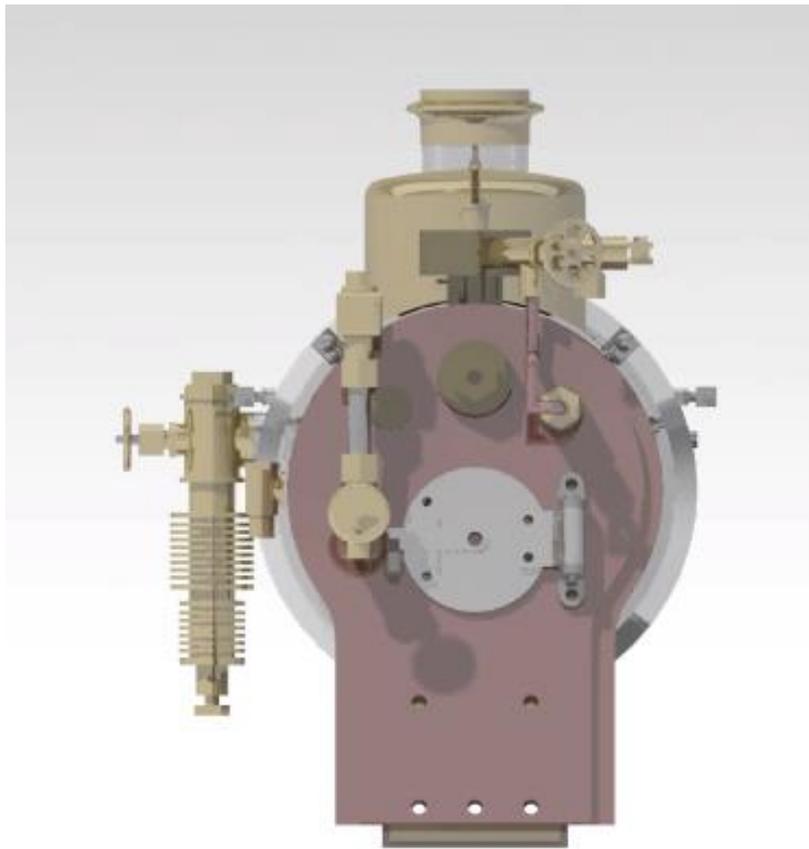


Figura 4-135 Caldera vista trasera renderizada

4.2.3 Cabina del maquinista

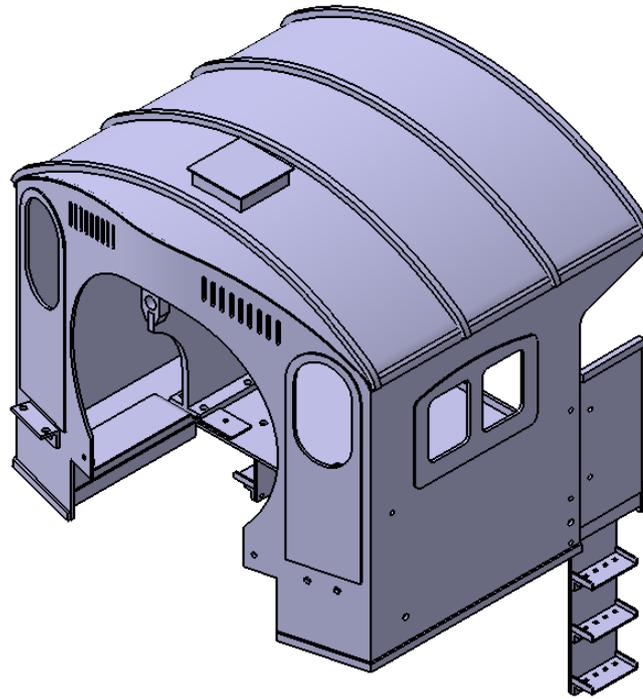


Figura 4-136 Cabina del maquinista vista isométrica

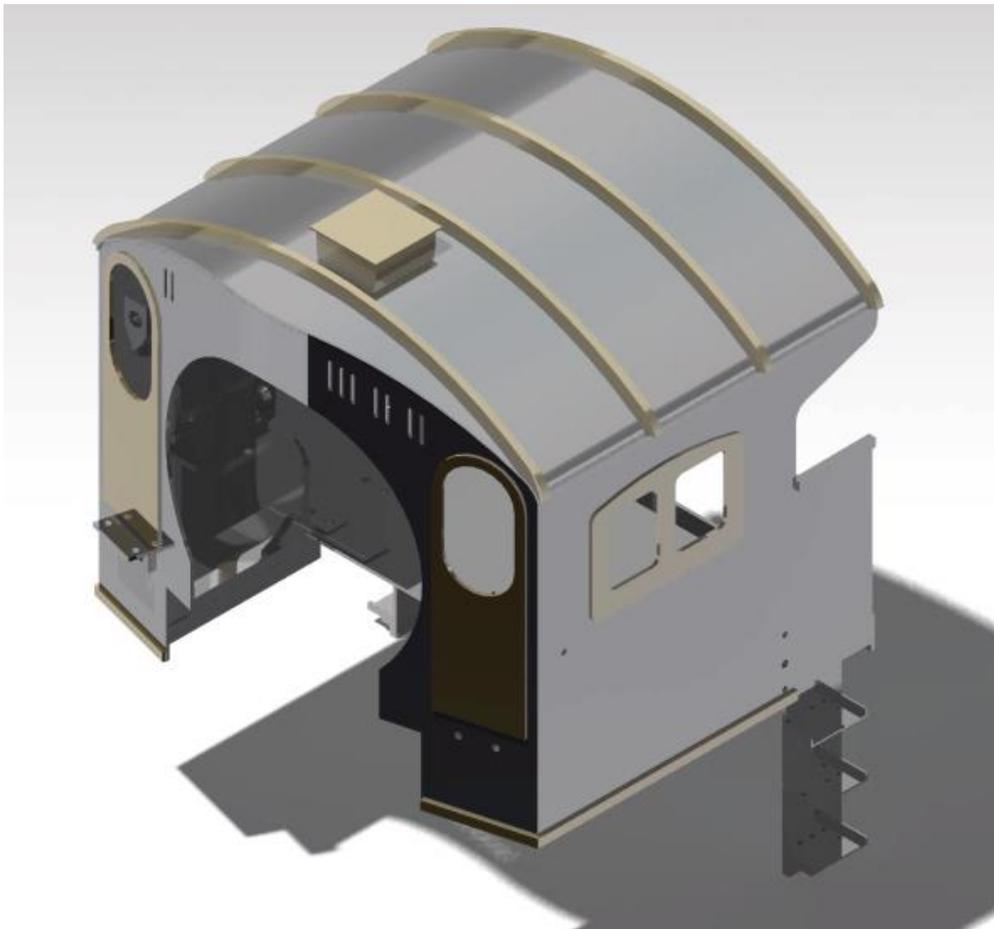


Figura 4-137 Cabina del maquinista vista isométrica renderizada

4.2.4 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices

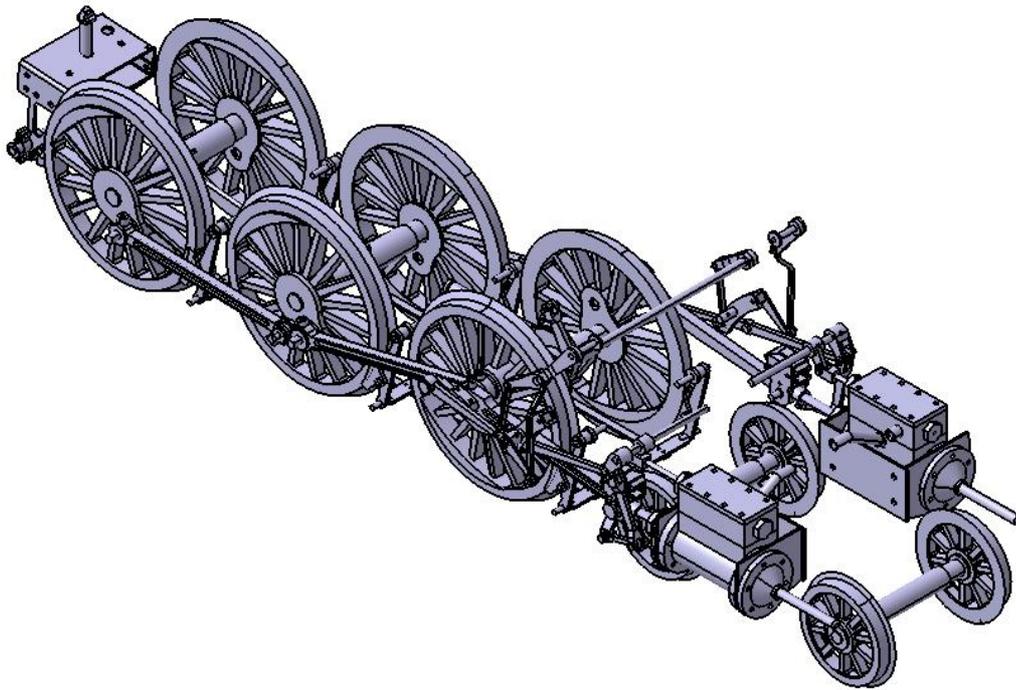


Figura 4-138 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista isométrica

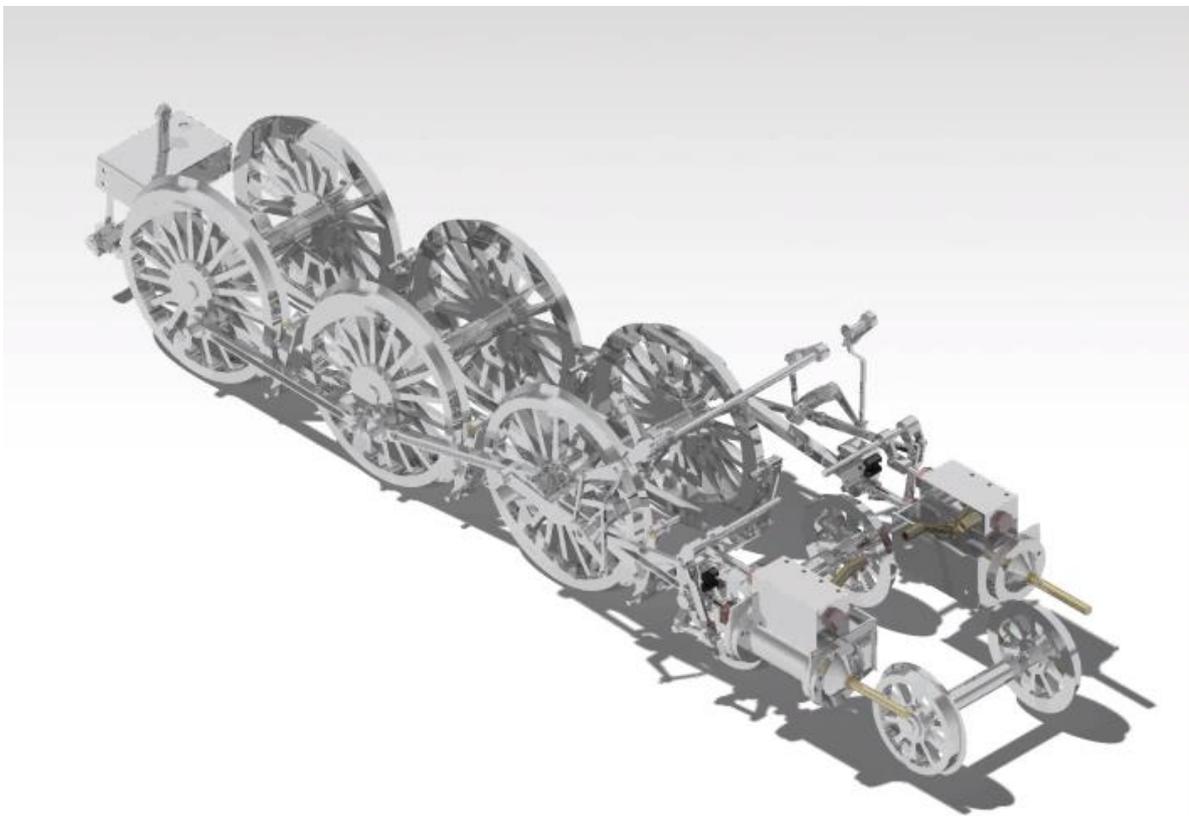


Figura 4-139 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista isométrica renderizada

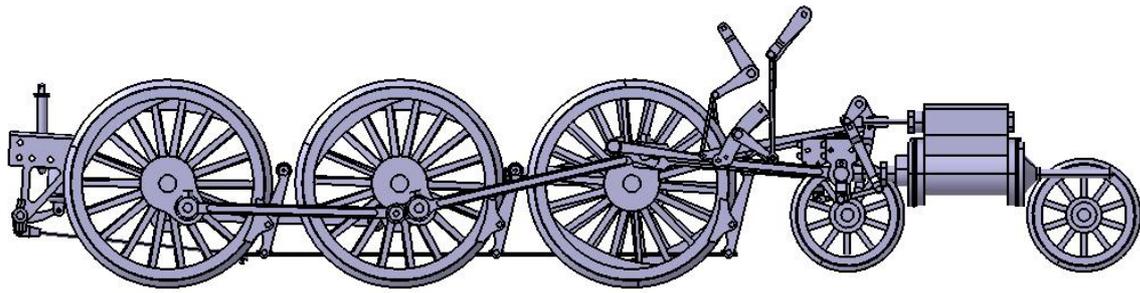


Figura 4-140 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista lateral

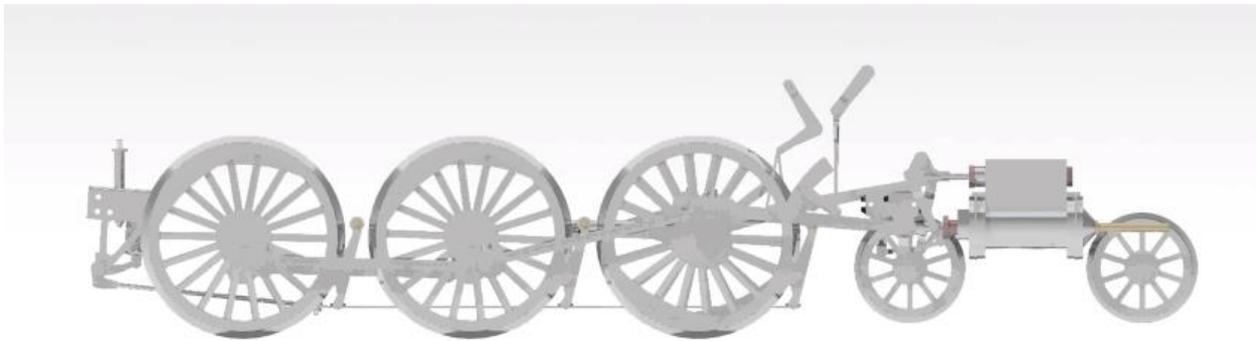


Figura 4-141 Sistema mecánico de bielas, manivelas y ruedas motrices vista lateral renderizada

5 ENSAMBLAJE FINAL Y RENDERIZADO

Los materiales asignados a las diferentes piezas son los que se indican en los planos en los que se ha basado el proyecto [1], y se ha señalado en el capítulo 4.1. Principalmente se conforman de elementos metálicos como el cobre, bronce, aluminio o acero. Históricamente las locomotoras tenían una gran cantidad de metales por la necesidad de utilizar materiales resistentes y duraderos en el tiempo. Otras piezas que tienen aspectos más decorativos se han utilizado materiales como el bronce o latón. También se ha utilizado el caucho como elemento en las juntas de las tuberías como elemento aislante y amortiguador.

Para el ensamblaje final se une la estructura de la locomotora, la caldera y la cabina del maquinista en primer lugar, pues conforman la parte rígida e inmóvil de la locomotora. Encargada de generar la energía para moverse a sí misma y a los vagones que arrastra; y en la cabina se encuentran los elementos necesarios para que el maquinista pueda controlar la locomotora. Después, se le añade el sistema mecánico con todas las bielas, manivelas, frenos, ruedas motrices y pistones.

Para posicionar las piezas y ubicarlas en el espacio unas respecto a otras nos valemos, al igual que en el apartado anterior, del módulo Assembly Design y se emplea las herramientas de Constraints.

A la hora de ensamblar nos encontramos con problemas pues los planos [1] no definen la posición de las piezas o incluso algunas no están señaladas. Por ello, como parte del proyecto se ha tenido que interpretar la posición y el tipo de unión que se utiliza. También se han tenido que modificar algunas piezas pues al no estar señalado las posiciones relativas de los ensamblajes se han obtenido choques entre piezas que se solapan entre sí.

El renderizado se realiza mediante el mismo software CATIA V5 como se detalla en el apartado anterior, capítulo 4.2.

A continuación, se muestra la locomotora en su ensamblaje final desde diferentes vistas con la textura predefinida de CATIA V5 para el diseño y otra utilizando la herramienta para el renderizado.

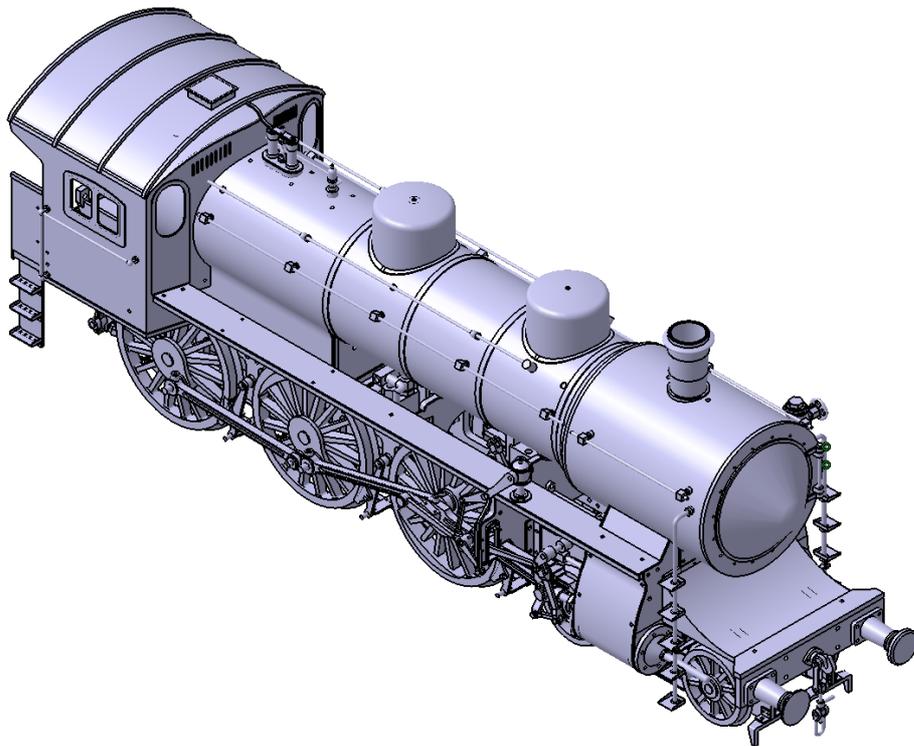


Figura 5-1 Vista isométrica de la locomotora NCS 76

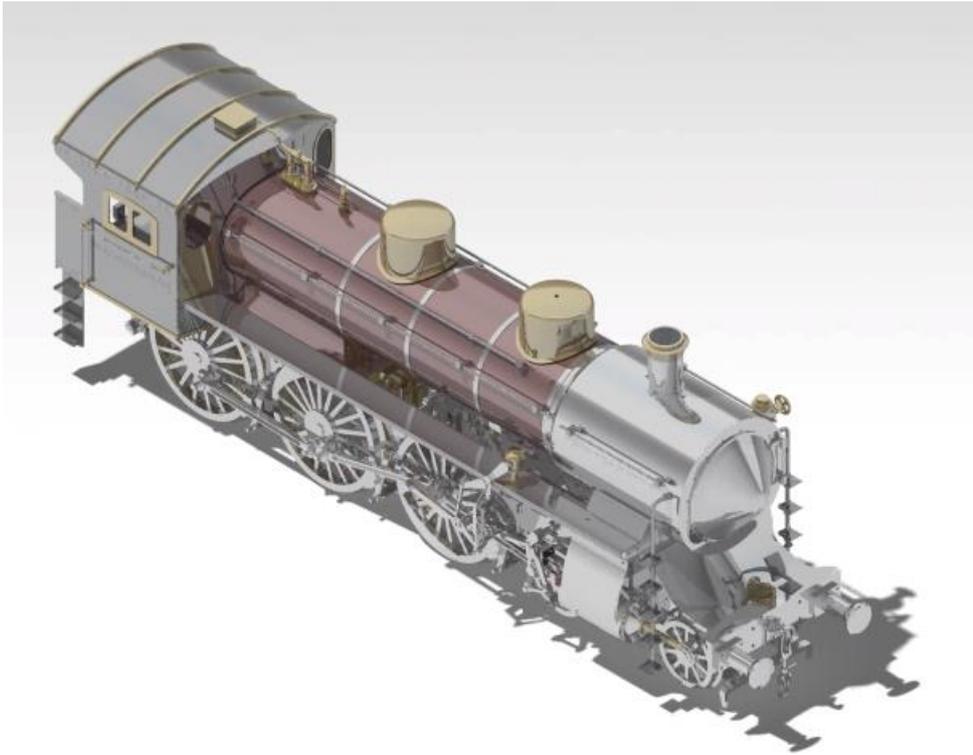


Figura 5-2 Vista isométrica de la locomotora NCS 76 renderizada

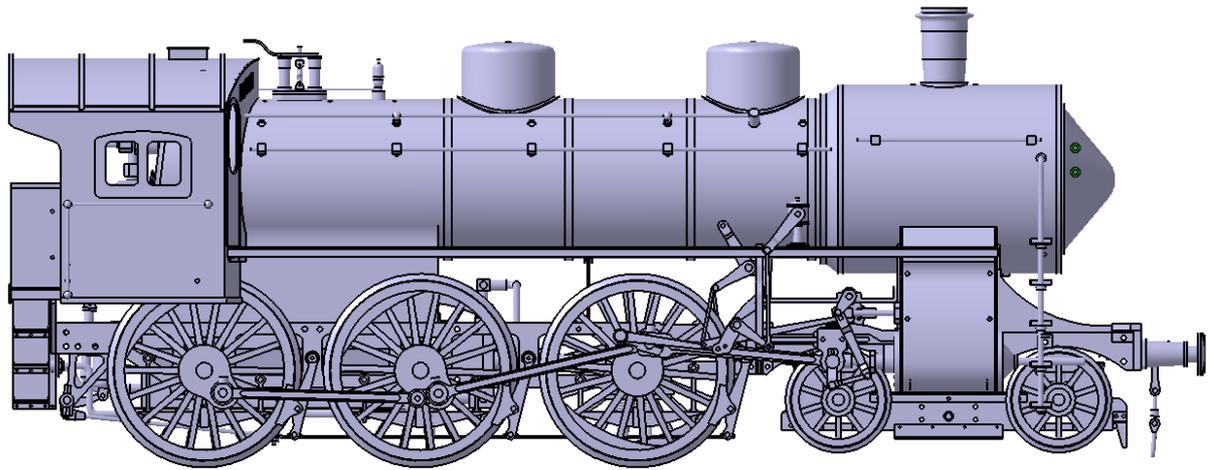


Figura 5-3 Vista lateral de la locomotora NCS 76

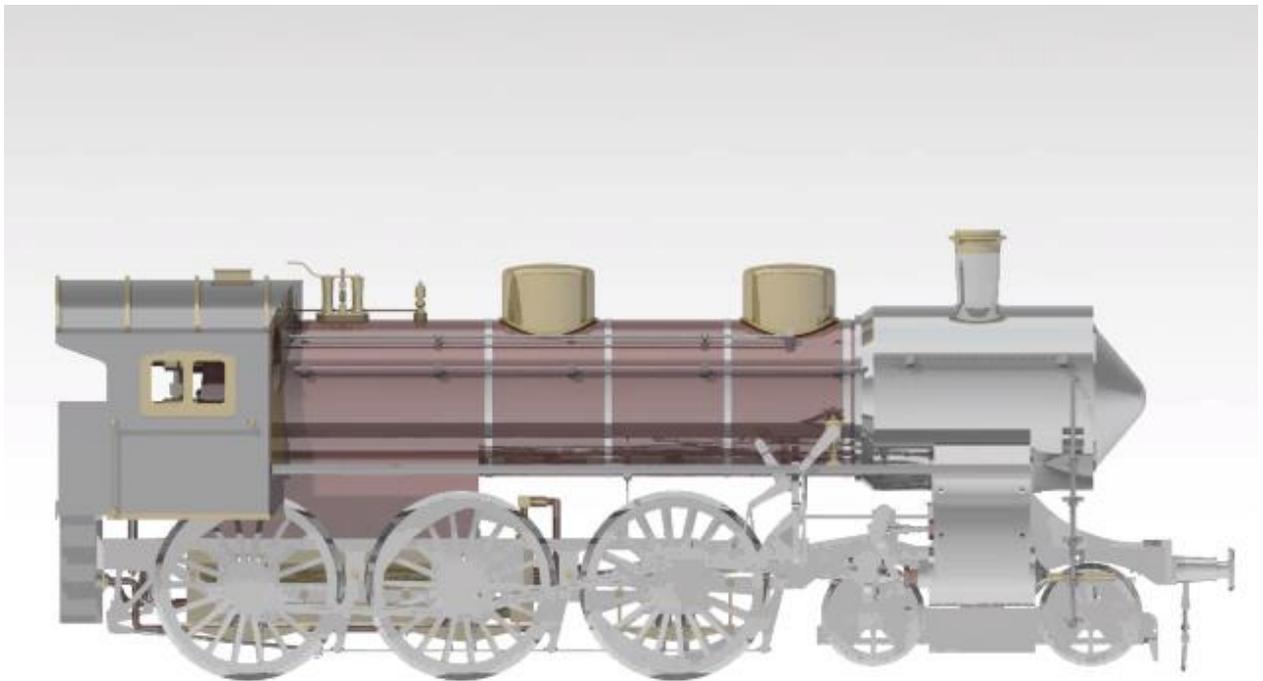


Figura 5-4 Vista lateral de la locomotora NCS 76 renderizada

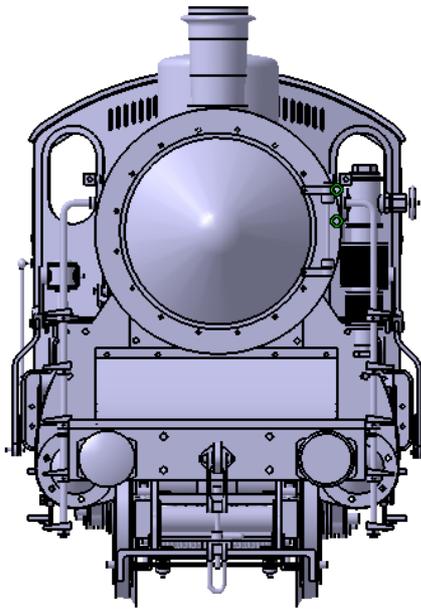


Figura 5-5 Vista frontal de la locomotora NCS 76

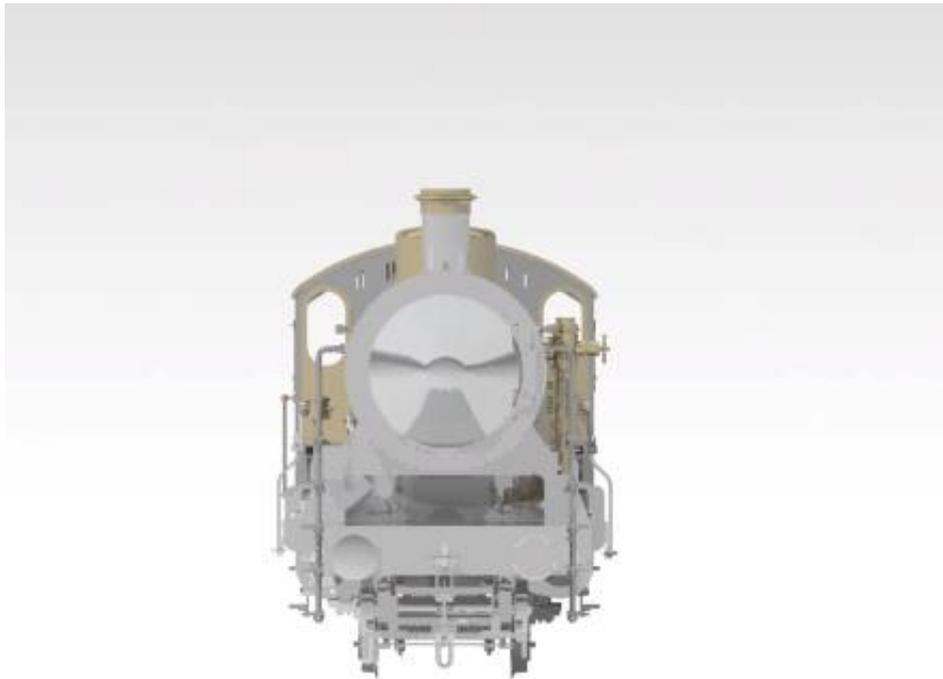


Figura 5-6 Vista frontal de la locomotora NCS 76 renderizada

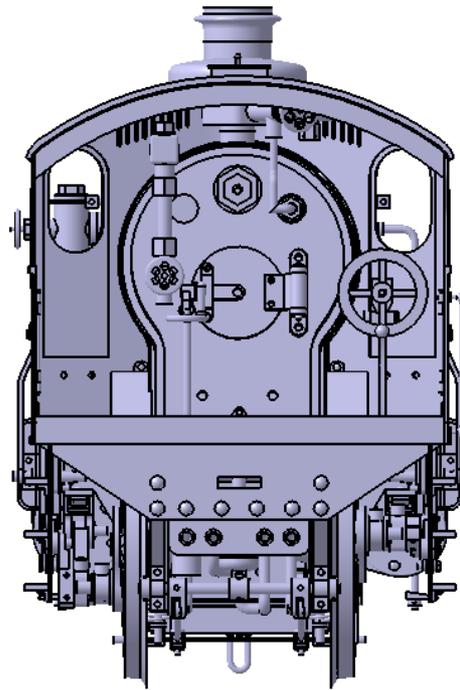


Figura 5-7 Vista trasera de la locomotora NCS 76

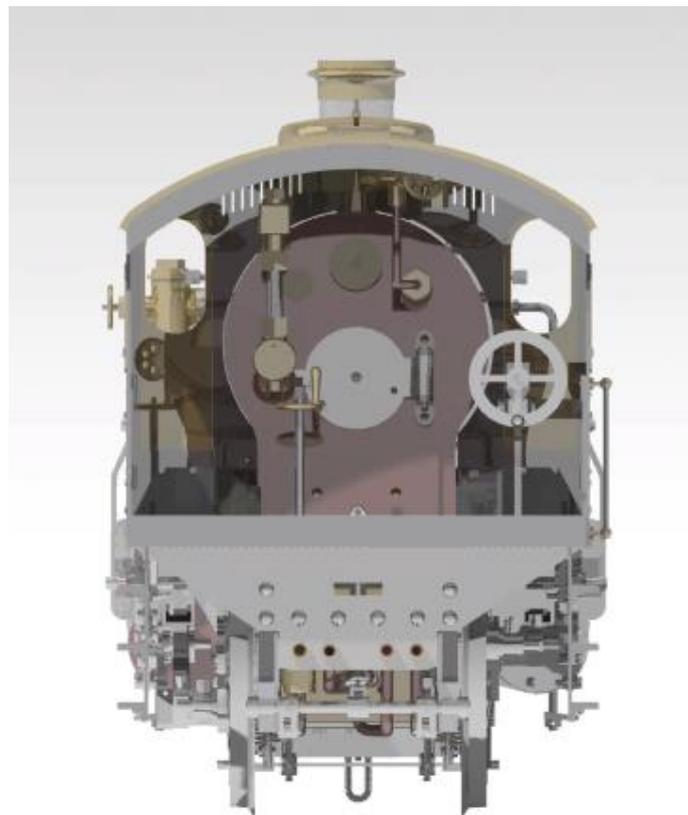


Figura 5-8 Vista trasera de la locomotora NCS 76 renderizada

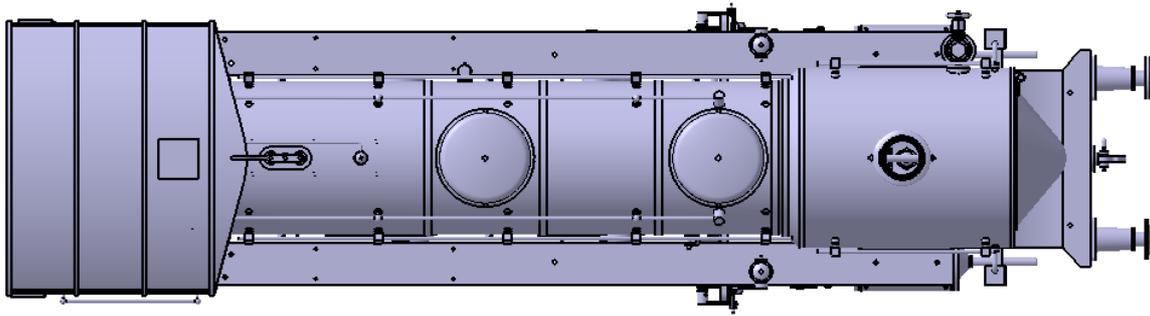


Figura 5-9 Vista en planta de la locomotora NCS 76

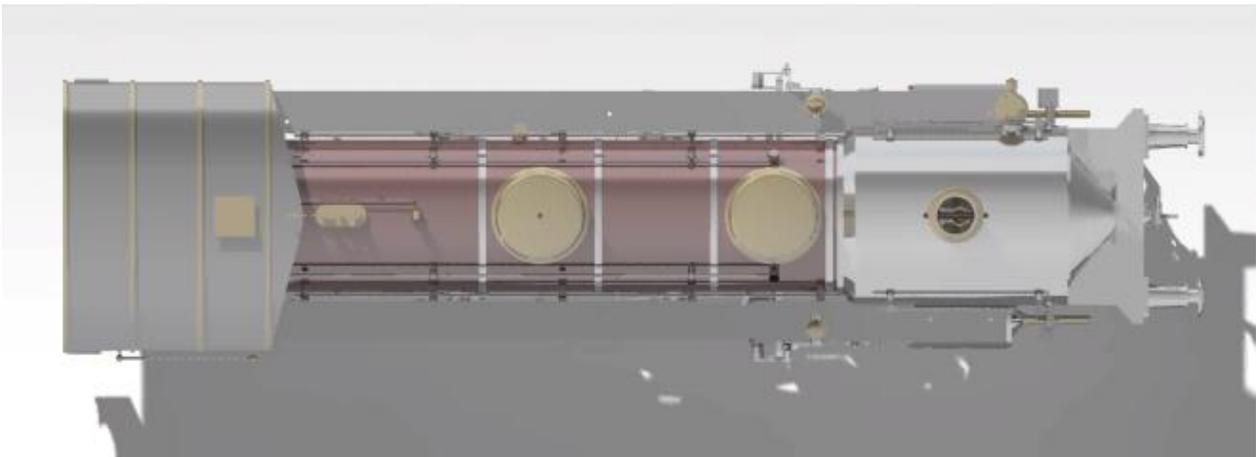


Figura 5-10 Vista en planta de la locomotora NCS 76 renderizada

En esta vista y realizando un corte por el plano longitudinal se puede apreciar la cantidad de piezas que conforma la locomotora y muchas de ellas no se pueden observar pues se encuentran dentro de la cubierta.

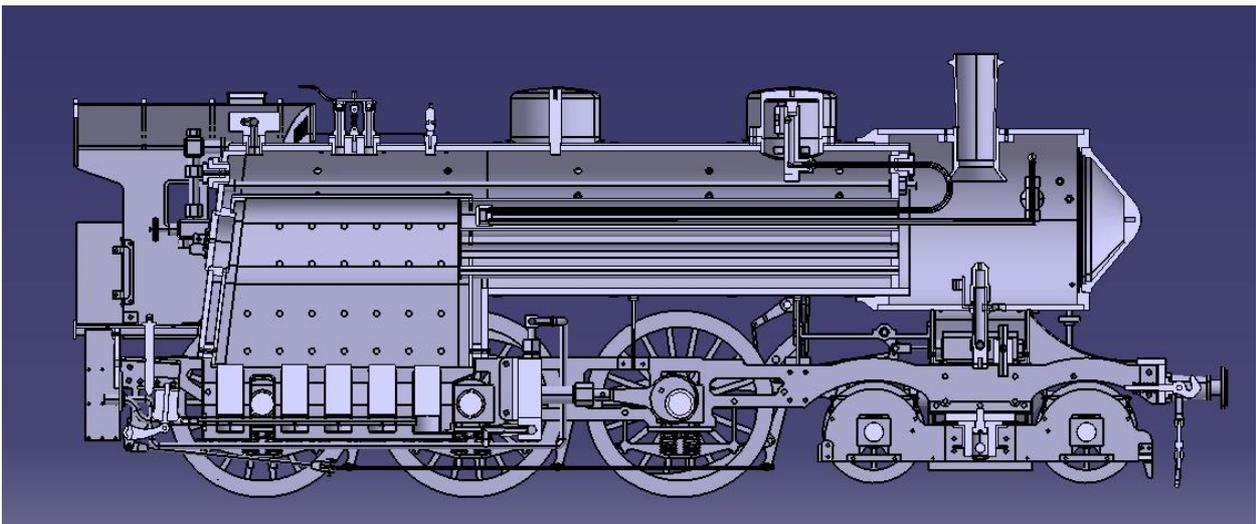


Figura 5-11 Locomotora seccionada por el plano longitudinal

Por último, se renderiza la locomotora con un fondo:

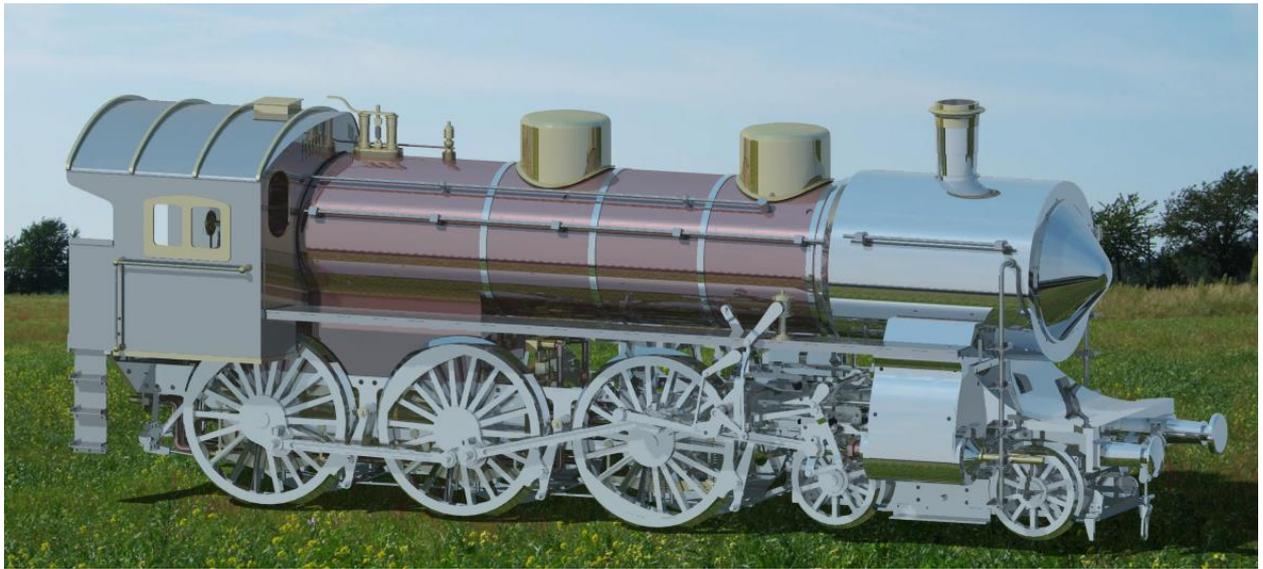


Figura 5-12 Locomotora NCS 76 renderizada

6 ESTUDIO DE LA CINEMÁTICA DE LA LOCOMOTORA NSC 76

La simulación de la locomotora se realiza mediante el módulo de CATIA DMU Kinematics. Este módulo permite simular los movimientos de los diferentes componentes del ensamblaje. El objetivo es simular la cinemática de las ruedas motoras causado por el movimiento cíclico de los pistones empujados por el vapor de alta presión de la caldera. Ciclo que se ha explicado previamente en este trabajo en el capítulo 2.3.2. Esta fase del estudio de la cinemática es fundamental para verificar el correcto funcionamiento y diseño de los mecanismos de la locomotora; y asegurar que el modelo virtual se comporta de manera fiel a la realidad.

En primer lugar, se definen las restricciones cinemáticas que limitan los grados de libertad entre las piezas y simulan las conexiones reales de la locomotora. Se consigue que la simulación refleje el comportamiento físico del mecanismo de la locomotora. Las herramientas usadas son: Revolute joint, Prismatic joint, Cylindrical joint y Rigid joint.

Se acotan todos los grados de libertad de las piezas hasta únicamente dejar solo un grado de libertad que será el actuador del mecanismo. Este actuador permite un movimiento continuo y controlado que en nuestro caso es el ángulo eje principal de las ruedas de tracción con la estructura de la locomotora. La velocidad, el sentido y la frecuencia del actuador se configuran para que la locomotora funcione de forma continua, logrando simular el ciclo de trabajo de un motor a vapor. Al ser un ciclo periódico se imponen a los valores actuador como límite inferior 0° y como límite superior 360° recorriendo todos los valores intermedios.

Las restricciones utilizadas son las siguientes:



Figura 6-1 Arbol de DMU Kinematics Parte 1

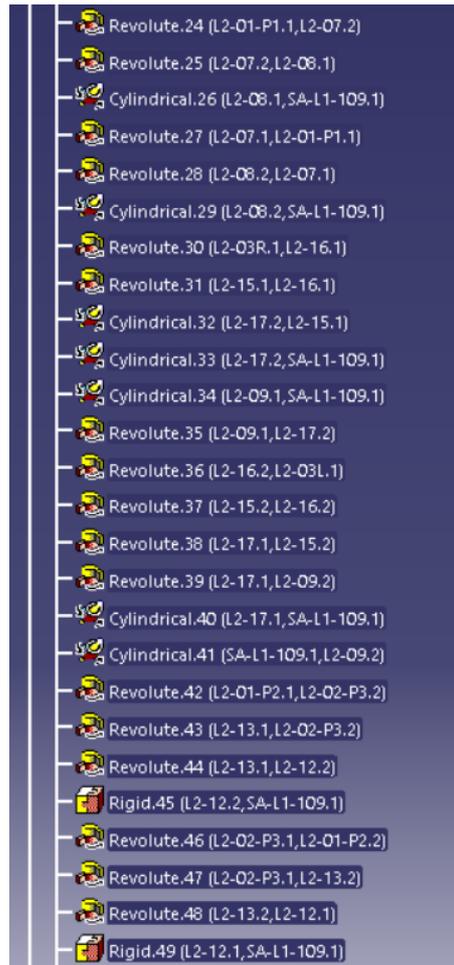


Figura 6-2 Arbol de DMU Kinematics Parte 2



Figura 6-3 Arbol de DMU Kinematics Parte 3

Como se puede observar en la Figuras 6-1, Figura 6-2 y Figura 6-3 se han utilizado los joints de revolución permitir el movimiento relativo entre las bielas, ruedas, y mecanismos. Los joints rigid son necesarios para reducir los grados de libertad y asignar a esas piezas que se encuentren fijas con la estructura. Por último, los joints cilíndricos son necesarios para permitir el movimiento de una pieza únicamente a lo largo de un eje.

Una vez que las restricciones y el actuador están configurados, se procede a simular la cinemática completa de las ruedas motrices. DMU Kinematics permite reproducir los movimientos en tiempo real y observar cómo interactúan los componentes entre sí. Se verifican que los componentes del sistema se muevan de forma

sincronizada, continua y fluida. También se observan las trayectorias que siguen las piezas y la conversión del movimiento lineal del pistón en rotacional en las ruedas.

Por último, se ha creado y grabado una simulación del movimiento que se adjuntará con la presente memoria y se mostrará en la defensa del proyecto.

7 CONCLUSIONES

El presente trabajo de fin de máster empleando el software CATIA V5 ha tenido como objetivo el estudio, modelado y recreación virtual de la locomotora de vapor NCS 76. En este último capítulo se exponen los conocimientos obtenidos durante el desarrollo del proyecto y como se podría ampliar el campo de conocimiento de esta locomotora con futuros trabajos que se apoyan en este modelo.

La combinación de herramientas de modelado y simulación que integra el software CATIA V5 ha sido clave para replicar los componentes y sistemas de la locomotora, permitiendo un análisis profundo de sus mecanismos internos y su funcionamiento en conjunto. Los módulos Part Design y Assembly Design permitieron diseñar y ensamblar cada componente, asegurando que el modelo final mantuviera las dimensiones y proporciones especificadas en los planos originales. Utilizando el módulo DMU Kinematics, se logró simular el movimiento de la locomotora de forma realista, capturando el funcionamiento del pistón, la transmisión de potencia a las ruedas y la interacción entre las bielas y los cilindros. Sin embargo, aunque el modelo ha sido recreado mecánicamente, el software no permite la simulación del flujo termodinámico del agua y el vapor a lo largo de la locomotora.

A parte del análisis técnico de la maquinaria, el proyecto tiene un valor educativo al utilizar herramientas modernas a sistemas históricos. Además, tiene un peso histórico y cultural; preserva el patrimonio de las locomotoras a vapor, su relevancia histórica y su evolución hacia otras tecnologías.

Este trabajo abre nuevas líneas de trabajo apoyándose en el modelo diseñado. Se sugiere continuar por los siguientes campos:

- Como se ha expuesto, el software CATIA no permite realizar el análisis termodinámico del sistema. Se sugiere utilizar otra herramienta que permita la simulación del comportamiento térmico y fluido. Sería valiosos el estudio del comportamiento del motor a vapor incorporando variables como la presión, temperatura y flujo del vapor. Hay softwares como ANSYS o Simulia que permiten trabajar con este tipo de variables.
- A parte de la simulación cinemática se podría analizar el comportamiento del sistema de frenos y suspensión. Estos son fundamentales para la seguridad y el control de la locomotora. Se podría simular sus actuaciones en diferentes escenarios de operación y analizar su comportamiento y estabilidad del sistema.
- En consonancia con las nuevas tecnologías, esta simulación 3D se podría extender a un modelo de realidad virtual. Permitiría experimentar el funcionamiento de una manera más inmersiva. De esta manera se podría compartir con la sociedad nuevas formas de explorar la tecnología del pasado y sistemas termodinámicos de los cuales derivaron otras tecnologías actuales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. J. van Rooijen, Krimpen, y Ijssel, «A spirit fired model of a steam locomotive NCS 76 of Dutch Railways». Modelbouwer, 1989.
- [2] «Máquina de Newcomen», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 2 de septiembre de 2024. Accedido: 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A1quina_de_Newcomen&oldid=162226504
- [3] «Máquina de vapor de Watt», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 24 de octubre de 2024. Accedido: 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A1quina_de_vapor_de_Watt&oldid=163194573
- [4] «La máquina de vapor de Watt - Enciclopedia de la Historia del Mundo». Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.worldhistory.org/trans/es/1-21774/la-maquina-de-vapor-de-watt/>
- [5] «Richard Trevithick», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 29 de septiembre de 2024. Accedido: 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Richard_Trevithick&oldid=160416202
- [6] «Penydarren», *Wikipedia*. 22 de septiembre de 2023. Accedido: 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Penydarren&oldid=1176513321>
- [7] «Se cumplen 217 años de la primera locomotora de vapor | Weekend». Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://weekend.perfil.com/noticias/informativo/se-cumplen-217-anos-de-la-primera-locomotora-de-vapor.phtml>
- [8] «Blücher (locomotora)», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 14 de noviembre de 2023. Accedido: 20 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bl%C3%BCher_\(locomotora\)&oldid=155356407](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bl%C3%BCher_(locomotora)&oldid=155356407)
- [9] «El Transporte», SlideShare. Accedido: 17 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/el-transporte-44761537/44761537>
- [10] A. Limited, «George stephensons rocket hi-res stock photography and images», Alamy. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alamy.com/stock-photo/george-stephensons-rocket.html>
- [11] «Liverpool-Manchester, el primer tren de pasajeros de la Historia», historia.nationalgeographic.com.es. Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://historia.nationalgeographic.com.es/edicion-impresa/articulos/liverpool-manchester-primer-tren-pasajeros_21703
- [12] «Locomotive Seguin», *Wikipedia*. 29 de octubre de 2024. Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Locomotive_Seguin&oldid=1254112115
- [13] «*Steam Elephant*», *Wikipedia*. 17 de marzo de 2023. Accedido: 17 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Steam_Elephant&oldid=1145153239
- [14] «DB Museum (en)». Accedido: 17 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dbmuseum.de/en/nuremberg/vehicles/the-adler>
- [15] «El ferrocarril», Portal Académico del CCH. Accedido: 23 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/historiauniversal1/unidad4/liberalismoeconomico/ferrocarril>
- [16] «The Stourbridge Lion :: Wayne County Historical Society». Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.waynehistorypa.com/exhibitions/permanent/stourbridge>
- [17] «John Bull (locomotive) - Wikipedia». Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en:

[https://en.wikipedia.org/wiki/John_Bull_\(locomotive\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Bull_(locomotive))

- [18] «Tom Thumb | B&O Railroad Museum». Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.borail.org/collection/tom-thumb/>
- [19] «Locomotora compuesta», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 15 de noviembre de 2023. Accedido: 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Locomotora_compuesta&oldid=155381957
- [20] «4-6-0 - Wikipedia». Accedido: 7 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/4-6-0>
- [21] «Union Pacific Railroad», *Wikipedia*. 1 de septiembre de 2024. Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Union_Pacific_Railroad&oldid=1243412917
- [22] «Union Pacific Big Boy», *Wikipedia*. 30 de octubre de 2024. Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Union_Pacific_Big_Boy&oldid=1254408141
- [23] «Locomotora del LNER Clase A4 n.º 4468 “Mallard”», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 22 de enero de 2024. Accedido: 9 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Locomotora_del_LNER_Clase_A4_n.º_4468_“Mallard”&oldid=157541904
- [24] «Locomotora de vapor», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 20 de agosto de 2024. Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Locomotora_de_vapor&oldid=161976530
- [25] «Motor De Locomotora Diesel: Potencia Y Funcionamiento - MOTORBA». Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://motorba.com.ar/motor-de-locomotora-diesel/>
- [26] F. B. Tapia, «Ferrocarril y crecimiento económico: una mirada al pasado», Nada es Gratis. Accedido: 19 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nadaesgratis.es/fran-beltran/ferrocarril-y-crecimiento-economico-una-mirada-al-pasado>
- [27] «El Camino de los Inmigrantes», Argentina.gob.ar. Accedido: 20 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/interior/migraciones/museo/el-camino-de-los-inmigrantes>
- [28] «NS 3600», *Wikipedia*. 22 de julio de 2024. Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=NS_3600&oldid=1236000531
- [29] «Componentes de una locomotora de vapor», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 2 de abril de 2024. Accedido: 11 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Componentes_de_una_locomotora_de_vapor&oldid=159180690
- [30] M. Bustos, «¿Cómo se mueve una locomotora de vapor? - Trenvista». Accedido: 11 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.trenvista.net/a-fondo/como-se-mueve-una-locomotora-de-vapor/>
- [31] P. por Y. L. Carvajal, «¿Cómo funciona una locomotora de vapor?» Accedido: 11 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://blog.comofuncionanlostrenes.es/2013/01/como-funciona-una-locomotora-de-vapor.html>
- [32] A. Limited, «Schnittdarstellung des dampfloks -Fotos und -Bildmaterial in hoher Auflösung», Alamy. Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alamy.de/fotos-bilder/schnittdarstellung-des-dampfloks.html>
- [33] «Cúpula de vapor». Accedido: 17 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikibrief.org/wiki/Steam_dome
- [34] «Dampflokomotive Sauerländer Kleinbahn Plettenberg Schornstein Lok Schmalspurbahn Qualm Museumszug Deutschland Nostalgie Nahaufnahme CO2 Feinstaub Ruß Lampe Glocke Vintage Kessel Feuer Stock-Foto», Adobe Stock. Accedido: 17 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://stock.adobe.com/de/images/dampflokomotive-sauerlander-kleinbahn-plettenberg-schornstein-lok-schmalspurbahn-qualm-museumszug-deutschland-nostalgie-nahaufnahme-co2-feinstaub-russ-lampe-glocke-vintage-kessel-feuer-stock-foto>

glocke-vintage-kessel-feuer/294394812

- [35] «Railway Technology | Train brake technology», Ogab. Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ogab.co.uk/sustainable-braking-for-rail/>
- [36] «Valve and piston layout and movement». Accedido: 1 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.kiwionrails.net/Trains/Valve_and_piston_layout_and_movement.html
- [37] RAVINDRA MOHAN MECHANICAL, *Classification of Boilers and working in hindi*, (24 de abril de 2020). Accedido: 11 de octubre de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=AYzqz4GH1rU>
- [38] «CATIA», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 18 de junio de 2024. Accedido: 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=CATIA&oldid=160818556>
- [39] «CATIA: posibilidades del diseño industrial en 3D», ALTERTECNIA. [En línea]. Disponible en: <https://altertecnia.com/catia-posibilidades-del-diseno-en-3d/>
- [40] «CATIA», Dassault Systèmes. Accedido: 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.3ds.com/es/products/catia>
- [41] «MANUAL CATIA V5». ABGAM Grupo Segula Technologies.
- [42] Engineering Educator Academy, *CATIA DMU Kinematics Workbench*, (11 de junio de 2021). Accedido: 8 de octubre de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ufWvqtZVW98>