

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DISEÑO DE CARRO DE TRANSPORTE AUTOMATIZADO PARA  
PIEZAS DE ALTO TONELAJE Y REDISEÑO DE LA LÍNEA DE  
FABRICACIÓN DE BARRAS FORJADAS**

**Julio 2021**

**Alumno: Sergio Martínez García**

**Tutor: Alberto García Martínez**



## **AGRADECIMIENTOS**

A todas aquellas personas que directa o indirectamente han colaborado en este proyecto:

Al equipo de Reinos F&C, por su buen trato, por acogerme y formarme tanto en lo profesional como en lo humano, mención especial a mi tutor de empresa Javier; A mi tutor académico, Alberto, por dedicarme siempre tiempo y ayudarme; A mis amigos, por las risas, los ánimos y su comprensión cuando faltaba en la mesa de nuestro bar (especialmente a Mery, que siempre me da alas); A mi familia, porque sin ellos esto no habría sido posible.

Dedicado a mi abuela, porque como siempre le digo: Eres la mejor.



## **RESUMEN**

Este proyecto se cimienta sobre la línea de forjado comercial (línea de fabricación de barras forjadas) que oferta la empresa siderúrgica Reinoso Forgings & Castings (anteriormente conocida como Sidenor). La creciente demanda en redondos y llantas forjadas, dentro de todas sus gamas, ha instado a la empresa a destinar mayores recursos en su producción, desembocando en la necesidad de optimizar al máximo el proceso. Dentro de esta base, se debe realizar una ingeniería de producción y organización donde se definirán todos los procesos, tiempos, flujo de material, etc. a fin de reducir el flujo de material en el proceso y por ende reducir costes. El proyecto no solo se centra en el rediseño de la línea, ya que se desarrollarán pequeños subproyectos en varios puntos a fin de optimizar el proceso, realizando en conjunto un proyecto que aboga por la reducción del tiempo de proceso y el incremento de las ganancias de la empresa.

Dentro de dichos subproyectos, dos de ellos requieren de ingeniería mecatrónica:

El primero, que da nombre a este proyecto, es el de diseñar un carro de transporte automatizado para piezas de alto tonelaje que tenga una capacidad de carga aproximada de 100 toneladas y permita mover material desde la nave de tratamientos térmicos hasta la de talleres mecánicos, en un recorrido aproximado de 400 metros. Este sistema debe emplear elementos comerciales y realizar los cálculos estimados pertinentes de consumo y potencia, adaptaciones al medio (desplazamiento en un entorno muy cambiante, enfrentado a las inclemencias del tiempo) y elementos de seguridad. Por último, en caso de acoplamientos o piezas ajenas, se incluirán los estudios pertinentes que abalen la resistencia del modelo.

También se propone el diseño de un sistema láser automático destinado a estudiar la rectitud de barras forjadas, cuyo cometido es reducir tiempos y recursos (actualmente se realizan centros, se monta en el torno, se verifica y posteriormente se corrige el centro mandrinado) en el método de estudio actual, que genera pérdidas temporales y económicas. Del mismo modo, permitirá asegurar una correcta rectitud en barras no torneadas (barras en bruto de forja).

Culminando este resumen, en otros subproyectos que completan la optimización de la línea de fabricación, se destacan:

- Estudio de método de obtención de barretas (futuras muestras para estudio en laboratorio) frente al empleo de trepanado.
- Estudio de renovación de la maquinaria del laboratorio.

## **PALABRAS CLAVE**

Alto tonelaje – 30kW - Láser - Automatización - Carro - Optimización



## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. REINOSA FORGINGS & CASTINGS .....	1
1.1.1. <i>Planta de reinosa</i> .....	1
1.1.2. <i>Área de trabajo personal</i> .....	2
<b>2. REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE BARRAS FORJADAS .....</b>	<b>3</b>
2.1. FLUJOGRAMAS Y CURSOGRAMAS.....	3
<b>3. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MEDIR LA RECTITUD DE LAS BARRAS FORJADAS MEDIANTE UN SOPORTE LÁSER AUTOMATIZADO.....</b>	<b>11</b>
3.1. INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA .....	11
3.2. MÉTODO ACTUAL PARA EL TRAZADO DE CENTROS, ESTUDIO DE LIMPIEZA Y CORRECCIÓN DE ESTOS. ....	13
3.2.1. <i>Trazado de centros</i> .....	13
3.2.2. <i>Estudio de limpieza</i> .....	13
3.2.3. <i>Corrección de la barra</i> .....	14
3.3. RECURSOS DISPONIBLES .....	15
3.3.1. <i>Láser leica lino l2</i> .....	15
3.3.2. <i>Bancada</i> .....	15
3.4. PROPUESTA DE MÉTODO .....	16
3.5. DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA .....	18
3.5.1. <i>Viradores</i> .....	18
3.5.2. <i>Bancada, adaptación y empleo</i> .....	19
3.5.3. <i>Sistema de guiado</i> .....	20
3.5.4. <i>Guiado electrónico</i> .....	27
3.5.5. <i>Soporte láser</i> .....	33
3.5.6. <i>Diseño puramente mecánico</i> .....	40
3.5.7. <i>Ensamblaje final</i> .....	43
3.6. ELECTRÓNICA Y CONTROL DEL SISTEMA.....	45
3.6.1. <i>Electrónica y control del husillo</i> .....	45
3.6.2. <i>Electrónica y control del sistema de balanceo</i> .....	48
3.6.3. <i>Electrónica y control de movimiento de viradores</i> .....	49
3.7. PROTOTIPO .....	52
<b>4. DISEÑO DE CARRO DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO PARA PIEZAS DE ALTO TONELAJE .55</b>	
4.1. INTRODUCCIÓN .....	55
4.2. ANÁLISIS DEL ENTORNO Y ESTIMACIONES BÁSICAS DE ADAPTACIÓN.....	56
4.3. MECÁNICA DEL SISTEMA .....	57
4.3.1. <i>Bogie</i> .....	57
4.3.2. <i>Base principal</i> .....	65
4.3.3. <i>Ensamblaje bogie-base</i> .....	73
4.3.4. <i>Cálculos de potencia</i> .....	76
4.3.5. <i>Soporte y acoplamiento moto-reductor</i> .....	81
4.3.6. <i>Diseño del sistema motriz</i> .....	85
4.3.7. <i>Elementos de seguridad mecánicos</i> .....	92
4.4. ELECTRÓNICA DEL SISTEMA .....	93
4.4.1. <i>Esquema eléctrico general</i> .....	93
4.4.2. <i>Armario electrónico</i> .....	95
4.4.3. <i>Banco de baterías</i> .....	103
4.4.4. <i>Cargador y monitorización de baterías</i> .....	106
4.4.5. <i>Conexionado correcto de baterías en paralelo</i> .....	108

4.4.6.	DC/DC converter (dcp version).....	109
4.4.7.	Unidad de control y motor module .....	112
4.4.8.	PLC S7-1200.....	116
4.4.9.	Elementos de seguridad electrónicos.....	118
4.4.10.	Sistema de alimentación de emergencia (UPS).....	122
4.5.	CONTROL DEL SISTEMA .....	125
4.5.1.	Rutina de control .....	125
4.5.2.	Simulación en cadesimu (versión circuito eléctrico).....	127
4.5.3.	Simulación en cadesimu (versión PLC).....	134
4.5.4.	Configuración PLC-HMI, alarmas y monitorización en TIA PORTAL.....	139
4.5.5.	Configuración PLC-UPS en TIA PORTAL.....	155
4.5.6.	Configuración PLC-control unit en TIA PORTAL.....	158
4.5.7.	Configuración DCP .....	165
4.5.8.	Conclusión respecto al control .....	167
4.6.	MODELO FINAL EN SOLIDWOKS.....	167
<b>5.</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>169</b>
<b>6.</b>	<b>PROPUESTAS DE MEJORA.....</b>	<b>171</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>173</b>

## ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Fábrica de Reinosa .....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. 1.</i>	<i>Tabla con ahorros frente a inversiones con balance final .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. 2.</i>	<i>Ahorros en transportes para cada tipo de barra forjada .....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. 3.</i>	<i>Disposición de la rampa con el horno y el tanque (izquierda) y rampa desde atrás en vista 3D .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. 4.</i>	<i>Estudio de impacto en Ansys.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. 1.</i>	<i>Torcedura más habitual en las barras.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3. 2.</i>	<i>Estimación de centros en barras forjadas .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. 3.</i>	<i>Ejemplo de centro corregido y mecanizado.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3. 4.</i>	<i>Modelo láser Leica .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3. 5.</i>	<i>Definir las interacciones en ambos extremos una vez estimado el centro .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. 6.</i>	<i>Posicionamiento del láser perpendicular al centro.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. 7.</i>	<i>Inclinación del láser para cuadrar perpendicular entre centros .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. 8.</i>	<i>Elevar el láser a la altura pertinente (radio post-mecanizado). Izquierda: caso correcto de limpieza; Derecha: caso donde no limpia al extremo. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. 9.</i>	<i>Virador loco y virador motorizado .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. 10.</i>	<i>Bancada desde diferentes puntos de vista 3D.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. 11.</i>	<i>Guía + patín de Hepcomotion .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. 12.</i>	<i>Bancada desde diferentes puntos de vista 3D con agujeros.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. 13.</i>	<i>Base virador loco, vista en 3D.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 14.</i>	<i>Vista en planta de la base del virador loco .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 15.</i>	<i>Vista en 3D de la base del virador loco desde abajo .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. 16.</i>	<i>Vista en 3D de la base del virador loco indicando soportes .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. 17.</i>	<i>Montaje del conjunto virador-base-bancada.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. 18.</i>	<i>Montaje del virador-base-bancada, vista en perfil.....</i>	<i>23</i>

Figura 3. 19. Deformación de la base.....	24
Figura 3. 20. Modelos anteriores fallidos por exceso de deformación .....	24
Figura 3. 21. Soporte virador motorizado, vista de planta.....	25
Figura 3. 22. Base para virador motorizado, vista de alzado .....	26
Figura 3. 23. Base virador motorizado, vista en 3D.....	26
Figura 3. 24. Montaje virador motorizado sobre base y bancada .....	26
Figura 3. 25. Dimensionado del servomotor para el movimiento del virador a través de la bancada .....	27
Figura 3. 26. Tabla de datos del servomotor seleccionado .....	28
Figura 3. 27. Vista en 3D de la cremallera seleccionada.....	28
Figura 3. 28. Servomotor + piñón helicoidal en su eje de salida.....	29
Figura 3. 29. Piñón cremallera helicoidales, dentado. ....	29
Figura 3. 30. Modificación a la base del virador loco para albergar el servomotor.....	30
Figura 3. 31. Montaje de sistema de guiado móvil.....	30
Figura 3. 32. Agujero de la cremallera para ser adherida a la bancada.....	31
Figura 3. 33. Sistema de lubricación (montaje).....	31
Figura 3. 34. Sistema de lubricación sobre el sistema láser planteado .....	32
Figura 3. 35. Soporte del sistema láser .....	33
Figura 3. 36. Soporte del sistema láser con husillo ensamblado (vista lateral en imagen superior y vista 3D inferior).....	34
Figura 3. 37. Sistema husillo Guía desde diferentes perspectivas 3D.....	35
Figura 3. 38. Sistema de elevación por husillo comercial.....	35
Figura 3. 39. Bisagra inferior en diferentes perspectivas 3D .....	36
Figura 3. 40. Bisagra inferior, vista en alzado .....	36
Figura 3. 41. Zona de regulación del ángulo mediante un tornillo pasaste y tuerca. A la izquierda se muestra un corte para ver la cavidad de la tuerca.....	37
Figura 3. 42. Bisagra superior en 3d y alzado .....	37
Figura 3. 43. Sistema de inclinación tipo bisagra (tornillo y tuercas en la imagen derecha) .....	38
Figura 3. 44. Medidas de inclinación .....	39
Figura 3. 45. Ensamblaje final con el sistema de elevación (husillo y guía) con motor de paso y sistema de inclinación tipo bisagra (no se incluye la tornillería en los agujeros a fin de no saturar la imagen).....	39
Figura 3. 46. Soporte mecánico en 3D (izquierda) y perfil y vista 3D trasera (Derecha).....	40
Figura 3. 47. Cálculo de inclinación para su diseño.....	41
Figura 3. 48. Análisis de resistencia al peso del láser (deformación).....	41
Figura 3. 49. Montaje final (incluye únicamente tornillería de fijación lateral) .....	42
Figura 3. 50. Vista en alzado y en perfil de la totalidad del sistema con una barra de ejemplo .	43
Figura 3. 51. Vistas en 3D de todo el sistema.....	44
Figura 3. 52. Propuesta de control del sistema de elevación .....	45
Figura 3. 53. Propuesta de control para la inclinación de la bisagra .....	48
Figura 3. 54. Propuesta de control para piñón cremallera.....	49
Figura 3. 55. Definición de finales de carrera software en 0 y 3 m .....	50
Figura 3. 56. Definición de punto de partida (0) y la dirección del nivel superior (de izquierda a derecha).....	50
Figura 3. 57. Control del servomotor mediante un ordenador en TIA PORTAL (puesta en marcha) .....	51
Figura 3. 58. Prueba láser en talleres mecánicos .....	52
Figura 3. 59. Escuadra con nivel de burbuja para estimar el error del método .....	53
Figura 3. 60. Prototipos desarrollados y testados.....	53
Figura 4. 1. Sistema de railes de Reinosa F&C.....	57
Figura 4. 2. Alzado, planta, perfil y 3D del bogie RTHZ15.....	58

<i>Figura 4. 3. Sucesión de vistas en 3D del modelo virtualizado en SolidWorks</i> .....	59
<i>Figura 4. 4. Bastidor principal destacado en rojo</i> .....	60
<i>Figura 4. 5. Sistema de frenos y suspensión destacados</i> .....	61
<i>Figura 4. 6. Palanca de frenos diseñada</i> .....	61
<i>Figura 4. 7. Esquemático de cadena y sistema de frenado manual</i> .....	62
<i>Figura 4. 8. Sistema de frenado manual en 3D</i> .....	62
<i>Figura 4. 9. Paso 1 para accionar el freno en reposo</i> .....	63
<i>Figura 4. 10. Bloqueadores de la palanca de freno</i> .....	63
<i>Figura 4. 11. Esquemático simulando donde debe quedar el mango secundario en los bloqueadores, frenando el sistema en reposo</i> .....	64
<i>Figura 4. 12. Bloqueador en el otro extremo que asegura que el sistema frene solidario al accionar la palanca</i> .....	64
<i>Figura 4. 13. Viga HEA-500 adaptada (diferentes vistas desde SolidWorks)</i> .....	65
<i>Figura 4. 14. Viga IPE-300</i> .....	66
<i>Figura 4. 15. Cuadradillo</i> .....	66
<i>Figura 4. 16. Punto de acoplamiento con el bogie desde diferentes vistas 3D)</i> .....	67
<i>Figura 4. 17. Base en 3D vista desde arriba</i> .....	67
<i>Figura 4. 18. Paso 1 para ensamblar la base</i> .....	68
<i>Figura 4. 19. Paso 2 del ensamblaje de la base</i> .....	68
<i>Figura 4. 20. Paso 3, ensamblaje de la base</i> .....	69
<i>Figura 4. 21. Paso 4, ensamblaje de la base</i> .....	69
<i>Figura 4. 22. Paso 5, ensamblaje de la base en dos perspectivas 3D</i> .....	70
<i>Figura 4. 23. Soportes fijos resaltados en azul</i> .....	70
<i>Figura 4. 24. Fuerza aplicada</i> .....	71
<i>Figura 4. 25. Resultado de la deformación (izquierda: vista desde arriba, derecha: vista desde abajo)</i> .....	71
<i>Figura 4. 26. Resultados: Stress (arriba) y Strain (abajo)</i> .....	71
<i>Figura 4. 27. Curva de recuperación del acero Stress-Strain</i> .....	72
<i>Figura 4. 28. Tren con dos bogies tomando curva</i> .....	73
<i>Figura 4. 29. Punto de unión central de la base con el bastidor del bogie</i> .....	73
<i>Figura 4. 30. Acople entre la base y el bastidor del bogie (Izquierda: vista lateral 3D, Derecha, vista desde arriba a través del agujero de la base)</i> .....	74
<i>Figura 4. 31. Tornillería entre la base y la viga HEA-500 modificada por su cara exterior</i> .....	74
<i>Figura 4. 32. Ensamblaje general bogie-base desde diferentes perspectivas</i> .....	75
<i>Figura 4. 33. Propuesta y cálculos del estudio Motor Sizer</i> .....	78
<i>Figura 4. 34. Reductora R167 AD6</i> .....	82
<i>Figura 4. 35. Acoplamiento elástico Flender</i> .....	82
<i>Figura 4. 36. Disposición del conjunto motorreductor en perfil</i> .....	83
<i>Figura 4. 37. Bandeja principal y elevación del motor para igualar altura de ejes</i> .....	83
<i>Figura 4. 38. Montaje final de la bandeja (izquierda) y ensamblaje final con el bogie (Derecha) en vistas 3D</i> .....	84
<i>Figura 4. 39. Simulación en Ansys (izquierda: aplicación de fuerzas y definición de soportes fijos) con resultados (derecha)</i> .....	84
<i>Figura 4. 40. Gráfica para selección de cadenas</i> .....	86
<i>Figura 4. 41. Distancia entre el eje de la reductora y el eje motriz</i> .....	87
<i>Figura 4. 42. Reección de la cadena</i> .....	87
<i>Figura 4. 43. Hoja de especificaciones de cadenas Renold justo a modelo de cadena en 2D (planta) y 3D</i> .....	89
<i>Figura 4. 44. Resultado del estudio de Renold</i> .....	90
<i>Figura 4. 45. Ensamblaje conjunto motriz en 3D</i> .....	91
<i>Figura 4. 46. Transmisión por cadena triple en 3D</i> .....	91
<i>Figura 4. 47. Final de vía comercial</i> .....	92

Figura 4. 48. Diferentes métodos de asegurar la carga sobre carros de transporte .....	92
Figura 4. 49. Esquema general electrónico .....	94
Figura 4. 50. Layout de componentes en el cuadro electrónico .....	95
Figura 4. 51. Layout de compontes con bandejas para baterías (vista en 3D) .....	96
Figura 4. 52. Tapa lateral 1 (con cargador de baterías).....	96
Figura 4. 53. Cuadro electrónico con tapa trasera y laterales visto desde atrás en 3D.....	97
Figura 4. 54. Cajera de mando .....	97
Figura 4. 55. Puntos de unión de una de las esquinas del cuadro electrónico .....	98
Figura 4. 56. Cuadro electrónico, tapa delantera destacada en azul .....	98
Figura 4. 57. Puerta (transparente) de la parte de los componentes .....	99
Figura 4. 58. Cuadro electrónico con puertas transparentes en 3D .....	99
Figura 4. 59. Cuadro electrónico, vista en 3D real.....	100
Figura 4. 60. Pletinas superiores para ensamblaje general.....	100
Figura 4. 61. Pletina para ensamblaje (izquierda superior); Pletinas soldadas al bastidor del bogie (derecha superior); pletinas soldadas, vista trasera 3D (inferior).....	101
Figura 4. 62. Ensamblaje general, perfil .....	101
Figura 4. 63. Sucesión de imágenes del ensamblaje general del cuadro a la base y el bogie ...	102
Figura 4. 64. Resultados de la simulación de cargas .....	102
Figura 4. 65. Esquema de conexionado en paralelo de baterías.....	103
Figura 4. 66. Batería BSLBATT seleccionada .....	104
Figura 4. 67. Cargador marca VICTRON .....	106
Figura 4. 68. Cargador marca IDOITWELL.....	106
Figura 4. 69. Esquemático de los posibles métodos de conexionado de baterías en paralelo de manera eficaz .....	108
Figura 4. 70. DCP 120 kW de Siemens .....	109
Figura 4. 71. Propuesta de Siemens para el control de dos motores de 25 kW en total .....	110
Figura 4. 72. Clavijas de alimentación destacas en rojo.....	110
Figura 4. 73. Esquema de puntos de conexión del DC/DC-converter (DCP) .....	111
Figura 4. 74. Conexionado del cable PROFINET .....	111
Figura 4. 75. Siemens S120.....	112
Figura 4. 76. Siemens S120 (motor module + control unit) ensamblaje .....	113
Figura 4. 77. Pines de la unidad de control (Destacado en amarillo puntos de alimentación y puntos de comunicación).....	114
Figura 4. 78. Pines de modulo motor (Destacado en amarillo las conexiones requeridas) .....	115
Figura 4. 79. PLC S7-1200 .....	116
Figura 4. 80. Diferentes puntos de conexión del PLC .....	116
Figura 4. 81. Conexionado de entradas al PLC .....	117
Figura 4. 82. Modelo del sensor (izquierda) y colocación en el carro (derecha) .....	118
Figura 4. 83. Rango de detección .....	119
Figura 4. 84. Obstáculo activando el final de carrera (izquierda) y finales de carrera bajo el cuadro electrónico (derecha) .....	120
Figura 4. 85. giro faro (izquierda) y colocación en el carro con esquema de por donde discurrir el cableado .....	120
Figura 4. 86. Esquemático de conexionado con los elementos del circuito de precarga y los fusibles de protección.....	121
Figura 4. 87. Componentes del sistema UPS.....	122
Figura 4. 88. Conexionado entre elementos del sistema UPS (esquema) .....	123
Figura 4. 89. Pines de los componentes del sistema UPS .....	124
Figura 4. 90. Conexionado del sistema UPS .....	124
Figura 4. 91. CadeSimu: esquema de control con componentes (simulación).....	127
Figura 4. 92. Parte del motor con protecciones para una red trifásica .....	128
Figura 4. 93. Parte de control de la simulación .....	129

Figura 4. 94. Parte del circuito de seguridad (Sensores).....	130
Figura 4. 95. Sucesión de acciones que ocurren al activarse un sensor.....	131
Figura 4. 96. Simulación (1).....	131
Figura 4. 97. Simulación (2).....	132
Figura 4. 98. Simulación (3).....	132
Figura 4. 99. Simulación (4).....	133
Figura 4. 100. Simulación (4).....	133
Figura 4. 101. Simulación en CadeSimu (PLC).....	134
Figura 4. 102. Vista en detalle de las entradas (simulación PLC).....	135
Figura 4. 103. Vista en detalle de las salidas (simulación PLC).....	136
Figura 4. 104 Programación interna del PLC.....	136
Figura 4. 105. Simulación PLC (1).....	137
Figura 4. 106. Simulación PLC (2).....	138
Figura 4. 107. Simulación PLC (3).....	138
Figura 4. 108. Nuevo proyecto: incluir PLC S7-1200.....	139
Figura 4. 109. Características.....	140
Figura 4. 110. Definición de todas las variables de entrada y salida en TIA PORTAL.....	140
Figura 4. 111. Segmento de programación 1 y 2 en TIA PORTAL.....	142
Figura 4. 112. Segmentos auxiliares de la programación (3-4-5-6).....	143
Figura 4. 113. Inclusión de pantalla HMI al proyecto en TIA PORTAL.....	144
Figura 4. 114. Configuración de pantalla HMI con PLC.....	144
Figura 4. 115. Configuración básica del fondo de pantalla.....	145
Figura 4. 116. Configuración para la inclusión de avisos.....	145
Figura 4. 117. Plantilla generada y editable de la pantalla HMI.....	145
Figura 4. 118. Inclusión de botones, luces e información dentro de la pantalla.....	146
Figura 4. 119. Configuración de luces en la pantalla.....	147
Figura 4. 120. Configuración de botones en la pantalla.....	147
Figura 4. 121. Configuración botón de STOP en la pantalla.....	148
Figura 4. 122. Ventana secundaria de alarmas.....	148
Figura 4. 123. Conexión ordenador-PLC para simulación a tiempo real en TIA PORTAL.....	149
Figura 4. 124. Compilación.....	149
Figura 4. 125. PLC virtual en funcionamiento.....	150
Figura 4. 126. Carga de variables para la simulación.....	150
Figura 4. 127. Simulación en TIA PORTAL, test 1.....	151
Figura 4. 128. Simulación en TIA PORTAL, test 2.....	151
Figura 4. 129. Simulación en TIA PORTAL, test 3.....	152
Figura 4. 130. Simulación en TIA PORTAL, test 4.....	152
Figura 4. 131. Simulación a talleres mecánicos 1 en TIA PORTAL.....	153
Figura 4. 132. Simulación a talleres mecánicos 2 en TIA PORTAL.....	153
Figura 4. 133. Simulación a talleres mecánicos 3 en TIA PORTAL.....	154
Figura 4. 134. Inclusión del sistema UPS en el sistema general.....	155
Figura 4. 135. Conexión PROFINET virtual entre elementos.....	155
Figura 4. 136. Selección del módulo dentro de la configuración del sistema UPS en TIA PORTAL.....	156
Figura 4. 137. Configuración avanzada del sistema UPS.....	157
Figura 4. 138. Configuración de PROFINET en el sistema UPS.....	157
Figura 4. 139. Inclusión de la unidad de control en el sistema mediante TIA PORTAL.....	158
Figura 4. 140. Inclusión del módulo motor.....	158
Figura 4. 141. Selección del motor module dentro de la configuración del sistema.....	159
Figura 4. 142. Selección del motor con características similares.....	159
Figura 4. 143. Características del motor seleccionado.....	160
Figura 4. 144. La regulación se realiza por la velocidad de giro, sin encoder.....	161

<i>Figura 4. 145. Limitaciones de tiempos y velocidad en base a los estudios realizados</i> .....	161
<i>Figura 4. 146. Posibilidad de incluir cambios en la velocidad</i> .....	161
<i>Figura 4. 147. Limitaciones de velocidad máximas en ambos sentidos de giro</i> .....	162
<i>Figura 4. 148. Filtro para la consigna de velocidad</i> .....	163
<i>Figura 4. 149. Control PI del sistema (inferior) y regulación PID (superior)</i> .....	164
<i>Figura 4. 150. Rampa del sistema</i> .....	164
<i>Figura 4. 151. Configuración DCP 1</i> .....	165
<i>Figura 4. 152. Configuración DCP 2</i> .....	166
<i>Figura 4. 153. Configuración DCP 3</i> .....	166
<i>Figura 4. 154. Configuración DCP 4</i> .....	167
<i>Figura 4. 155. Sucesión de imágenes en 3D renderizadas del montaje final</i> .....	168

<i>Tabla 1. Pérdidas estimadas en el rectificado</i> .....	12
<i>Tabla 2. Características generales de los viradores</i> .....	18
<i>Tabla 3. Estructura del programa en ARDUINO IDE</i> .....	47
<i>Tabla 4. Tabla de características del Bogie</i> .....	58
<i>Tabla 5. Datos del motor seleccionado</i> .....	79
<i>Tabla 6. Datos de desplazamiento del sistema</i> .....	80
<i>Tabla 7. Perfiles de movimiento a través de varias secciones individuales</i> .....	80
<i>Tabla 8. Componentes electrónicos de Siemens para este proyecto</i> .....	94
<i>Tabla 9. Consumo estimado del sistema</i> .....	103
<i>Tabla 10. Hoja de especificaciones de la batería</i> .....	105
<i>Tabla 11. Características del motor real</i> .....	160
<i>Tabla 12. Sistema láser (versión electrónica), tabla de precios</i> .....	169
<i>Tabla 13. Carro automático, tabla de precios</i> .....	170

<i>Flujograma 1. Línea anterior (arriba) y línea futura (actual) de forjado comercial, barras forjadas</i> .....	4
<i>Flujograma 2. Línea anterior de forjado comercial (barras), versión mapa</i> .....	5
<i>Flujograma 3. Línea desde Abril de barras forjadas, versión mapa</i> .....	5
<i>Flujograma 4. Control del sistema ascenso/descenso</i> .....	46
<i>Flujograma 5. Rutina de control del carro</i> .....	126



# 1. INTRODUCCIÓN

Durante este apartado se van a sentar las bases de este proyecto, indicando el entorno de trabajo donde ha sido desarrollado, así como información relevante sobre las áreas que han cobrado mayor importancia. Del mismo modo, se sentarán las bases de los diferentes puntos a tratar durante el presente documento.

## ***1.1. Reinosa Forgings & Castings***

Reinosa F&C (Conocida anteriormente como Sidenor F&C) es líder en la producción de aceros especiales. Además, es un importante proveedor de productos de calibrado en el mercado europeo.

La compañía dispone de instalaciones capaces de brindar soluciones idóneas para aquellos demandantes de acero dentro de la industria que requieran de altas exigencias en términos de servicio y calidad.

En Europa, su producción supera el millón de toneladas por año. Sus componentes son destinados principalmente al sector de la energía, ferrocarril, automoción, minería, bienes de equipo y petroquímico.

### ***1.1.1. PLANTA DE REINOSA***

La histórica planta de Reinosa, conocida popularmente como la Naval, es una fábrica dedicada a la siderurgia, destinada a la producción de aceros especiales. Inaugurada en 1918 es actualmente la principal fuente de empleo de la comarca de Campoo-Los Valles. En 2019, con un total de 680 empleados, el 75% de la planta fue adquirida por el grupo multinacional NFL, dividiendo la empresa en Sidenor Forging & Castings (y renombrada en junio de 2021 como Reinosa Forgings & Castings) y Sidenor Aceros Especiales, manteniéndose actualmente sendas empresas como socios temporales.

La fábrica es un claro ejemplo de resiliencia y adaptación a lo largo de una historia basada en más de cien años, habiendo pasado por una inauguración en 1918 que comenzó con una especialización en componentes militares, hasta el desarrollo de productos tecnológicos de última generación, desde la gestión pública hasta la privada.

La planta de Reinosa está preparada para afrontar con sus instalaciones productivas un proceso de fabricación totalmente integrado desde la chatarra de la que nacen su gama de productos hasta su entrega al cliente. Este proceso se sustenta en la herramienta know how, adquirida tras las grandes adaptaciones que ha sufrido esta fábrica en el campo de fabricación de piezas fundidas y forjados de aceros de alta calidad a lo largo de los años.

Reinosa hoy día es una fábrica multiproducto y multisector, versátil y dinámica, que apuesta por el futuro de nuevos materiales y sectores sin olvidar su legado y su tradición. Estos motivos la han convertido en una unidad de negocio de ámbito de actuación mundial en piezas forjadas (hasta 70 toneladas) y fundidas (hasta 140 toneladas) mecanizadas en terminación para todos los sectores industriales que demandan sus productos.

### 1.1.2. ÁREA DE TRABAJO PERSONAL

Este proyecto se desarrolla dentro de la empresa Reinoso Forging & Castings. Para su desarrollo, se decidió habilitar un despacho dentro del centro de Formación I+D con un ordenador de trabajo con las herramientas necesarias de Microsoft (Word, PowerPoint, Excel, etc.). Del mismo modo, se permitió el empleo de un ordenador portátil externo con programas software de diseño 3D y estudio y simulaciones fem que han permitido desarrollar este proyecto correctamente.

A pesar de trabajar desde el departamento de I+D, la amplitud de este proyecto obliga a trabajar en otras tres áreas de trabajo claramente diferenciadas:

Tratamientos térmicos (Abreviado en el documento como TT): Una vez el producto ha sido previamente forjado en la sección de forja, mediante las grandes forjas P1800 y P7000 que dispone la empresa, el producto pasa a la sección de tratamientos térmicos. Dentro de tratamientos térmicos, las barretas (muestras para estudio) son cortadas para que sean enviadas al laboratorio. En esta sección se disponen de hornos con la capacidad de realizar diferentes tratamientos, así como puntos de corte de sobrante y control e inspección de los productos (chispeo y pesaje).

Talleres mecánicos (Nave 2 y Nave 8, abreviado en el documento como TM, talleres mecánicos, o como su nombre amplio TMM, talleres mecánicos de mecanizado. Refiriéndose ambas abreviaciones a lo mismo): La nave 2 está equipada con tornos que permiten afrontar la producción de forjado comercial. En este punto del proceso se trazan los centros, se mandrinan y posteriormente la barra es mecanizada. Finalmente, hay sierras que permiten cortar los sobrantes. Dentro de la Nave 8, el objetivo del proyecto consiste en su acondicionamiento para realizar tareas de corte e inspección de las barras para finalmente expedirlas por una puerta trasera enfrentada a dicha nave.

Laboratorio: Dentro del laboratorio se estudia el proceso y la posible renovación de la maquinaria. Dentro del mismo se mecanizan muestras a partir de barretas a fin de pasar los estrictos estudios de inspección exigidos por los clientes y que avalan la calidad del producto solicitado.



Figura 1. Fábrica de Reinoso

## **2. REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE BARRAS FORJADAS**

Este proyecto se cimienta sobre el rediseño y la optimización del proceso de la línea de fabricación de barras forjadas (referida es este documento y en Reinos F&C como línea de forjado comercial), en todas sus vertientes. A pesar de carecer de interés mecatrónico, se considera interesante sentar brevemente, sin entrar demasiado en detalle, las bases de esta optimización y emplearla como punto de inicio para justificar el trabajo y recursos destinados a los dos subproyectos mecatrónicos que han sido desarrollados.

Forjado comercial se centra en la fabricación de barras forjadas, siendo el producto más demandado, y de llantas de diferentes tamaños (longitudes y diámetros). En base a sus pesos, las diferentes operaciones y puntos de almacenaje varían. Además, cabe añadir que su fabricación se centra en superficie brillante (torneado/fresado), aunque también muchos clientes lo requieren en bruto.

### **2.1. Flujogramas y cursogramas**

El objetivo de este apartado es establecer los puntos de actuación donde se puede llegar a optimizar el proceso y tener una visión general del proceso con el fin de rediseñar su línea. Para ello, se desarrollan flujogramas y cursogramas de todas las casuísticas de trabajo, indicando todas las variantes posibles del proceso y las operaciones que lo conforman, incluyendo sus zonas de ejecución. Posteriormente, se rediseña la línea apostando por una reducción del flujo de material entre naves, reduciendo las distancias y transportes entre operaciones.

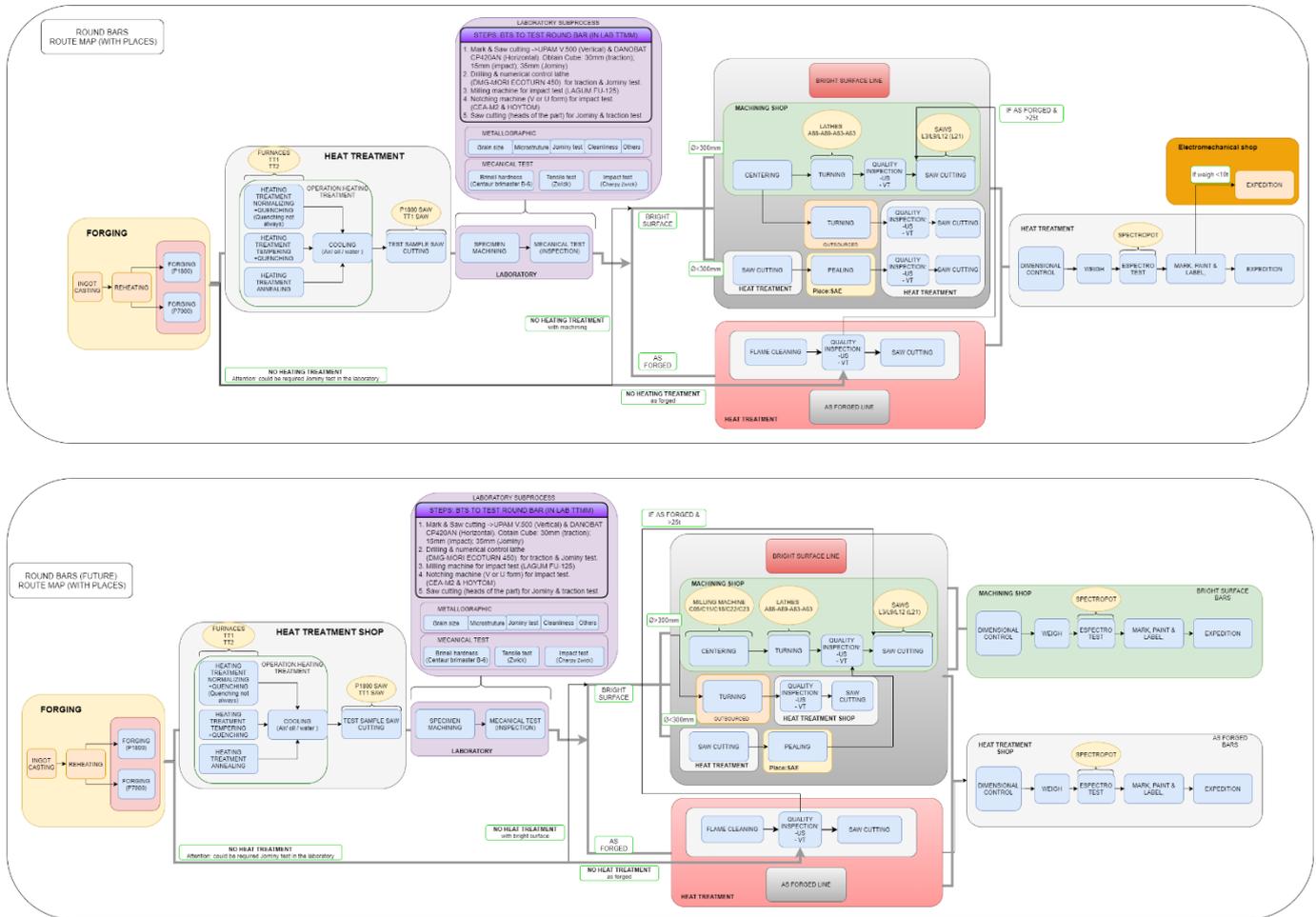
Se debe tener en cuenta que toda operación o transporte requiere cargar el producto mediante grúas, debido al alto tonelaje de las piezas. Aplicando un proceso más lineal y reduciendo el flujo de material, se logra una optimización del proceso en cuanto a tiempos y distancia aplicando tres metodologías de estudio:

- Flujogramas: Permiten establecer todas las operaciones y todas sus casuísticas. Se añaden los puntos donde se desarrolla cada actividad.
- Cursograma de recorrido: Sobre el plano de la fábrica, permite observar de una forma más visual el movimiento de material a lo largo del proceso.
- Cursograma analítico basado en material: Permite definir el proceso de manera escalonada, indicando tiempos de cada operación, su tipo (operación, transporte, material en espera, inspección o expedición), así como la distancia recorrida.

Una vez definidos todos los flujogramas y cursogramas, tanto para barras forjadas como para llanta, se rediseña la línea y se realiza el mismo proceso con el fin de comparar el ahorro en tiempo de proceso (tiempo real de proceso, sin tener en cuenta esperas al ser inestimables debido a la elevada variabilidad), distancias recorridas y ahorro económico.

Cabe destacar, que durante el rediseño de esta se tuvo en cuenta que la empresa, como iniciativa, toma la decisión de eliminar la nave de Electromecánicos como punto de almacenaje y expedición, habilitando y acondicionando la Nave 8 para la realización de operaciones de corte, inspección (pesaje, espectrotest), almacenaje y expedición.

El ejemplo que se muestra a continuación está diseñado para la línea de barras forjadas con todas sus casuísticas (diseño anterior arriba y rediseño abajo). (En el anexo VIII se amplían dichas imágenes):



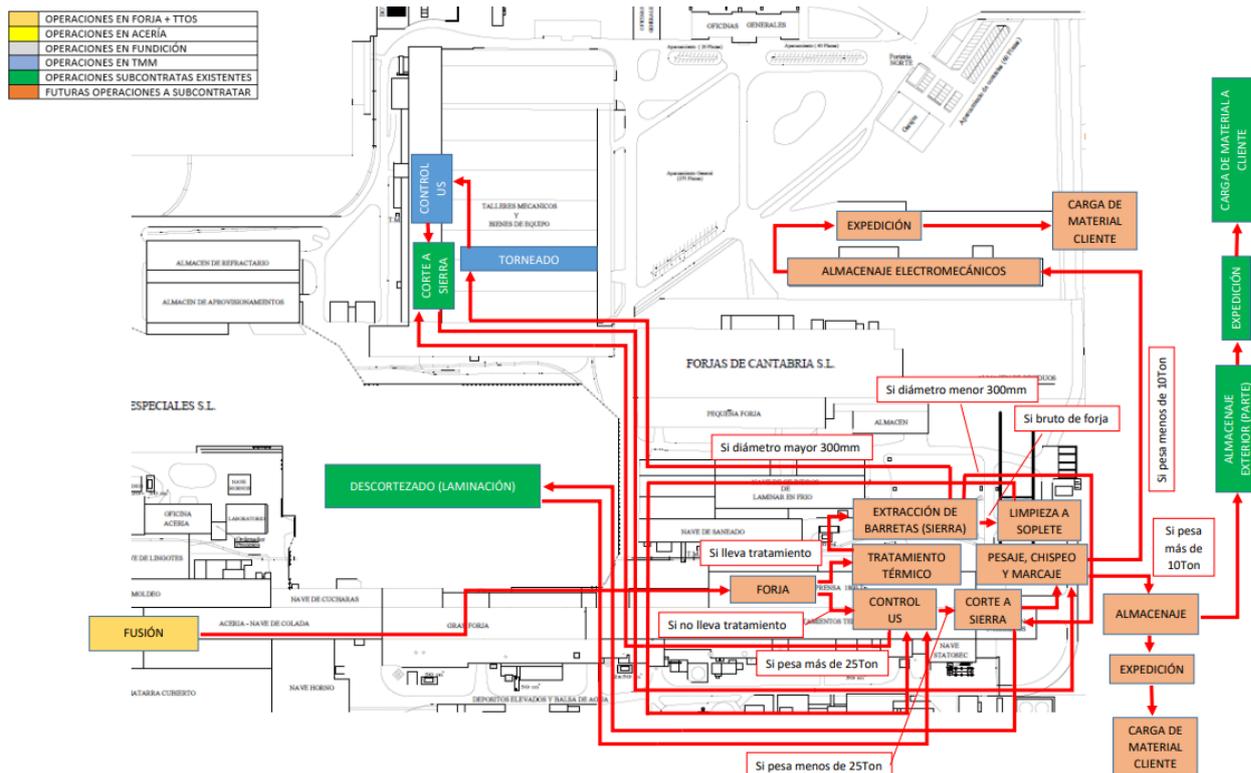
Flujograma 1. Línea anterior (arriba) y línea futura (actual) de forjado comercial, barras forjadas.

Se muestra un flujograma de la disposición anterior, frente al nuevo layout, comprobándose que la iteración más significativa es que todo aquel material que entra dentro de talleres mecánicos no debe retornar a tratamientos térmicos para ser sometido a las actividades de control dimensional, pesaje, test antimezcla (Espectrómetro) y marcaje y pintado. También se elimina la nave de electromecánicas como centro de expediciones y almacenaje.

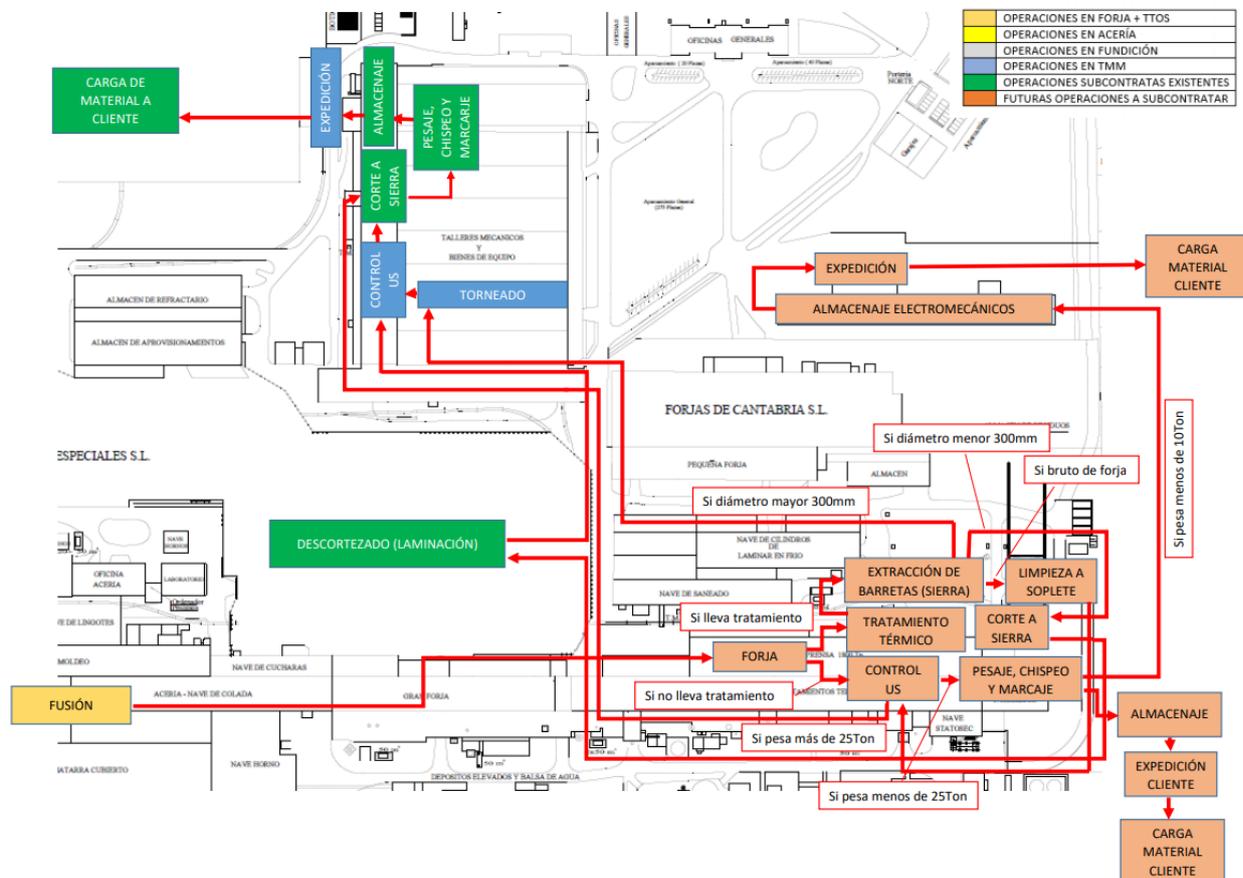
El ejemplo mostrado hace referencia a barras de forjado comercial, mientras que para llantas (forma cuadrangular) se realiza una reorganización similar.

Se incorpora en talleres mecánicos un nuevo centro de expedición y de operaciones (corte a sierra, inspección y APT) paralela a la misma que está presente en tratamientos térmicos. Esto ha permitido eliminar dos centros de expedición externos, ahorrándose los transportes hacia esos puntos de expedición eliminados, así como transportes intermedios entre talleres mecánicos y tratamientos térmicos.

Con el fin de que este flujo de material sea más visual, se muestra el mismo flujograma sobre un cursograma de recorrido (nuevamente se amplían en el anexo VII estos flujogramas).



Flujograma 2. Línea anterior de forjado comercial (barras), versión mapa.



Flujograma 3. Línea desde abril de barras forjadas, versión mapa.

Diseño de carro automatizado para piezas de alto tonelaje y rediseño de línea de barras forjadas

Finalmente, se realiza para cada casuística un cursograma analítico para una unidad de producto. Una vez desarrollados estos cursogramas, se puede estimar las ganancias que se obtienen de la misma disposición en dos puntos: distancia que recorre el material y tiempo de proceso (sin contar las inestimables esperas sujetas a mucha variabilidad):

CURSOGRAMA ANALÍTICO				Operario / Material / Equipo					
Diagrama no. 1		Hoja 1 de 5		Resumen					
Producto Forjado comercial (redondos)				Actividad	Actual	Propuesto	Economía		
Actividad: Redondo en bruto con TT menor de 25t				Operación	<input type="checkbox"/>				
Método: actual				Inspección	<input type="checkbox"/>				
Lugar: Reinos F&C				Espera	<input type="checkbox"/>				
Operario (s):				Transporte	<input type="checkbox"/>				
Ficha no.:				Almacenamiento	<input type="checkbox"/>				
Compuesto por: Sergio Martinez				Distancia (mts.)					
Fecha:				Tiempo (h"/'-hom.)					
Aprobado por:				Costo					
Fecha:				Mano de obra					
				Material					
				TOTAL					
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Distancia	Tiempo	Actividad					OBSERVACIONES
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Calentamiento	1		1d 9h						
Transporte de hornos a forja	1	20 - 40	6'-10' pieza						Por grúa
Forjado	1		1h						P1800 o P700
Tratamiento térmico (incluye transporte de forja a horno)	1		3h-1d						Normalizado, normalizado + revenido, temple + revenido o recocido (Lotes 6 a 16 barras)
Transporte de horno a zonas de enfriamiento	1	10	6'-10' pieza						Por grúa
Enfriamiento	1		-						Por agua, aceite o al aire
Transporte de hornos a zona de sierras (TT)	1	10	6'-10' pieza						Por grúa
Corte de sierra (barretas)	1		5h/barreta						Sierra p1800 TT (Tiempo con esperas estimadas de 10 a 1h) Tiempo con esperas estimadas de 10 a 1h)
Cursograma del laboratorio	1		1h 5'						Barras para Jominy, impacto o tracción
Material a espera de las pruebas del lab.	1		1d						En tratamientos térmicos
Limpieza de soplete	1								
Transporte hasta control de calidad	1	20	15'						Por grúa
Inspección de calidad (US y VT)	1		>500 mm 20' <500 mm 30'						El operador tiene libertad de realizarlo en el suelo, sobre apoyos, sobre tornos etc al ser portátil. Si resulta erróneo se realiza un informe.
Serrado	1		3h-9h/cabeza a+10' giro						Serrado de cabezas (cabeza 1 – giro con grúa – cabeza 2)
Control dimensional	1		15' (+10' a 1h de espera al gruista)						Proceso escalonado realizado sobre la báscula
Pesaje	1								Antimezcla con espectómetro
Test de antimezcla	1								
Marcaje, pintado y etiquetado	1								
Almacenaje <10t (En TT)	1								
Transporte a almacenaje			10'						Por grúa
Expedición			20'	X				X	
Carga de material								X	
<10t (subcontratado todo, exceso producción)	1								
Transporte a exterior				X				X	Por transporte externo
Expedición								X	
Carga material									

Como añadido, se acometen una serie de subproyectos con el objetivo de reducir el tiempo de proceso (optimización) y evitar pérdidas tanto en tiempo de proceso como económicas:

- Extracción de barretas: Acometer un estudio para amoldar la producción de barretas, de forma que se reduzcan tiempos de extracción y rentabilidad económica que incluya un estudio alternativo de extracción directa mediante trepanado y realizando una comparativa económica/temporal entre los métodos.
- Renovación de maquinaria laboratorio: Estudio para la mejora de un torno CNC con el fin de incluir un cabezal de fresado, permitiendo mecanizar barras para estudio de impactos dentro de este. Del mismo modo, estudiar la rentabilidad de adquirir una nueva fresadora CNC donde realizar las barras de impacto, incluyendo trata con comerciales y ofertas.
- Diseño de una rampa de protección de laboratorio: Rampa de protección para operarios con el fin de evitar accidentes o golpes durante el transporte de muestras del horno de temple-revenido a los pozos de enfriamiento.

Estos estudios realizados por el autor de este proyecto en una línea de investigación paralela se encuentran referenciados en las citas bibliográficas. Del mismo modo, el resto de cursogramas y flujogramas se pueden encontrar ampliados dentro de los anexos (Anexo VI, VII y VIII) por si fueran de interés para el lector. Sin embargo, no se va a hacer hincapié en estos, debido a su carencia de importancia mecatrónica. Como punto final para este apartado introductorio, se incluye un cuadro resumen con los resultados obtenidos y pequeños indicativos de cómo se han acometido dichos proyectos:

### Rediseño de la línea de forjado comercial para barras y llantas:

La nueva disposición incluye una serie de ahorros en transportes, operaciones y tiempo de proceso. Por otro lado, se observa que el hecho de incluir nuevas operaciones obliga a realizar una inversión mensual. En el siguiente cuadro resumen se muestra el balance económico final:

DATO	AHORRO (€/año)	INVERSIÓN (€/año)
Eliminar electromecánicos como centro de expedición	46.225	0
Otros	258.000	0
Reducción de transportes entre TT y TMM	2.000	0
Nuevo punto de expedición de talleres mecánicos	50.000,00	0
Nuevas operaciones subcontratadas en TMM	100.000,00	136.080
<b>TOTAL</b>	<b>456.225</b>	<b>136080</b>
BALANCE ANUAL € (POSITIVO)	320.145	
BALANCE MENSUAL € (POSITIVO)	26678,75	
GASTOS INVERSIÓN NAVE 8	422786,84	
PAYBACK (AÑOS)		1,3

Figura 2. 1. Tabla con ahorros frente a inversiones con balance final

A continuación, se muestra el ahorro en el número de transportes de material entre operaciones a lo largo del proceso, para diferentes tipos de barras:

FLOW MATERIAL REDUCTIONS IN ROUND BARS	Middle process (TTM-TT operations, new TTM operations)	Expedition (for storage in electromechanical shop/Parte/TT)
As forged <25t :	0	1
As forged >25t :	1	0
Bright surface with heat treatment, diameter <300	2	1
Bright surface with heat treatment, diameter >300 (machining outsourced)	1	1
Bright surface with heat treatment, diameter >300	1	1

Figura 2. 2. Ahorros en transportes para cada tipo de barra forjada

Cada transporte, implica un ahorro en tiempo de proceso estimado en 35 minutos.

### Estudio comparativo del método de extracción de barretas frente al trepanado:

- El estudio se realiza únicamente para la línea de forjado comercial y de piezas.
- Se tienen en cuenta que no se puede obtener Jominy (debido a que su diámetro es mayor al de la herramienta de trepanar), lo cual, basado en los históricos de producción obliga a mantener al menos un 25% de la producción con el método actual de barretas.
- Se tiene en cuenta los diferentes métodos de obtención y extracción de trepanado, donde pueden ser obtenidos longitudinal (60% de las veces) o transversalmente, dando las siguientes casuísticas a estudiar:

CASO A: HERRAMIENTA TREPANAR + CORTANUCLEO (longitudinal y transversal)

CASO B (PENDIENTE DE PROBAR):

- (B1) HERRAMIENTA TREPANAR + DISCO, para trépano longitudinal y transversal
- (B2) HERRAMIENTA TREPANAR + BROCA, para trépano longitudinal + CORTANUCLEOS transversal
- (B3) HERRAMIENTA TREPANAR + BROCA, para trépano longitudinal + CORTE A SIERRA transversal
- (B4) HERRAMIENTA TREPANAR + DISCO transversal + BROCA longitudinal

CASO C: HERRAMIENTA TREPANAR + CORTE DE SIERRA (longitudinal y transversal)

- Se realiza un estudio temporal (basado en pruebas reales para los diferentes métodos) por unidad y para una muestra de 10 barretas y su equivalente en trépano, proponiendo porcentajes de producción (100% barretas, 75% trépano 25% barretas, viceversa y por último 50% trépano y 50% barretas).
- Se realiza un estudio económico (referencias y estimaciones) con los porcentajes de producción propuestos teniendo en cuenta el coste de usar las máquinas/hora, el coste en consumibles, el coste de obtención de un trépano y maniobras (colocar por grúa la barra, mover apoyos, caballetes, cambiar de herramientas, etc.).
- **Conclusión:** El estudio indica que el método en términos temporales más positivo es aplicar una producción aproximada de 90% trépano (CASO B1).

**Estudio para la renovación de maquinaria para mecanizado en el taller del laboratorio:**

- El torno CNC (DMG MORI Ecoturn 450 V1) no puede incluir un cabezal de fresado en el eje Y para realizar mecanizado de Charpys (también conocidos como barras de impacto) según las indicaciones del proveedor de la marca.
- Se analiza el método actual de proceso por unidad (una tracción, un Jominy, que se mecanizan en un torno CNC y un Charpy que se puede mecanizar en una línea paralela al hacerse en una fresadora manual) en términos temporales. Del mismo modo, se acomoda este estudio a una producción diaria basada en los históricos (37 impactos, 24 tracciones, 4 durezas y 2 Jominy aproximadamente al día).
- Se realiza la comparativa (por unidad, y en producción diaria) de sustituir la fresadora manual por una de control CNC.
- Se realiza la comparativa (por unidad, y en producción diaria) de sustituir la fresadora manual por una de control CNC con capacidad de mecanizar entallas (con el fin de eliminar la entalladora de la producción).
- Se realiza la comparativa (por unidad, y en producción diaria) de sustituir la fresadora manual y el torno CNC por una máquina de control CNC torno+fresadora para que recaiga toda la producción en esta.
- **Conclusión:** En términos temporales, el método más rápido para alcanzar la producción diaria es adquirir un centro de mecanizado para que frese Charpys y también tenga capacidad de realizar entallas, manteniendo paralelamente la línea de producción de tracciones y Jominy en el torno actual CNC.
- A tales efectos, se comienza a tratar con comerciales de distintas marcas de centros de mecanizado y buscar ofertas que mejor se adapten a las necesidades de la fábrica.

### Diseño de una rampa de protección en el proceso de tratamiento térmico del laboratorio:

- Se logra una propuesta final, versión 4.1, que queda sujeto a un estudio de fabricabilidad por parte del Departamento de Mantenimiento, al que le sigue un estudio económico por parte del Departamento de Compras para presupuestar la rampa y comenzar con su fabricación.
- Para cada iteración se realizó una reunión con los operarios del taller con el fin de adaptar el sistema a sus necesidades y solicitudes.
- La rampa se adapta a la geometría del horno, permitiendo abrirlo y cerrarlo sin necesidad de retirar la rampa y presenta cuatro ruedas (con frenos) que permiten su desplazamiento entre hornos.
- Se ha optimizado material para que, en una construcción en acero, pese 70 kg, perfectamente manejables por un operario gracias a las cuatro ruedas.
- Se realiza un estudio de resistencia a golpes que resulta positivo.
- Presenta un cuadradillo de soporte, en la zona más afectada por los golpes.

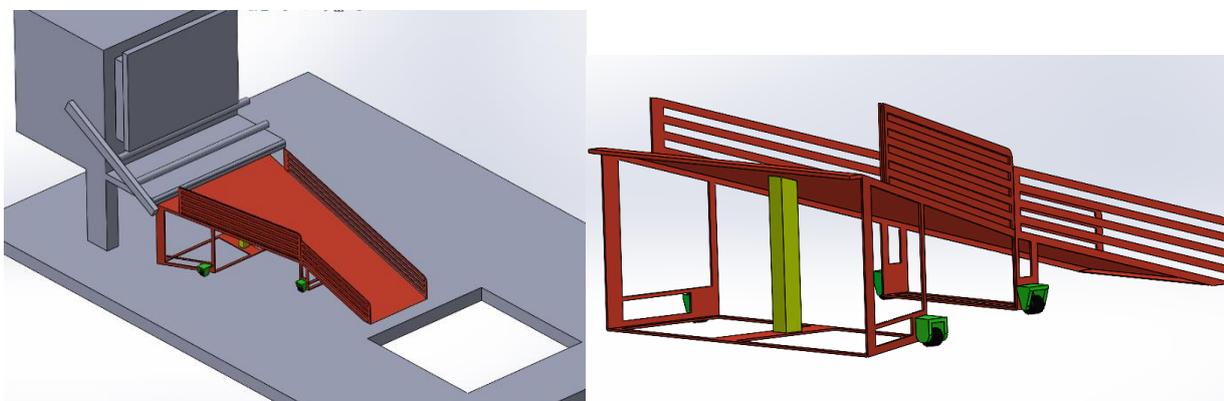


Figura 2. 3. Disposición de la rampa con el horno y el tanque (izquierda) y rampa desde atrás en vista 3D

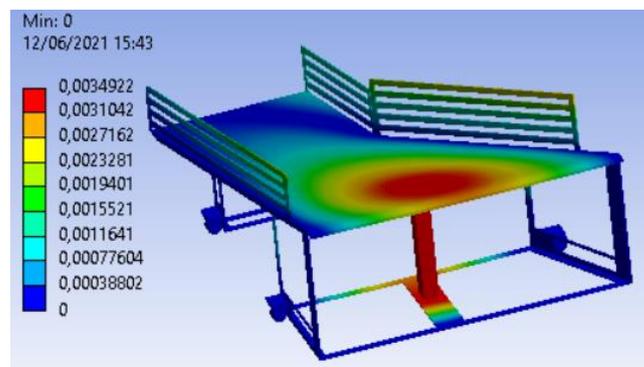


Figura 2. 4. Estudio de impacto en Ansys

A continuación, se tratarán los proyectos de mayor importancia de carácter mecatrónico:

- Diseño de un sistema para medir la rectitud de las barras forjadas mediante un soporte láser automatizado. (Actuación en talleres mecánicos, Nave 2).
- Diseño de un carro de transporte automatizado para piezas de alto tonelaje (Mejora del flujo de material entre talleres mecánicos (TMM) y tratamientos térmicos (TT)).

### **3. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MEDIR LA RECTITUD DE LAS BARRAS FORJADAS MEDIANTE UN SOPORTE LÁSER AUTOMATIZADO.**

El apartado 3 se va a encargar de explicar en su totalidad el diseño de un sistema (a nivel de prototipo) de medición de torcedura de barras mediante láser, desde la detección del problema, pasando por diferentes soluciones, hasta lograr el resultado final, proponiendo un diseño en versión Alpha y sometido a pruebas parciales mediante una construcción en impresión 3D.

#### **3.1. Introducción a la problemática**

Se realiza un seguimiento, para realizar un posterior análisis del proceso, en aquellas zonas que están sujetas a variaciones y optimización. Para entender esta frase hay que comprender que, en muchos casos, el tamaño de la maquinaria o la linealidad del proceso no permite márgenes de mejora en varias áreas de trabajo, como pueden ser las forjas o las operaciones realizadas en los hornos.

Dentro de talleres mecánicos se encuentra un cuello de botella que debe ser tratado y solventado. El incremento en la producción de forjado comercial obliga a los operarios a adaptarse a este ritmo, provocando que se obvien controles de rectitud de las barras. Cuando se trabaja rápido se encuentran más barras torcidas debido a golpes de la forja que no han sido bien calibrados. En otras ocasiones, estas se comban debido a los tratamientos térmicos que reciben y no son corregidas en la forja. Todo ello se traduce en barras que son enviadas desde tratamientos térmicos a talleres mecánicos sin garantías de que estas sean mecanizadas correctamente en los tornos, obligando a su rectificación. En el siguiente informe se recogen las pérdidas de tiempo de proceso estimadas:

#### **Problemas derivados de la forja: CORRECCIONES DURANTE EL TORNEADO:**

El proceso que siguen las barras forjadas una vez que llegan a talleres mecánicos es:

1. La barra debe ser cargada por la grúa y colocada en el torno (se deben hacer los centros con anterioridad), abarcado un tiempo aproximado de una hora.
2. Comprobar su rectitud (tiempo aproximado de media hora), lo que incluye amarrar la pieza al torno.
3. Torneado (a una velocidad media, ya que depende de las características y diámetro de cada barra, de 1h/metro). El torneado se divide en desbaste y acabado.
4. Transporte fuera del torno a la siguiente fase del proceso (45').

El problema nace del punto 2, donde se percibe un problema en la rectitud de la barra, evitando que esta sea desbastada uniformemente y dejando zonas sin pelar durante el mecanizado en torno. Estas barras llegan así desde tratamientos térmicos, por lo tanto, se debe comenzar a inspeccionar el problema desde esa área en busca de soluciones.

Se han llegado a observar desviaciones de hasta 39 mm que provocan que la cuchilla no llegue a mecanizar dicha zona. Esto se prevé mediante la comprobación de la limpieza, donde se sitúa un metro que se deberá mantener estable en toda la longitud de la barra. En la siguiente imagen (Figura 3.1.) se observan las torceduras más comunes (forma de banana o torcedura al final de la barra). En naranja, mediante un lineado discontinuo, se observa la barra que debería salir del torno. Estas barras requieren retornar a forja para su enderezamiento, puesto que el operario no tiene capacidad para rectificar los centros, desplazando estos y logrando que limpie.

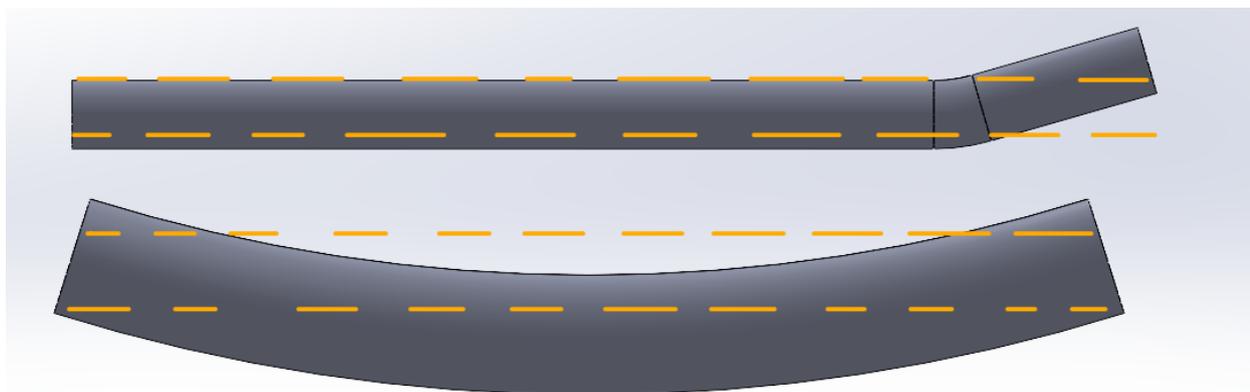


Figura 3. 1. Torcedura más habitual en las barras

Encontrar desviaciones implica tener que desmontar la barra y acometer un rectificado de la rectitud, compensado material y actuando sobre el centro o agujero que engarza con el torno para que gire solidaria a este. Sin embargo, cuando no es posible llevar a cabo dicho rectificado o compensación por falta de material, la barra debe retornar a la prensa.

Esta problemática se observa en la gran mayoría de barras que llegan de tratamientos térmicos. Se estima a continuación las pérdidas temporales a las que se expone el proceso:

Tabla 1. Pérdidas estimadas en el rectificado

Meter/sacar barra del torno con la grúa	30 min - 1h máximo (si hay colas)
Rectificar/enderezar centros (mandrinadora)	Aproximadamente 1h
Transportar barra a TT en caso de no poder compensarse por falta de material en uno de los lados. Se debe enderezar la prensa.	Tiempo no inestimable, aunque el proceso incluye transporte, y se presupone que la barra forjada deba ponerse a la cola de la prensa etc.
	Tiempo en enderezar 3,2h aproximadamente.

Si se llega a repetir este proceso de rectificado de rectitud dos veces por barra (rara vez), en el caso de que talleres mecánicos pueda compensar y finalmente mecanizar, se estiman pérdidas de entre 5 a 10h por barra.

### **3.2. Método actual para el trazado de centros, estudio de limpieza y corrección de estos.**

Una vez estimadas las pérdidas, se recoge un documento gráfico más amplio con el proceso de trazado de centros, estudio de limpieza (si la barra pudiera ser mecanizada o no) y su método de corrección (en caso de que pueda ser corregido por el propio operario dentro de talleres mecánicos, sin retornar a la forja para ser enderezada).

#### **3.2.1. TRAZADO DE CENTROS**

El método de trazado de centros es un método un tanto rudimentario pero funcional. El operario sitúa la barra forjada sobre unos viradores con la ayuda de un operario de grúa que permitirán realizar giros de 90°. Una vez situada, se untan los extremos de la barra con yeso sobre el que poder marcar con un gramil el centro.

A una altura estimada por el operario, más baja que el centro siempre, se traza una línea recta gracias al gramil. Con esa misma altura de gramil se realiza el mismo trazo en el otro extremo. Posteriormente la barra se gira 90° grados y se traza por debajo del centro una perpendicular al anterior trazo en sendos extremos, manteniendo la altura del gramil. El proceso se repite dos veces más hasta obtener un cuadrado. Finalmente se unen las esquinas, marcando el centro de la barra.

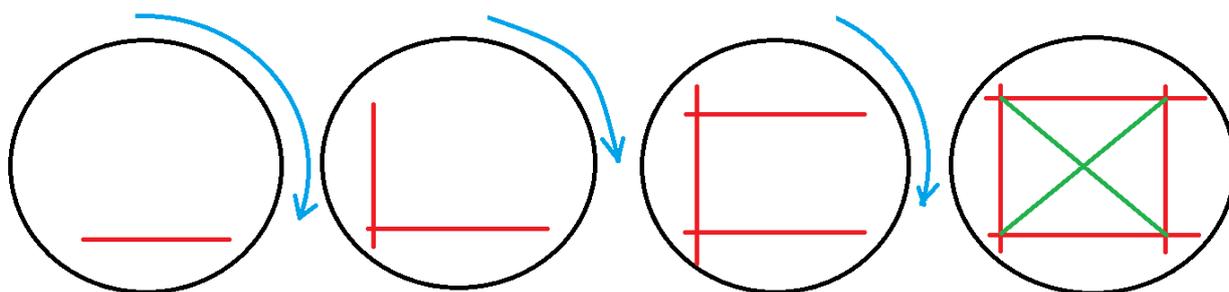


Figura 3. 2. Estimación de centros en barras forjadas

Una vez establecido el centro, este es mandrinado, lo que incluye cargar la barra de los viradores a los caballetes de la mandrinadora. El taladro de la mandrinadora es centrado y calibrado para que se realice en el punto exacto. Una vez mandrinado, la pieza es cargada y colocada en el torno. El centro se encarza en el eje, mientras que en el otro extremo se amoradaza con tres aprietes.

#### **3.2.2. ESTUDIO DE LIMPIEZA**

Cuando la barra es montada en el torno, se realiza el estudio de limpieza. Es importante destacar que este método es realmente eficaz, puesto que el eje, encajado en el centro, obliga a la barra a girar sobre el centro real de inercia que tendrá esta, eliminando excentricidades que puedan dar lugar a errores.

El torno comienza a girar, y el operario sitúa un metro (flexómetro) a una distancia establecida por él sobre la barra. Imagine que la barra presenta un diámetro teórico de 400 mm y que tras el mecanizado esta debe presentar un diámetro de 390mm. El operario se sitúa sobre la bancada, que se desplaza longitudinalmente a medida que la barra gira sobre su eje a una distancia de esta de 50 mm (por ejemplo). Por lo tanto, la distancia que tiene que marcar el metro es de + 10 mm

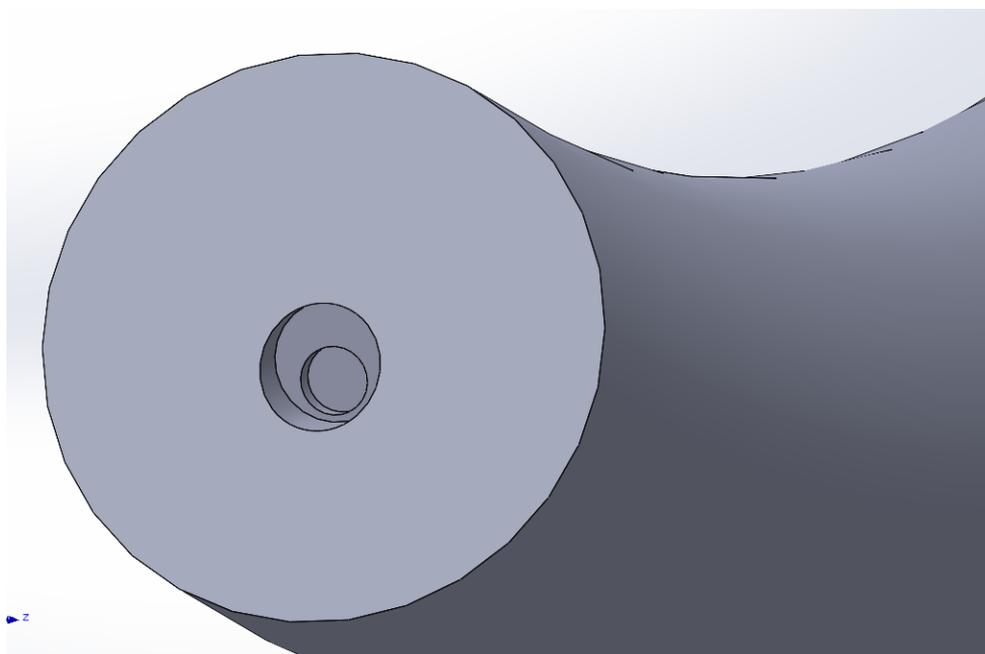
(diferencia de diámetro teórico pre-tornado y el post-torneado). Como el flexómetro tiene capacidad para flexionarse, el operario lo apoya sobre la barra con esa distancia a medida que gira y se desplaza longitudinalmente estando todo el rato tocando a esta en el punto más cercano al operario. Si en algún punto el flexómetro deja de estar en contacto con la superficie de la barra, quiere decir que esa zona excede las creces y no limpiaría (no sería mecanizada). En ese punto, se debe detener el torno y apuntar por cuantos mm no limpia esa zona, (-8 mm equivale indicar que no limpiaría por 8 mm). Cuando se encuentra uno de estos puntos, se debe mirar el contrapunto de esa zona, en el otro extremo y comprobar por cuanto limpia. Por ejemplo, si el otro punto tuviera unas creces superiores a 8 mm (+10 mm, por ejemplo) limpiaría en un futuro, tras desplazar el centro 2 mm hacia ese contrapunto ( $-8+10=2$  mm). Por el contrario, si tuviera unas creces de +7 mm, aunque se desplazara el centro el máximo permitido, esa cara no limpiaría por un milímetro ( $-8+7=-1$  mm).

Con este método se encuentra la flecha máxima y se comprueba si puede ser corregido o no. Si la barra no presentara zonas negativas esta puede ser torneada directamente.

### **3.2.3. CORRECCIÓN DE LA BARRA**

El centro es desplazado siguiendo la lógica explicada. Una vez determinado el desplazamiento al que debe ser sometido, esta es desmontada del torno y analizada para comprobar la viabilidad de este desplazamiento. Si no es posible, debe retornar a forja para su enderezamiento. Por el contrario, si es posible la corrección del centro, esta se monta de nuevo en la mandrinadora, se calibra en la nueva posición el centro y se taladra. Inicialmente se hace un taladrado de mayor diámetro para eliminar el anterior centro y finalmente se realiza el nuevo.

En la figura 3.3. se muestra un caso magnificado y visual de esta corrección.



*Figura 3. 3. Ejemplo de centro corregido y mecanizado*

### **3.3. Recursos disponibles**

Para desarrollar este subproyecto, la empresa dispone previamente de dos elementos adquiridos que no desempeñan ninguna función dentro de la producción. Por este motivo, se recomienda su empleo para llevar este subproyecto a cabo.

#### **3.3.1. LÁSER LEICA LINO L2**

El láser Leica lino L2, valorado en 239 euros, es un láser con una óptica de alta precisión.

Una de las principales características de este modelo, es que su construcción permite proyectar una línea del láser en posición vertical u horizontal a más de 180° y hasta una distancia de 25 metros.

Tiene dos modos de funcionamiento:

- Modo péndulo: en un ángulo de  $\pm 4^\circ$  el láser se autonivela vertical y horizontalmente. En caso de superar ese angular, el láser avisa mediante una alerta visual.
- Modo fijo: El láser solo funciona en un trazado horizontal o vertical, sin emitir un haz vertical y horizontal al mismo tiempo, adaptando su torcedura a la del suelo o superficie de apoyo.

Por último, el láser presenta un soporte imantado que se tuvo en cuenta a la hora de diseñar su soporte dentro del sistema.



*Figura 3. 4. Modelo láser Leica*

#### **3.3.2. BANCADA**

Se dispone de una antigua bancada, que tras un proceso de reacondicionamiento (limpieza a chorro para pulir su superficie), sirve como base-bastidor principal dentro del ensamblaje final para los elementos y soportes que conforman el sistema.

Esta bancada fabricada en acero asegura una rectitud sobre sus vías, a las que se las puede adaptar el resto de los elementos, facilitando las labores de calibración que el operario desarrollará para aplicar el nuevo método diseñado.

### 3.4. Propuesta de método

Bajo la premisa de conocer la rectitud sin necesidad de mandrinar los centros ni cargar la barra en el torno para verificar si puede ser mecanizada o no, se plantea el siguiente método, cuyo objetivo es determinar un centro teórico y corregirlo sobre las marcas indicadas en los extremos sobre yeso.

Se propone el siguiente método, acompañado de una serie de imágenes que facilitan su comprensión:

1. Trazar los centros en los extremos con el método visto y definir cuatro iteraciones a estudiar y calibrar empleando el láser en modo péndulo ( $90^\circ$  entre líneas).

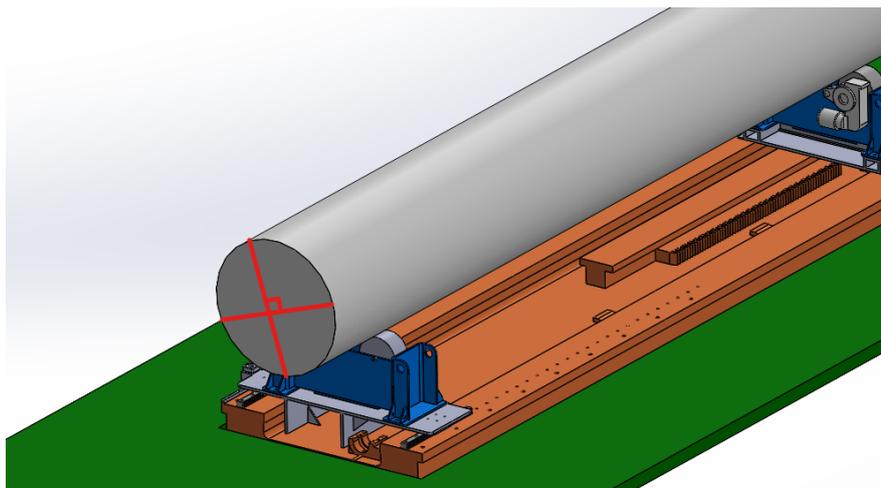


Figura 3. 5. Definir las interacciones en ambos extremos una vez estimado el centro

2. Situar el láser en uno de los extremos de la barra a la altura del centro.

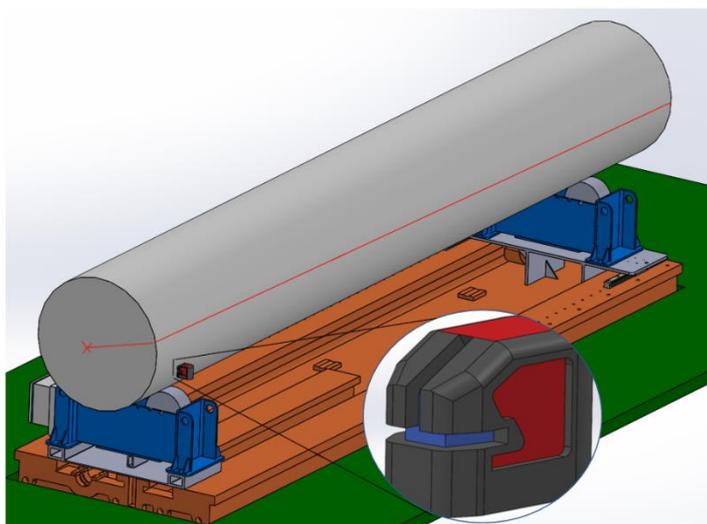


Figura 3. 6. Posicionamiento del láser perpendicular al centro

3. Poner el láser en posición horizontal fija e inclinarlo hasta que los centros de ambos extremos coincidan. Este paso de calibración asegura que se actúe sobre el centro del eje de inercia, simulando que se sitúe sobre el torno y eliminando errores debido a una inclinación de la base o el bastidor.

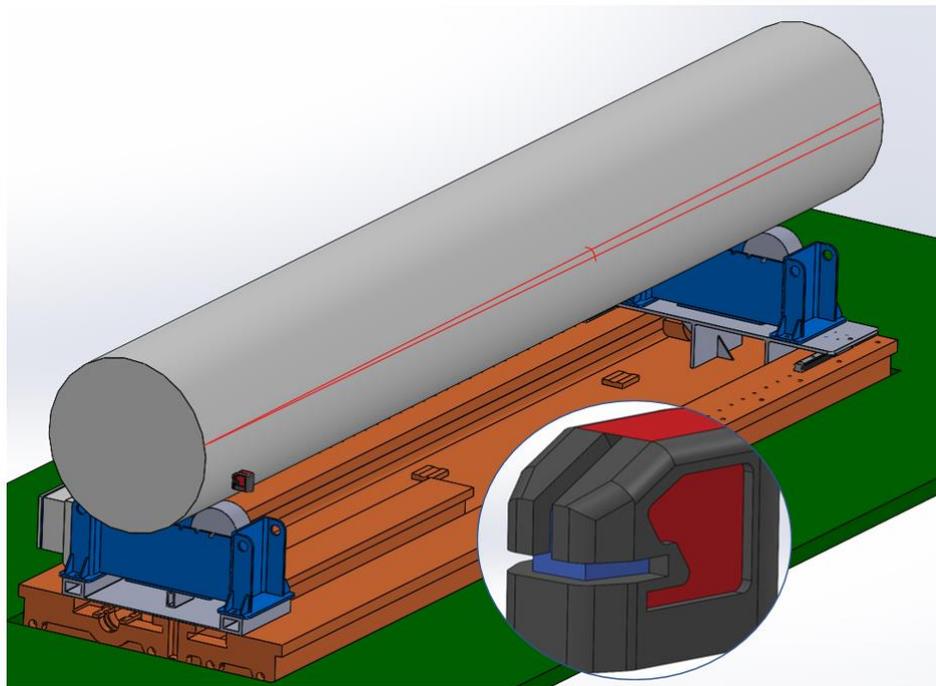


Figura 3. 7. Inclinación del láser para cuadrar perpendicular entre centros

4. Con la inclinación fijada, ascender el láser el radio teórico post-mecanizado y observar si se proyecta sobre la barra o no. En caso de que no se proyecte, se debe emplear un soporte secundario sobre el que se proyecte el láser y permita medir por cuantos mm no se proyecta.

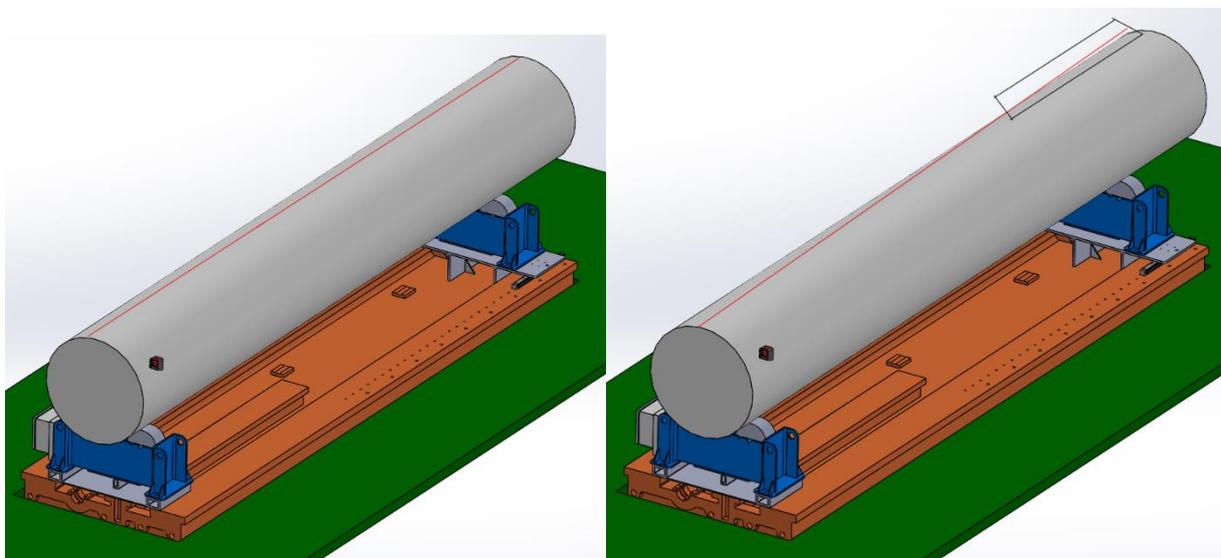


Figura 3. 8. Elevar el láser a la altura pertinente (radio post-mecanizado). Izquierda: caso correcto de limpieza; Derecha: caso donde no limpia al extremo.

5. Repetir el proceso en la cara adversa desde el punto 3. Es importante tener en cuenta que se van a emplear viradores que no actúan sobre el eje, por lo tanto, en cada iteración o estudio de un punto se debe recalibrar el láser debido a que este está apoyado sobre su cara externa, que puede presentar excentricidad, desplazando el centro mm arriba o abajo y generando un error acumulativo respecto al estudio del anterior punto de apoyo si no se recalibra la inclinación y altura del láser.

Según estudios realizados basados en pruebas reales, se estima que bastará únicamente con dos iteraciones que sean capaces de corregir las dos problemáticas expuestas (torcedura en forma de banana o torcedura al final en uno de los extremos).

### **3.5. Diseño mecánico del sistema**

A continuación, se exponen todas las adaptaciones, elementos comerciales y elementos diseñados para desarrollar y adaptar el método propuesto.

#### **3.5.1. VIRADORES**

Se escogen un conjunto de viradores comerciales, uno de ellos motorizado y el otro loco, suministrados por la empresa “Sodimec, soluciones en diseño mecánico SL”.

Tabla 2. Características generales de los viradores

<b>Características generales</b>	
Capacidad máxima	2x7,5 Tn
Potencia	0,25kW
Velocidad de rotación	90/360 cm/min
Diámetro máximo	1000 mm
Diámetro mínimo	270 mm
Largo total	1405 mm
Ancho total	610 mm
Alto total	530 mm
Peso motriz	350 kg.

Entre otras características de interés, el conjunto presenta un moto-reductor SGX 50-85\_ 0,33 Cv con una relación de reducción 1:600.

Además, el bastidor presenta dos muescas en sus paredes para poder variar la distancia entre los dos rodillos de un mismo virador, con el fin de abarcar todos los diámetros permitidos. De este modo, la posición más cercana permite un diámetro mínimo de 270 mm y la posición más alejada está diseñada para barras de un máximo de 1000 mm.

En base a los planos cedidos por la empresa, estos son virtualizados a través de SolidWorks con el fin de estudiar posteriormente su adaptación a la bancada.

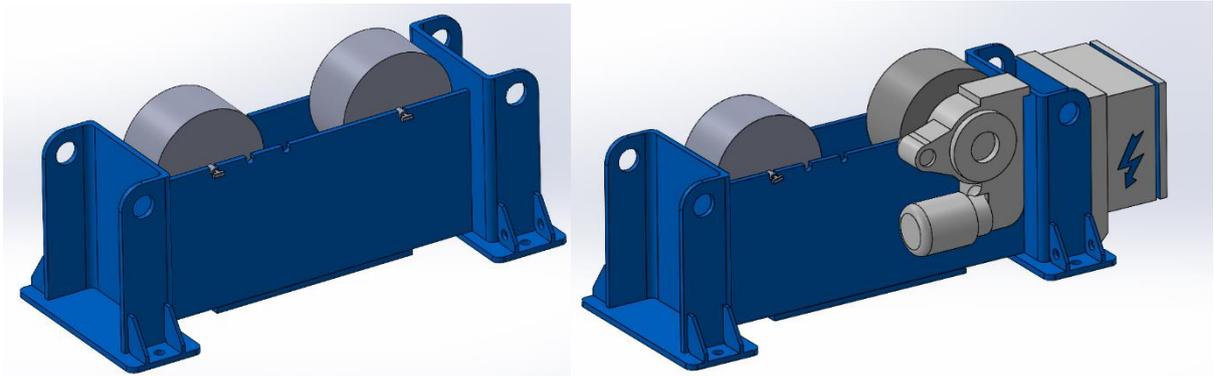


Figura 3. 9. Virador loco y virador motorizado

### 3.5.2. BANCADA, ADAPTACIÓN Y EMPLEO

La bancada está construida en acero y no dispone de planos. Por lo tanto, es medida manualmente y se genera el modelo en 3d pertinente en base a dichas mediciones. De este modo, se llega a la conclusión de que presenta una longitud aproximada de 6360 mm y un ancho de 1680 mm. Respecto a sus guías laterales, las mismas presentan un ancho de 355 mm y una separación de 970 mm. Por último, se comprueba mediante un nivel de burbuja que presenta rectitud y estabilidad en su cara superior.

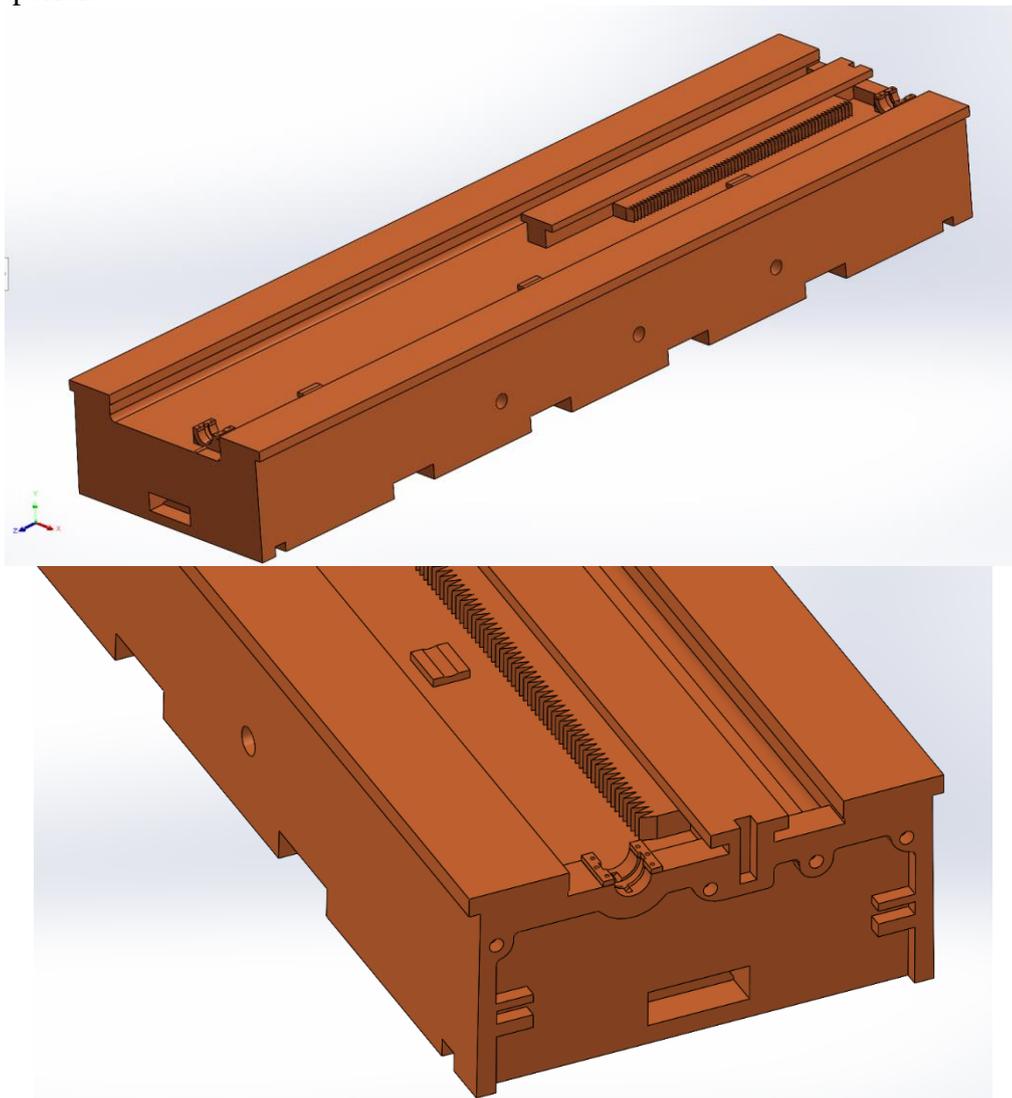
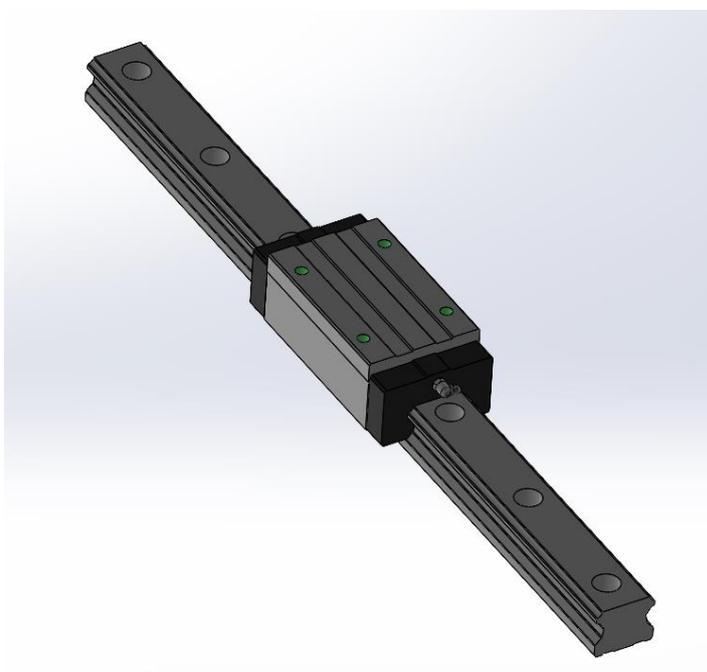


Figura 3. 10. Bancada desde diferentes puntos de vista 3D

Se debe tener en cuenta que las barras forjadas no solo presentan diferentes tamaños en términos de diámetro, sino también en términos de longitud. Como solución a este problema se propone añadir unas guías longitudinales a la bancada que permitan mover uno de los viradores (el virador loco) a través de dichas guías laterales, permitiendo alternar la distancia desde 3 a 6 metros y de este modo abarcar toda la gama de longitudes de barras forjadas.

### **3.5.3. SISTEMA DE GUIADO**

Tras tratar con varios fabricantes, la empresa Hepcomotion ofrece dentro de su catálogo la gama de guías para piezas de alto tonelaje. En este caso, el modelo en cuestión, y que mejor se adapta a las condiciones impuestas (soportar un máximo de 16 toneladas en reposo), es una guía de patines de recirculación de bolas. Su gama HLG de guías de recirculación de bolas ofrecen un movimiento suave y de baja fricción, alta rigidez y, en el modelo en cuestión, una capacidad de carga de 135 kN. La geometría del sistema obliga a incorporar dos guías equidistantes del centro de la bancada para asegurar su resistencia y durabilidad, dejando un amplio margen de seguridad.



*Figura 3. 11. Guía + patín de Hepcomotion*

Emplear esta guía obliga a diseñar una base que sirva de nexo entre el patín de la guía y el virador. Del mismo modo, la bancada debe ser sometida a una serie de modificaciones para conseguir adaptar las guías mediante tornillería M16 a la bancada. Como consecuencia, se incluyen agujeros M16, separados 120 mm entre centros, hasta abarcar los 3 metros longitudinales establecidos.

Finalmente, se incorpora una serie de agujeros más en la cara externa que permiten, mediante una barra pasante en ambos extremos, bloquear el movimiento longitudinal entre la base-guía-bancada en diferentes puntos de forma mecánica. Estos agujeros están separados por 400 mm entre centros, presentando una métrica M26. De esta forma, cuando el virador es bloqueado se puede situar una barra sobre este y proceder con el método de estudio de rectitud sin que el patín se desplace.

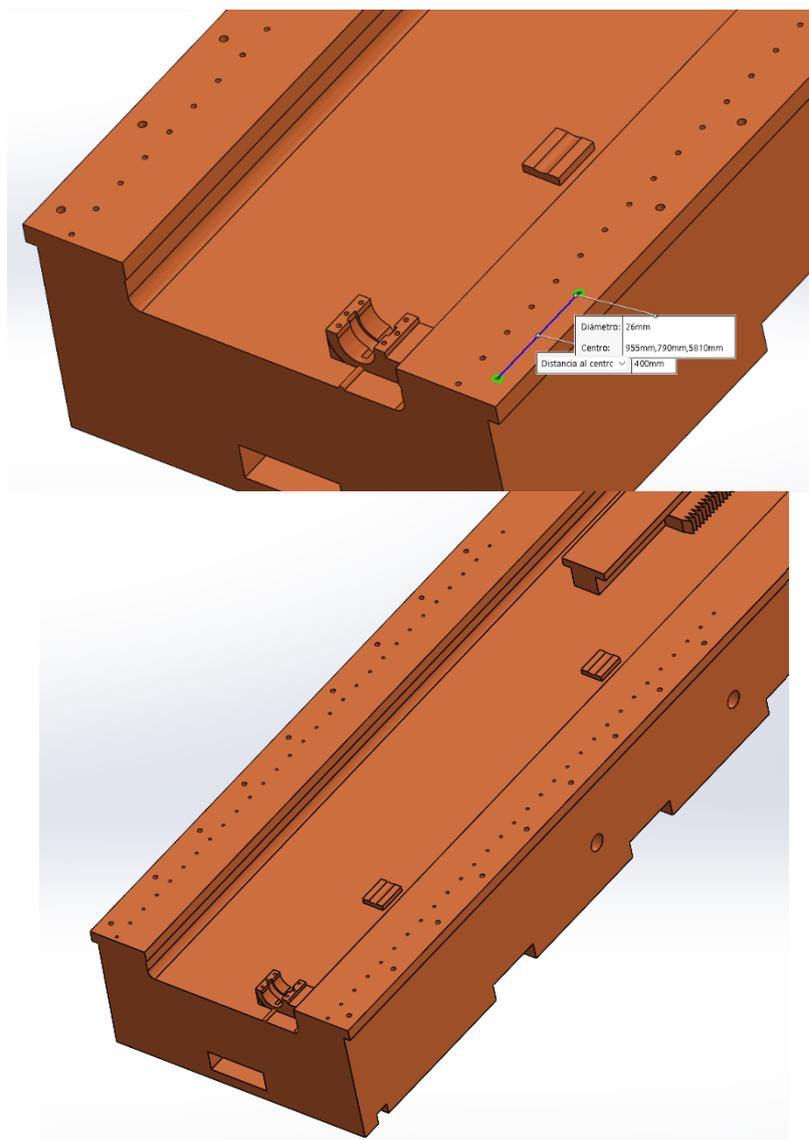


Figura 3. 12. Bancada desde diferentes puntos de vista 3D con agujeros

La base, anteriormente mencionada, es diseñada en acero, siguiendo la dinámica del resto de piezas y asegurando una elevada resistencia a cargas pesadas. Como añadido, la base es simétrica de cara a facilitar su fabricación. Tras realizar un estudio de resistencia en Ansys, se dictamina la necesidad de incluir apoyos intermedios, con un margen de 5 mm sobre la superficie de apoyo que entrará en contacto con esta. De este modo, cuando la base cargue únicamente con el peso del virador no estará en contacto con esa superficie, siendo soportada por las guías de la bancada y facilitando su desplazamiento. Por contrapartida, cuando se sitúa una barra sobre el virador su peso hace que el apoyo entre en contacto con la bancada por deformación, soportando perfectamente el sistema hasta que se levanta la barra y recupera su forma original (sin exceder su límite elástico) al eliminar dicha fuerza con componente vertical hacia abajo.

Por motivos de fatiga, se puede llegar a generar un rozamiento durante el desplazamiento, ya que a largo plazo la flexión (o un impacto) a la que se somete la base puede llegar a deformarla permanentemente. En el caso de que esto ocurra se debe emplear un recambio o bien lijar la cara de contacto con la bancada con el fin de ganar un margen milimétrico de nuevo.

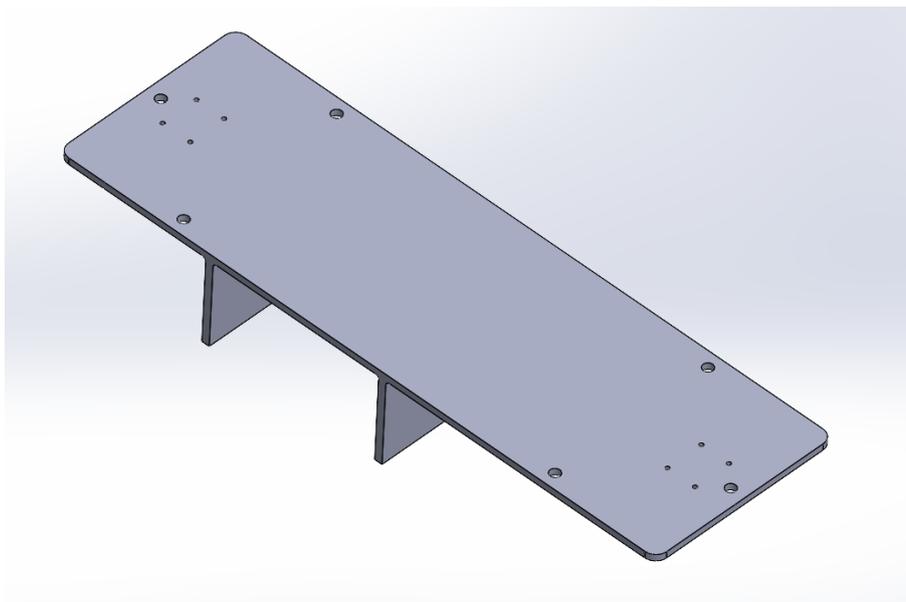


Figura 3. 13. Base virador loco, vista en 3D



Figura 3. 14. Vista en planta de la base del virador loco

Tras realizar varias iteraciones y estudios de resistencia, se llega a la conclusión de la necesidad de incluir dos aletas que aumenten la rigidez del sistema y otras dos aletas que aumentan la superficie de apoyo. Todas ellas soldadas, siendo un método de fabricación accesible y barato.

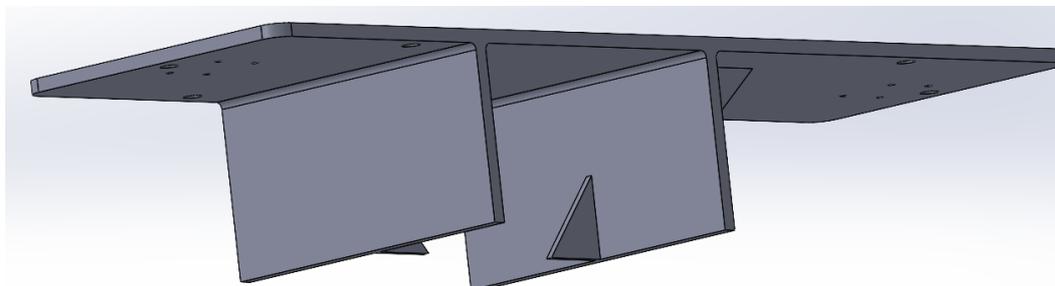


Figura 3. 15. Vista en 3D de la base del virador loco desde abajo

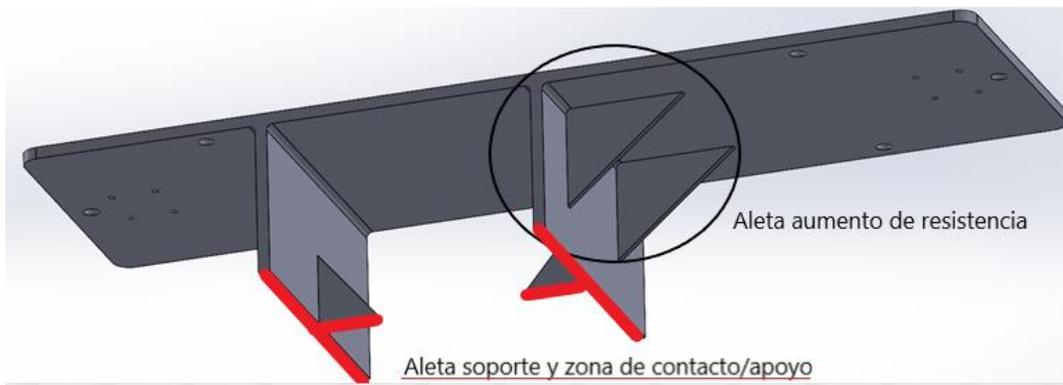


Figura 3. 16. Vista en 3D de la base del virador loco indicando soportes

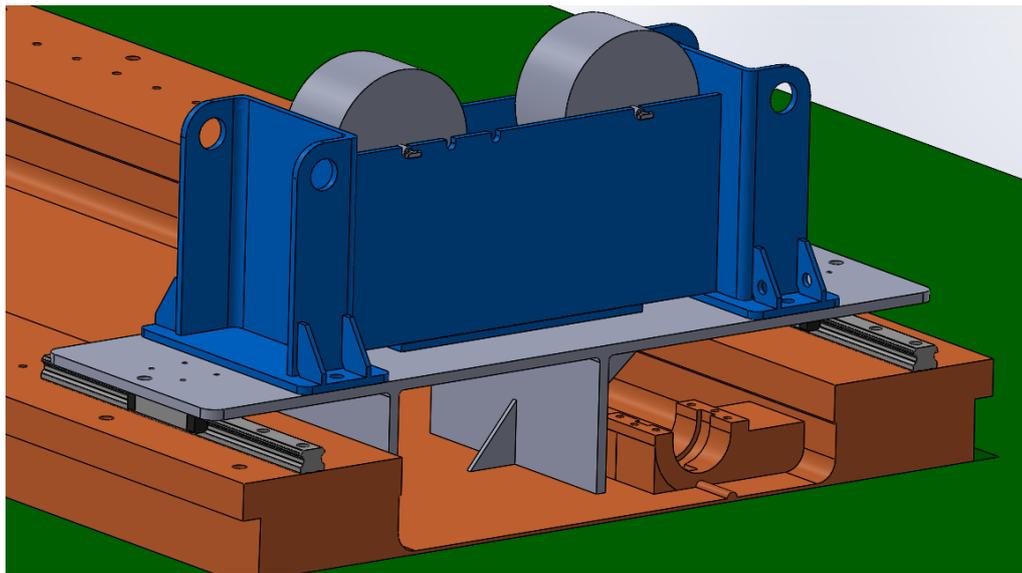


Figura 3. 17. Montaje del conjunto virador-base-bancada

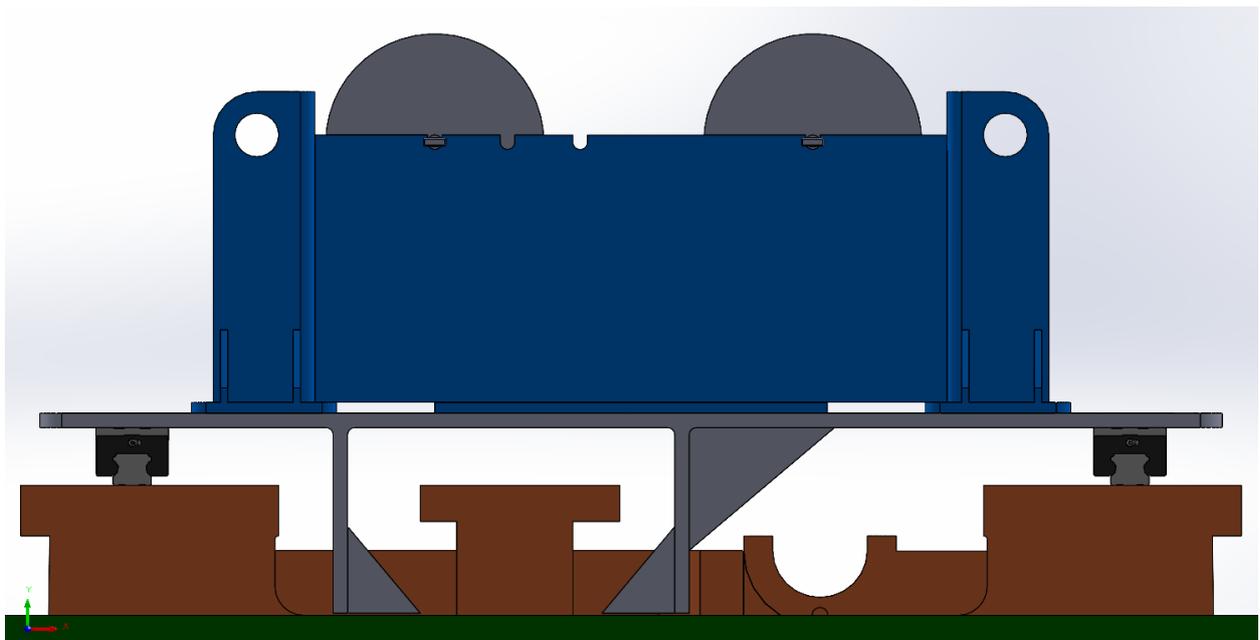


Figura 3. 18. Montaje del virador-base-bancada, vista en perfil

Se acomete un estudio para validar las características de los soportes definiendo como fixed support el punto de apoyo inferior con la bacada y la zona de los patines donde son atornilladas y añadiendo una fuerza sobre toda la superficie de 100 kN (magnificada) en dirección eje “y” negativa. Se obtiene el siguiente resultado, estimándose una deformación máxima de 0,2 mm, entrando dentro de las tolerancias admitidas. Gracias a las aletas destinadas a aumentar su rigidez, este valor es tan bajo.

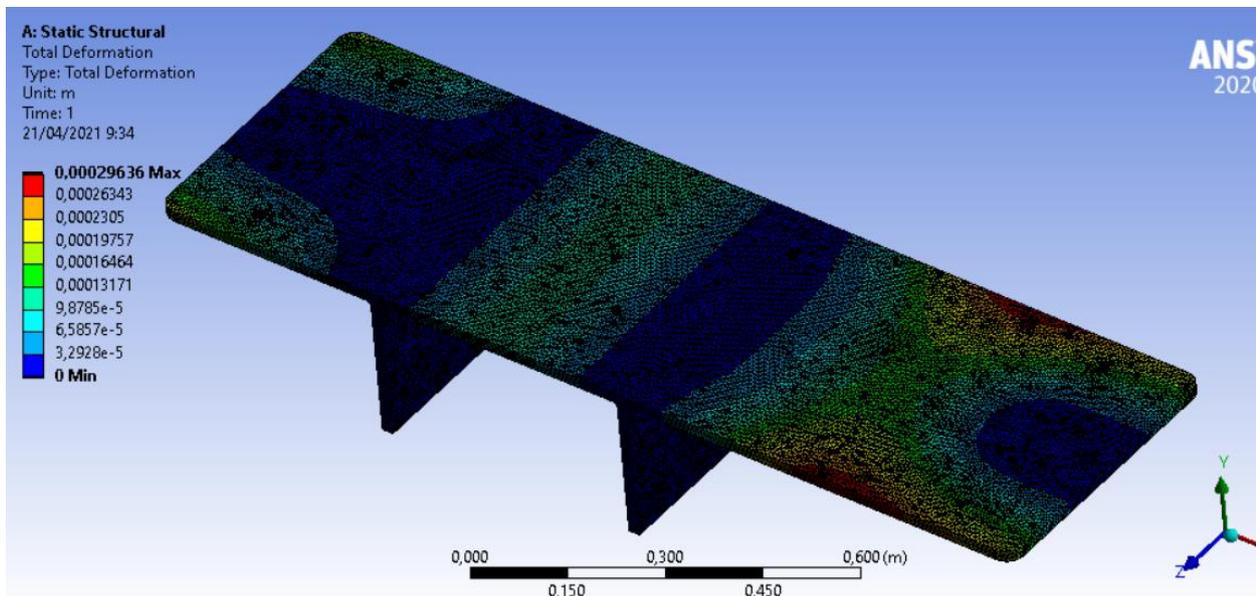


Figura 3. 19. Deformación de la base

El sistema a priori puede parecer sobredimensionado. En iteraciones anteriores se demuestra que añadiendo únicamente dos engrosamientos con forma de tiras en la cara inferior con un espesor de 20 mm cada uno, el resultado es realmente positivo, alcanzando una deformación en su zona céntrica de 4 mm máximo.

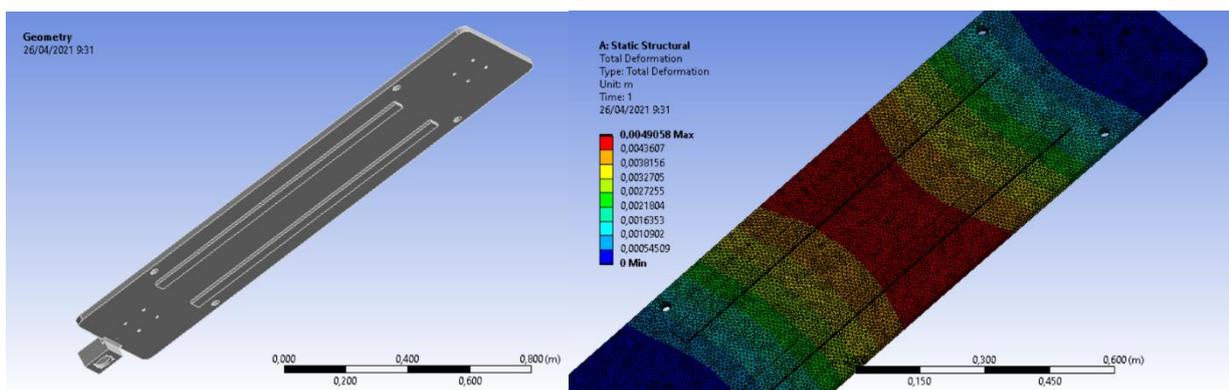


Figura 3. 20. Modelos anteriores fallidos por exceso de deformación

El motivo del diseño final presentado es abolir la implementación de un sistema de suspensión contra los impactos que el conjunto pueda sufrir (el modelo de la figura 3.20. se considera que presenta peor resistencia frente a impactos debido a sus escasos puntos de apoyo). Con el fin de abaratar el sistema y eliminar la dificultad de incluir un sistema de ese calibre innecesariamente se realizó el siguiente cálculo para estimar la fuerza de un posible impacto:

Una barra forjada de máximo 15 toneladas desciende a una velocidad aproximada (en la fase final de acercamiento a los viradores) a 20 cm/segundo. Durante este proceso, la barra en voladizo apoyada sobre dos cadenas en sus extremos puede llegar a golpear estos viradores debido a un problema de control fruto del factor humano (nunca llegará a soltarse y caer en caída libre gracias a los elementos de seguridad de la grúa). Si se supone un impacto que hunde la cara superior central de la base 5 mm (momento en el que la base entra en contacto con la bancada), entrando dentro de un límite de deformación aceptable y recuperable por las condiciones del propio material, se estima que igualando la energía cinética al trabajo y despejando  $W = KE$  es  $F \cdot d = 0,5 \cdot m \cdot v^2$ , entonces:

$$F = (0,5 \cdot 15000 \text{ [Kg]} \cdot 0,2 \text{ [m/s]}^2) / 0,005 \text{ [m]} = 60 \text{ kN.}$$

Según especificaciones del fabricante, la carga dinámica que soporta el sistema patín-guía es de hasta 129 kN, permitiendo un amplio margen de seguridad frente a impactos y no requiriendo la necesidad de implementar un sistema de suspensión.

Gracias al margen de cinco milímetros entre la base y la bancada en su zona baja, cuando una barra se apoye, estos salientes de la base aumentarán la zona de contacto con la bancada si el hundimiento en su zona céntrica debido a la flexión excede esos milímetros, dotando al sistema de una gran rigidez.

Finalmente, se destaca la necesidad de igualar la altura de sendos viradores. Por lo tanto, se diseña un soporte para tal cometido que equipara la altura del virador motor con la del virador loco.

Su diseño es una chapa de espesor 10 mm con dos salientes cuadrangulares de espesor 20 mm situados a los extremos. Además, se incorpora un perfil en doble T que atraviesa el centro, aprovechándose de la guía central de la bancada para aumentar la zona de contacto con el virador y eliminando una posible flexión en esa zona.

Este apoyo es atornillado a la bancada mediante cuatro tornillos a sus extremos. Del mismo modo, el virador es atornillado a los salientes simétricos, que además, al ser cuadrangulares con un vaciado interno, no solo se aligera el soporte sin sacrificar rigidez, sino que se facilita el apriete de la tornillería.



Figura 3. 21. Soporte virador motorizado, vista de planta



Figura 3. 22. Base para virador motorizado, vista de alzado

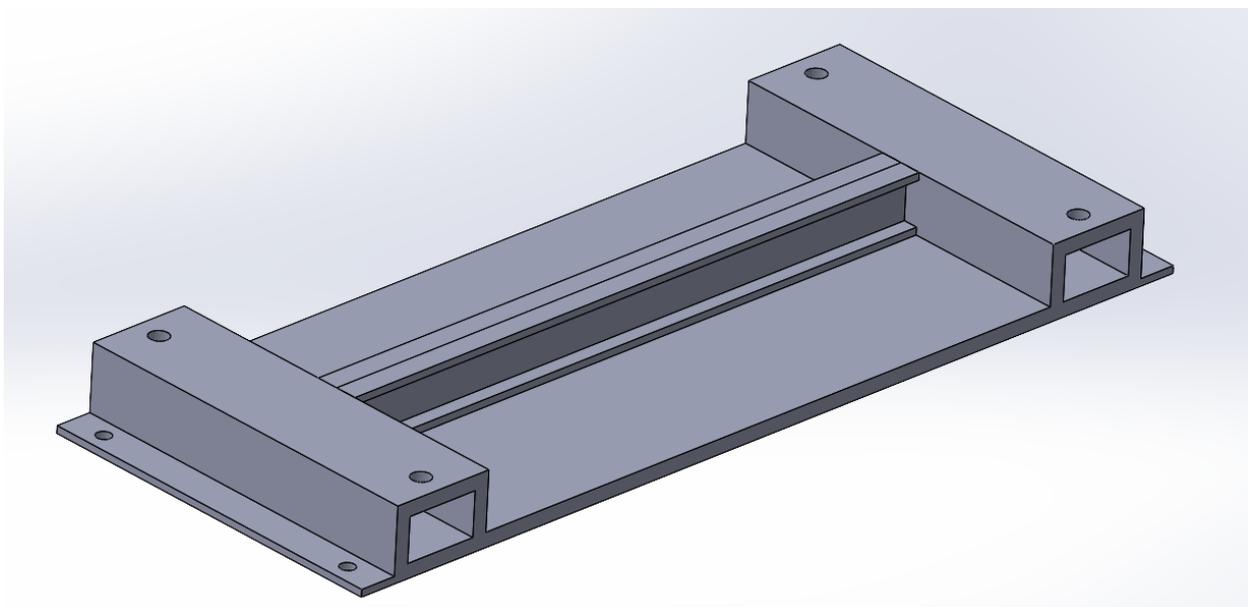


Figura 3. 23. Base virador motorizado, vista en 3D

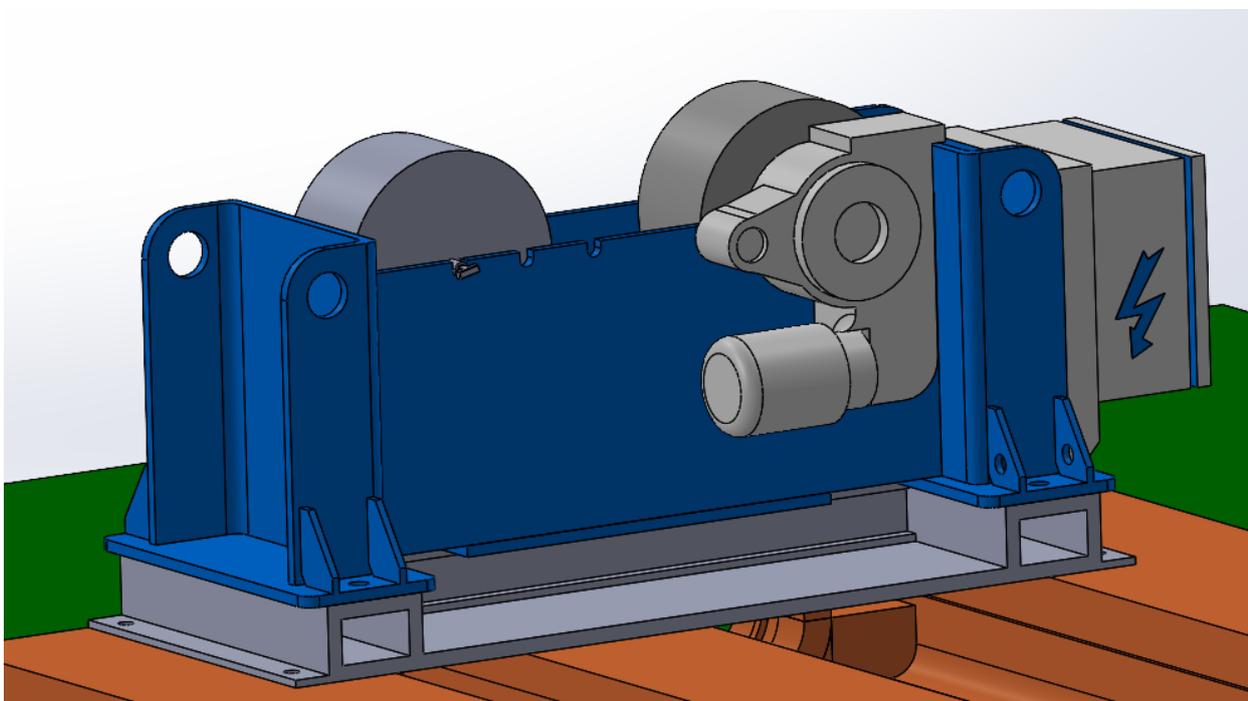


Figura 3. 24. Montaje virador motorizado sobre base y bancada

### 3.5.4. GUIADO ELECTRÓNICO

El peso para mover de forma mecánica (manual) a través de las guías se estima en 350 kg para el virador loco, sumado al peso de la base que se estima en 10 kg aproximadamente. Es por este motivo por el que se decide implementar un actuador eléctrico, con el fin de simplificar esta tarea para el operario.

Se considera que el método más adecuado es la implementación de un sistema piñón-cremallera. A tal efecto, la empresa Bromatic ofrece una gama de piñones y cremalleras lo suficientemente resistentes para diseñar este sistema de forma óptima.

Empleando el programa de dimensionamiento de sistemas piñón-cremallera, conocido como Neugart, se obtienen los datos necesarios para dimensionar las características del sistema.

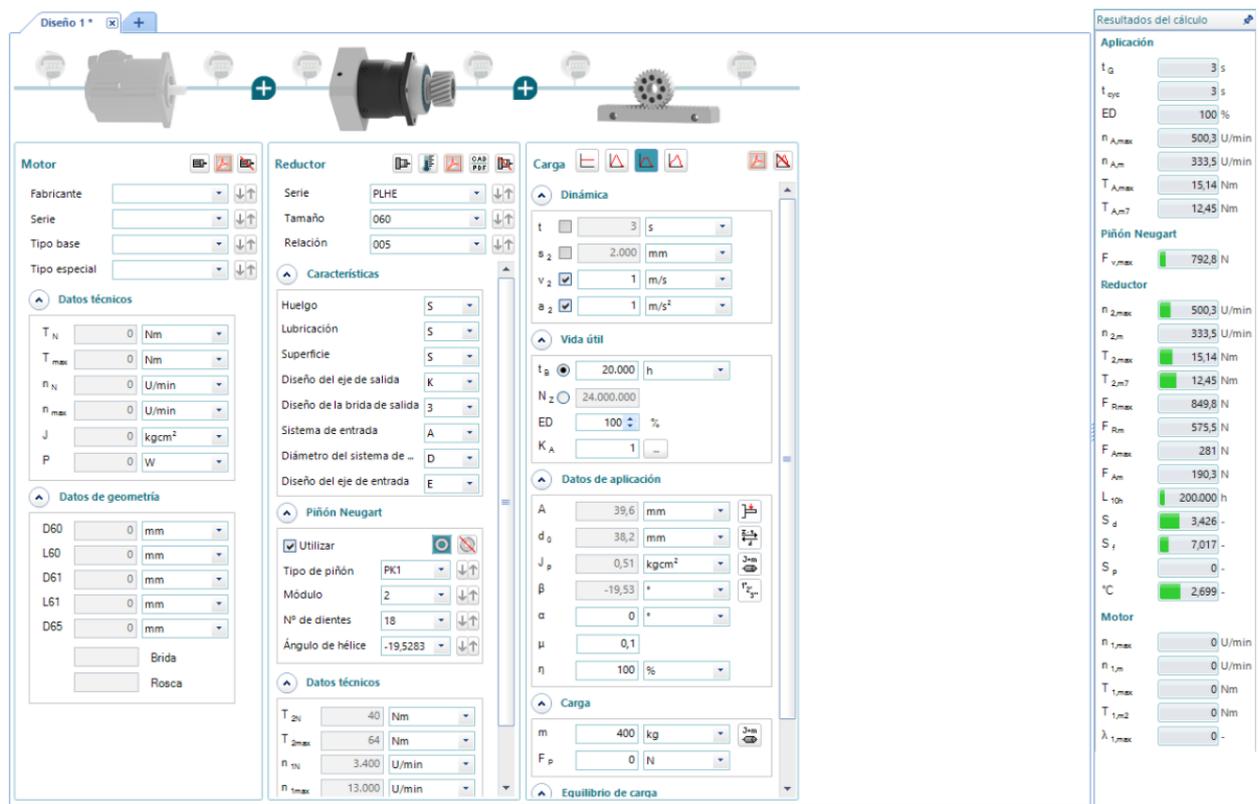


Figura 3. 25. Dimensionado del servomotor para el movimiento del virador a través de la bancada

Se indica una carga estimada a mover por el sistema de 400 Kg (sistema sin barra cargada, 350 Kg virador + 10 Kg base + factor de seguridad). Además, se desea que se desplace a una velocidad máxima de 1 m/s el sistema.

Conociendo estos datos, y basándose en la experiencia de la empresa y sus recomendaciones, se obtiene un par medio a la salida del motor de 12,45 Nm. Con una ratio  $i=5$ , este par se reduce a 2,49 Nm. Como resultado, se selecciona un conjunto servomotor-reductor MN3-0350.

Winding Datas			MN3-0115		MN3-0205		MN3-0350		MN3-0480	
			320 V.	560 V.						
Rated Speed	$n_n$	$\text{min}^{-1}$	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
DC Bus Voltage	$U_{dc}$	V	320	560	320	560	320	560	320	560
Nominal AC Voltage	$U_n$	V	230	400	230	400	230	400	230	400
Rated Torque	$M_n$	Nm	1,13	1,13	1,90	1,90	3,0	3,0	3,7	3,7
Rated AC Current	$I_n$	A	2,3	1,26	3,1	1,72	4,3	2,4	4,5	2,6
Stall Torque	$M_o$	Nm	1,15	1,15	2,1	2,1	3,5	3,5	4,8	4,8
Stall AC Current	$I_o$	A	2,0	1,10	2,8	1,57	4,2	2,4	4,8	2,8
Peak Torque	$M_{max}$	Nm	3,5	3,5	6,2	6,2	10,5	10,5	14,4	14,4
Peak Current	$I_{max}$	A	9,2	5,0	12,7	7,2	19,4	10,9	17,3	10,1
Max. Speed	$n_{max}$	$\text{min}^{-1}$	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
EMF Constant	$K_E$	V/1000	34,5	63,0	44,5	79,0	50,0	89,0	60,0	103,0
Torque Constant	$K_T$	Nm/A	0,57	1,04	0,74	1,31	0,83	1,47	0,99	1,70
Thermal Resistance Ph-Ph	$R_{2ph}$	$\Omega$	8,4	27,8	5,4	17,3	2,8	8,9	2,5	7,5
Thermal Inductance Ph-Ph	$L_{2ph}$	mH	18,0	59	13,3	42,4	8,1	25,5	7,5	22,7
Number of poles motor	$2p$		10	10	10	10	10	10	10	10
Number of poles resolv.	Pres		2	2	2	2	2	2	2	2
Rated Power	$P_n$	W	345	345	597	597	942	942	1162	1162
Torque at $I_{max}/U_n$	$M_z$	Nm	3,4	3,4	6,0	6,0	10,4	10,4	14,2	14,2
Speed at $I_{max}/U_n$	$n_z$	$\text{min}^{-1}$	1800	1680	1720	1630	1870	1800	2010	1990
Max. Torque at $n_n$	$M_x$	Nm	2,4	2,2	3,8	3,6	6,6	6,2	7,1	7,1

Figura 3. 26. Tabla de datos del servomotor seleccionado

En cuanto a las cremalleras, se ofertan dos con las mismas características, con la salvedad de que se presenta un modelo de 2 metros y otro de 1 metro, con el fin de abarcar toda la longitud deseada (3 metros). Según los resultados obtenidos, las cremalleras requieren una fuerza de 792,8N, teniendo el modelo ofertado una fuerza de hasta 6,5 kN y estando por encima de la exigencia. Estas cremalleras, así como el piñón, presentan dientes helicoidales templados que aseguran una máxima resistencia.

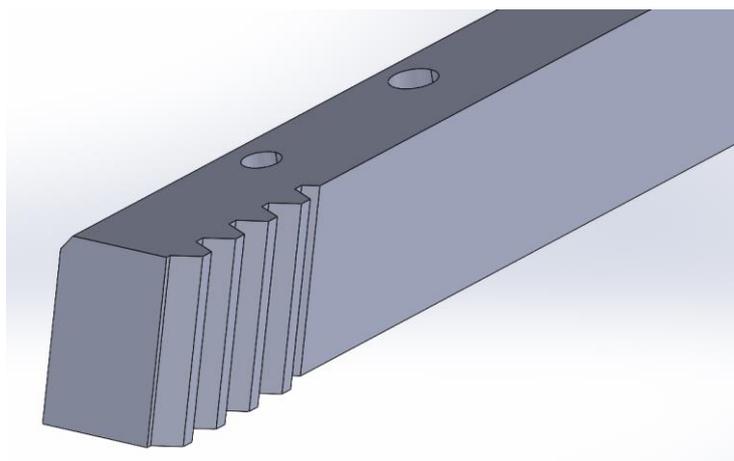


Figura 3. 27. Vista en 3D de la cremallera seleccionada

En este caso, el piñón, incorporado directamente sobre el servomotor, tiene 18 dientes y módulo 2.

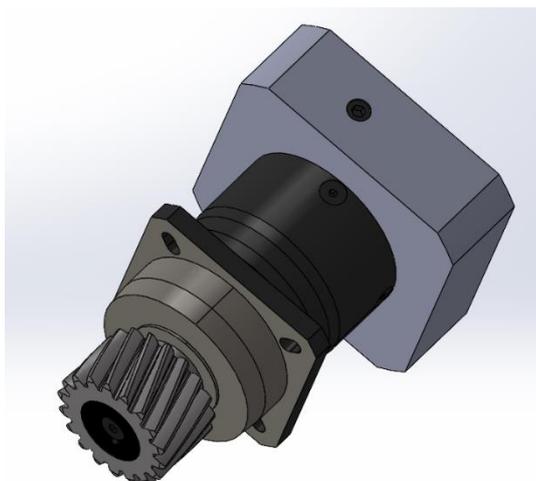


Figura 3. 28. Servomotor + piñón helicoidal en su eje de salida

Además, se destaca la elección de dientes helicoidales frente a los clásicos rectos o cilíndricos para asegurar que el funcionamiento del engranaje se ejecute de forma suave y silenciosa. Entre otras ventajas, son más duraderos, estimando la duración de uso del sistema en 20000 horas de trabajo antes de tener que emplear un recambio. Este hecho viene acompañado de que su forma permite distribuir la carga sobre varios ejes, limitando su desgaste. Por último, permiten transmitir movimiento y potencia bien sea entre ejes paralelos o en ejes en ángulo recto.

Incorporar todo este sistema implica modificar la base de las guías y la bancada tal cual se conoce.

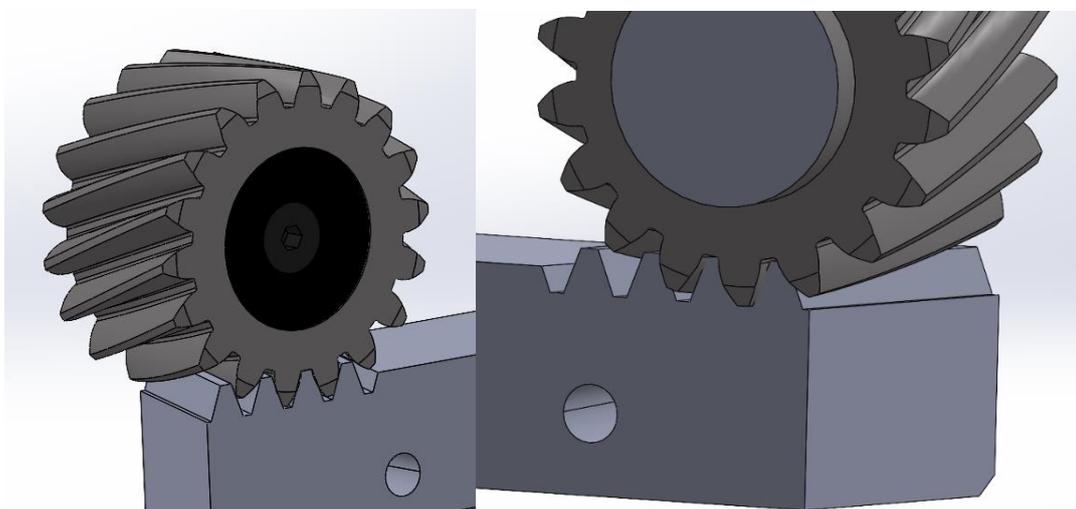


Figura 3. 29. Piñón cremallera helicoidales, dentado.

Respecto a la base, se diseña una caja a una altura calculada para albergar al servomotor y que su piñón engrane con la cremallera, atornillada a la bancada y así asegurar una correcta ventilación.

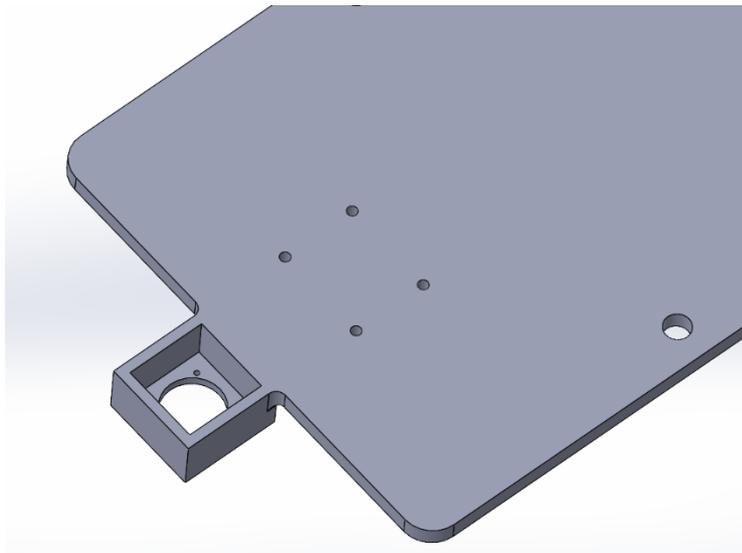


Figura 3. 30. Modificación a la base del virador loco para albergar el servomotor

Incorporar este sistema permite abolir los agujeros, tanto en la bancada como en la base, que permitían pasar una barra de bloqueo para eliminar el desplazamiento longitudinal una vez desplazado el sistema. Con este nuevo sistema incorporado, el propio freno motor y los piñones aseguran su fijación en un punto determinado del recorrido.

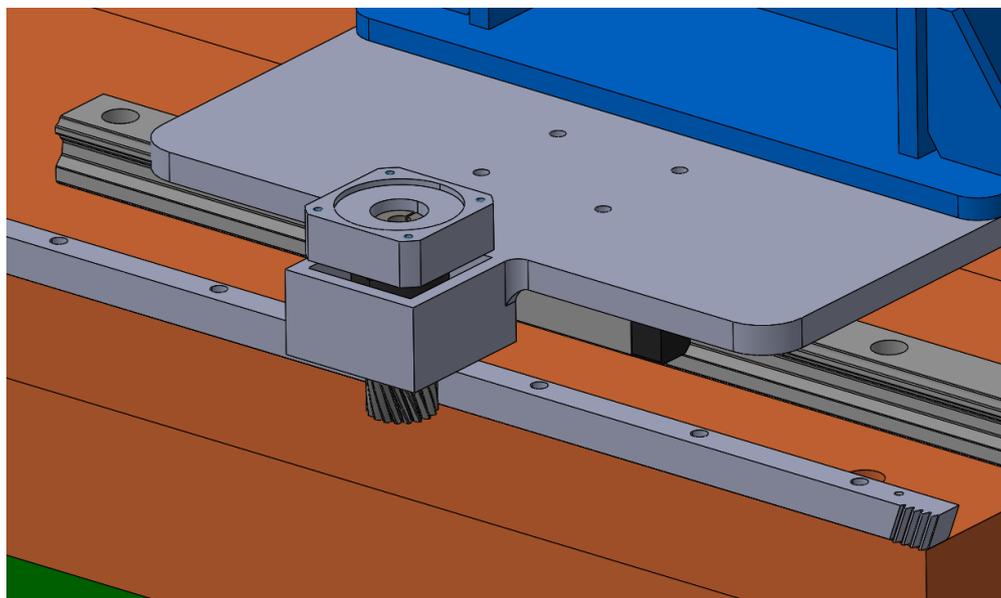


Figura 3. 31. Montaje de sistema de guiado móvil

En el montaje final se observa como la cremallera se sitúa al borde de la bancada atornillada mediante tornillos de radio 3,5 mm. A su vez, la cremallera es diseñada para albergar la cabeza de este en su interior, gracias a un ensanchamiento inicial de su agujero.

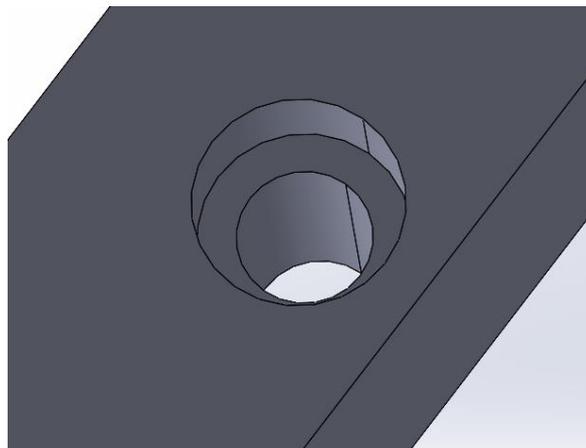


Figura 3. 32. Agujero de la cremallera para ser adherida a la bancada

Por último, se incorpora un sistema de lubricación que debe ser empleado de vez en cuando para asegurar un desplazamiento fluido del sistema.

Este subsistema consta de un acoplamiento entubado al depósito de lubricante y a su vez engranado a un piñón que avanza por delante del piñón del motor.

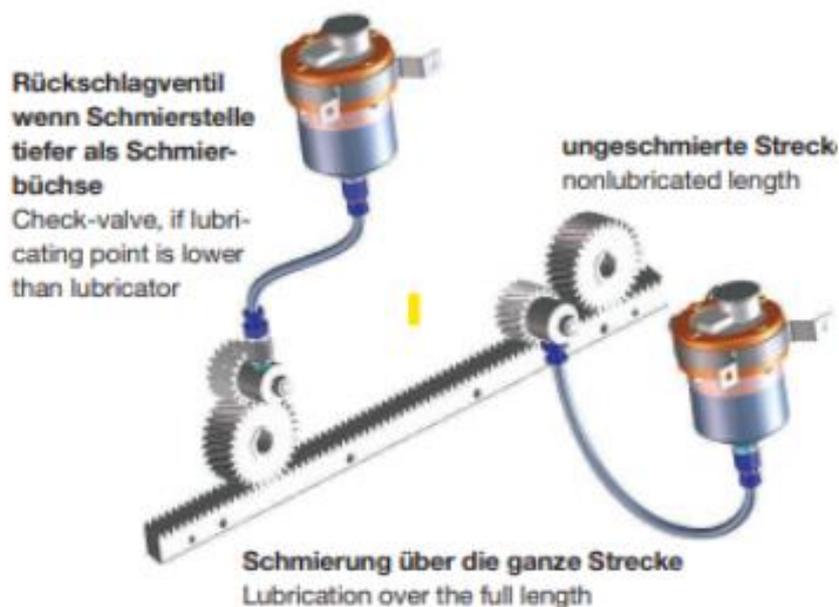


Figura 3. 33. Sistema de lubricación (montaje)

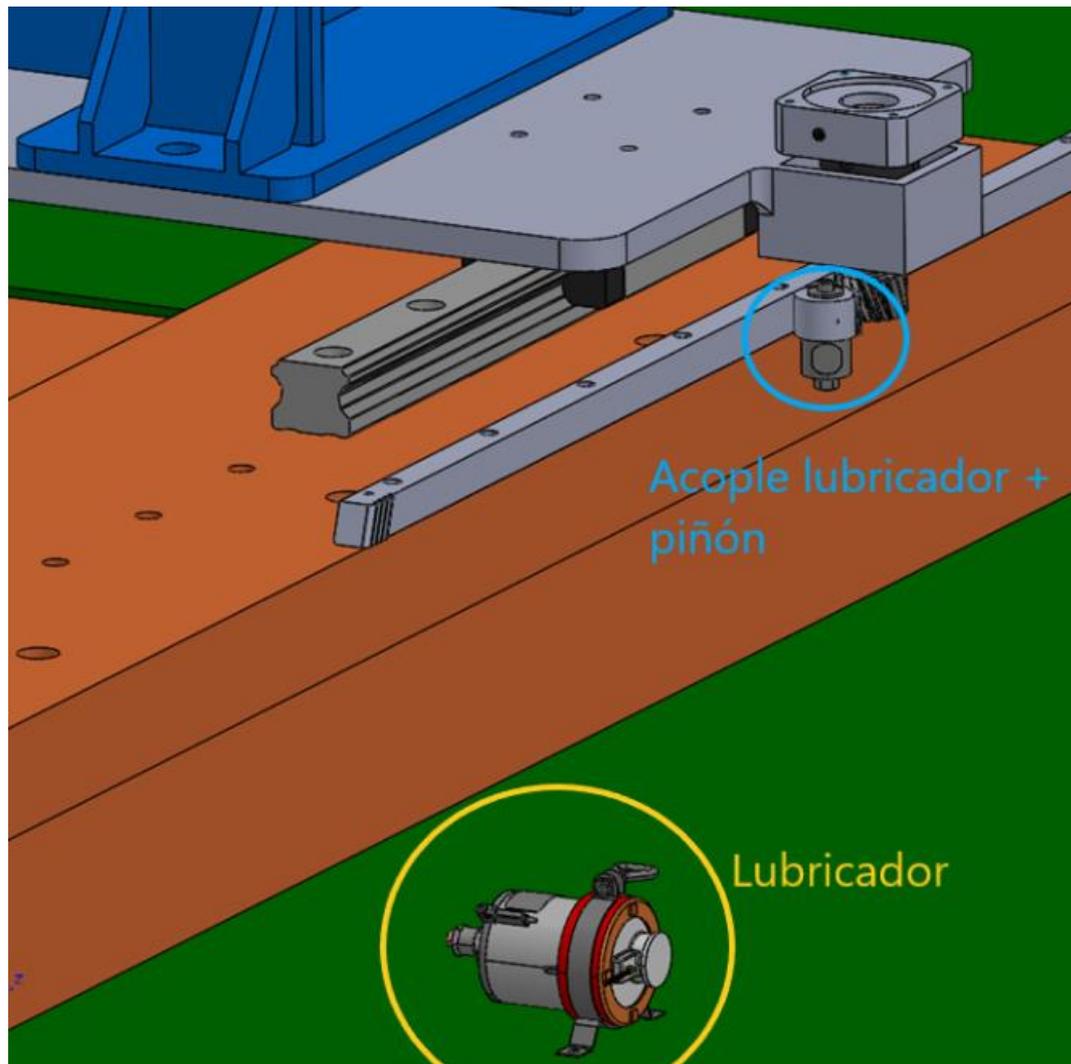


Figura 3. 34. Sistema de lubricación sobre el sistema láser planteado

Como se puede observar en el esquema mostrado en la figura 3.34, el depósito debe situarse en el punto intermedio de la carrera total de la cremallera con el fin de que el conector (forma tubular) depósito-acople piñón no se vea forzado en su recorrido.

Por último, se debe mencionar que este sistema debería ser automatizado. Sin embargo, este subsistema de movimiento motorizado queda simplemente propuesto a futuro para dar prioridad a testear un prototipo inicial que verifique el método (empleando en pruebas los viradores a una distancia prefijada entre ellos). Por lo tanto, se decide no invertir tiempo ni recursos en su desarrollo hasta que se verifique la eficacia del método de estudio de la rectitud mediante pruebas reales.

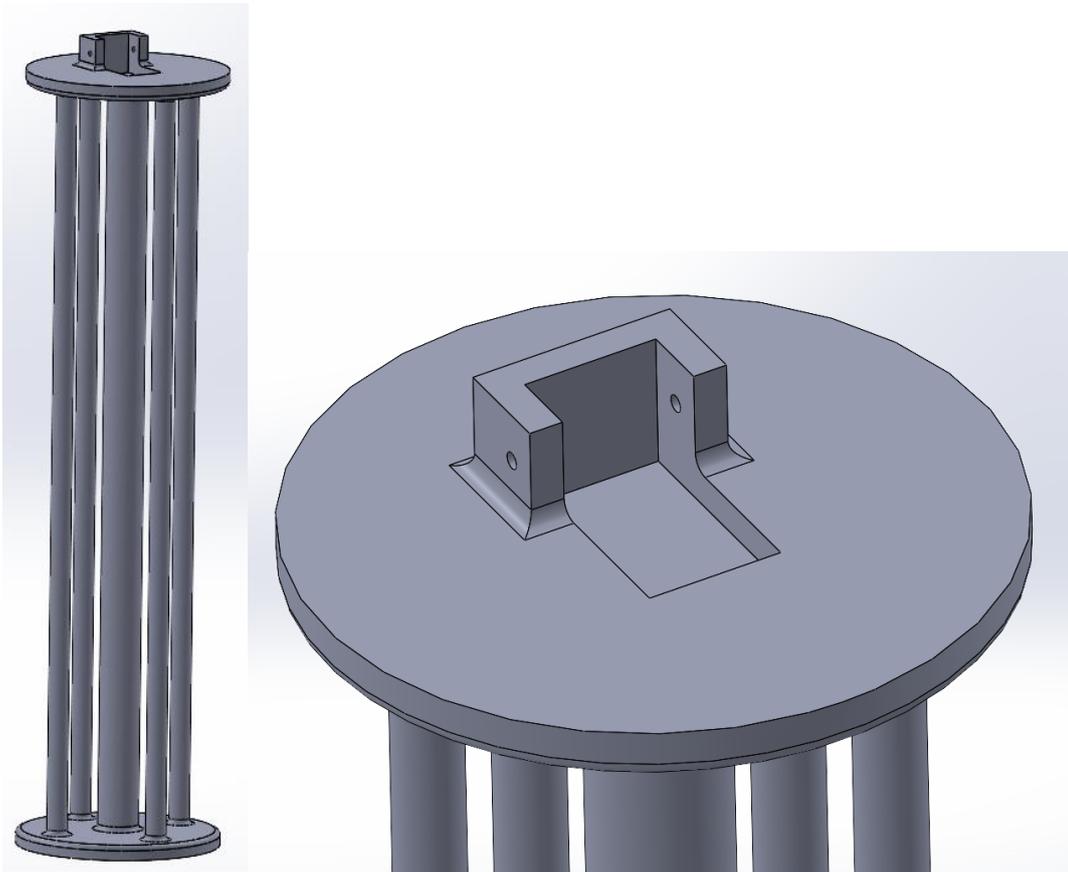
La metodología de control más acertada es implementar un PLC que gobierne el giro del motor mediante dos botones (a derechas o a izquierdas) e incluya dos finales de carrera en los finales de la cremallera como sistema de seguridad. Esta propuesta se puede encontrar en el apartado del control.

### 3.5.5. SOPORTE LÁSER.

El soporte para el láser se compone de tres partes:

1. Base
2. Husillo lineal.
3. Manilla soporte.

Comenzando por la base, se apuesta por un diseño sencillo, manejable y estético, que asegure una altura inicial del sistema de 700 mm (altura que se sitúa por escasos milímetros por encima del punto más alto de los viradores, pero que no superaría el centro de las barras más pequeñas, de radio normalmente no menor a 75 mm). Su diseño se basa en un sistema de dos platillos unidos mediante columnas que aseguran una elevada resistencia y puntos de agarre que facilita su transporte y movimiento por el propio operario.



*Figura 3. 35. Soporte del sistema láser*

La base incorpora dos pletinas laterales donde atornillar el husillo lineal a través de los huecos de su bastidor. De esta forma, y aprovechando la estructura del perfil de aluminio, se asegura mediante tornillería y arandelas de apriete la fijación entre elementos, limitando su movimiento axial y radial. También se incluye una pletina de apoyo en su parte trasera, diseñado todo como una misma pieza. Finalmente, para asegurar una completa unión soporte-base, se decide realizar un pequeño hueco en el platillo superior donde incrustar la pletina inferior del husillo lineal.

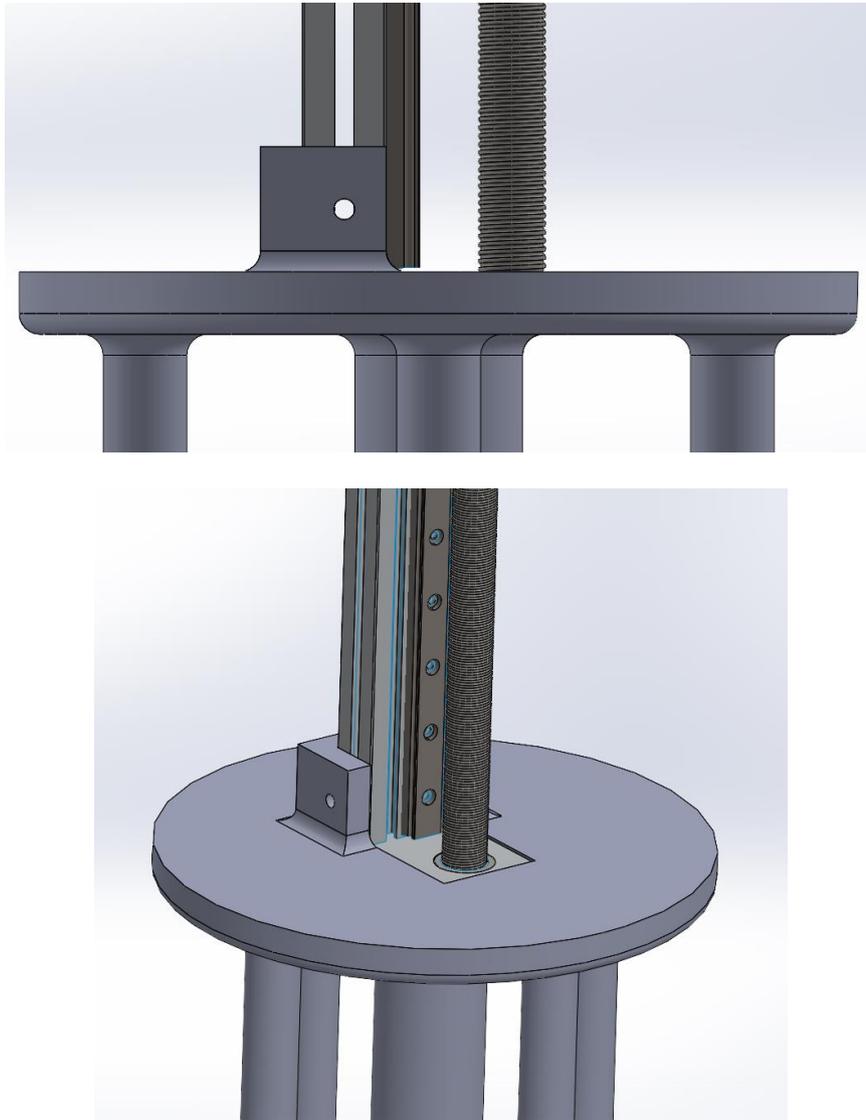


Figura 3. 36. Soporte del sistema láser con husillo ensamblado (vista lateral en imagen superior y vista 3D inferior)

Continuando por el husillo, se emplea un modelo comercial. El bastidor principal del sistema es un perfil de aluminio donde en sus extremos se encuentran dos pletinas de cierre atravesadas por un agujero que permite introducir el husillo junto a dos rodamientos que permiten su giro. En su extremo superior se incluye un motor paso a paso Nema 23 que permitirá controlar el movimiento de ascenso y descenso, unido al husillo mediante un acople y una pletina intermedia encargada de asegurar la rigidez del sistema.

Por último, en su cara interna se encuentra una guía junto a un patín que, al igual que las pletinas externas, engarza con el husillo, moviéndose solidario a este en movimiento de ascenso-descenso, según la rutina de control.

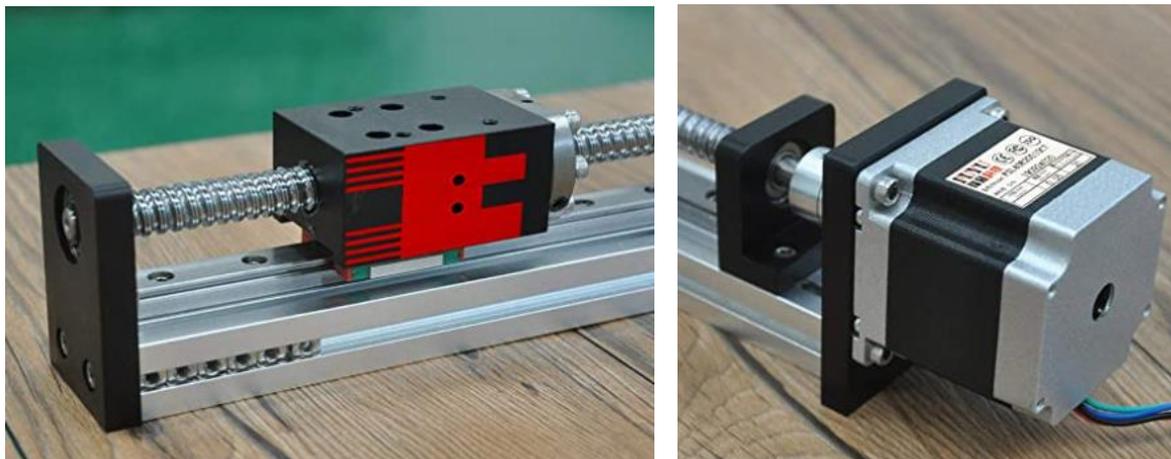


Figura 3. 37. Sistema husillo Guía desde diferentes perspectivas 3D

Entre sus características se destaca la capacidad de carga del carril de 10 Kg en movimientos verticales, asegurando que pueda cargar con el peso del láser y su soporte; así como la carrera del husillo de 1000 mm, permitiendo abarcar la totalidad de radios ofertados en barras forjadas por Reinosa F&C.

- Motor paso a paso Nema 23 con velocidad máxima de hasta 1200 rpm.
- Tornillo de bola de calidad con precisión de hasta  $\pm 0,03$  mm, también bajo ruido al trabajar.
- Tornillo M4 en los lados para instalar el tope final y en la placa base para una fácil instalación.
- Aluminio oxidado para evitar la oxidación, unidad de apoyo adicional mejora la estabilidad.



Figura 3. 38. Sistema de elevación por husillo comercial

Por último, al patín de la guía se atornilla el soporte del láser. Dicho soporte está formado por dos piezas individuales, basándose en un sistema tipo bisagra. La pieza inferior es la encargada de sujetarse mediante tornillería (4 tornillos) al patín mediante su placa vertical. Esta pieza presenta dos protuberancias con forma semicircular que permiten establecer el eje de movimiento del sistema de inclinación tipo bisagra. Para asegurar su unión se pasa un travesaño circular o un tornillo por los cuatro agujeros alineados de las bisagras una vez ensambladas.

Se destaca una pletina soldada en la parte inferior, donde posteriormente se situará un motor paso a paso. El eje del motor se unirá a un tornillo que pasa por el agujero alineado con dicho eje, de modo que permita girar la bisagra.

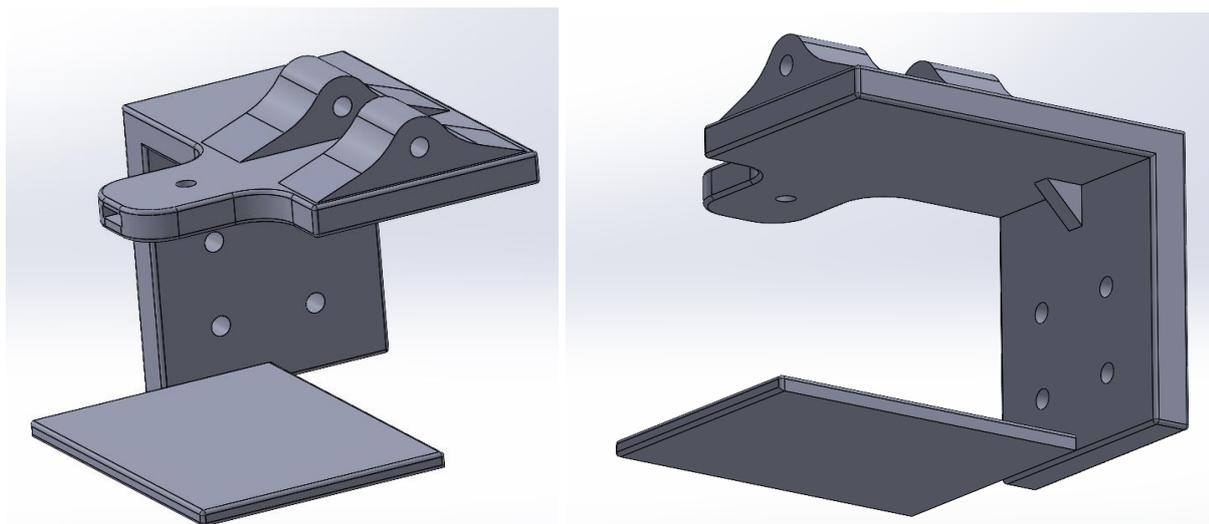


Figura 3. 39. Bisagra inferior en diferentes perspectivas 3D

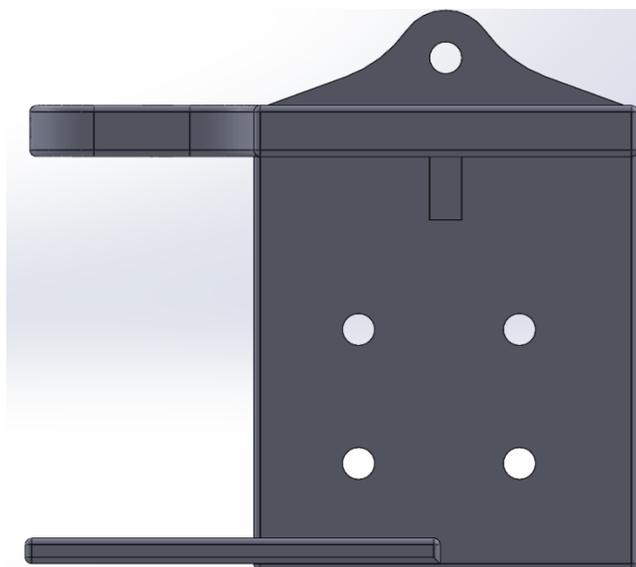


Figura 3. 40. Bisagra inferior, vista en alzado

Un factor a tener en cuenta es el saliente por el que el eje del motor con el tornillo pasará. Este saliente presenta una cavidad por la que insertar una tuerca, asegurando que el tornillo se encuentre correctamente guiado y apoyado durante su giro. Así, se evita tener que soldar la tuerca sobre la superficie y que la fuerza de apriete durante el giro desplace la tuerca en dirección axial.

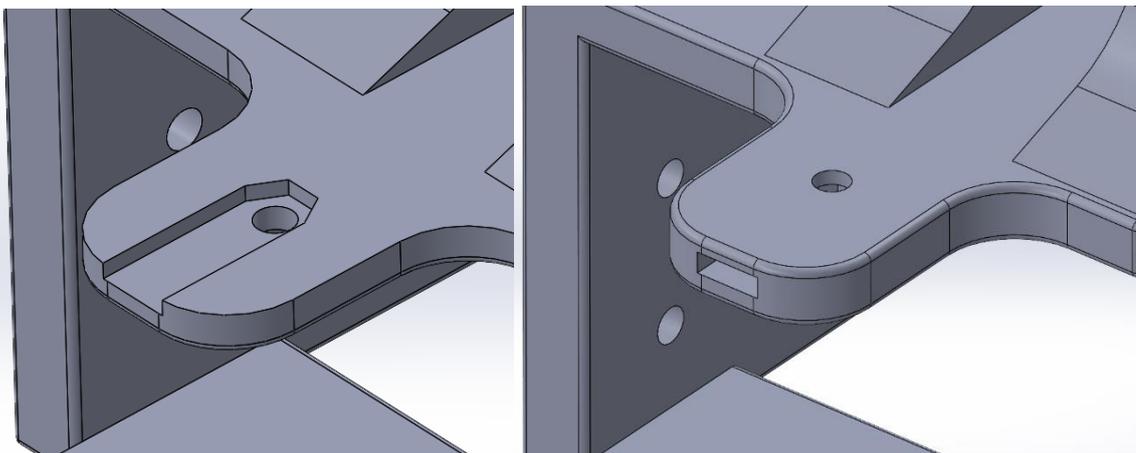


Figura 3. 41. Zona de regulación del ángulo mediante un tornillo pasaste y tuerca. A la izquierda se muestra un corte para ver la cavidad de la tuerca

Respecto a la pieza superior móvil, la cara superior presenta la forma ideal para que el soporte comercial con el láser se sitúe sobre esta. Además, gracias a que el soporte comercial del láser está imantado se quedará perfectamente adherido a dicha superficie, sin emplear tornillería o similares, a la vez que se facilita su desmontaje en caso de que el láser sea requerido para otra actividad.

Como bien se ha indicado, la pieza superior es la pieza móvil. En su cara inferior presenta los enganches de la bisagra proporcionales a la pieza inferior, simétricos en cuando a dimensiones y rellenando los huecos libres de esta, desembocando en un ensamblaje que deja un agujero perfecto de 5 mm de diámetro por el que introducir una barra pasante que fije el joint rotativo de la bisagra, eliminado el resto de los movimientos entre piezas (axial, radial y longitudinal). Por último, el saliente por el que pasará el tornillo está ensanchado hacia los laterales (longitudinalmente al saliente), ya que, si fuera un agujero pasante para el tornillo, este no dejaría margen para que ese punto de referencia (el agujero central) se eleve o baje debido a la acción del tornillo.

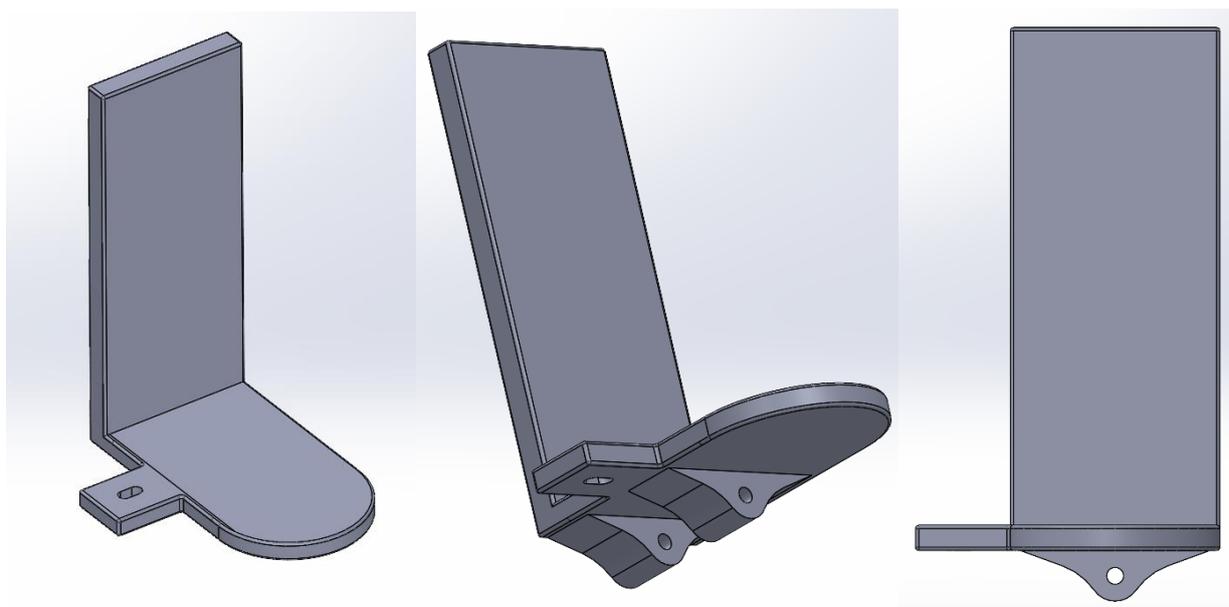
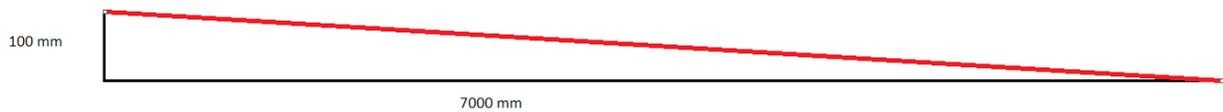


Figura 3. 42. Bisagra superior en 3d y alzado

El giro máximo de la bisagra es ignorable, debido a que las estimaciones postulan que con un rango de giro de  $\pm 1^\circ$  el sistema de inclinación tendría suficiente capacidad para abarcar todas las diferencias de centros a equilibrar.

De hecho, para una barra de siete metros, si el centro se encuentra desplazado respecto a la horizontal 10 cm (100 mm), siendo esta una diferencia muy mayorada, mediante trigonometría se deduce que la  $\arctg(100 \text{ mm} / 7000 \text{ mm}) = 0,8^\circ$ , siendo el ángulo de inclinación necesario en la bisagra.



En las siguientes figuras (3.43) se muestra el sistema de inclinación gracias a las bisagras estableciendo el eje de giro en el punto medio de la base de apoyo del láser, una vez situado sobre la pieza superior. Para su giro se emplea un tornillo que pasa a través de la tuerca insertada en la cavidad de la bisagra inferior; gracias a dicha cavidad, se limita su desplazamiento axial y radial cuando se gira el tornillo. En la bisagra superior se pasa una tuerca de freno por su cara inferior y una tuerca normal en su cara superior que asegure el apriete de la bisagra superior y se mueva solidaria al tornillo según asciende o desciende.

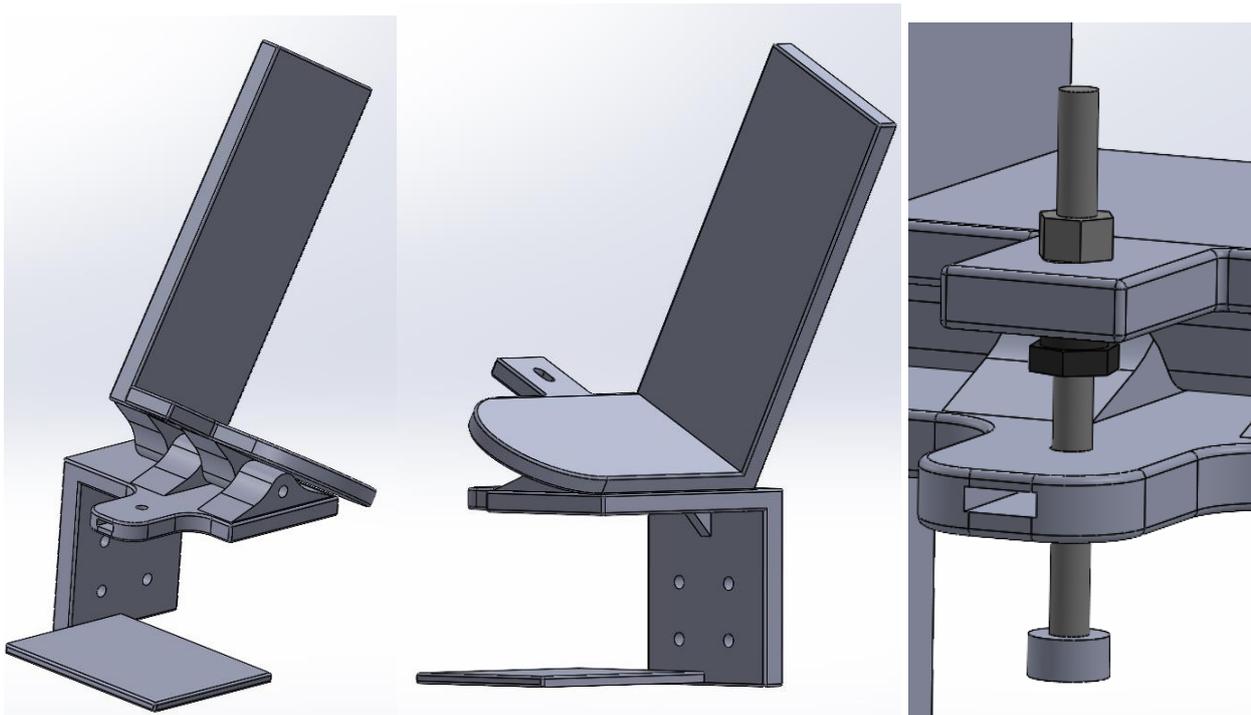


Figura 3. 43. Sistema de inclinación tipo bisagra (tornillo y tuercas en la imagen derecha)

Sin embargo, la inclinación máxima no viene determinada por la capacidad de giro de la bisagra, sino por el agujero pasante del tornillo que permite regular el ángulo. En este caso, el ángulo máximo viene cuando este toca lateralmente la cara de paso ensanchada de la pieza superior, tal como se muestra en la figura 3.44. En este caso, es de  $5,34^\circ$  el ángulo máximo (y mínimo,  $-5,34^\circ$ , ya que el ensanche es simétrico), entrando dentro de los límites exigidos.

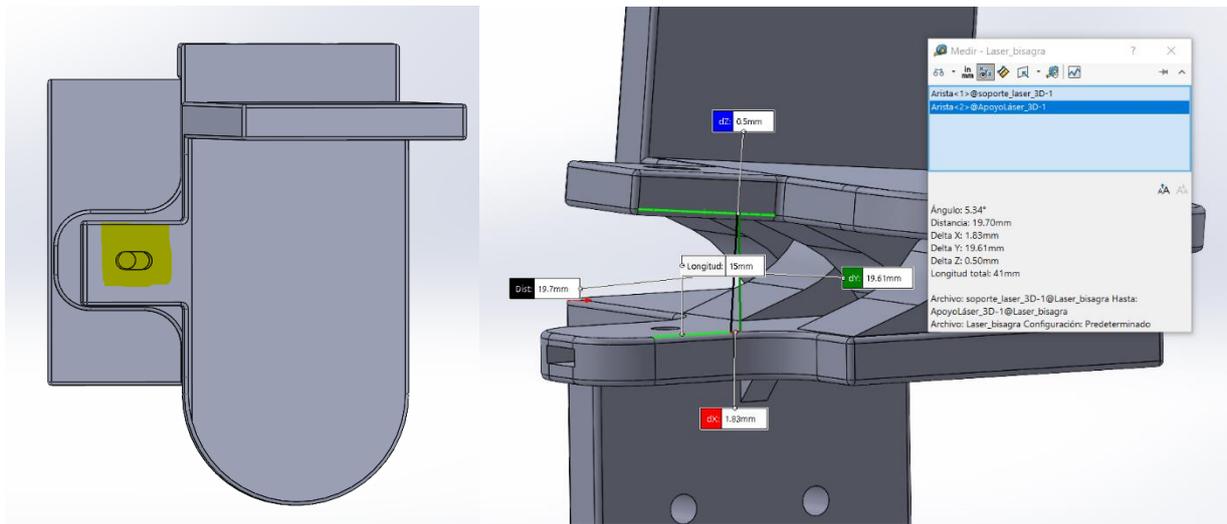


Figura 3. 44. Medidas de inclinación

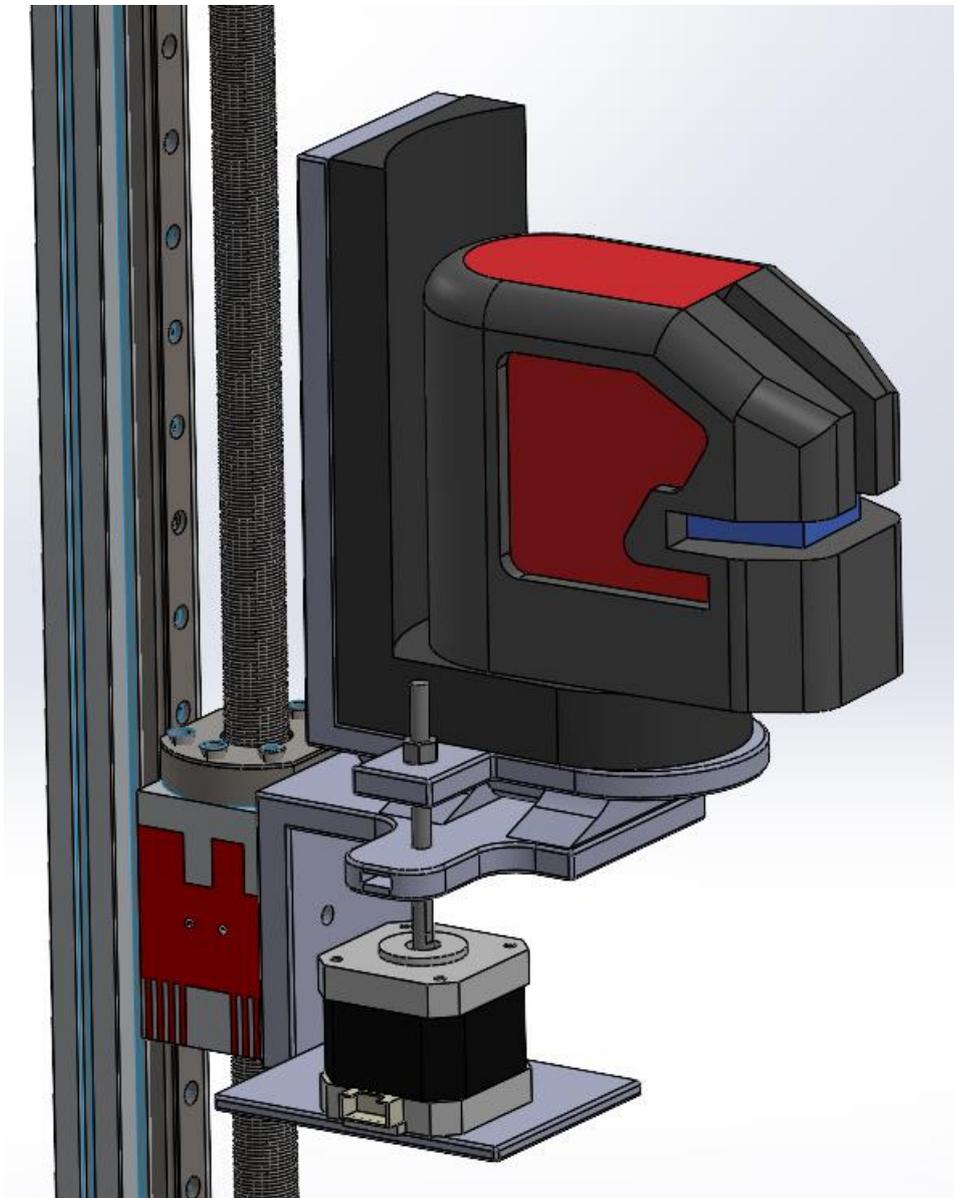


Figura 3. 45. Ensamblaje final con el sistema de elevación (husillo y guía) con motor de paso y sistema de inclinación tipo bisagra (no se incluye la tornillería en los agujeros a fin de no saturar la imagen)

### 3.5.6. DISEÑO PURAMENTE MECÁNICO

Sin entrar en mucho detalle y con el fin de abaratar costes apostando por un modelo más robusto (al ser un sistema que trabajaría en un taller industrial) se oferta a Reinos F&C un soporte puramente mecánico, aboliendo la electrónica que, no solo engrosaría el precio del producto final, sino que estaría expuesta a un entorno agresivo, pudiendo llegar a dañar el circuito y sus componentes debido a impactos, partículas de metal suspendidas en el aire, etc.

En este caso, el bastidor principal es un perfil en forma de U al que se le atornilla una guía con su correspondiente patín. Presenta un saliente en la cara de las guías que sirve de tope. Por último, debido a su elevada longitud, se añade una aleta trasera que aumenta su rigidez y compensa el voladizo del soporte. Al ser simétrico en sus laterales, no se añaden elementos compensatorios en dichas caras.

Este diseño obliga a incluir dos salientes con un hueco para dos tornillos a los extremos del perfil por los que pasar dichos tornillos de apriete que fijen a la altura deseada el soporte láser.

Respecto al soporte se destacan tres cambios fundamentales:

- Se elimina la base de la pieza fija destinada a soportar el motor paso a paso.
- Se añaden dos orejetas a los extremos de la pieza fija (la que se atornilla al patín) por el que pasar un tornillo de apriete a través de los salientes del perfil (coincidiendo los agujeros con el hueco del saliente) mediante tuercas y arandelas.
- Se amplía la longitud del saliente perteneciente al sistema de inclinación por bisagra.

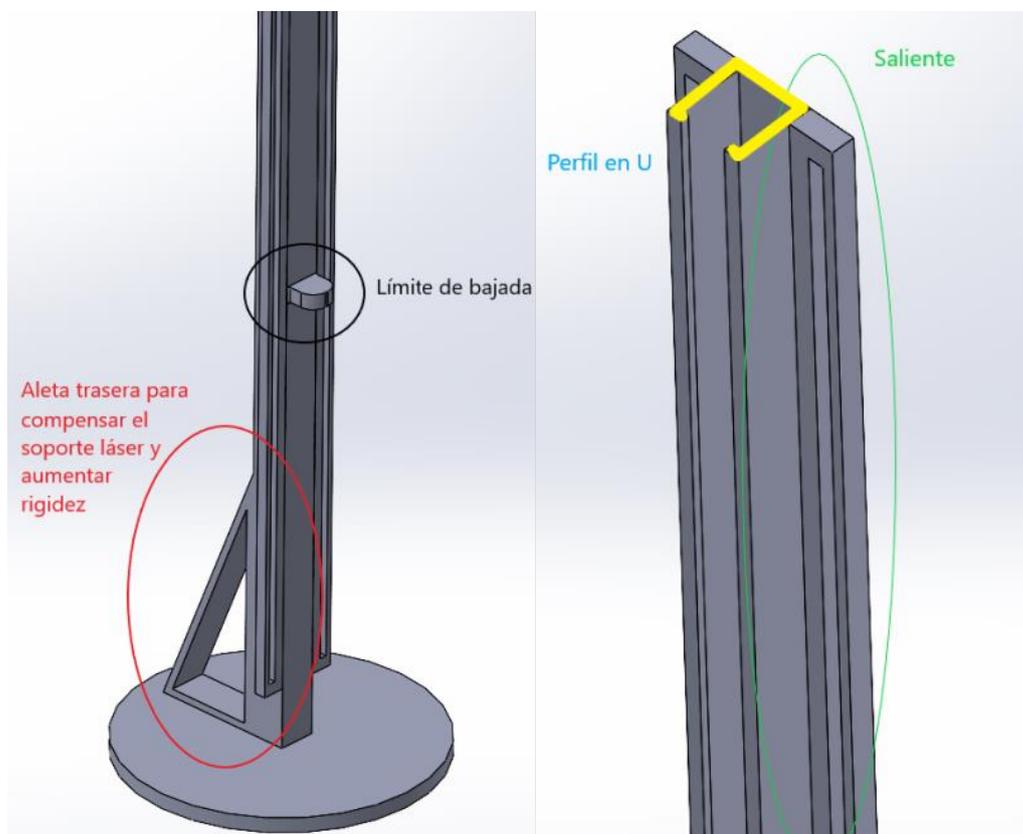


Figura 3. 46. Soporte mecánico en 3D (izquierda) y perfil y vista 3D trasera (Derecha)

El motivo de esta ampliación es adecuar el sistema a la precisión humana. Imagine una barra de 7 metros y el soporte situado en un extremo de esta. Si se desea compensar 1 mm en el otro extremo la trigonometría dicta que  $\arctg(1/7000) = 8,18e-3^\circ$  debe torcerse el láser.

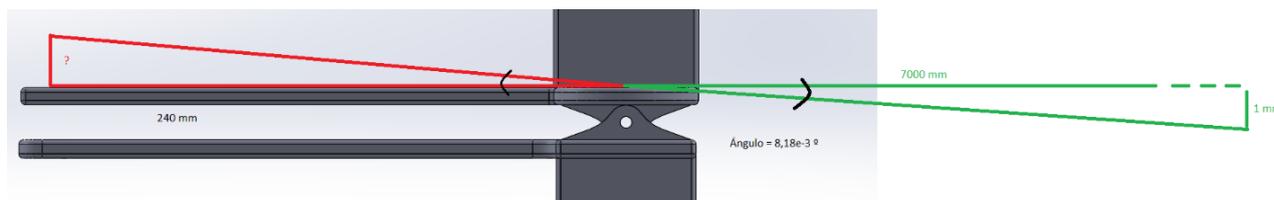


Figura 3. 47. Cálculo de inclinación para su diseño

Si se sitúa el tornillo de giro a 240 mm del eje de giro de la bisagra, aplicando nuevamente trigonometría y empleando el método de similitud de triángulos rectángulos, el tornillo debe ascender aproximadamente  $\text{tg}(8,18e-3) = X/240 = 0,034 \text{ mm}$ .

Siendo los tornillos estándar de mínimo 0,35 mm de paso, con un intervalo de giro por parte del operario de un décimo de giro de la cabeza del tornillo, lograría alcanzar la precisión de variar un mm en el otro extremo de la barra para equilibrar el centro.

En el diseño electrónico, la distancia del saliente es muy reducida, puesto que un motor paso a paso permite dar pasos de hasta  $1,7^\circ$  por vuelta, alcanzando precisiones de 210 pasos por vuelta, escapando esta precisión a la humana.

Por último, se realiza un análisis mediante Ansys que verifica la resistencia del soporte para el láser. En este caso, sobre la base del láser se añade una fuerza de 20 N hacia abajo, representando el peso del láser. Debido a los 240 mm de voladizo del sistema de inclinación por tornillo, este soporte representa un caso más significativo que el modelo electrónico de cara a conocer su resistencia. Si este supera la prueba, el otro presentará incluso mejores características.

En este caso, se indica que los puntos fijos se corresponden con la cara que apoya sobre el patín del soporte fijo y los agujeros de paso del tornillo encargado de inclinar el sistema.

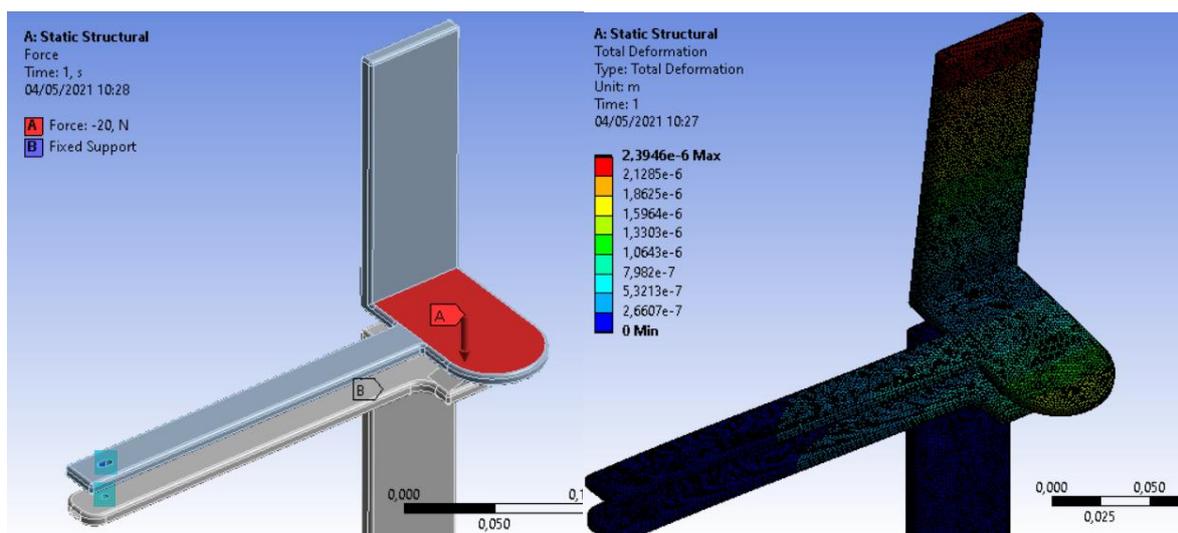
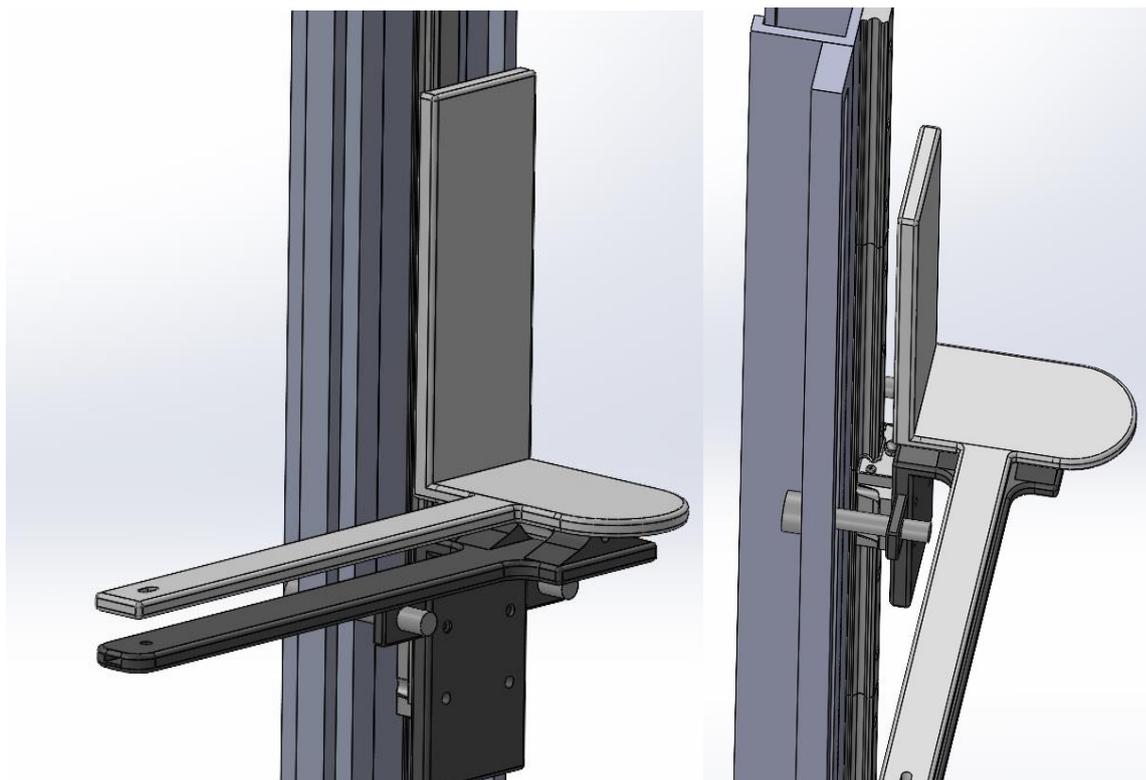


Figura 3. 48. Análisis de resistencia al peso del láser (deformación)

La deformación es mínima, donde el peso del láser puede llegar a combar la cara de apoyo trasera a medida que se aleja de la base, sin embargo, este valor es completamente despreciable ( $2,18e-3$  mm). También se demuestra que el soporte no se doblaría en la parte del saliente debido al peso del láser y la fuerza del tornillo en el otro extremo, denotando un sistema eficaz y robusto.

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el soporte con el diseño electrónico desarrollado presentará incluso mejores características, al haber sido verificado un modelo más débil (presenta mayores salientes).

El montaje final es el siguiente:



*Figura 3. 49. Montaje final (incluye únicamente tornillería de fijación lateral)*

### 3.5.7. ENSAMBLAJE FINAL

A continuación, se muestran una sucesión de imágenes del montaje final desde diferentes ángulos en tres dimensiones. En este caso, se emplea el soporte láser electrónico.

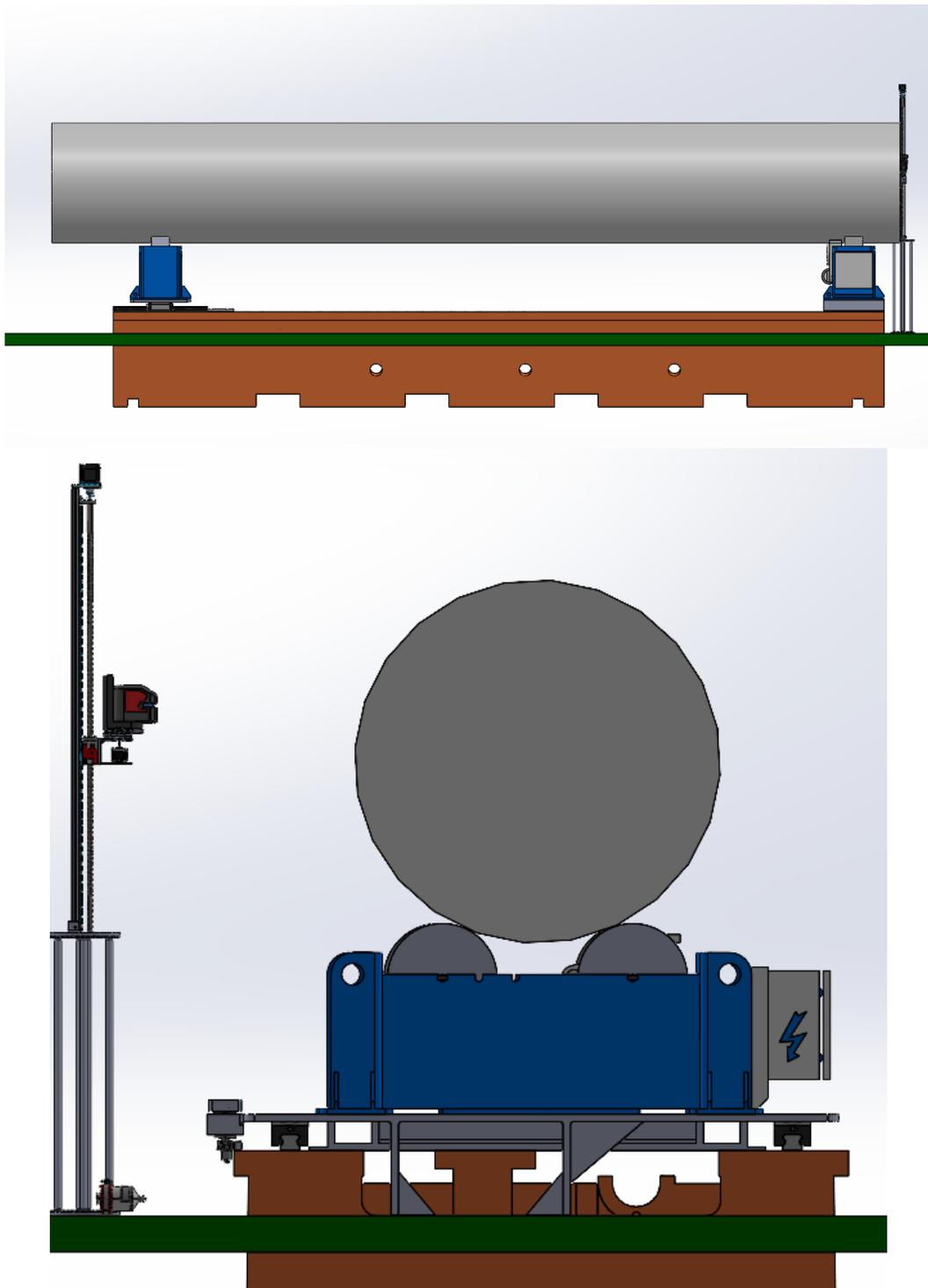


Figura 3. 50. Vista en alzado y en perfil de la totalidad del sistema con una barra de ejemplo

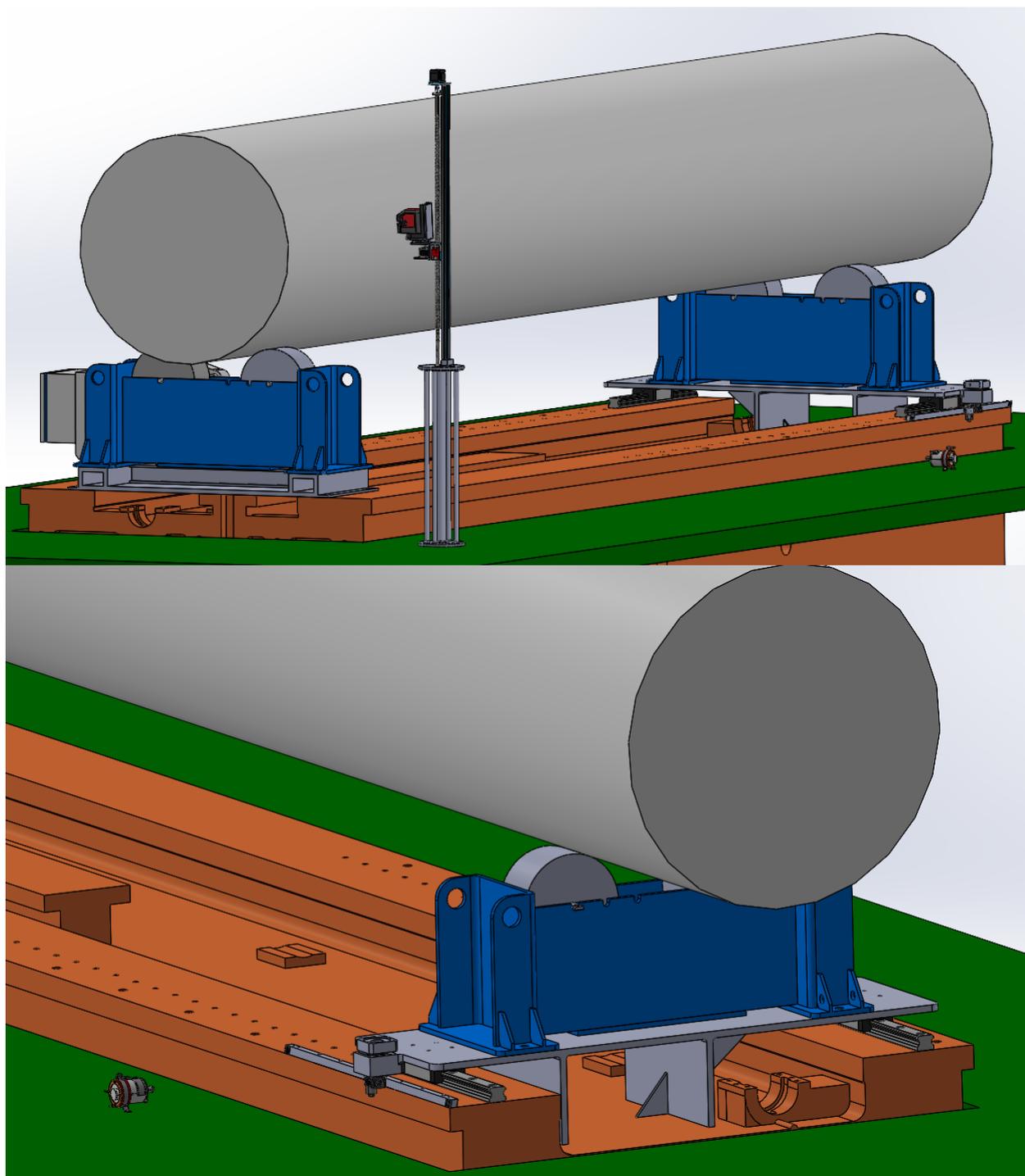


Figura 3. 51. Vistas en 3D de todo el sistema

### 3.6. *Electrónica y control del sistema*

En este apartado se indican los esquemas electrónicos y procesos de control diseñados para automatizar el sistema.

Se opta por el empleo de Arduino como microcontrolador para el sistema, apostado por una propuesta económica para la empresa y desde la percepción del diseño de un prototipo, y no de un producto definitivo.

En el anexo I podrá encontrar los códigos desarrollados, incluyendo comentarios para facilitar su comprensión.

#### 3.6.1. ELECTRÓNICA Y CONTROL DEL HUSILLO

Para el control del husillo se deben añadir dos finales de carrera en sus extremos para limitar su movimiento.

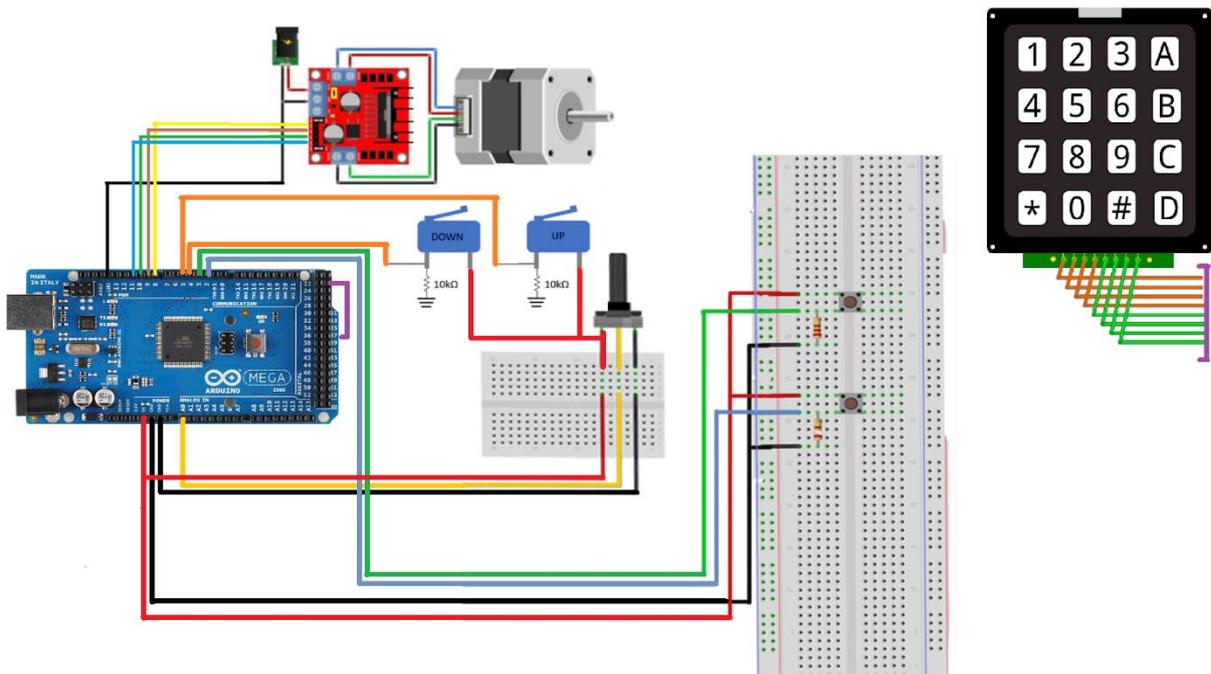


Figura 3. 52. Propuesta de control del sistema de elevación

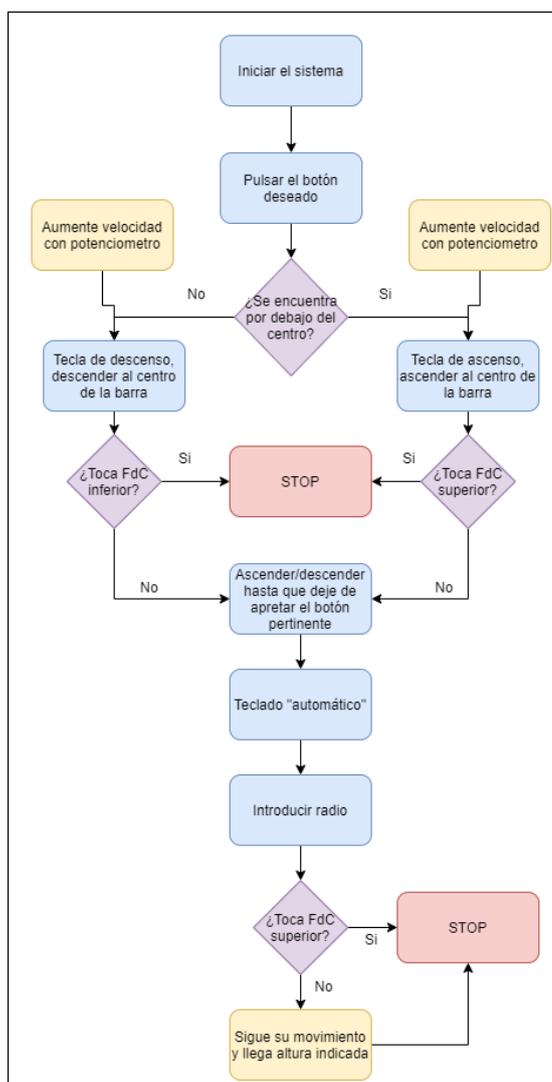
El sistema de control está formado por:

- Arduino MEGA: Como microcontrolador del proceso.
- Driver LS98n: Driver de control estándar para motor paso a paso NEMA 23.
- Batería externa de 12V para alimentación del driver.
- Motor paso a paso NEMA 23: Motor que permite 1,7° en cada paso.

Elementos conectados a entradas de la placa Arduino:

- Finales de carrera a ambos extremos del husillo para que no se pase de rosca el sistema de elevación: Estos vienen acompañados por una resistencia de 10 kΩ para evitar sobreintensidades conectada a tierra. Su otra patilla se alimenta a 5V y por último se conectan a las entradas digitales del microcontrolador.
- Teclado: El teclado se emplea en el modo automático. Este método de funcionamiento se activa cuando se pulsa su tecla D y permite introducir un valor de 3 dígitos que lo que hará será ascender el patín hasta el radio indicado desde el punto en el que se encuentre (siempre y cuando tenga margen de movimiento). El teclado presenta ocho cables (matriz de 4x4 teclas) que se conectan a las entradas digitales de Arduino.
- Botones: Dos botones, para el método manual. Uno de ascenso y otro de descenso del husillo siempre y cuando se mantengan pulsados. Vienen acompañados por una resistencia para minimizar riesgos por sobreintensidades. Son alimentados a 5V y conectados a dos entradas digitales.
- Potenciómetro: conectado a 5V y tierra, permite modificar la velocidad de ascenso o descenso girándolo a tiempo real. Se conecta a una entrada analógica.

En el siguiente flujograma se muestra la rutina de control (el código se desarrolla en Arduino IDE aplicando el lenguaje de programación C, este se puede encontrar dentro del anexo I).



Flujograma 4. Control del sistema ascenso/descenso

La rutina de control se enumera a continuación en diferentes pasos:

1. Emplear los botones de ascenso/descenso (mantener pulsado) para situar la altura del láser a la altura del centro teórico, previamente señalado. Si lo desea, puede ajustar la ruleta del potenciómetro para aumentar o disminuir la velocidad de ascenso/descenso.
2. Pulsar el botón A del teclado e introducir el valor de tres dígitos correspondiente con el radio teórico post-mecanizado. El husillo ascenderá hasta dicha altura y se detendrá.
3. Comprobar si el láser se proyecta en la totalidad de la barra con el fin de comprobar si se mecanizaría o no.

Se destaca que las medidas del soporte y la longitud útil del husillo están diseñadas para abarcar todos los tamaños de barras estándar de la producción. A pesar de ello, se incluyen finales de carrera para velar por la seguridad del mecanismo. Estos sensores al ser accionados detienen el sistema de ascenso o descenso según proceda.

Para lograr que el láser ascienda automáticamente la altura indicada, se emplea una doble regla de tres, teniendo en cuenta que el paso del husillo es de 0,5 mm / vuelta y que se requieren 200 pasos para completar una vuelta por el husillo.

Si una vuelta son 200 pasos y una vuelta son 0,5 mm, para alcanzar por ejemplo 150 mm, se aplica un ajuste en vueltas que detenga el giro cuando alcance dicho número.

$$1 \text{ vuelta} \text{ ----- } 200 \text{ pasos} \text{ ----- } 0,5 \text{ mm de ascenso}$$

$$X \text{ pasos} \text{ ----- } 150 \text{ mm de ascenso}$$

El motor deberá detenerse a los 60000 pasos (200 pasos \* 150 mm / 0,5 mm) en este ejemplo.

Tabla 3. Estructura del programa en ARDUINO IDE

Definiciones	<p>Se definen los pines correspondientes a las entradas digitales y analógicas.</p> <p>Se definen variables.</p> <p>Se definen las librerías a emplear para el control del teclado (KeyPad.h) y del motor (Stepper.h)</p>
Setup	<p>Únicamente se emplea para establecer unos datos de inicio. En este caso, se define una velocidad inicial estándar de 60 rpm para el motor. Asignar el potenciómetro etc.</p>
Bucle (Loop)	<p>El programa realiza un sondeo continuo en busca de estímulos de las diferentes entradas y actuar en consecuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pulsar botón de ascenso.</li> <li>- Pulsar botón de descenso.</li> <li>- Activarse un final de carrera (detenerse).</li> <li>- Emplear el teclado (modo automático).</li> <li>- Variar potenciómetro (variar velocidad).</li> </ul>

### 3.6.2. ELECTRÓNICA Y CONTROL DEL SISTEMA DE BALANCEO

El sistema de balanceo incluye cuatro botones, dos de ascenso y descenso y otros dos de aproximación (cada uno con una dirección de giro).

En este caso la rutina es la siguiente:

- El operario actúa, manteniendo pulsado el botón de ascenso o de descenso, según el ángulo de inclinación (positivo o negativo) que desee alcanzar.
- Cuando se encuentre cerca del ángulo indicado. Para lograr la máxima precisión, este mantendrá pulsado el botón de aproximación (el que proceda de los dos, según la dirección de giro). Cada segundo, el motor dará un paso, que en el otro extremo de la barra significará una variación muy leve del ángulo (1 mm por giro aproximadamente) logrando equilibrar los centros a sendos extremos y definir el eje de rotación de la barra.

El esquema de control es muy similar al visto; en este caso, no se añaden finales de carrera, teclado, ni potenciómetro, puesto que en la fase de aproximación no es importante y en la de movimiento de giro del motor se deja preestablecida.

En este caso, al no requerir de tantas entradas, se puede emplear un Arduino UNO, aunque si existen pines libres dentro de la placa Arduino MEGA se puede implementar todo este sistema de control dentro de la misma placa MEGA y fusionar los códigos, incluyendo los componentes de este circuito. Para este primer prototipo, y poder verificar inicialmente los códigos y su correcto funcionamiento de forma individual, se presenta la propuesta mediante la placa Arduino UNO.

A futuro, estos códigos se deberán fusionar (lo que implica modificar únicamente los pines sobre los que se trabaja) en un sistema que conste de dos motores, con dos drivers, seis botones (cuatro del sistema de inclinación), un potenciómetro para variar la velocidad de ascenso/descenso y dos finales de carrera que se pegan al sistema mediante silicona debido a su reducido tamaño.

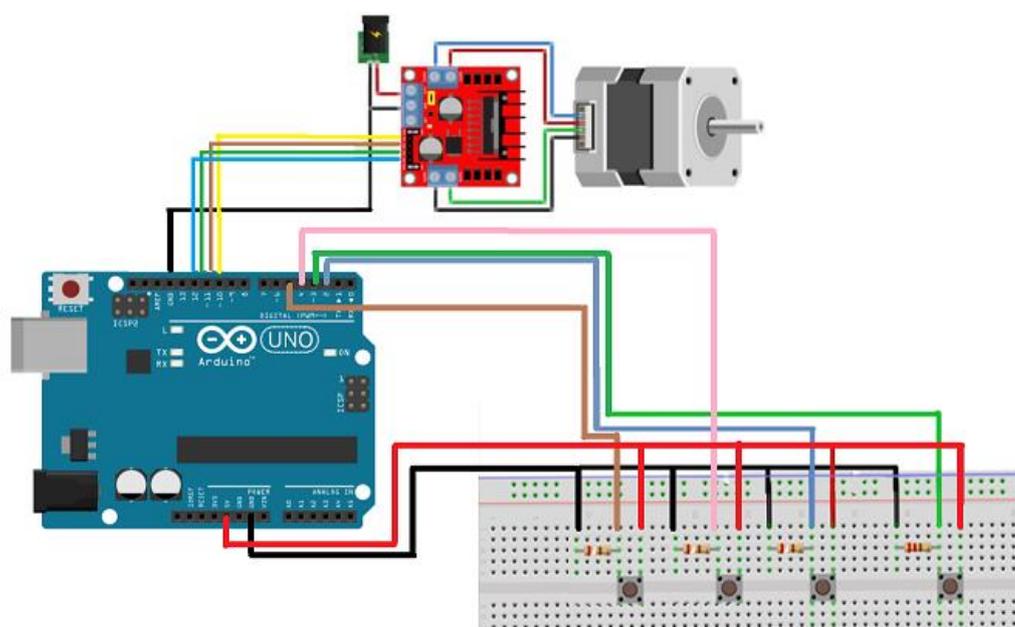


Figura 3. 53. Propuesta de control para la inclinación de la bisagra

En este caso:

- Botón uno: el motor gira continuamente hacia su derecha mientras se mantenga pulsado.
- Botón dos: el motor gira continuamente hacia su izquierda mientras se mantenga pulsado.
- Botón tres: el motor da un paso (1,7° de giro) a la derecha cada segundo mientras se mantenga pulsado. (Ajuste)
- Botón cuatro: el motor da un paso (1,7° de giro) a la izquierda cada segundo mientras se mantenga pulsado. (Ajuste)
- Si se pulsan dos o varios botones a la vez, por seguridad el sistema no hará nada.

### 3.6.3. ELECTRÓNICA Y CONTROL DE MOVIMIENTO DE VIRADORES.

Para el movimiento de viradores se emplea una propuesta formada por un PLC y un controlador, incluyendo obviamente una fuente de alimentación y el propio motor a controlar.

Empleando LogoV8 se muestra una simulación de funcionamiento y un esquema de conexionado básico.

Entradas PLC:

- Botón a Derechas.
- Botón a Izquierdas.
- Botón de paro.
- Final de carrera de derecha.
- Final de carrera de izquierda.

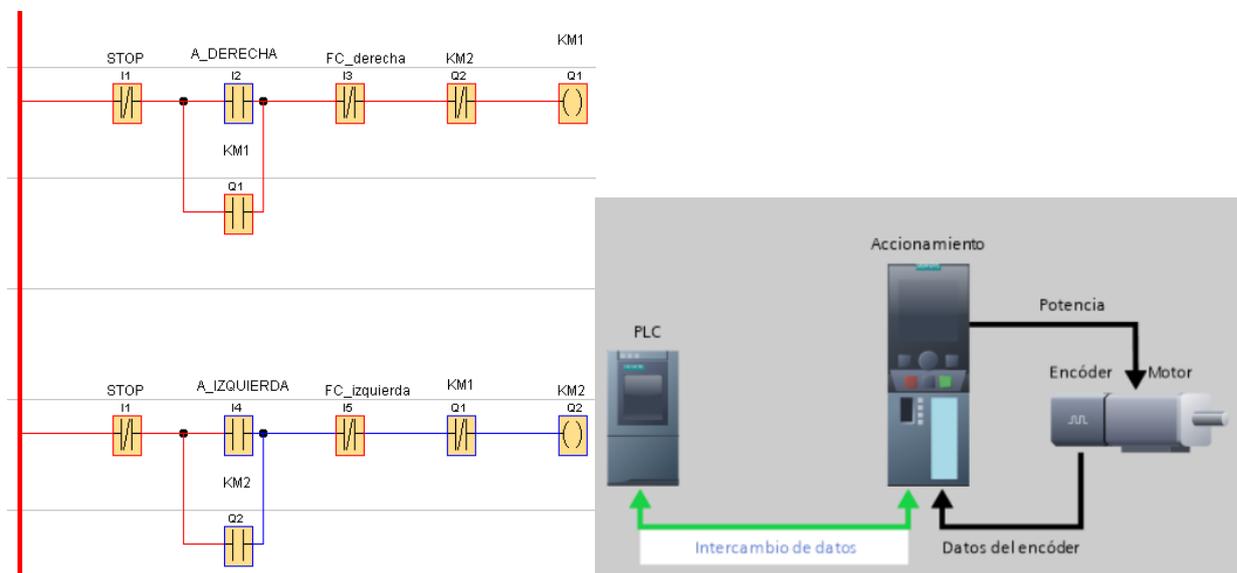


Figura 3. 54. Propuesta de control para piñón cremallera

En realidad, para su programación, se trabaja con señales PWM. Mediante TIA PORTAL se selecciona un PLC (S7-1500) y una unidad de accionamiento (S210 PN), situando estos elementos en la pantalla de configuración de dispositivos, comunicándolos mediante PROFINET y creando una unidad de accionamiento que actúe sobre el eje del motor respecto a su posición. Dentro del PLC se puede acceder a un control de este prácticamente instantáneamente desde el ordenador a través de la puesta en marcha, donde se permite mover el motor a una velocidad angular y en el sentido deseado mediante una interface propia de TIA PORTAL.

Una vez cargado en el dispositivo (actualmente no se dispone del modelo real para ser cargado, y como consecuencia no se permite asumir el control), se indicaría la consigna de velocidad de giro y mediante los botones de “atrás” y “adelante” se cambiaría la dirección de giro, parando el motor al pulsar en Parada.

Definiendo el paso de la cremallera, se completan los datos de importancia en la configuración antes de proceder con la puesta en marcha:

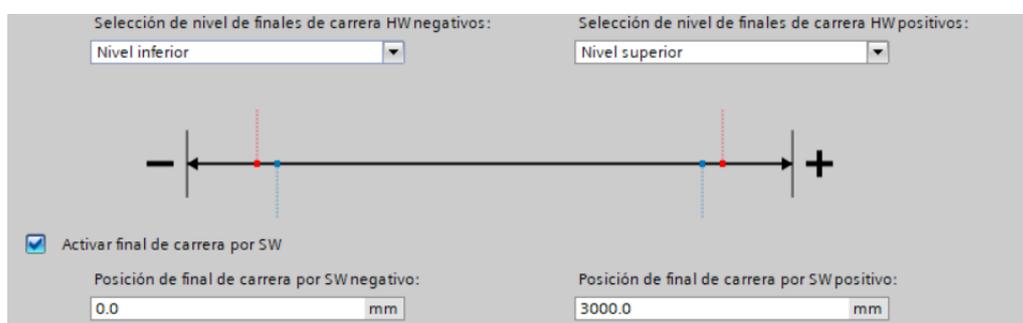


Figura 3. 55. Definición de finales de carrera software en 0 y 3 m

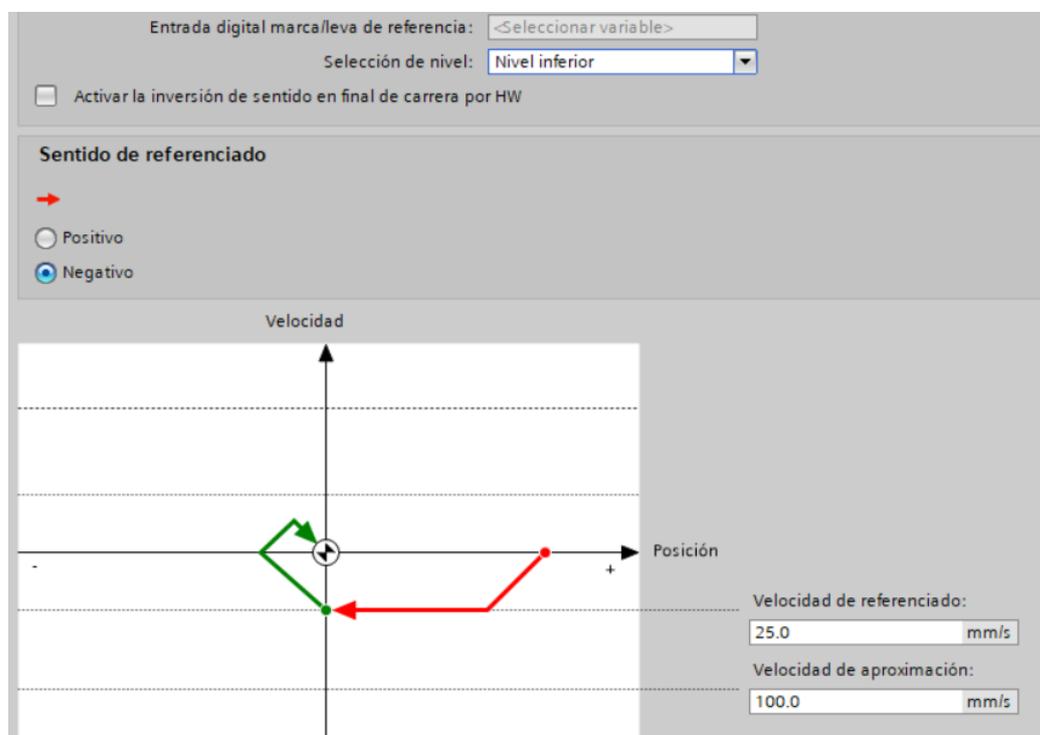


Figura 3. 56. Definición de punto de partida (0) y la dirección del nivel superior (de izquierda a derecha)

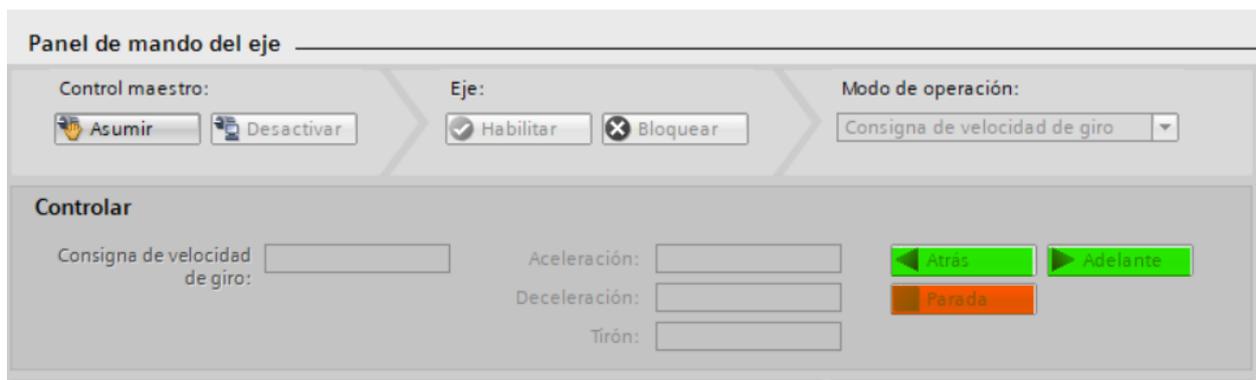


Figura 3. 57. Control del servomotor mediante un ordenador en TIA PORTAL (puesta en marcha)

Por seguridad, se pueden indicar una serie de finales de carrera tipo software para que, gracias al encoder del servomotor, el sistema conozca la posición en la que se encuentra a lo largo de la cremallera (sabiendo la distancia que avanza por revolución) y nunca exceda la longitud de la cremallera en ambos lados.

Al pulsar el botón a derechas, el motor gira a la derecha, hasta que el operario lo pare pulsando STOP o se “toque” el final de carrera de la derecha ficticio. Si se pulsa el botón de ir a la izquierda, este lo ignorará si está yendo hacia la derecha.

### 3.7. Prototipo

Mediante fabricación aditiva, se diseña un prototipo (versión mecánica) del soporte láser en conjunto con un trípode fotográfico estándar emulando el sistema de elevación por husillo. Se monta un sistema similar visto y se prueba el método propuesto.

Cabe destacar que para esta prueba se emplean únicamente dos viradores (sin la bancada y el subsistema de desplazamiento lateral).

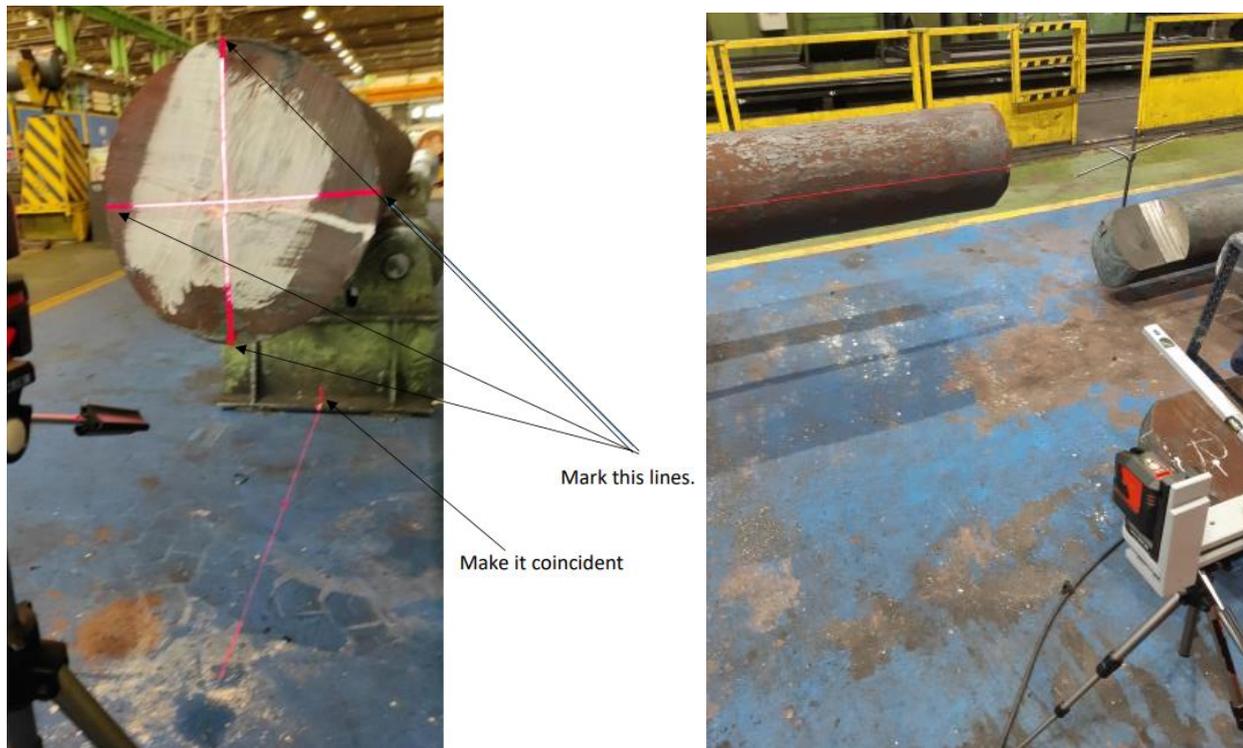


Figura 3. 58. Prueba láser en talleres mecánicos



Figura 3. 59. Escuadra con nivel de burbuja para estimar el error del método



Figura 3. 60. Prototipos desarrollados y testados

El resultado es realmente satisfactorio, donde se alcanza la precisión en el calibrado de los centros requerida con un error máximo de 5 mm (debido al factor humano) a pesar de la larga distancia a recorrer por el haz, tal como se estimó en los cálculos. De este modo se puede conocer la rectitud en esa parte de la barra y comprobar si podrá ser mecanizada en toda su longitud en caso de montarla en el torno.

En nuevas iteraciones y mediante un sistema de medida más avanzado (calibre y empleo de escuadras con niveles de burbuja), se reduce este error hasta  $\pm 1$  mm, siendo un resultado satisfactorio.

El método es eficaz, por lo tanto, se deja a disposición de la empresa toda la información mostrada a fin de que puedan perfeccionar e implementar el método, continuando con pruebas más detalladas que verifiquen su eficacia frente al actual y colaborando de este modo con la eliminación de uno de los cuellos de botella más significativos dentro de la línea de forjado comercial. Actualmente, se trabaja en la fabricación de un diseño low-cost, para disponer de un sistema más robusto y realista que se acerque más al producto final presentado, con el fin de realizar pruebas de mayor calidad y precisión dentro del entorno de trabajo.

## **4. DISEÑO DE CARRO DE TRANSPORTE AUTOMÁTICO PARA PIEZAS DE ALTO TONELAJE**

### **4.1. Introducción**

La creciente demanda desde diferentes clientes hacia Reinoso Forgings & Castings SLU ante la necesidad de su gama de productos de forjado comercial (compuesto por barras en redondo y llanta, o forma cuadrangular) ha obligado a la empresa a orientar sus esfuerzos hacia la ampliación de dicha línea de producción.

La empresa subcontratada por Reinoso Forgings & Castings es la encargada de proporcionar los medios útiles y necesarios para transportar las piezas entre los diferentes puntos de la ruta de trabajo hasta alcanzar el producto final. Cabe destacar que este párrafo queda referido a los transportes en el exterior entre naves y no al flujo interno dentro de las mismas. A tal efecto, se dispone de una serie de carros o vagonetas con capacidad de carga de alto tonelaje. Dentro de su gama, existen diferentes tamaños que, dependiendo del modelo, tienen más o menos capacidad para soportar una carga determinada. Dichos modelos son: 20 toneladas, 60 toneladas, 80 toneladas o 140 toneladas.

Dentro de sus principales características se destaca su fabricación completamente en acero S275 (acero soldable), sus ruedas macizas y su fabricación, basada en planchas de dicho material soldadas. En reposo, esta plataforma queda apoyada por sus ruedas traseras locas, dos pares a cada lateral, o dicho de otra forma, cuatro ruedas alienadas en el eje. Su parte delantera carece de ruedas, en contraposición, existen unos apoyos en los extremos delanteros que aseguran la estabilidad y rectitud de la plataforma.

Se destaca su sistema motor basado en un tractor con un enganche que se acopla a la parte delantera de la plataforma. A parte de dicho enganche, puede observarse un agujero entre estos puntos de anclaje, por el cual penetra una grapa que permite elevar una mínima altura los apoyos delanteros, eliminando el rozamiento de dicha área con el suelo y permitiendo desplazar la carga al antojo del operador.

Finalmente, se debe indicar que la plataforma ofrecida es completamente plana. Este factor ha obligado a Reinoso F&C a incorporar elementos auxiliares para afianzar y limitar los desplazamientos axiales y longitudinales de la carga a transportar. Estos varían desde adaptadores de madera con la forma de la barra, tenazas, bordes metálicos en los límites de la plataforma, cuñas adaptadas para albergar varias barras, etc.

Tras esta breve introducción, se concluye señalando varios puntos que apuestan por la necesidad de plantear y desarrollar un medio de transporte automatizado que ofrezca una mayor adaptabilidad al medio y las necesidades de la empresa:

- Se requiere de un proceso de enganche y desenganche a un sistema tractor para mover la carga. De lo que lógicamente se deduce la necesidad de dicho sistema tractor.
- Gasto económico, al depender de una empresa no perteneciente a Reinoso F&C.
- Requerimiento de personal y operarios subcontratados para el guiado de la carga (transporte) y procesos de enganche/desenganche.

A tales efectos, el proyecto se va a dividir en tres bloques claramente diferenciados: Mecánica del sistema, Electrónica del sistema y control y Definición de la rutina de funcionamiento.

## **4.2. Análisis del entorno y estimaciones básicas de adaptación**

Antes de comenzar el diseño del sistema, se debe realizar un análisis del entorno y valorar las diferentes posibilidades que se presentan para el desarrollo de este proyecto.

Reinosa es una ciudad situada a 820 metros de altitud sobre el nivel del mar. Se debe tener en cuenta que durante el verano se alcanzan temperaturas no superiores a 40 grados centígrados y durante el invierno se alcanzan temperaturas inferiores a 15 grados centígrados bajo cero. Sin embargo, la temperatura suele variar a lo largo del año entre  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $23^{\circ}\text{C}$ . La lluvia normalmente se centra en los últimos meses del año. La nieve también es un aliciente para tener en cuenta, alcanzando acumulaciones de hasta 20 cm (mermada en la fábrica gracias a la continua distribución de sal, para evitar las heladas de la mañana y que cuaje la nieve).

En este caso, el recorrido que debe cubrir el carro automático es la distancia que separa la nave de talleres mecánicos (número 8) y la nave de tratamientos térmicos. Afortunadamente, el recorrido se puede realizar prácticamente en línea recta por el exterior de los edificios, sin presentar desniveles, siendo la separación entre puertas de 400 metros aproximadamente.

El hecho de que el carro va a verse expuesto a inclemencias del tiempo obliga a diseñar un sistema que asegure su robustez, con un grado de protección adecuado para todos sus elementos.

Normalmente este tipo de carros automáticos se diseñan para trabajar en entornos interiores y perfectamente controlados y automatizados.

El sistema clásico de movimiento autónomo se basa en una rutina de control, mediante la cual el carro se desplaza gracias a sensores de reconocimiento lineal, empleando visión artificial. Siguiendo una línea pintada en el suelo y trazando su trayectoria a medida que se desplaza. Sin embargo, este sistema no es apto para solventar el caso presentado, ya que la línea está expuesta a las inclemencias del tiempo, pudiendo ser borrada, tapada por una capa de nieve etc. desembocando en un sistema ineficaz. Como resultado, se considera que la mejor opción es emplear un sistema de guiado por raíles. De hecho, se dispone de una antigua línea soterrada de raíles empleada en los primeros años de la fábrica para el transporte interno de material. El proyecto de diseño de tal línea se considera que escapa de los límites de este proyecto, y en caso de ser acometida la fabricación del carro se deberá adecuar esta línea a los estándares legales y de seguridad exigidos actualmente.

En la figura 4.1. se muestran los tramos antiguos de vía, y se destaca entre ellos aquel que se puede adaptar al diseño de este carro. Partiendo de la Nave 8 de talleres mecánicos, presenta un tramo prácticamente recto hasta que llega a la puerta principal de tratamientos térmicos a través de una curva. Se destaca, además, que la vía que discurre por talleres mecánicos es interna, mientras que desde que sale de talleres mecánicos hasta llegar a tratamientos el carro circula por el exterior.

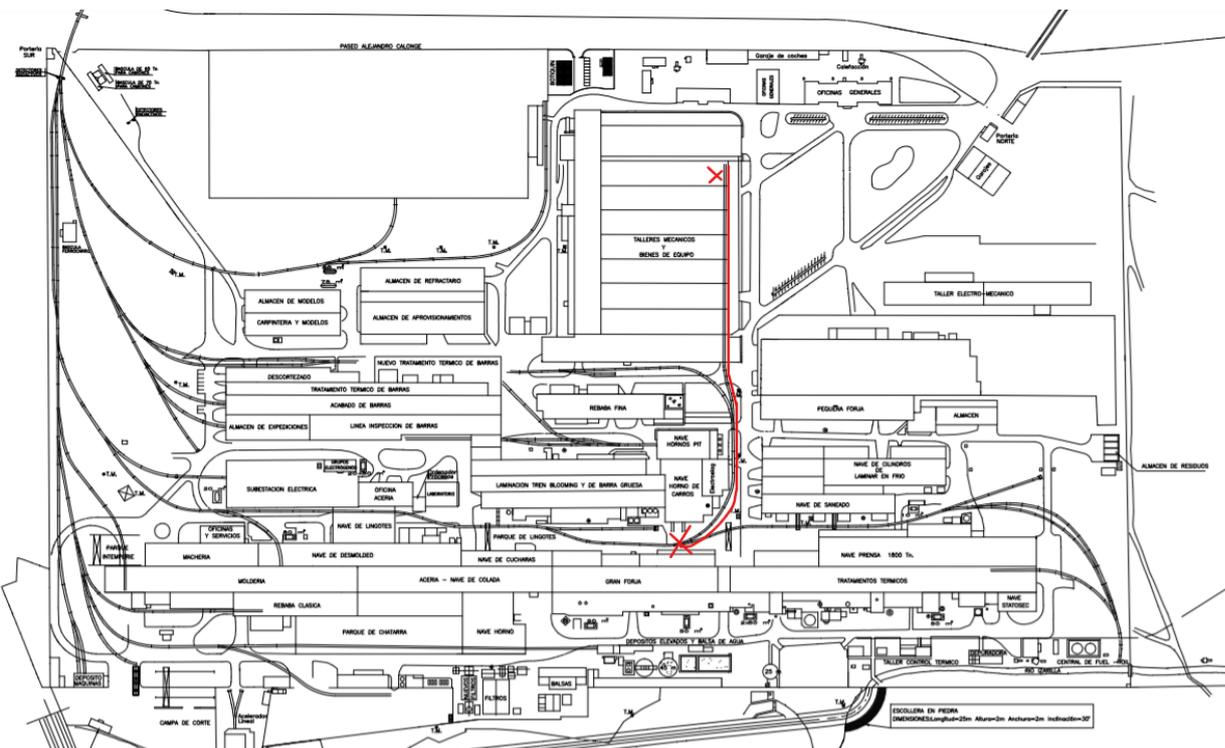


Figura 4. 1. Sistema de railes de Reinosa F&C

### 4.3. Mecánica del sistema

A lo largo del siguiente bloque se van a tratar los diferentes elementos mecánicos que conforman el sistema (diseño y verificación). Su fabricabilidad en caso de que no se traten de elementos comerciales, así como su ensamblaje para un modelo real del sistema.

#### 4.3.1. BOGIE

Un bogie es un conjunto de dos pares de ruedas, montadas sobre varios ejes próximos paralelos y solidarios entre sí, empleado para el desplazamiento de vehículos guiados por raíles. De esta forma, este elemento sirve de nexo entre la vía y la base o carrocería del vehículo que se desplaza sobre los carriles. La base o vagona es apoyada por medio de un eje vertical mediante un pivote, facilitando la toma de curvas durante un recorrido.

Mediante la compra de un elemento comercial se adquiere un producto totalmente certificado y que se encuentra respaldado por la normativa de seguridad, superando el marco legal al que estos productos se ven obligados a cumplir. Además, este tipo de bogies se entregan totalmente servidos y montados para su funcionamiento.

El objetivo es buscar un modelo que se adapte a las necesidades del carro que se va a fabricar, descartando el diseño desde cero de un bogie completamente adaptado que supondría el desarrollo de un proyecto demasiado largo y complejo. De esta forma, se evita la pérdida de tiempo que requeriría el diseño, estudio (resistencia, fatiga, vida útil, etc.), burocracia y cumplimiento de las leyes vigentes, métodos y lugares de fabricación, que además se postularían como una opción nada rentable en términos de tiempo de proceso y económicos.

Entre los modelos valorados se opta por el bogie RTHZ15. Entre sus datos y certificados se destaca:

Tabla 4. Tabla de características del Bogie

Nombre del producto	RTHZ15 bogie
Material	Acero
Carga del eje	25t
Peso de tara	<=15 toneladas
Velocidad máxima de funcionamiento	40 km/h
Diámetro de ruedas	840 mm
Aplicación habitual	Ingeniería de los vagones
Calibre	1435 mm
Acreditaciones	ISO9001, ISO14001, OHSAS18001, ARR, IRIS ETI

La empresa implicada indica que soporta cargas superiores a 130 Toneladas. Las pruebas realizadas para garantizar la mejor calidad del modelo son (en el anexo II se encuentran sus certificaciones):

1. Máquina de prueba de materiales electrónicos.
2. Máquina de prueba de impacto instrumental.
3. Máquina de dureza Brinell.
4. EMB y espectrómetro.
5. Microscopio metalúrgico.
6. Espectrómetro de emisión atómica de fuente de chispa.
7. Cartón infrarrojo y analizador de azufre.
8. X espectrómetro fluorescente.
9. Máquina de prueba de servomateriales electrohidráulica.
10. Metalúrgico microscopio.

El modelo seleccionado se destina principalmente al transporte de elementos ingenieriles, normalmente en el ámbito de vehículos pesados ferroviarios o puentes. Este bogie presenta cinco ejes, cuyo bastidor principal consta de un marco soldado, dos juegos de ruedas de potencia y tres juegos de ruedas locas. El bogie incluye un sistema de suspensión para cada eje, basado en muelles de alta carga. También se destaca su sistema de frenado mecánico mediante zapatas.

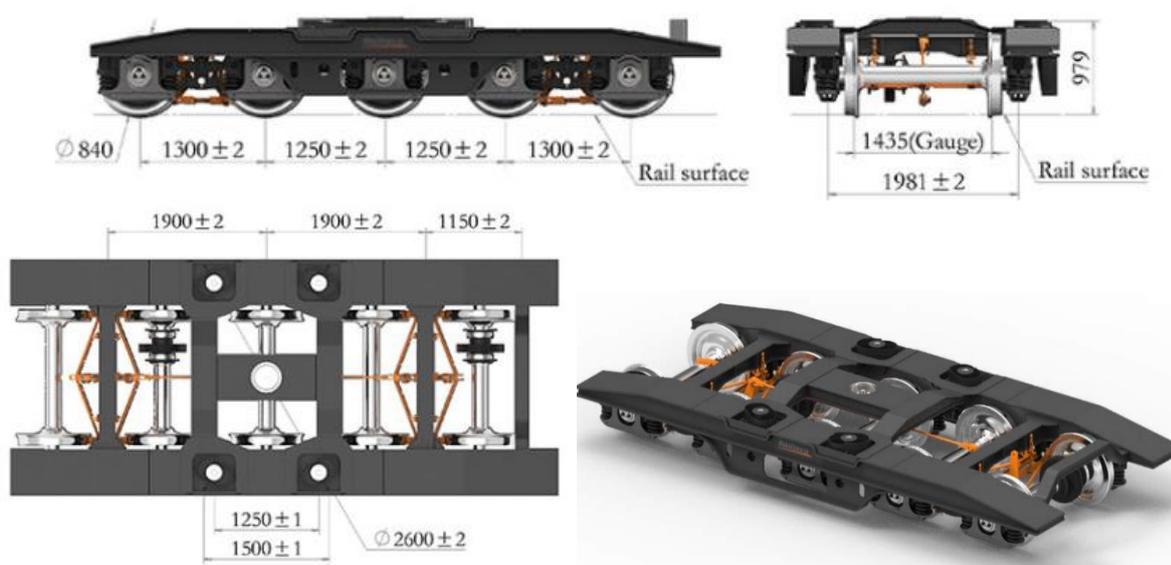
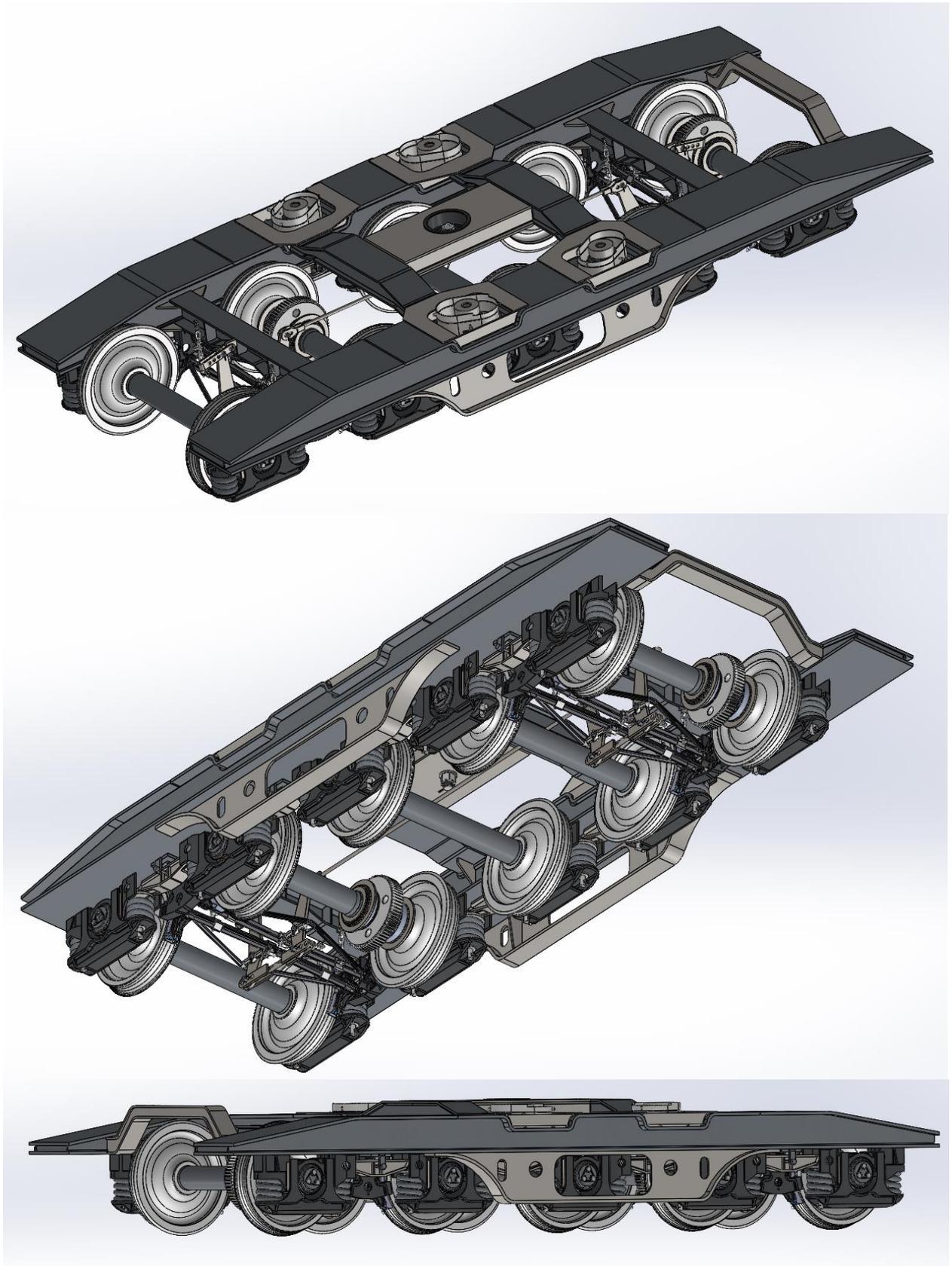


Figura 4. 2. Alzado, planta, perfil y 3D del bogie RTHZ15

El modelo se virtualiza mediante SolidWorks para ser empleado en el ensamblaje final:



*Figura 4. 3. Sucesión de vistas en 3D del modelo virtualizado en SolidWorks*

El bastidor consta de dos vigas longitudinales que se sitúan sobre los rodamientos de los ejes, atravesado por cuatro vigas transversales y una aleta en uno de los extremos para facilitar el acople de un motor. Su fabricación es en acero, unido mediante soldaduras. El bogie emplea dos aletas laterales fabricadas mediante fundición para rigidizar el conjunto, especialmente en la zona central, más afectada por la carga. Finalmente, presenta una viga de unión central entre travesaños, para facilitar su acople, que se realiza mediante una unión en el centro que permite acoplar un tornillo a la base.

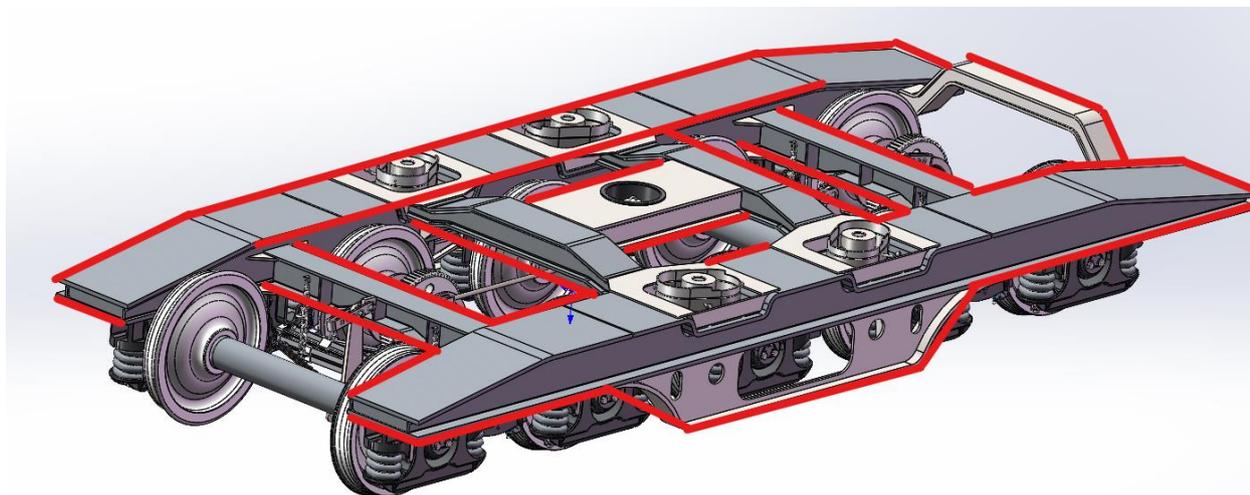


Figura 4. 4. Bastidor principal destacado en rojo

Los cojinetes del eje se emplean para soportar el juego de ruedas y realizar un ajuste radial en curvas. Se encuentran dispuestos para ser rígidos en la dirección longitudinal respecto al marco del bogie. Estos cojinetes se encuentran en los extremos del eje, por fuera de las ruedas, para facilitar su manipulación durante rutinas de mantenimiento.

Este bogie presenta una suspensión que facilitará el posicionamiento de la carga mediante grúas en la base principal, evitando golpes secos que puedan afectar a los ejes, rodamientos, acoplamientos, elementos electrónicos y sistemas auxiliares (como el de frenado). Hay que tener en cuenta que se cargan piezas de aproximadamente 10 toneladas, por lo que un impacto no amortiguado o mermado por una suspensión puede llegar a provocar daños en la estructura a largo plazo (grietas, soltar soldaduras, abollones que afecten a la rigidez, descentrar elementos como el sistema de freno, los ejes respecto a los rodamientos, dañar la electrónica del sistema etc.).

El sistema de suspensión emplea resortes en disposición vertical, lo que permite brindar un mejor confort durante la marcha, absorbiendo la torsión de la vía durante pequeños giros. Los ejes, se apoyan contra el bogie, donde los soportes de los cojinetes del eje se encuentran conectados al bastidor del bogie a través de dichos resortes.

Entre las ruedas se observan las pastillas de los frenos, estos frenos se accionan mediante una palanca manualmente. Sin embargo, las estimaciones para una velocidad máxima de 5 km/h (sin carga) o 3,6 km/h (con carga) indican que no sería necesaria su utilización durante la frenada, dado que la propia inercia del sistema detendría el carro, estando este tipo de bogie y sus frenos diseñados para una velocidad de hasta 40 km/h.

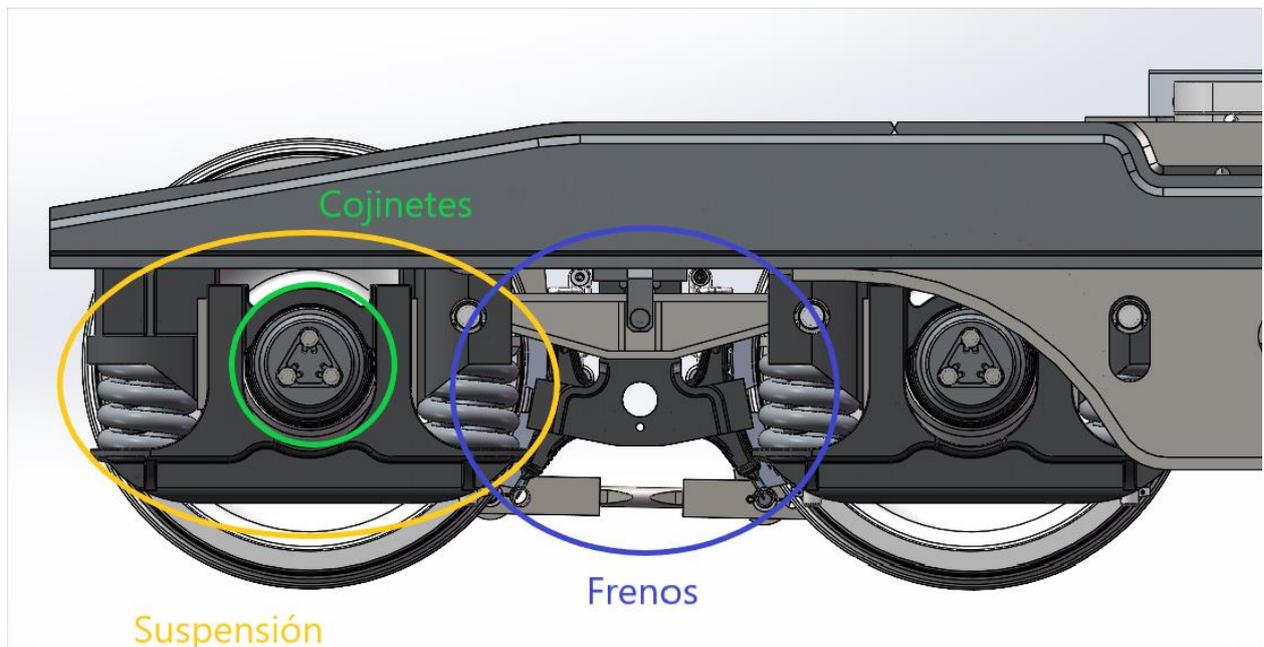


Figura 4. 5. Sistema de frenos y suspensión destacados

No obstante, se recomienda el accionamiento del freno manualmente como elemento de seguridad mientras el carro se encuentre en reposo durante un largo periodo de tiempo, especialmente en el proceso de carga y descarga de piezas. Con ese objetivo, se decide diseñar personalmente un sistema de accionamiento más sencillo para los operarios.

Se debe destacar que es de suma importancia que el operario recuerde liberarlo una vez se desee iniciar la marcha.

El sistema de frenos se activa mediante una palanca; al tirar de esta se libera una reacción en cadena que va cerrando todas las zapatas sobre las ruedas, bloqueando su movimiento. Cuando la palanca se suelta, vuelve a su posición ella sola.

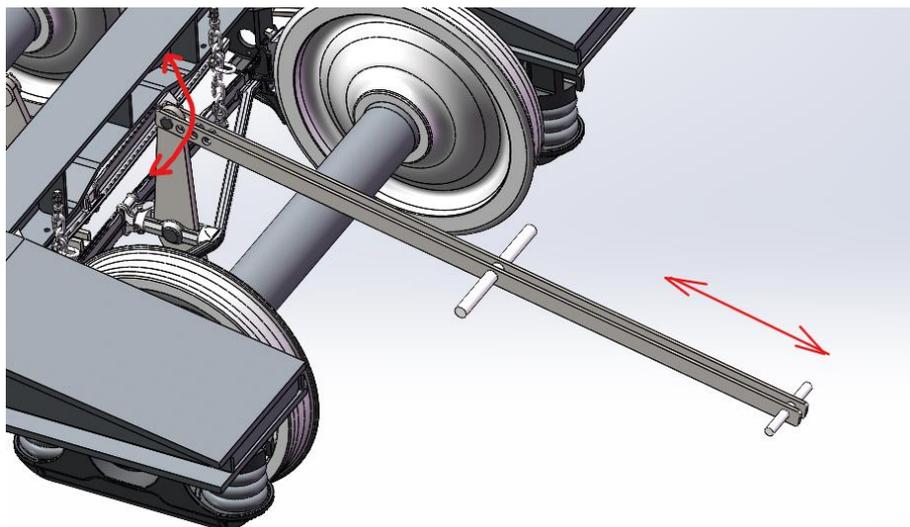


Figura 4. 6. Palanca de frenos diseñada

Para que el operario pueda tirar de la palanca, se diseña y añade un tirador manual. Además, se deben situar dos toques: uno para sujetar la palanca en posición de reposo cuando el freno está desactivado de forma que no sea arrastrada ni interceda con uno de los ejes del bogie y otra para que cuando el operario activa el freno, se bloquee la palanca que tira del sistema con el fin de que no retorne y siga frenando.

El sistema para detener el tirador en reposo consiste en una simple cadena atada a la base que evita que la palanca baje demasiado, pudiendo frenar por rozamiento uno de los ejes al tocarse con este. Se puede observar un esquemático en la figura 4.7, representada la cadena en color marrón.

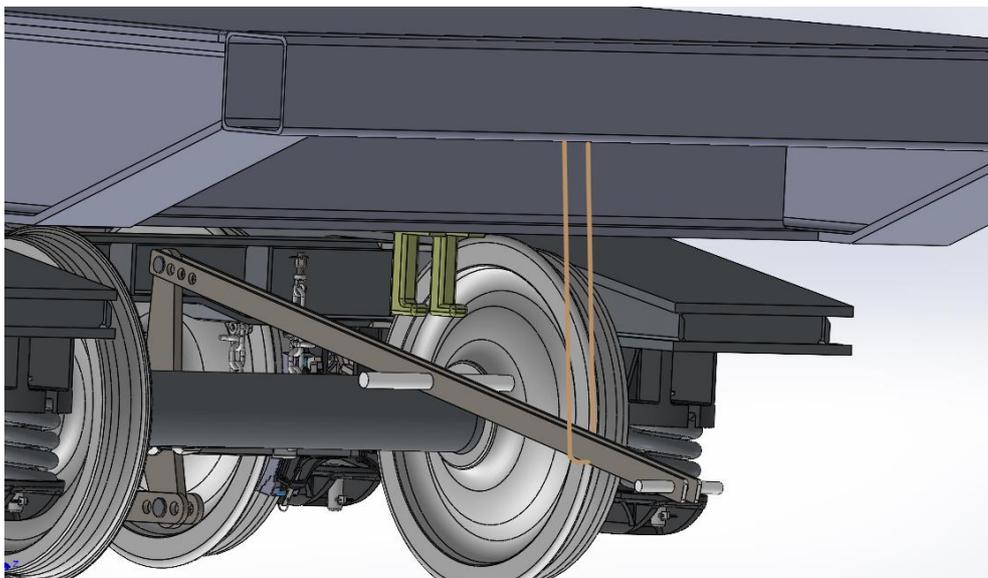


Figura 4. 7. Esquemático de cadena y sistema de frenado manual

El sistema de mantenimiento de frenado se realiza mediante un acople en la base (la base se detalla en el apartado 4.3.2. base principal), donde se incluyen dos brazos que permiten encajar el mango de la palanca, evitando su retorno. La longitud del tirador se diseñó para tener una pequeña holgura, que permite sortear el apoyo del mango del tirador en el bloqueador (máxima compresión) y soltarla, disminuyendo un poco la compresión pero asegurando que el bogie se encuentre bloqueado.

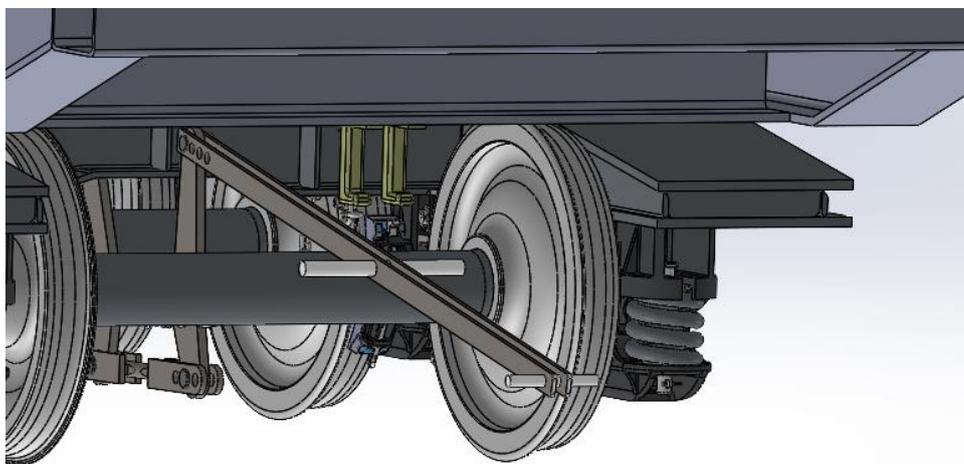


Figura 4. 8. Sistema de frenado manual en 3D

Paso 1: El operario debe tirar de la palanca hacia sí mismo, empleando el mango del final.

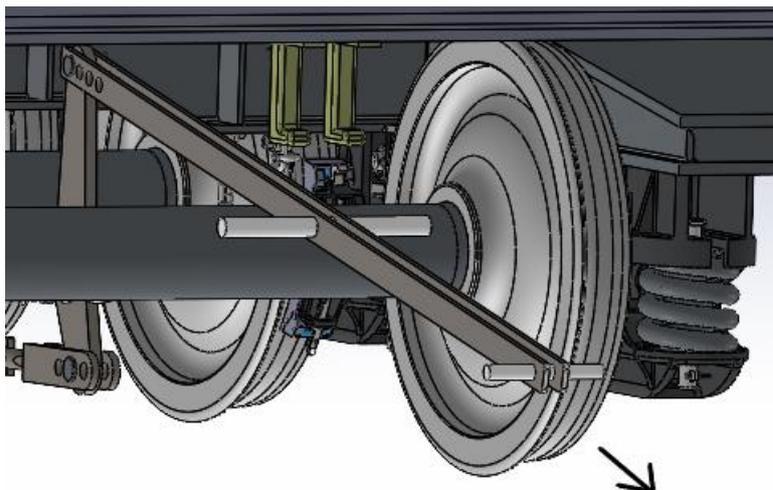


Figura 4. 9. Paso 1 para accionar el freno en reposo

Paso 2: Elevar el tirador y situarlo en los bloqueadores (representados en amarillo). Al soltarlo, el sistema de frenos perderá un poco de fuerza de bloqueo, ya que su máximo de presión de bloqueo se alcanza cuando se estira el tirador al máximo. Tras rotar la palanca hacia arriba y retroceder para posar el tirador sobre los bloqueadores, el mango intermedio librerá los salientes y se asentará sobre los bloqueadores con la suficiente fuerza para mantener el sistema estático.

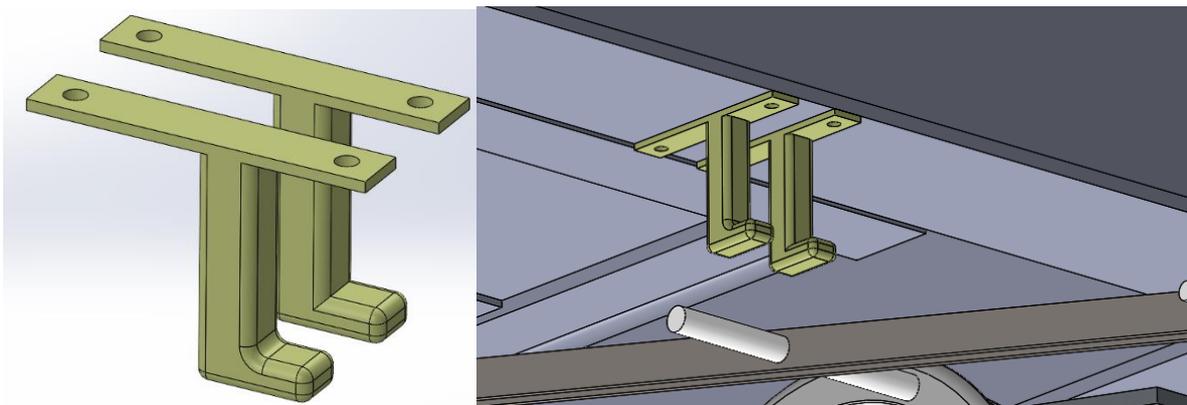


Figura 4. 10. Bloqueadores de la palanca de freno

Los paradores del freno manual se acoplan a una viga HEA-500 mediante tornillería (dos tornillos M20). Dicha viga, deberá ser agujerada en los dos puntos para añadir los tornillos. A su vez, se recomienda dar puntos de soldadura en sus puntos de contacto para que la rigidez sea adecuada.

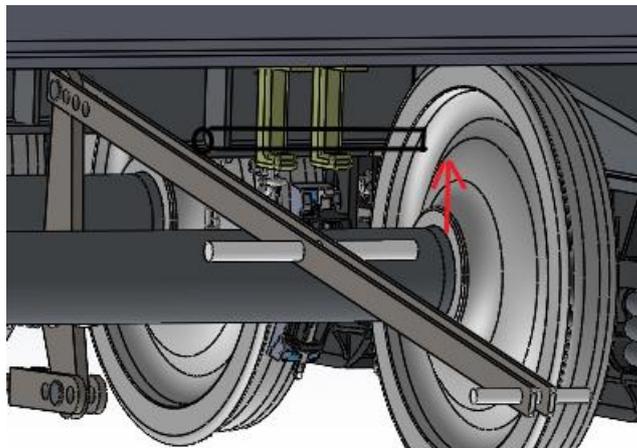


Figura 4. 11. Esquemático simulando donde debe quedar el mango secundario en los bloqueadores, frenando el sistema en reposo

Paso 3: Volver a tirar del sistema hacia el operario para que libere los bloqueadores de nuevo y dejarlo caer. Una cadena evitará que caiga excesivamente.

Se finaliza este apartado indicando que el sistema de frenos es simétrico. En el otro extremo, se incorpora un bloqueador directamente a la palanca que mueve esa parte del sistema de frenado solidariamente. El motivo de incluir el tirador en el lado seleccionado no es otro que evitar sobrecargar el otro extremo del bogie, donde se situará el motor y el cuadro electrónico del sistema.

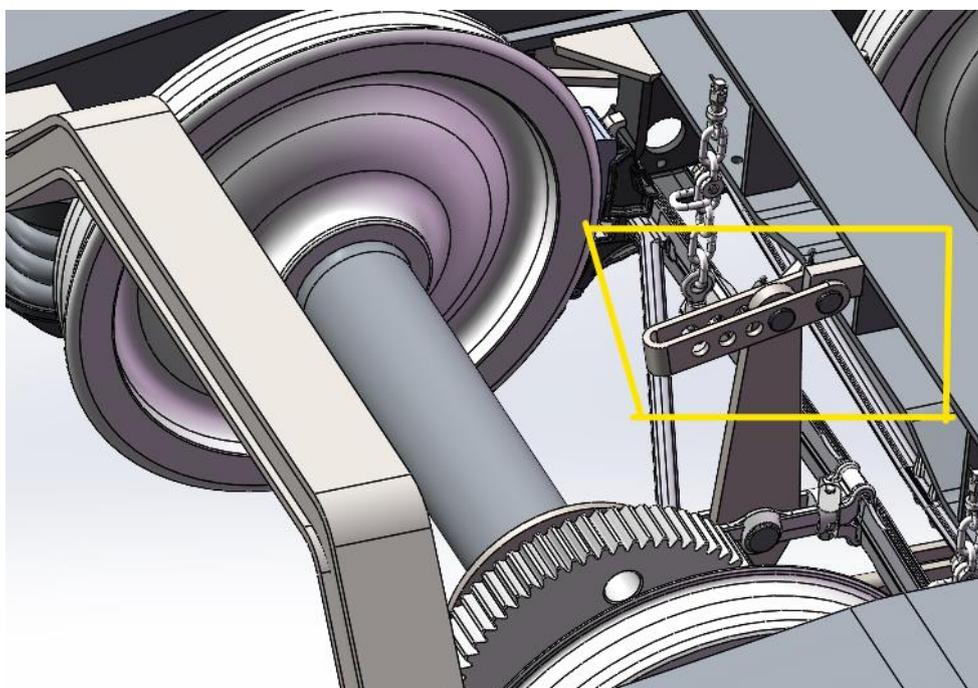


Figura 4. 12. Bloqueador en el otro extremo que asegura que el sistema frene solidario al accionar la palanca

#### 4.3.2. BASE PRINCIPAL

La base principal debe cumplir una serie de requerimientos básicos:

- Asegurar un método sencillo de ensamblaje con el bastidor principal (bogie).
- Asegurar su fabricabilidad y montaje de una forma sencilla.
- Disponer de la suficiente robustez para soportar un peso de 130 toneladas.
- Disponer de la capacidad de albergar un armario electrónico con los diferentes componentes de control y seguridad.

Las dimensiones de esta deben abarcar la totalidad del bogie. Como añadido, se debe dejar suficiente espacio para incluir una bandeja de soporte para engranar el motorreductor al eje motriz y añadir un armario electrónico para su control.

Respecto a su forma, se opta por una forma rectangular, siendo esta una plancha de metal. En sus laterales se emplea una viga de perfil doble T comercial HEA-500. Sin embargo, con el fin de asegurar su adaptación y ensamblaje al bogie se deben realizar una serie de modificaciones.

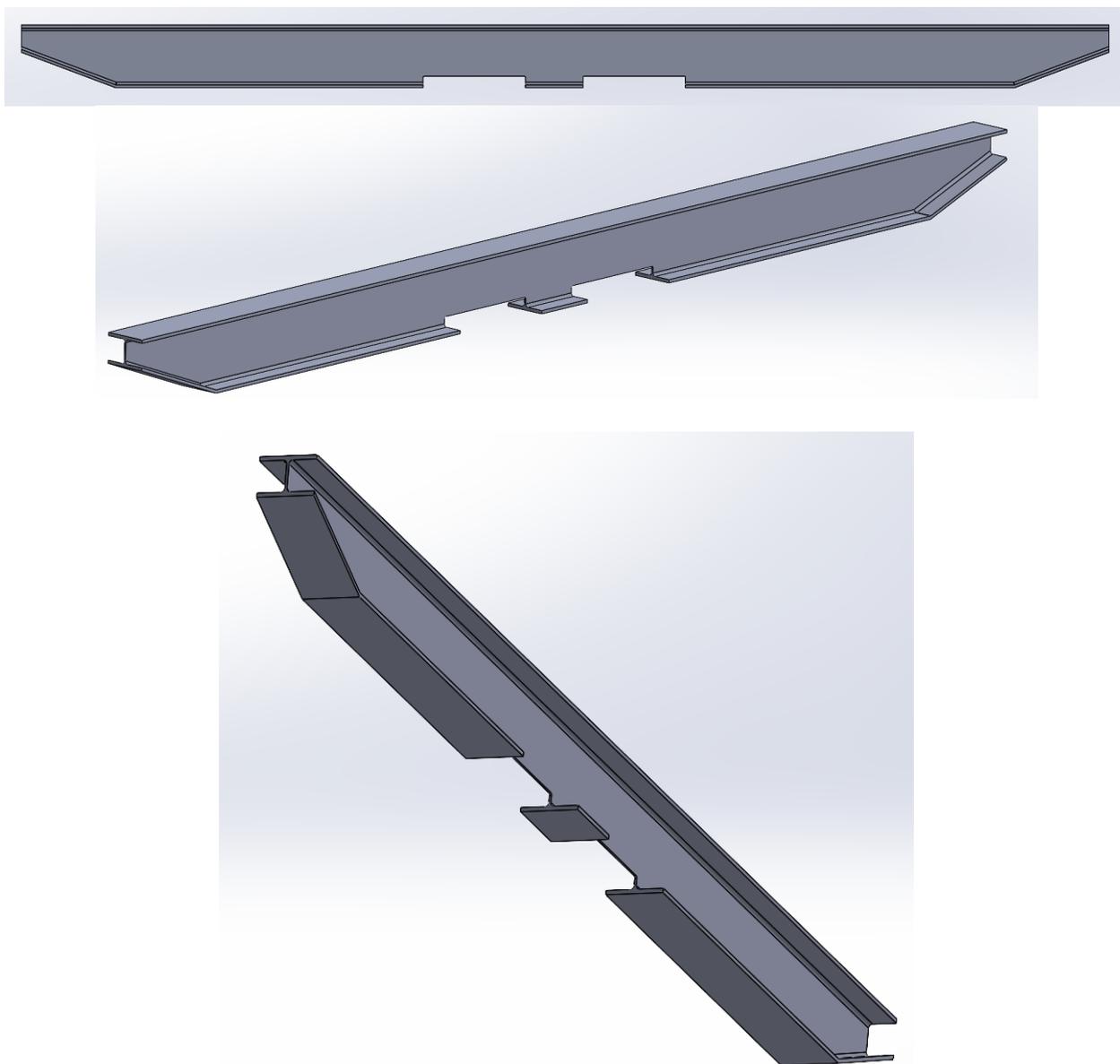


Figura 4. 13. Viga HEA-500 adaptada (diferentes vistas desde SolidWorks)

Las modificaciones consisten en estrechar sus extremos en la medida necesaria para acoplar un perfil tipo cuadradillo de cierre y realizar dos cortes para adaptar su geometría al bastidor del bogie, ampliando su punto de apoyo (se atenderá con más énfasis a esta afirmación en el siguiente apartado: ensamblaje bogie-base).

Cerrando el rectángulo en sus lados más estrechos se encuentran dos vigas HEA-500 sin modificar, cerrando la unión general.

Mediante una serie de perfiles IPE-300 (presentan la misma forma que una viga HEA-500 sin modificar, pero de menor tamaño) en doble T, se asegura la completa robustez del sistema, empleando estos como travesaños entre las vigas laterales, aumentando la rigidez del sistema y sentando una amplia superficie de contacto de la base para evitar su flexión o hundimiento.

En ambos extremos de estos travesaños, se incluye otro perfil HEA-500, más grueso y robusto, permitiendo cerrar la base correctamente.

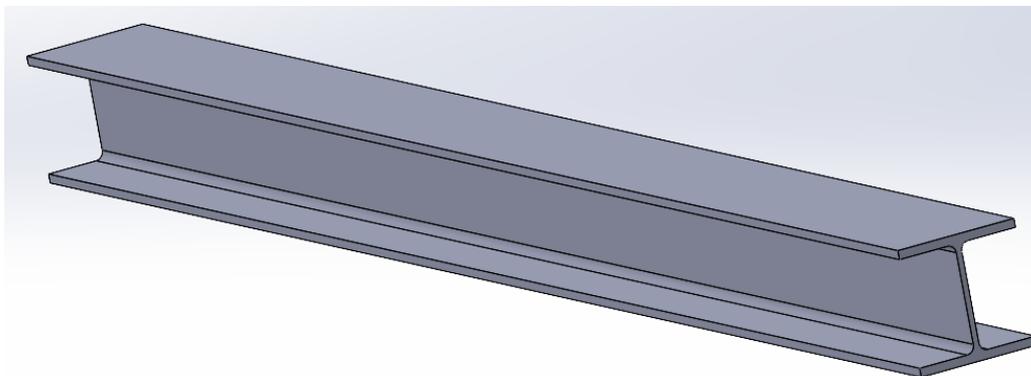


Figura 4. 14. Viga IPE-300

Por último, se señalan los cuadradillos de cierre de la base que se sueldan a las estrecheces indicadas en las vigas HEA-500. Gracias a estos cuadradillos, al unir las dos vigas laterales se asegura una completa rigidez del sistema, donde se reducen las probabilidades de que debido a fuerzas con una componente horizontal (paralela al suelo) las vigas principales llegaran a separarse. De este modo, también se reduce el trabajo de las soldaduras sometidas a esfuerzos de flexión durante los procesos de carga, descarga y transporte de piezas.

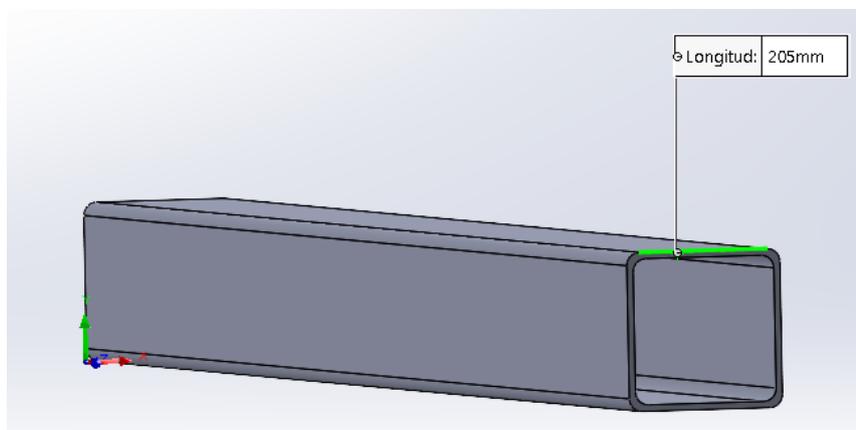


Figura 4. 15. Cuadradillo

La base, es una simple plancha de acero rectangular de 8440 mm x 2760 mm x 30 mm. Durante su diseño, se tiene en cuenta el punto de acoplamiento con el bogie, donde se realiza una leve modificación consistente en un agujero de 140 mm de diámetro.

En su cara inferior, se añade una extensión, medida perfectamente para alcanzar el acople con el bogie, adaptándose a la geometría de este. Este saliente se acompaña de cuatro cuñas para favorecer la resistencia del acople, siendo una de las partes que se verá más afectada durante el movimiento al ser la unión principal (habiendo reducido este efecto mediante la tornillería lateral entre la viga HEA-500 modificada y el bastidor del bogie). En su parte más baja este agujero se reduce a 78 mm, siendo el diámetro del tornillo de unión.

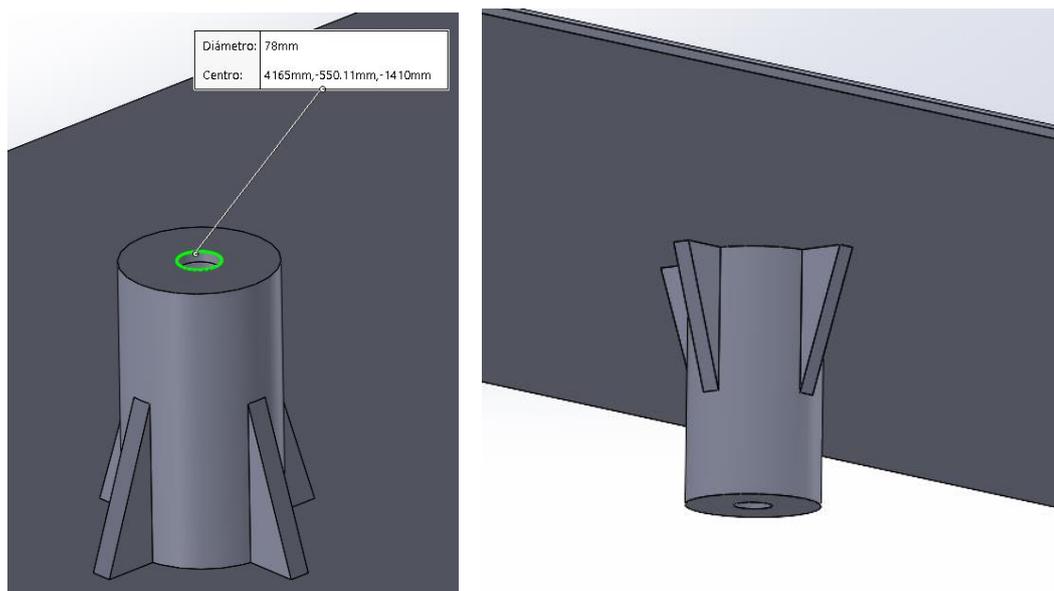


Figura 4. 16. Punto de acoplamiento con el bogie desde diferentes vistas 3D)

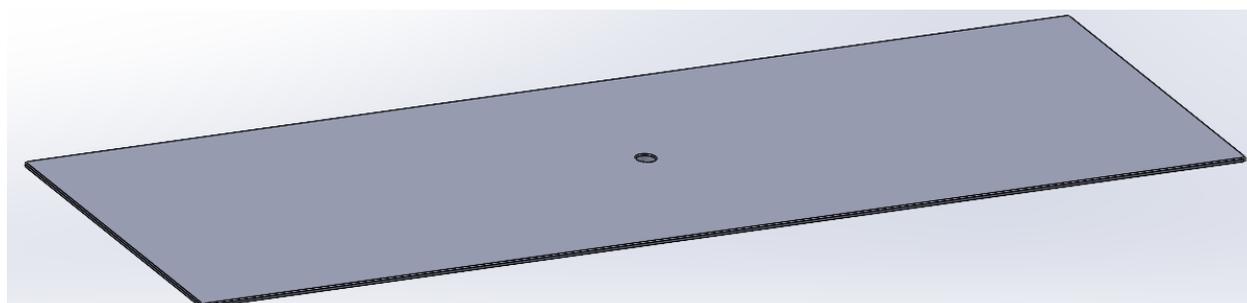


Figura 4. 17. Base en 3D vista desde arriba

Fabricabilidad:

Una vez adquiridas todas las piezas de la base, se considera necesario indicar un proceso de montaje adecuado. Para asegurar la correcta unión entre la base y las vigas, se recomienda emplear una soldadura por arco eléctrico:

Se comienza con la base en posición invertida, a la que se suelda (cordón de soldadura) una de las vigas laterales en el extremo deseado en todos sus puntos de contacto.

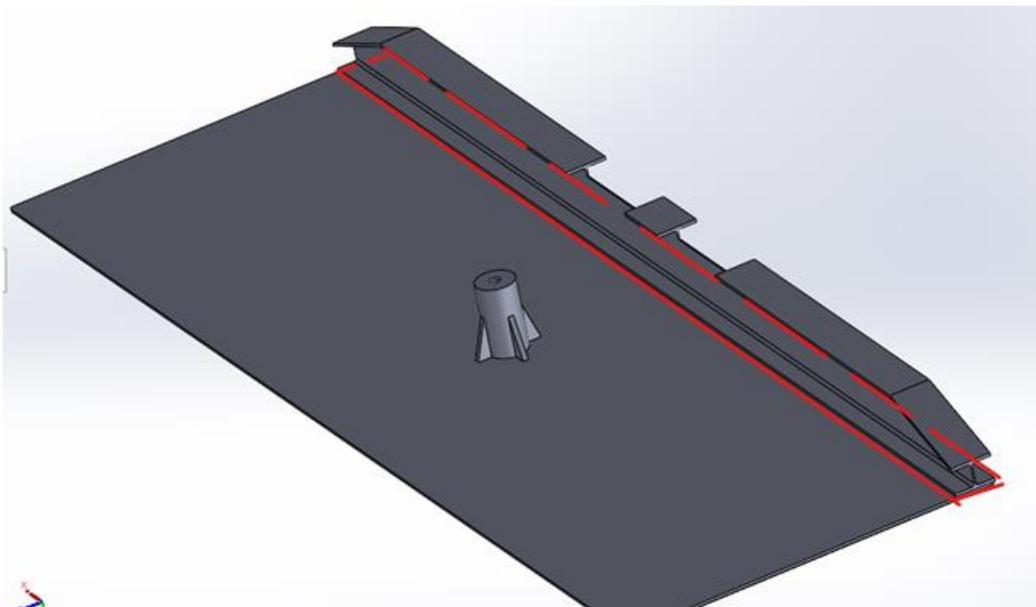


Figura 4. 18. Paso 1 para ensamblar la base

A continuación, se sueldan los travesaños que cierran el rectángulo en todos sus puntos de contacto (soldadura entre las vigas HEA-500 sin modificar y la base)

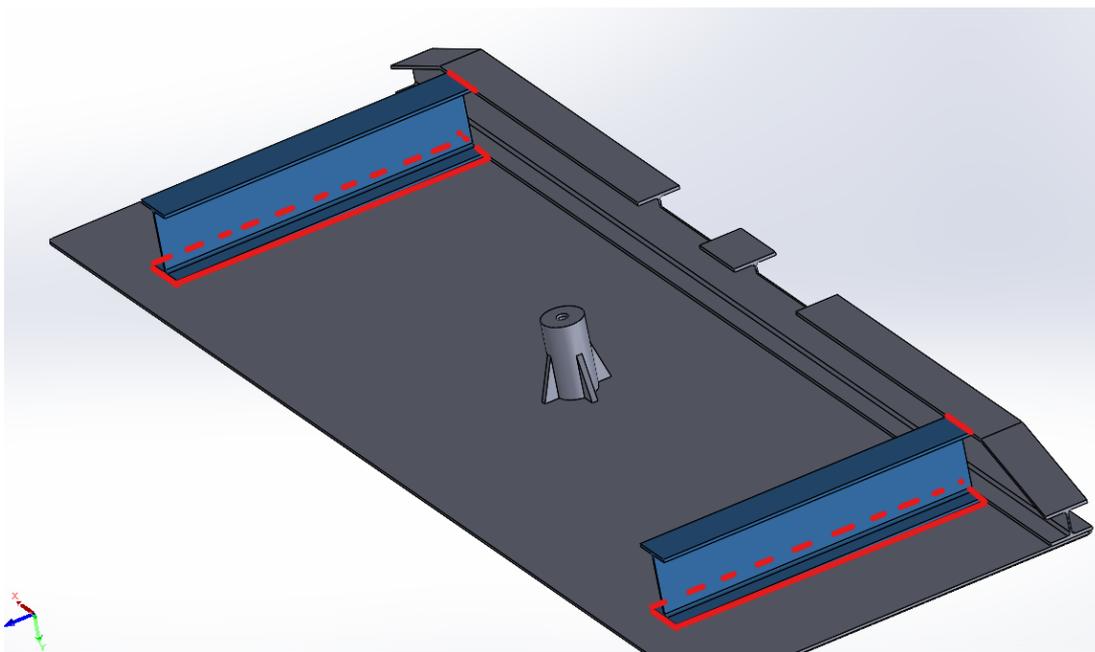


Figura 4. 19. Paso 2 del ensamblaje de la base

Posteriormente se sueldan a la distancia indicada según el plano del producto (anexo X: planos de elementos diseñados) el resto de los travesaños en todos sus puntos de contacto.

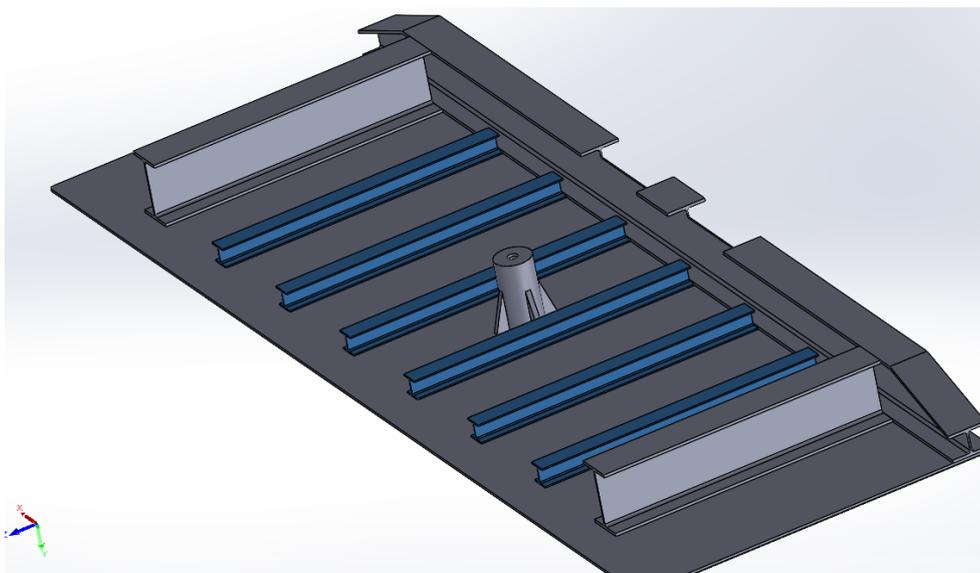


Figura 4. 20. Paso 3, ensamblaje de la base

En este caso, en estos travesaños, al no presentar las dimensiones de la viga HEA-500, solo se suelda su cara inferior a la base y los laterales a uno de los dos extremos de la viga lateral.

El sistema ha sido diseñado para que los elementos no interfieran entre sí, evitando dificultar su montaje, como es el caso del punto de acople con el bogie y los travesaños IPE-300.

Se cierra el rectángulo soldando los cuadradillos laterales, y asegurando la unión entre las vigas HEA-500 modificadas, finalizando el montaje de esta pieza que conforma la base.

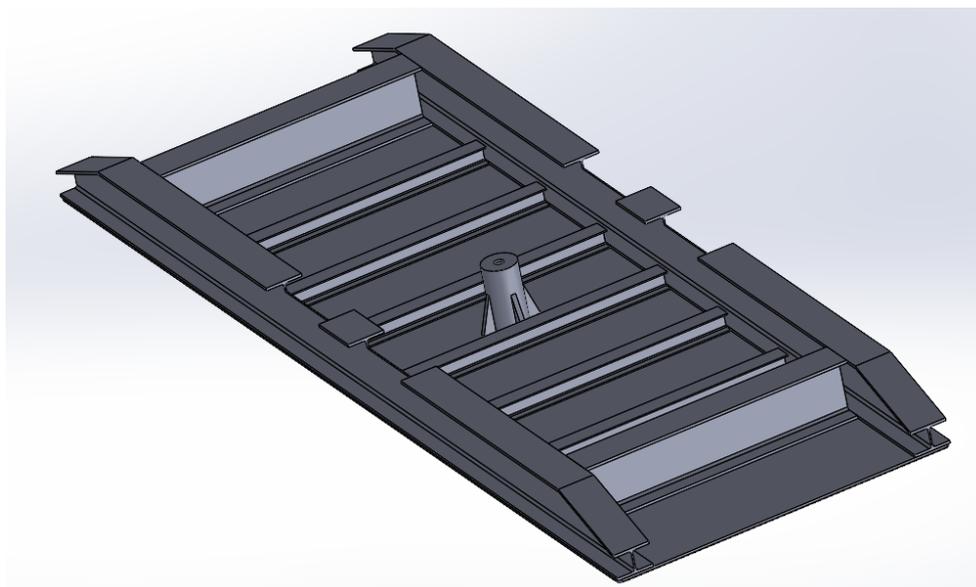


Figura 4. 21. Paso 4, ensamblaje de la base

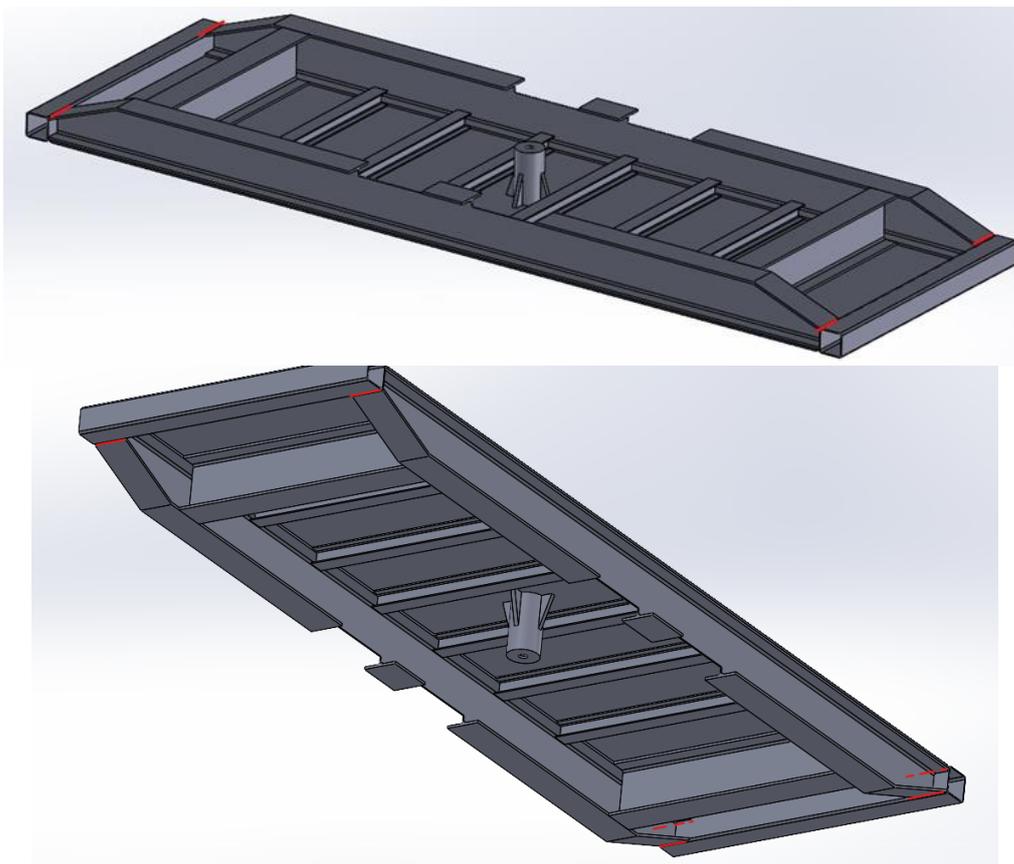


Figura 4. 22. Paso 5, ensamblaje de la base en dos perspectivas 3D

### Resistencia de la base:

El bogie, al tratarse de un modelo totalmente comercial, queda exento de cálculos y estudios que avalen su resistencia frente a las condiciones de trabajo propuestas, habiendo sido validados por el propio fabricante del producto. Sin embargo, no es el caso de la base.

Mediante Ansys Workbench, se crea una simulación tipo static structural, sometiendo el sistema (construido totalmente en acero) a una fuerza vertical hacia abajo de 1.300.000 N ( $130.000\text{kg} * 9,8 + \text{factor de seguridad}$ ) y estableciendo como soportes fijos las caras inferiores de las vigas laterales (HEA-500 modificadas) al ser puntos de contactos con el bastidor del bogie y su punto de acoplamiento mediante un tornillo de 78 mm de diámetro.

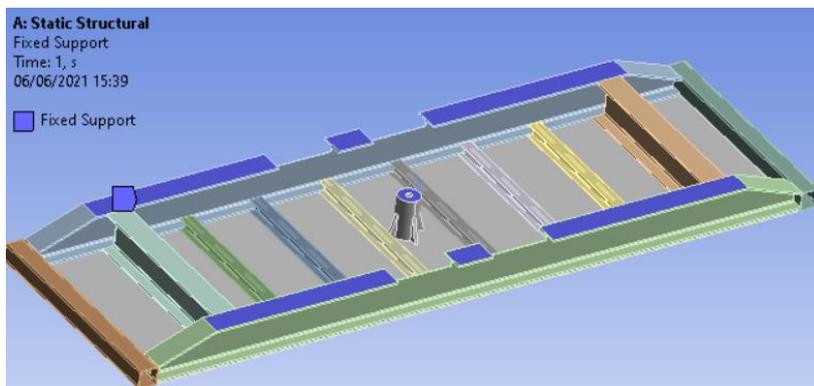


Figura 4. 23. Soportes fijos resaltados en azul

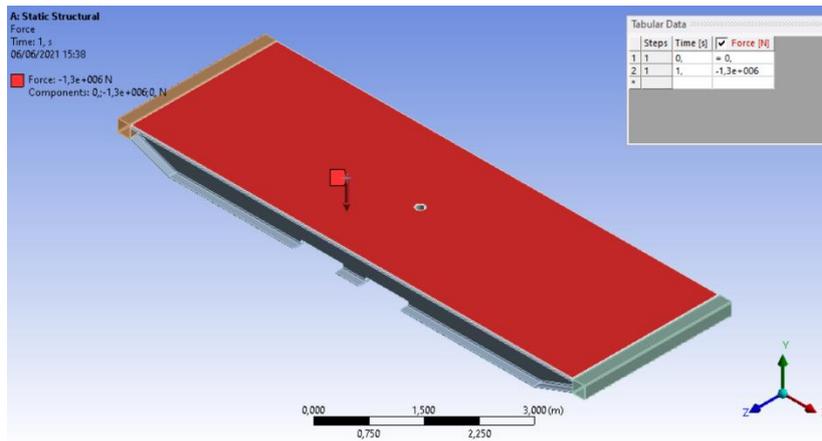


Figura 4. 24. Fuerza aplicada

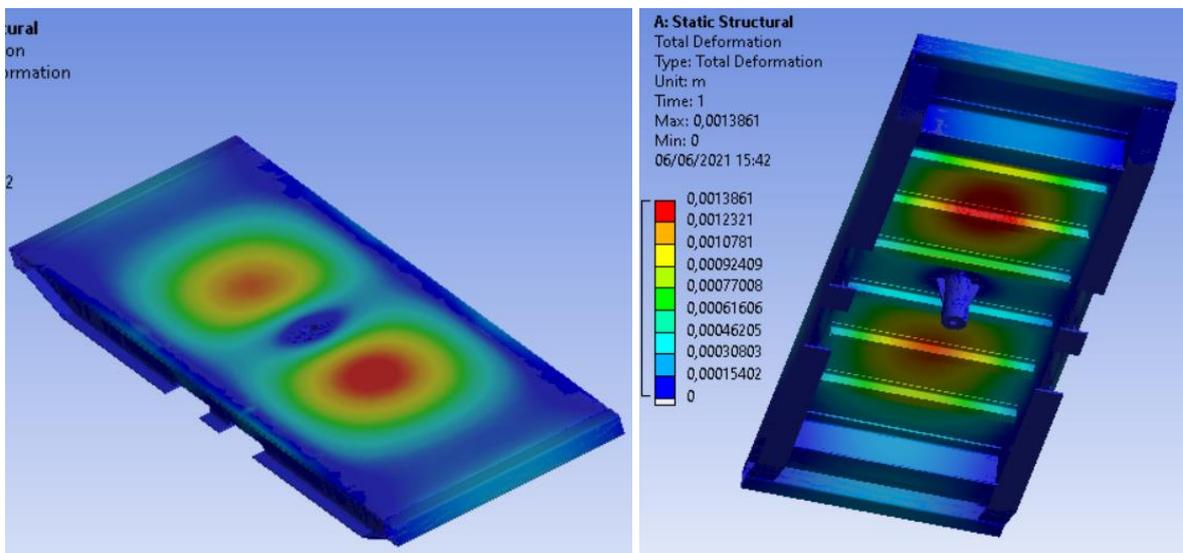


Figura 4. 25. Resultado de la deformación (izquierda: vista desde arriba, derecha: vista desde abajo)

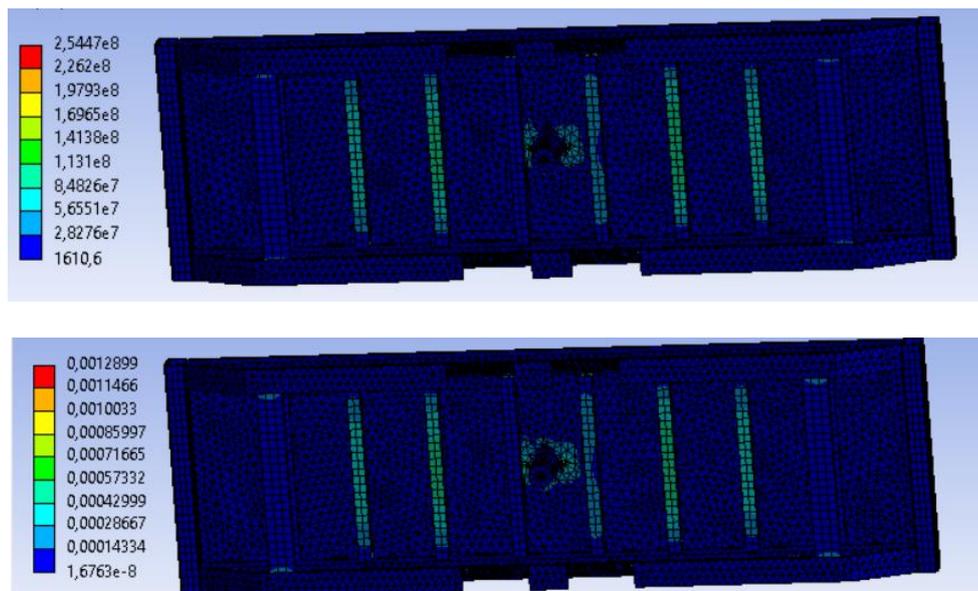


Figura 4. 26. Resultados: Stress (arriba) y Strain (abajo)

Se observa como la zona de máxima deformación es la central, donde dicha zona sufre dos hundimientos en sus puntos más débiles. La máxima depresión alcanza 1,38 mm de hundimiento, entrando dentro del límite elástico admisible de deformación para el acero para mantenerse en la zona de recuperación elástica, al tener una extensión máxima inferior a 141 MPa y no sufrir una deformación (límite de recuperación elástica del acero 448 MPa). A su vez, la deformación total y plástica que sufre el modelo es inferior a su máximo (5%), siendo en su punto de máxima afección del 0,12%.

Se descarta el estudio de un posible impacto, ya que las grúas de carga presentan elementos de seguridad para no soltar la carga bruscamente sobre la base, posándola lentamente durante el proceso de carga. En caso de golpes leves, este impacto sería absorbido por la acción de la suspensión del bogie.

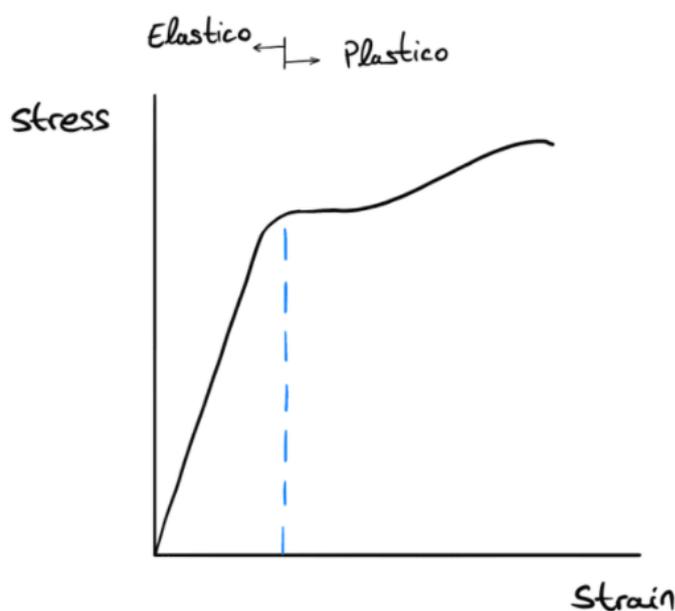


Figura 4. 27. Curva de recuperación del acero Stress-Strain

#### 4.3.3. ENSAMBLAJE BOGIE-BASE

Respecto a su ensamblaje normalmente se emplea un único pivote central respecto al bogie para tomar curvas y suavizarla para los pasajeros o la propia mercancía (tal como se muestra en la figura 4.28) sin que afecte a la dirección de vagón. En este caso, a pesar de existir una pequeña curva, se decide añadir tornillería lateral entre el bastidor y las vigas HEA 500 modificada para que la base gire solidaria al bogie, limitando de este modo movimientos laterales de cargas, al no transportar piezas propiamente con un vagón y aumentar la rigidez de la unión bogie-base.

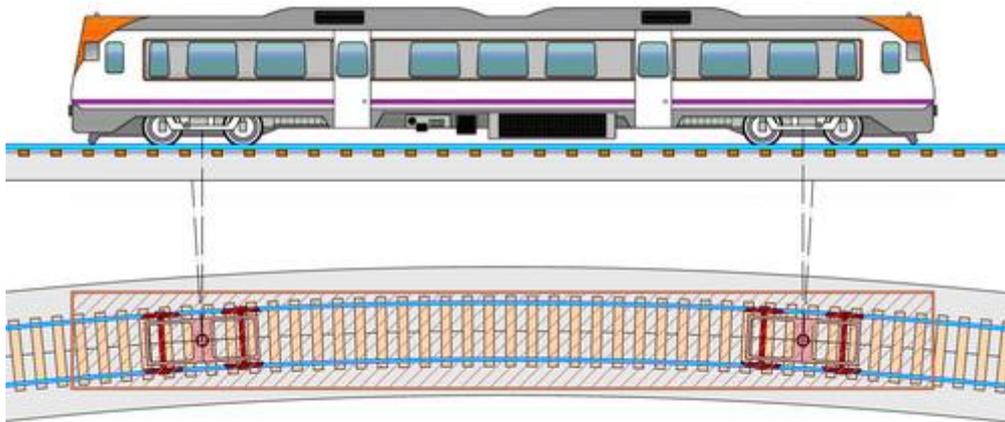


Figura 4. 28. Tren con dos bogies tomando curva

Como se indicó previamente, el bogie se acopla mediante un tornillo central de 78 mm de diámetro a la pieza de la base diseñada previamente para tal cometido, tal y como indica su fabricante.

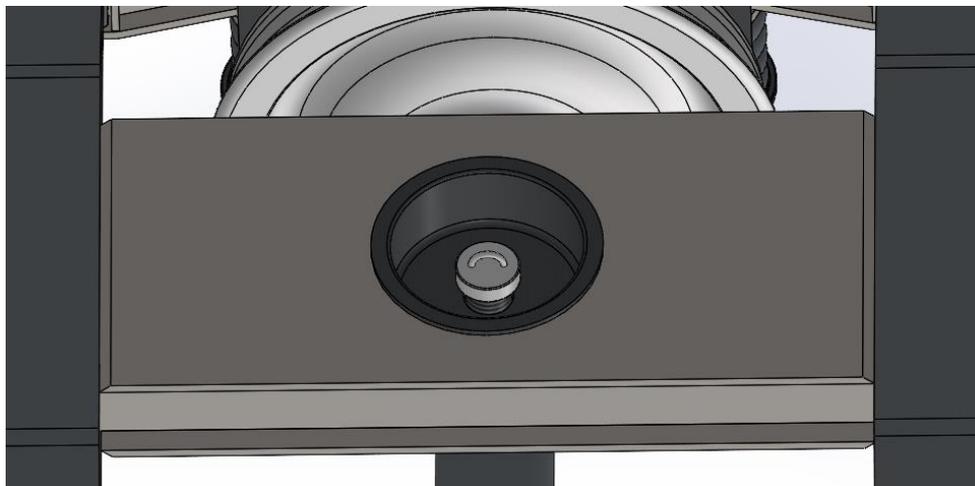
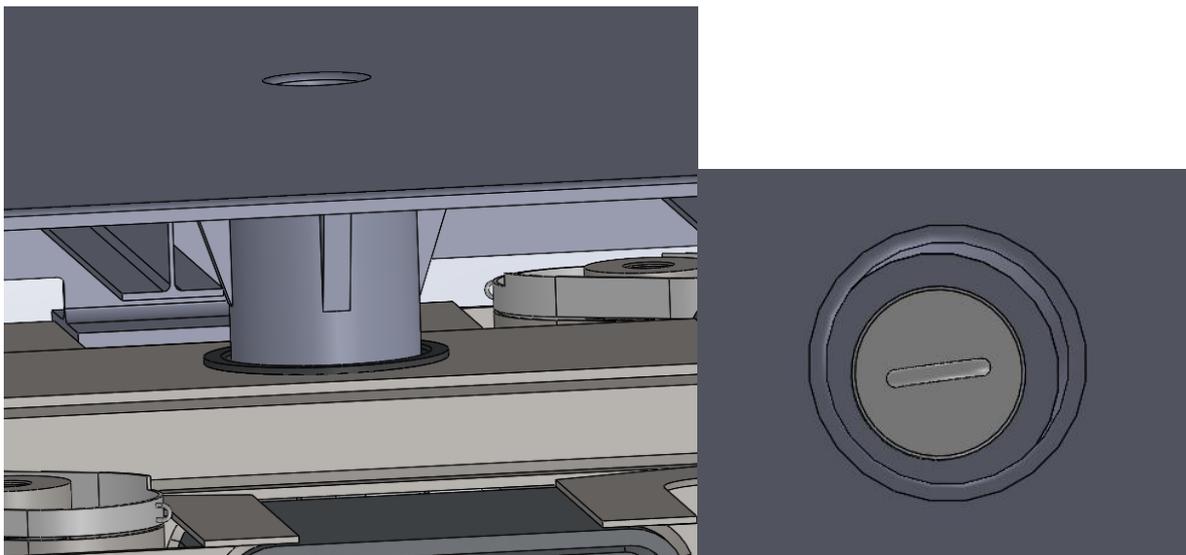


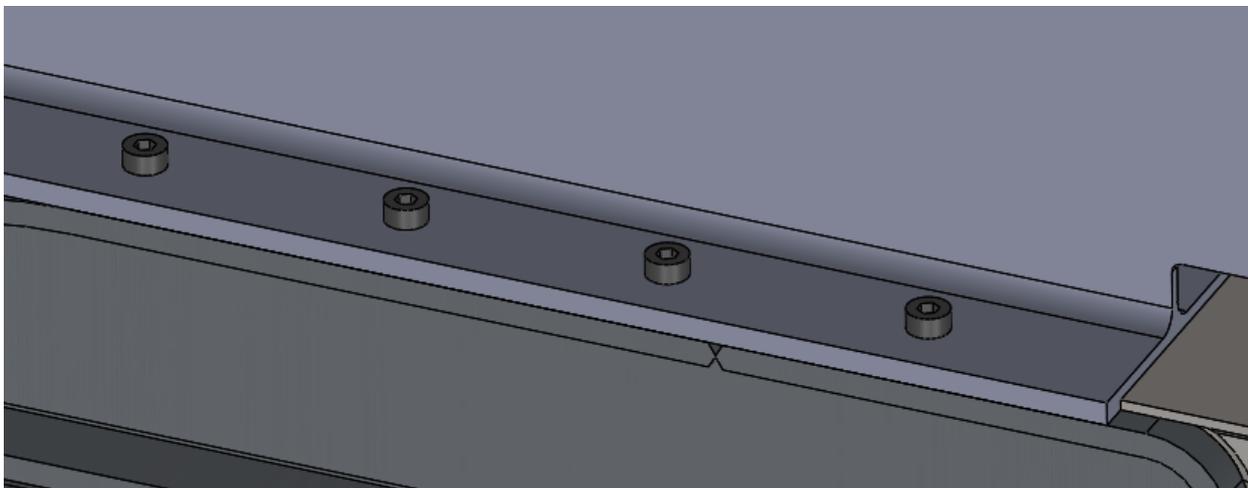
Figura 4. 29. Punto de unión central de la base con el bastidor del bogie

Eliminando una de las vigas laterales, se observa la adaptación entre ambos.



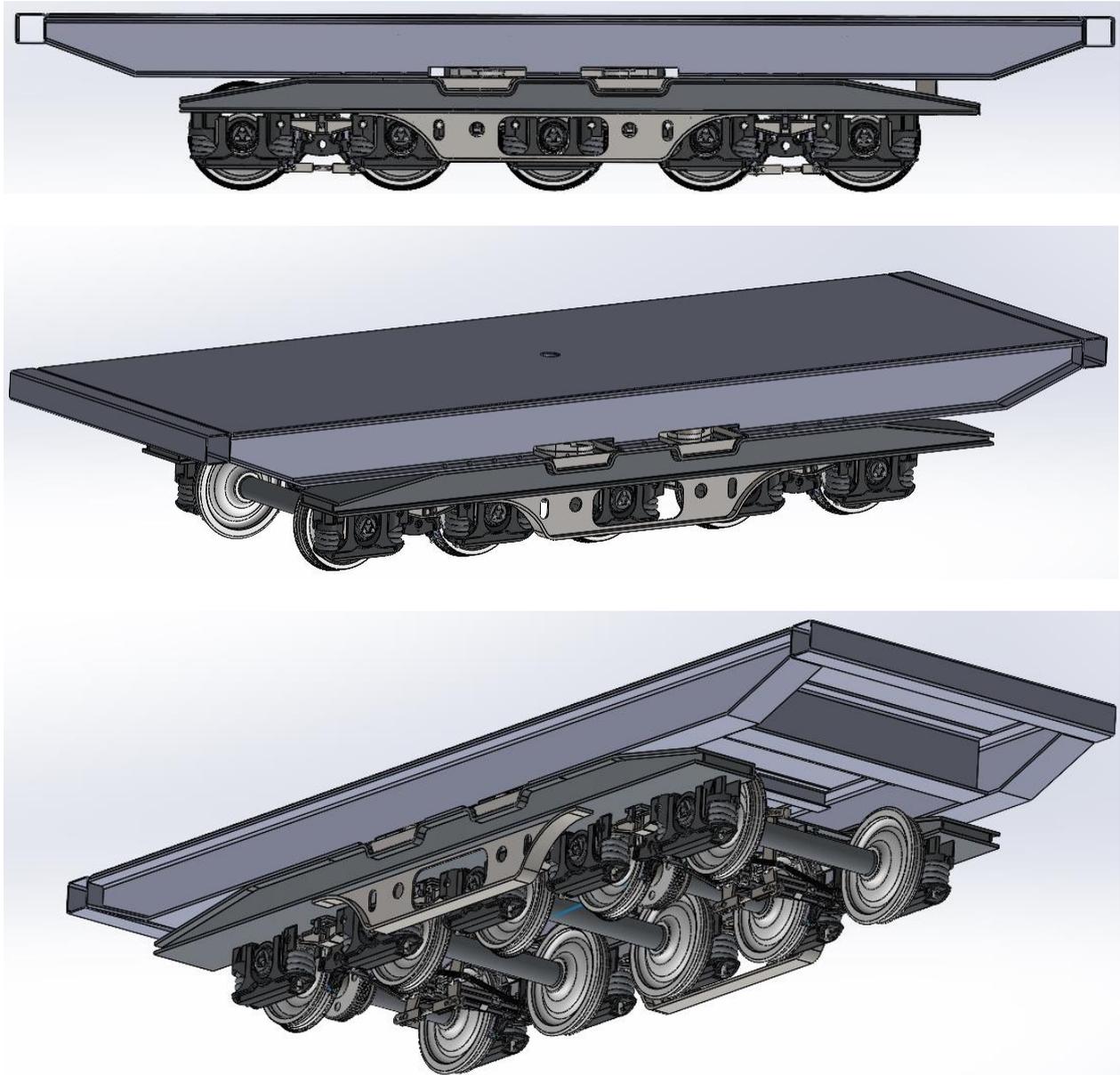
*Figura 4. 30. Acople entre la base y el bastidor del bogie (Izquierda: vista lateral 3D, Derecha, vista desde arriba a través del agujero de la base)*

El bastidor del bogie y las vigas laterales son taladradas en sus zonas de contacto con el fin de incorporar tornillería M30 cada 200 mm a lo largo del bastidor del bogie y la cara exterior de la viga con la que hace contacto (tornillos centrados sobre la cara horizontal externa). De este modo se aumentan los puntos de unión y se afianza el sistema.



*Figura 4. 31. Tornillería entre la base y la viga HEA-500 modificada por su cara exterior*

Se puede comprobar en un ensamblaje general como la viga libra perfectamente los elementos del bogie que no resultan de interés.



*Figura 4. 32. Ensamblaje general bogie-base desde diferentes perspectivas*

#### 4.3.4. CÁLCULOS DE POTENCIA

Se realizaron una serie de cálculos iniciales con el fin de conocer la potencia estimada del motor para simplificar las opciones y escoger un modelo adecuado.

En este tipo de sistemas puede ser mayor la potencia de frenada que la de movimiento, debido a su velocidad e inercia (fruto del elevado peso que carga).

Por regla general, este tipo de sistemas no deben superar un 1 m/s de velocidad (3,6 km/h) estableciendo este valor como máxima velocidad del sistema.

##### Cálculos de potencia de movimiento:

Para la traslación de cargas, que además sufren la acción del viento (siendo el peor caso que este incida de frente, frenando al carro), la potencia se estima de la siguiente manera:

$$N_r [Kw] = ((G+Q) * w * v) / 1000 * rend \quad (4.1)$$

$$N_a [Kw] = (((G+Q) * v^2) / (1000 * rend * t_A)) * \beta \quad (4.2)$$

$$N_{viento} [Kw] = S * v * p / 1000 * rend \quad (4.3)$$

El sumatorio total de las tres potencias dará la potencia mínima estimada requerida por el motor.

Además:

$$[(G+Q) * w] = F = \Sigma m * g R = [(2/D) * (\mu_R * (d/2) f) + c] \quad [N] \quad (4.1.1)$$

- m = peso propio + carga [kg].
- g = 9,81 m/s<sup>2</sup>.
- D = Ø rueda traslación [mm].
- d = Ø eje.
- $\mu_R$  = 0,005 ruedas con rodamientos.
- $\mu_R$  = 0,08 a 0,1 ruedas con cojinetes.
- f = coeficiente resistencia a la rodadura.

Entre otros signos de interés se destacan:

- w: Coeficiente global de resistencia a la rodadura (incluye resistencia de cojinetes o rodamientos).
- $\beta$ : Coeficiente de mayor reacción por masas en rotación. Estima la potencia necesaria para acelerar los elementos de transmisión. Se emplea habitualmente valores entre 1,1 y 1,2 (1,1 cuando se conoce que la transmisión es de baja inercia, y 1,2 cuando la transmisión tiene elevada inercia).
- v: velocidad del carro (1 m/s).

$$N_r = \frac{130 * 10^3 * 9,8 \left[ \frac{2}{420 * 10^{-3}} \left( 0,005 * \left( \frac{92 * 10^{-3}}{2} \right) + 0,5 * 10^{-3} \right) + 0,003 \right] * 1}{1000 * 0,98} = 8,42 \text{ kW}$$

$$N_a = \frac{130 * 10^3 * 1^2}{10 * 1000 * 0,98} * 1,2 = 15,91 \text{ kW}$$

$$N_{viento} = \frac{7,84 * 1 * 200}{1000 * 0,98} = 1,6 \text{ kW}$$

$$N_t = N_r + N_a + N_v = 26 \text{ kW}$$

Cálculos de potencia de frenada:

La potencia de frenada para el motor se calcula de la siguiente manera:

$N_a = F_i * v / \text{rend}$ . El producto de la fuerza de inercia (masa por la aceleración de frenada que se desea) por la velocidad, será la potencia mecánicamente necesaria para frenar el carro. Si el tiempo de frenada se plantea igual que el tiempo de aceleración, este término es similar.

$$N_a [\text{Kw}] = F_i * v / \text{rend} * 1000 \quad (4.4)$$

$$N_a [\text{Kw}] = 130 * 10^3 * 0,12 * 1 / 0,98 * 1000 = 16 \text{ kW}$$

$N_r = (F_r - F_v) * v / \text{rend}$ . Potencia de régimen: la necesaria para mantener en movimiento el carro a velocidad constante. Para calcular la frenada, el caso más desfavorable es que el viento esté a favor del movimiento, y por ello, en frenada la fuerza del viento  $F_v$  (mayorada) se resta de las fuerzas de resistencia a la rodadura  $F_r$ .

$$N_r [\text{Kw}] = (F_r - F_v) * v / \text{rend} \quad (4.5)$$

$$N_r [\text{Kw}] = (8 * 10^3 - 4 * 10^3) * 1 / 0,98 * 1000 = 4,33 \text{ kW}$$

$N_f = (N_a - N_r) * \text{rend}^2$ . La potencia de frenada necesaria finalmente será la necesaria para decelerar el carro menos la de régimen (la de régimen son las resistencias al avance, que ayudan a frenar) y todo ello multiplicado por el rendimiento al cuadrado (el rendimiento va al cuadrado: una vez lo multiplicas para deshacer la división que se realiza previamente para calcular  $N_a$  y  $N_r$ , y una segunda vez se multiplica para tener en cuenta que las pérdidas por fricción interna que están evaluando ese rendimiento ayudan a frenar: como el rendimiento es menor que 1, al multiplicar, se está rebajando la potencia necesaria para frenar, que es justo lo esperado).

$$N_f [\text{Kw}] = (N_a - N_r) * \text{rend}^2 \quad (4.6)$$

$$N_f [\text{Kw}] = (16 - 4,33) * 0,98^2 = 11,44 \text{ kW}$$

La potencia de frenado total se estima inferior a la necesaria para mover el carro. Sin embargo, se decide emplear la herramienta Motor Sizer de Siemens para obtener un modelo de cálculo mucho más completo y realista.

Motor Sizer de Siemens:

Mediante la herramienta Motor Sizer de Siemens, donde basta con introducir una serie de características básicas del carro que se desea construir, el propio programa recomienda un motor directamente dentro del catálogo de Siemens que cumpla dichos requerimientos. Para la realización de este estudio, la información mínima solicitada es la siguiente:

- Recorrido: 400 metros
- Tiempo de movimiento: 7 minutos de recorrido aproximadamente.
- Masa del carro: 15 toneladas estimadas.
- Carga del carro: 130 toneladas.
- Diámetro de la rueda motriz: 840 mm.
- Si hay alguna transmisión adicional al del motorreductor, debe ser indicada: El motorreductor se engrana mediante un engranaje cilíndrico que alimenta al eje del par de ruedas motriz o bien se puede emplear una cadena. Es el único punto de transmisión.
- Tiempos de parada de seguridad: El motor se detiene al llegar a cada final de la vía al activar el final de carrera pertinente. También se detiene si detecta un transeúnte en su recorrido mientras el sensor devuelva un 1. Los tiempos mínimos entre transportes son estimados de una hora de parada, hasta que el operario pulse de nuevo el botón de marcha.

Para completar los datos, se define una pausa de 180s (3 min) entre el movimiento de ida y el de vuelta. El resultado es el siguiente:

En el estudio se ha unido el motor a la rueda solamente con una reductora. Esto quiere decir que a la salida de la reductora del motor deben aplicarse 15.000Nm. Se deben estudiar los límites de dicha reductora o en su defecto tratar de asistir a la primera reductora con una segunda. La propuesta sería un sistema de correas tal como se muestra en la figura 4.33:

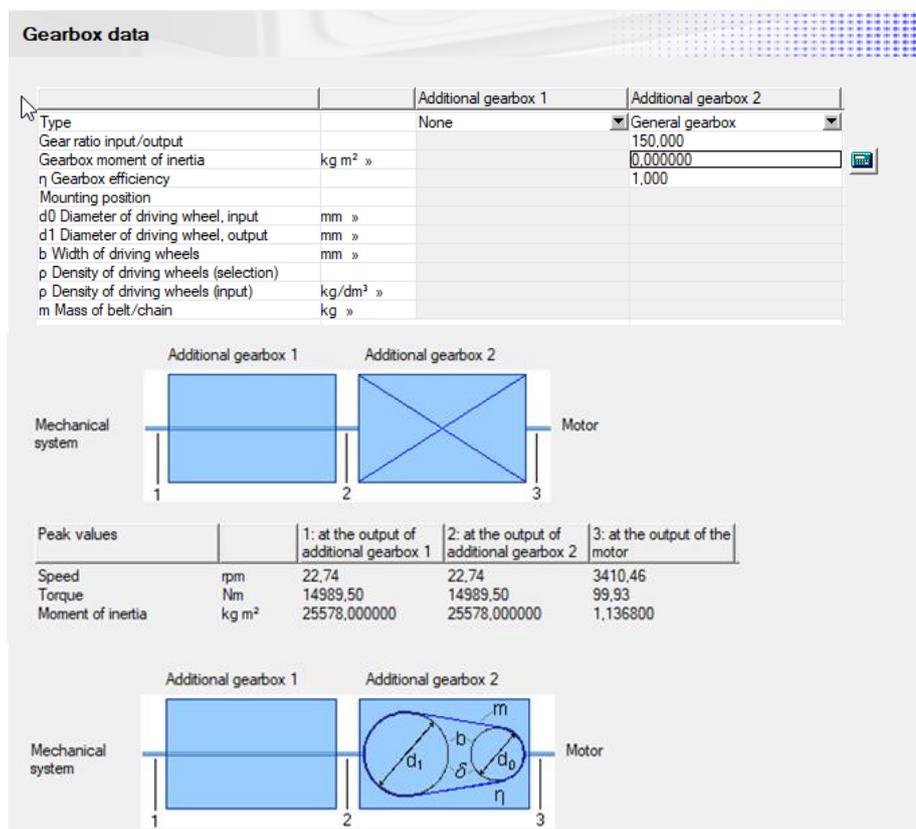


Figura 4. 33. Propuesta y cálculos del estudio Motor Sizer

- En el estudio, para los datos suministrados se permite detener el carro en los 20 segundos que salen de aceleración y deceleración (Motor de 30 kW). Si hubiera que frenar más rápido (bien por seguridad o por la detección de una persona), la frenada requeriría de más par y, por consiguiente, se podría incrementar la talla del motor.

Con un tiempo de detención de 20 segundos, circulando a 1 m/s, el cálculo para estimar el tiempo en detenerse se realiza mediante las fórmulas clásicas del movimiento rectilíneo.

La deceleración del sistema debido al rozamiento se puede tomar como el coeficiente de fricción de las vías con el bogie. En este caso, según indicación del fabricante del bogie, este valor es de 0,08 m/s<sup>2</sup>.

$$S = Vo*t - 0,5*deceleración*t^2 = 1*20 - 0,5*(0,08) *20^2 = 5 m \quad (4.7)$$

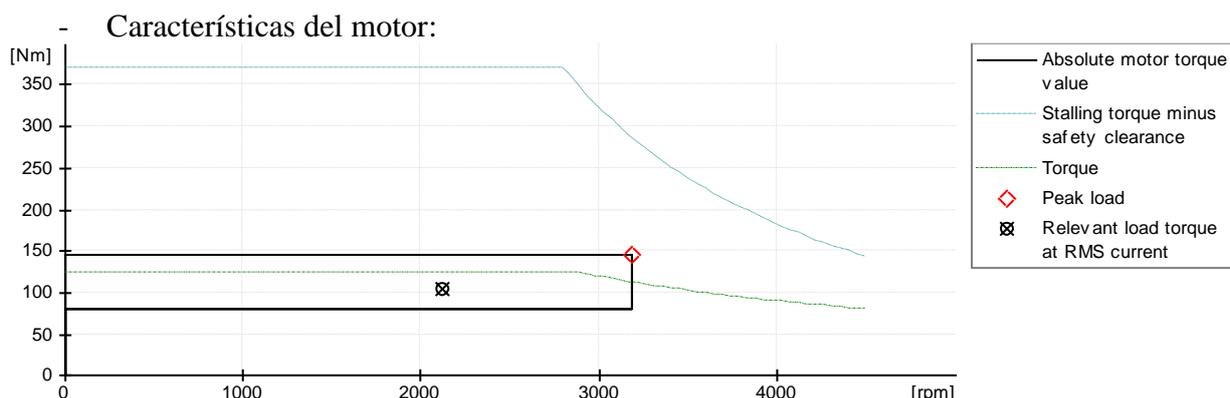
- Para los datos suministrados, se requiere que el motor alcance una velocidad angular de 23 rpm aproximadamente con un torque de 15 kNm.
- En los cálculos realizados, al poner rendimientos más adecuados, el motor de 30kW no encaja, teniendo que pasar al siguiente escalón (de este modo se puede reducir el tiempo de deceleración para frenar más rápido si se desea).
- En el estudio, se devuelve un factor de utilización térmica del 90%. Realmente no se recomienda emplear más del 80% pero este factor está basado en estimaciones y sus limitaciones deben probarse en fábrica y en simulaciones de funcionamiento en un entorno similar de trabajo.

Para el diseño de un prototipo y para evaluar costes, la empresa de Siemens no propone subir la talla del motor, pero puede que fuera adecuado en el momento del pedido, tras decidir acometer el proyecto. En ese momento los datos se concretan y se puede hacer un estudio más detallado.

A continuación, se detallan algunos datos de interés del motor y del módulo motor que se adaptan a estas características definidas para este estudio. Otras características de interés se detallan dentro de los anexos (anexo III):

Tabla 5. Datos del motor seleccionado

Rated power	37,00 kW
Rated torque	120,00 Nm
Rated current	64,00 A
Rated speed	2955,00 rpm
Type of construction	IM B3
Maximum motor current	86,22 A



- Curva de carga en el eje del motor:

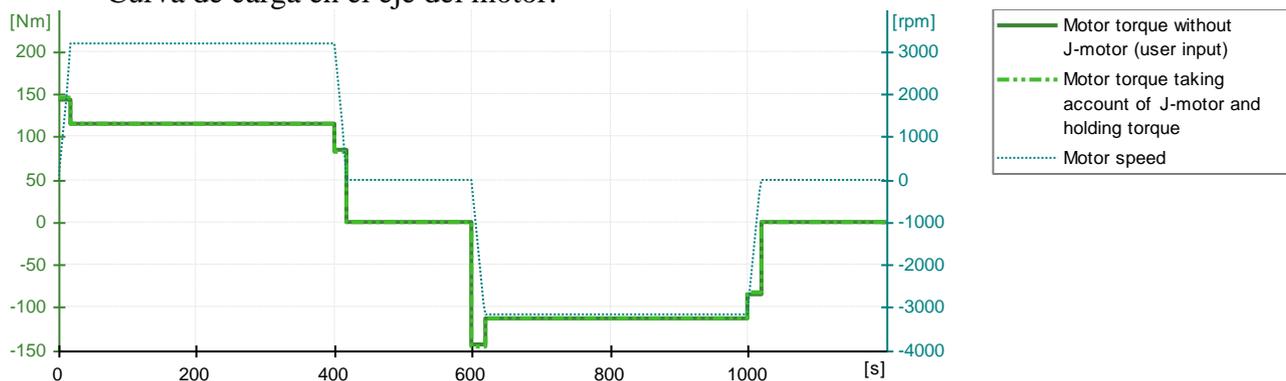


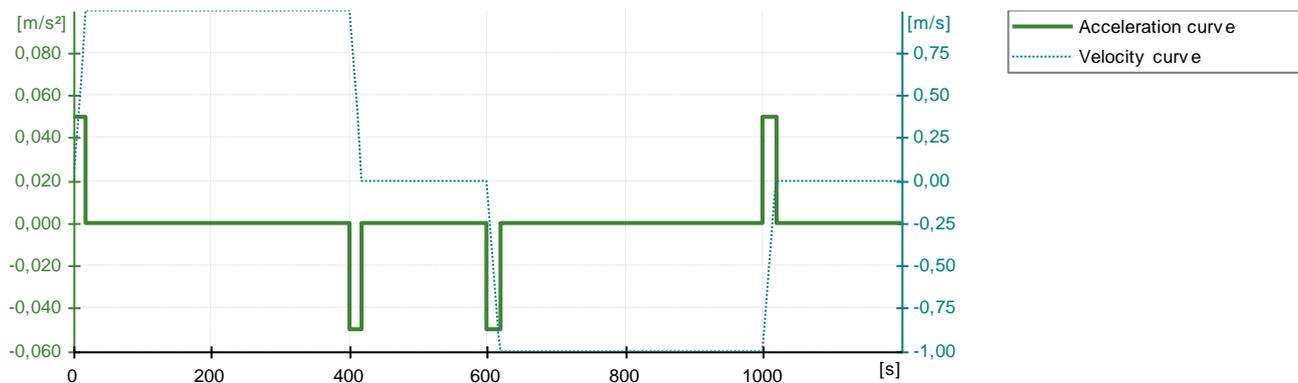
Tabla 6. Datos de desplazamiento del sistema

Max. velocity	m/s	1,000	1,000
Max. acceleration	m/s <sup>2</sup>	0,05000	0,05000
Max. deceleration	m/s <sup>2</sup>	0,05000	0,05000
Travel time	s	420,00000	420,00000
- Acceleration	s	20,00000	20,00000
- Constant speed	s	380,00000	380,00000
- Deceleration	s	20,00000	20,00000

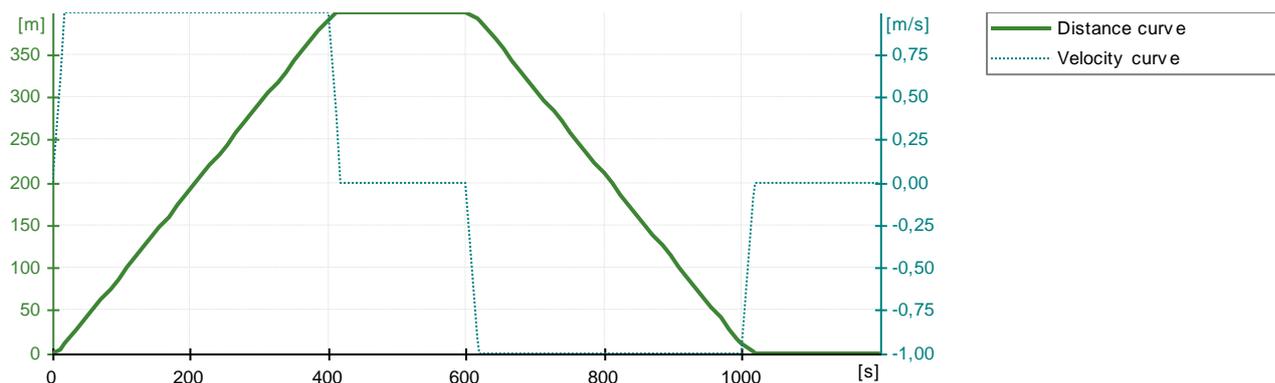
Tabla 7. Perfiles de movimiento a través de varias secciones individuales

Type	Duration [s]	n-start [rpm]	n-end [rpm]	M-start [Nm] without J-motor	M-end [Nm] without J-motor	M-start [Nm] with J-motor	M-end [Nm] with J-motor	Holding brake
-	20,00000	0,00	3183,10	143,14	143,14	146,31	146,31	No
-	380,00000	3183,10	3183,10	114,06	114,06	114,06	114,06	No
-	20,00000	3183,10	0,00	84,98	84,98	81,82	81,82	No
-	180,00000	0,00	0,00	114,06	114,06	114,06	114,06	Yes
-	20,00000	0,00	-3183,10	-143,14	-143,14	-146,31	-146,31	No
-	380,00000	-3183,10	-3183,10	-114,06	-114,06	-114,06	-114,06	No
-	20,00000	-3183,10	0,00	-84,98	-84,98	-81,82	-81,82	No
-	180,00000	0,00	0,00	114,06	114,06	114,06	114,06	Yes

- Curva de aceleración y velocidad:



- Curva de distancia y velocidad:



#### **4.3.5. SOPORTE Y ACOPLAMIENTO MOTO-REDUCTOR**

Siguiendo el diseño de modelos similares, se incorpora una bandeja que cuelga de la base y a la que se atornilla el motor. Previamente a su diseño, se deben seleccionar los componentes que van a ir sobre la bandeja para tener una perspectiva clara de sus dimensiones y espesores con el fin de soportar el conjunto motriz.

Siguiendo las indicaciones de Siemens, se decide seleccionar una reductora que incluya una segunda etapa de reducción a su salida mediante dos ruedas dentadas, una a la salida de la reductora y otra que se corresponde con el del propio bogie acoplado en el eje motriz. Dichas ruedas son unidas entre sí mediante una transmisión por cadena.

La reductora se escoge dentro del catálogo de SEW-Eurodrive, especializados en reductoras para maquinaria pesada. El modelo en cuestión es un reductor de engranajes cilíndricos con denominación R167 AD6. Entre sus principales características se destaca que soporta un torque máximo de 20.000 Nm, siendo el máximo de nuestro sistema 15.000 Nm.

Su relación de reducción es  $i = 1: 67,40$ . Esto quiere decir, que tomando los resultados obtenidos anteriormente, a la salida de la reductora la velocidad se verá decrementada a 50,59 rpm, mientras que el torque aumentará a 6.735,28 Nm. Posteriormente, se logrará mediante una transmisión por cadena la relación final deseada.

Es muy importante señalar que este tipo de reductora suelen venir preparadas para trabajar a 1500 rpm en su entrada, siendo 3410 rpm la del sistema presentado. Realmente, la única afección de jugar con estas velocidades de giro es que el sistema de refrigeración no logre lidiar con las altas temperaturas que alcanzará el aceite sintético refrigerante, pudiendo dañar la máquina. Para solventar este problema, se incluye dentro de la oferta un sistema de refrigeración más eficiente, dotando a la reductora de un aceite sintético de mayor resistencia al calor, retenes de vitón (juntas de estanqueidad para ejes rotativos con alta resistencia térmica y química) en los extremos de la reductora y un vaso de expansión, permitiendo una ventilación del reductor mediante un compensador. Cuando la presión aumenta en exceso debido a la expansión del aceite por la acción térmica, este sistema absorbe ese incremento de volumen, liberando presión en la salida.

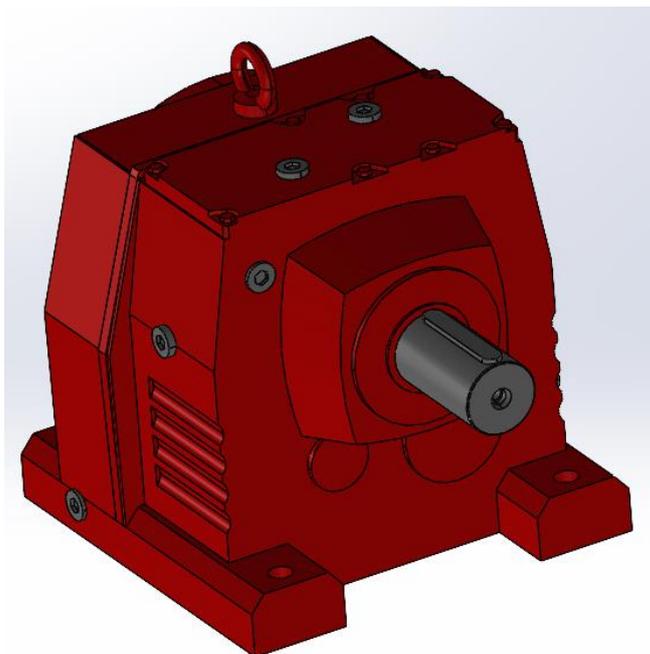


Figura 4. 34. Reductora R167 AD6

El peso de la reductora es de 700 kg. Por otro lado, su eje de entrada es de 48 mm y su eje de salida de 120 mm de diámetro, ambos con chaveta. Las patas B3 del sistema no permiten un montaje simplificado con el motor, siendo que el motor tampoco presenta bridas tipo B5. Como resultado se debe seleccionar un acoplamiento entre ejes. El diseño de la bandeja y la disposición del motor y la reductora se debe diseñar de forma que se pueda mantener los ejes cercanos y a la misma altura para evitar excentricidades en la unión que puedan hacer cabecear el sistema.

Como bien se indicó, la unión entre la salida del motor y la reductora se realiza mediante un acoplamiento. La marca FLENDER ofrece un amplio catálogo de acoplamientos adaptados a las necesidades del cliente, en este caso, presentando una entrada de 55 mm (eje motor) y una salida de 48 mm (eje de entrada al reductor), ambos con chaveta. Como añadido, se selecciona el modelo dentro de la gama de acoplamientos elásticos. Estos acoplamientos disponen de un componente elastómero en su diseño que compensa ligeras desalineaciones entre ejes y absorbe los golpes del motor.

Es de suma importancia asegurar que el acoplamiento resistirá el par nominal impuesto por el motor (hasta 15.000 Nm). Se observa que su gama alcanza pares nominales de 85.000 Nm, permitiendo un elevado margen de seguridad.



Figura 4. 35. Acoplamiento elástico Flender

Conociendo todos estos elementos se procede con el diseño de la bandeja que los va a soportar en base a las dimensiones del motor y el reductor.

El peso total a soportar ronda la tonelada (700 Kg del reductor + 300 Kg del motor)

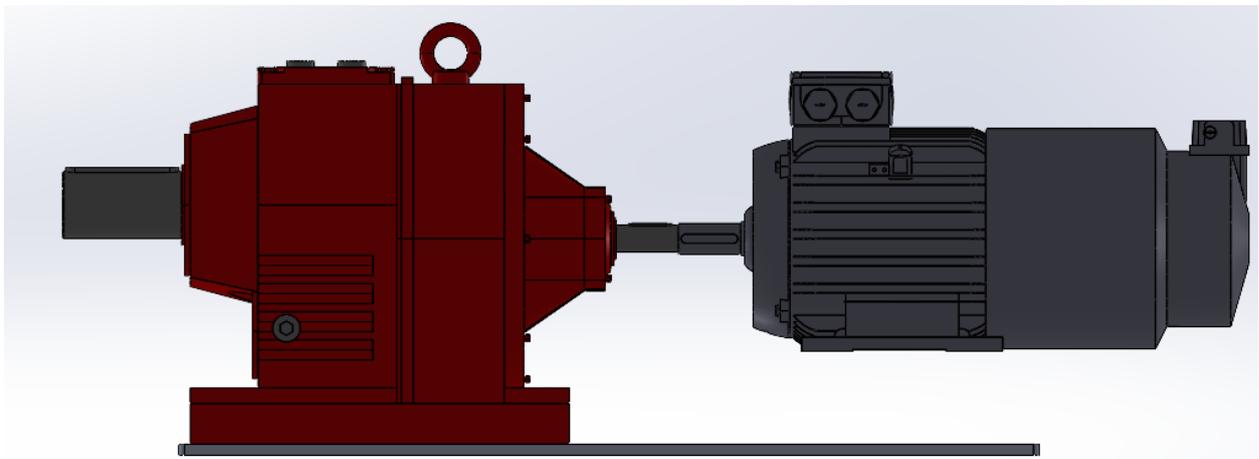


Figura 4.36. Disposición del conjunto motorreductor en perfil

Se observa como el motor debe situarse por encima de la bandeja principal (figura 4.36). Como se dispone de vigas tipo IPE 300 se colocan dos en posición longitudinal para dar la altura necesaria al motor, acompañadas de otra pequeña base que permite a las vigas alcanzar dicha altura. Dichas vigas se encuentran agujereadas estratégicamente para que se atornille el motor a las dos vigas atravesando también la bandeja entre la viga y las patas del motor.

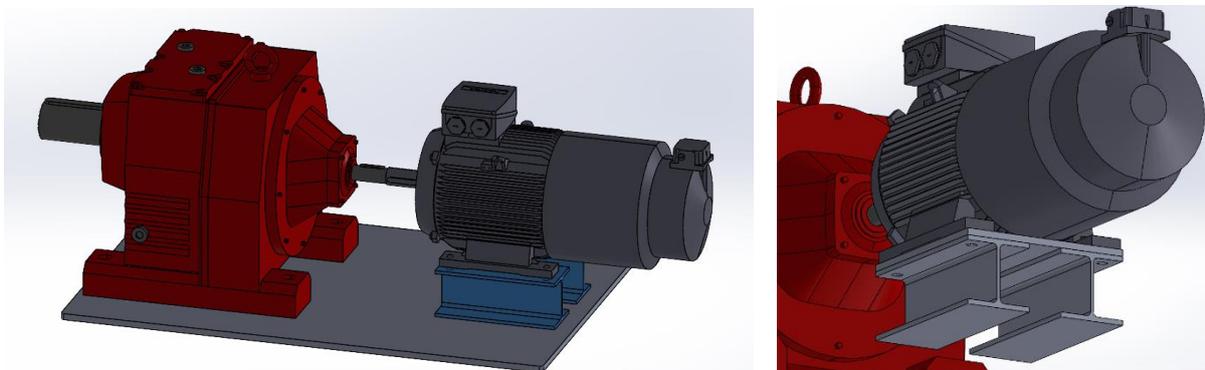


Figura 4.37. Bandeja principal y elevación del motor para igualar altura de ejes

Por último, se emplean cuatro vigas IPE 300 situadas en las esquinas de la bandeja que permitirán unir el ensamblaje a la plataforma principal. Se puede apreciar que existen dos longitudes diferenciadas. Esto se debe a que el diseño se realiza en base a la disposición de los elementos del bogie y la base. En este caso se tiene en cuenta que dos de las vigas se soldarán a la propia base del carro automático, mientras que las otras dos intercederán antes con una de las vigas HEA 500 de los extremos laterales de la base principal del carro, a la cual será soldado.

Todas las uniones, siguiendo la misma metodología presentada en el diseño de la base principal, son soldadas a excepción del reductor y el motor que se acoplan a sus respectivas bases mediante tornillería, facilitando de este modo su desmontaje y mantenimiento.

Para su correcto posicionamiento, se ha asegurado que los diferentes elementos del carro (teniendo en cuenta que se debe incluir también un cuadro electrónico) no intercedan entre sí y dejen una distancia mínima de ventilación. Además, el eje de salida de la reductora debe encontrarse lo más cerca posible del engranaje del eje motriz, con el fin de reducir al máximo la longitud de la cadena de transmisión y que permita acoplar una rueda dentada a la salida de la reductora en un plano paralelo a dicha rueda del eje.

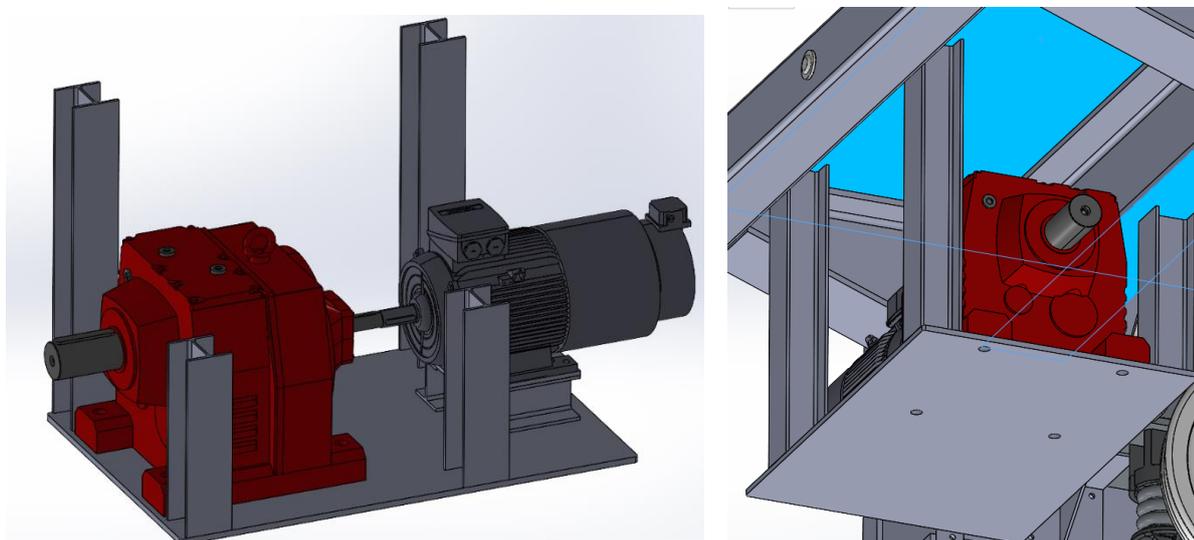


Figura 4. 38. Montaje final de la bandeja (izquierda) y ensamblaje final con el bogie (Derecha) en vistas 3D

Finalmente, se debe verificar el diseño. Para ello, se realiza una simulación tipo estática estructural, definiendo como soportes fijos del conjunto las caras superiores de las vigas laterales (puntos soldados a la base principal del carro). Posteriormente, se indican dos fuerzas en sentido vertical hacia abajo: La del motor sobre la bandeja-motor (3.000 N) y la de la reductora sobre la base de la bandeja (10.000 N), mayorando las fuerzas para disponer de un amplio factor de seguridad.

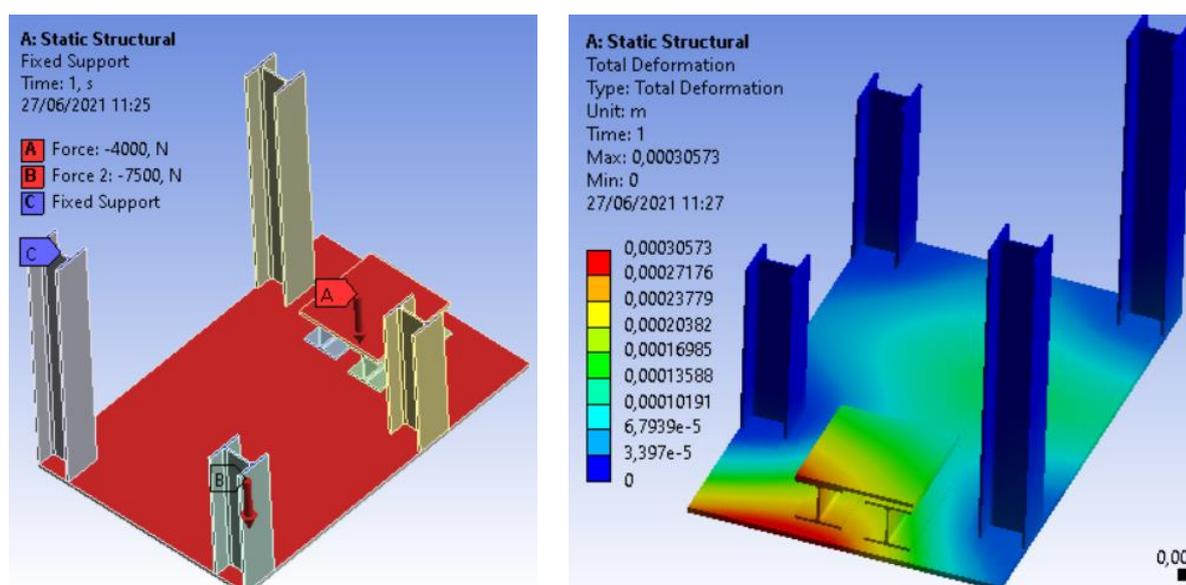


Figura 4. 39. Simulación en Ansys (izquierda: aplicación de fuerzas y definición de soportes fijos) con resultados (derecha)

No llega a deformarse más de 0,3 mm. Por lo tanto, el modelo es sumamente idóneo y resistente.

#### 4.3.6. DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ

Enlazando con el apartado anterior, una vez diseñado el modelo motriz se debe diseñar un sistema de transmisión eficiente. En este caso, debido a las dimensiones y la disposición de los elementos no se puede optar por la solución ideal, consistente en engranar dos engranajes directamente. Como resultado se debe plantear un método alternativo. Las opciones se reducen a una transmisión por correa o por cadena, siendo la segunda la opción escogida, ya que estas gozan de una mayor resistencia. Por consiguiente, se deben realizar los cálculos requeridos para escoger una cadena normalizada y sustituir el engranaje motriz que viene por defecto por una rueda dentada adaptada.

Para el diseño de cadena, se debe comenzar definiendo la relación de transmisión deseada. Es conocido que a la salida del reductor la velocidad es de 50,59 rpm, mientras que en el eje motriz se desea una velocidad de 22,74 rpm, el cociente entre ambos valores devuelve una relación de transmisión de  $i = 0:2,22$ . Por lo tanto, se deben escoger dos engranajes que cumplan dicha relación.

$$i = W_s/W_e = Z_e / Z_s \quad (4.8)$$

$$i = 22,74/50,59 = 16/35 = 0,45:1 \text{ o lo que es lo mismo, } i = 1:2,22$$

Con una rueda dentada en el eje de salida motriz de 35 dientes y un piñón (rueda dentada de menor tamaño) a la salida de la reductora, se logrará la velocidad y torque deseados a la salida del conjunto.

En base a dicha información. Se puede comenzar, aplicando la normativa ISO-8786 europea. El proceso de escoger una cadena comercial se comienza calculando la potencia corregida ( $P_c$ )

$$P_c = P * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \quad (4.9)$$

Siendo:

- $P$  = potencia del motor (ya que la reductora no lo altera = 37kW).
- $K_1 = 19/ Z_{\text{Piñón}} = 19 / 16 = 1,2$ .
- $K_2$  = coeficiente en base al número de cadenas, se presupone una cadena triple = 0,4.
- $K_3$  = coeficiente en base al número de eslabones, se presupone 1 (120 eslabones).
- $K_4$  = El factor de servicio, estimado en 1,8 para maquinaria pesada con motores eléctricos.
- $K_5$  = coeficiente en base a la vida útil de la cadena, 15.000 horas da un factor de 1.

Por lo tanto:

$$P_c = 37 * 1,2 * 0,4 * 1 * 1,8 * 1 = 31,63 \text{ kW.}$$

Con estos datos (velocidad de la rueda dentada pequeña en el eje x y  $P_c$  en el eje y) se accede al diagrama de selección de cadenas (serie B, al ser esta la norma europea). El resultado, es una cadena tipo 28B-Triplex de paso 44,45 mm.

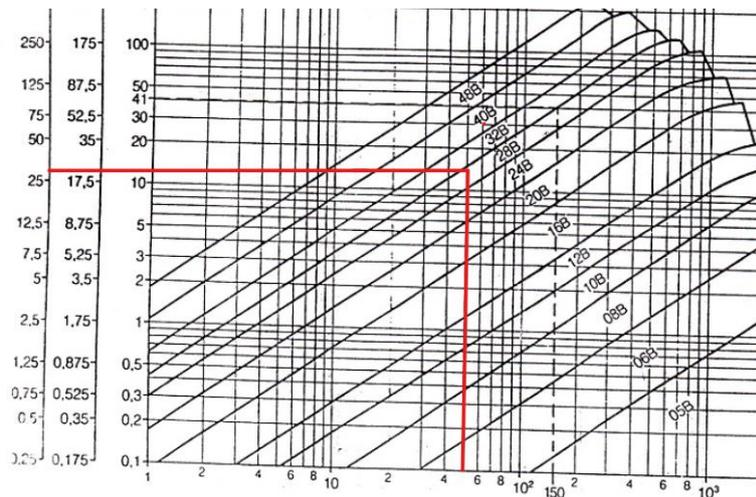


Figura 4. 40. Gráfica para selección de cadenas

A continuación, se calcula el diámetro primitivo ( $D_p$ ) de los engranajes (fórmula 4.10) en radianes:

$$D_p = \text{Paso} / \text{sen}(\pi/z) \quad (4.10)$$

$$D_{p\_grande} = 44,45 / \text{sen}(\pi/35) = 495,9 \text{ mm}$$

$$D_{p\_piñón} = 44,45 / \text{sen}(\pi/16) = 227,84 \text{ mm}$$

- Paso = paso de la cadena.
- Z = número de dientes.
- $D_p$  = diámetro primitivo.

Dentro de sus cálculos para validar el modelo se destacan los siguientes:

$$L/\text{paso} = (Z_1+Z_2)/2 + (Z_2-Z_1) * \beta/\pi + O_1O_2 * \cos(\beta) * 2/\text{paso} \quad (4.11)$$

$$\beta = \text{sen}^{-1} (R_2 - R_1 / O_2O_1) \quad (4.12)$$

- L: la longitud total de la cadena en mm.
- Paso: paso de la cadena, en mm.
- $Z_1$ : es el número de dientes del piñón.
- $Z_2$ : es el número de dientes de la rueda mayor;
- $O_1O_2$ : es la distancia entre centros de las ruedas, en mm.
- B: es el ángulo de contacto, en radianes. Analíticamente se obtiene a partir de la siguiente expresión 4.12 siendo R los radios de las ruedas.

Previamente al cálculo, se realiza en SolidWorks un ensamblaje general del eje de salida de la reductora y el eje motriz y se calcula su distancia entre centros (1239,88 mm).

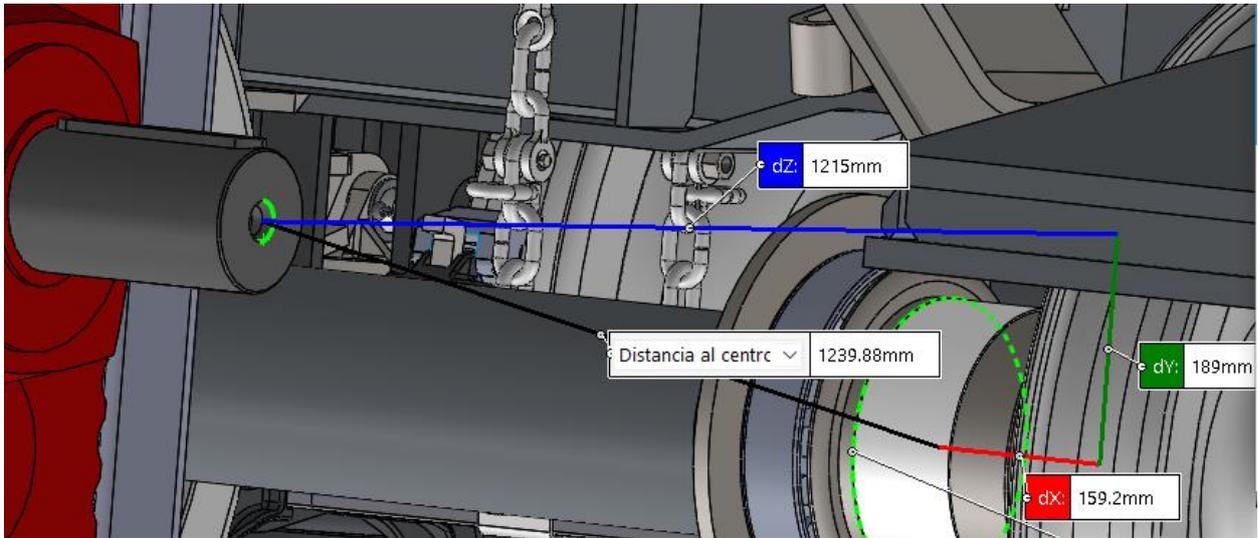


Figura 4. 41. Distancia entre el eje de la reductora y el eje motriz

$$\beta = \text{sen}^{-1} (247,95 - 113,92 / 1239,88) = 0,11 \text{ rad}$$

$$L/\text{paso} = [(35+16)/2 + (35-16) * 0,11/3,1416 + 1239,88 * \text{cos}(0,11) * 2/44,45] = 82 \text{ eslabones}$$

Siendo conocedor del número de eslabones, se puede recalcular la potencia corregida, ya que anteriormente se consideró que este valor era 1, con un total de 120 eslabones. Según las referencias de la norma, para 82 eslabones dicho coeficiente pasa a ser  $K_3=1,65$  y devuelve un  $P_c = 37 * 1,2 * 0,4 * 1,65 * 1,8 * 1 = 52,19 \text{ kW}$ .

Ingresando de nuevo en la tabla para la selección de cadenas, el punto de unión en el eje x e y fluctúa en la transición de una cadena 32B a 40B. Por motivos de seguridad, se opta por el modelo superior, 40B-triplex con un paso de 63,5 mm.

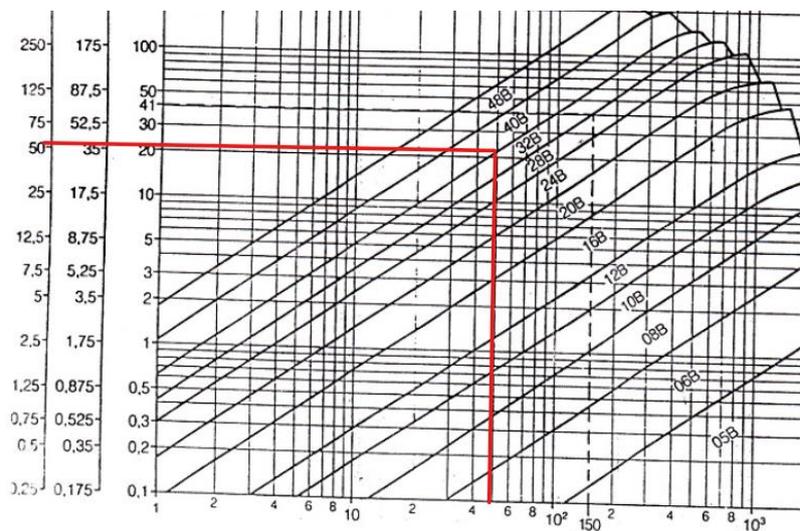


Figura 4. 42. Reección de la cadena

Con esta nueva cadena, se repite todo el proceso anterior. Resumiendo, se aplican las fórmulas 4.10, 4.11 y 4.12 nuevamente:

$$Dp\_grande = 63,5 / \text{sen}(\pi/35) = 708,39 \text{ mm}$$

$$Dp\_piñón = 63,5 / \text{sen}(\pi/16) = 325,49 \text{ mm}$$

$$\beta = \text{sen}^{-1} (354,195 - 162,745 / 1239,88) = 0,16 \text{ rad}$$

$$L/paso = [(35+16)/2 + (35-16) * 0,16/3,1416 + 1239,88 * \text{cos}(0,16) * 2/63,5] = 65 \text{ eslabones}$$

Se repite de nuevo todo el proceso, donde en esta ocasión nuevamente resulta ser una cadena de 40B-triplex al tener en la tabla 50,59 rpm en el eje x y la nueva potencia corregida de 60,73 kW tras cambiar el factor  $K_3$  a 65 eslabones, dando un coeficiente aproximado de 1,9.

La elección no termina en este punto. Ya que se deben verificar otros condicionantes.

La velocidad lineal de la cadena [m/s] se calcula mediante la fórmula 4.13:

$$V = \text{paso [m]} * z * N / 60 \quad (4.13)$$

$$V = 0,0635 * 16 * 50,59 / 60 = 0,86 \text{ m/s}$$

Siendo N la velocidad de giro de la rueda en rpm y z el número de dientes. Para cadenas de paso 63,5 la velocidad máxima recomendada es de 500 rpm y 10 m/s, entrando dentro del rango.

Se debe comprobar el esfuerzo total soportado por la cadena [N]:

$$Fu = \text{Potencia} / v \quad (4.14)$$

$$Fu = 37000 / 0,86 = 43 \text{ kN}$$

Siendo P [W] la potencia transmitida, que se mantiene por su paso por la reductora, y v la velocidad lineal promedio.

Se debe tener en cuenta que el giro de la cadena genera una fuerza centrífuga ( $F_c$ ):

$$F_c = M * V^2 \quad (4.15)$$

$$F_c = 48,9 * 0,86^2 = 36,1 \text{ N}$$

Siendo M el peso unitario de la cadena [kg/m].

Escogiendo una transmisión por cadena comercial según la norma europea, la empresa Renold ofrece diferentes modelos y datos de interés:

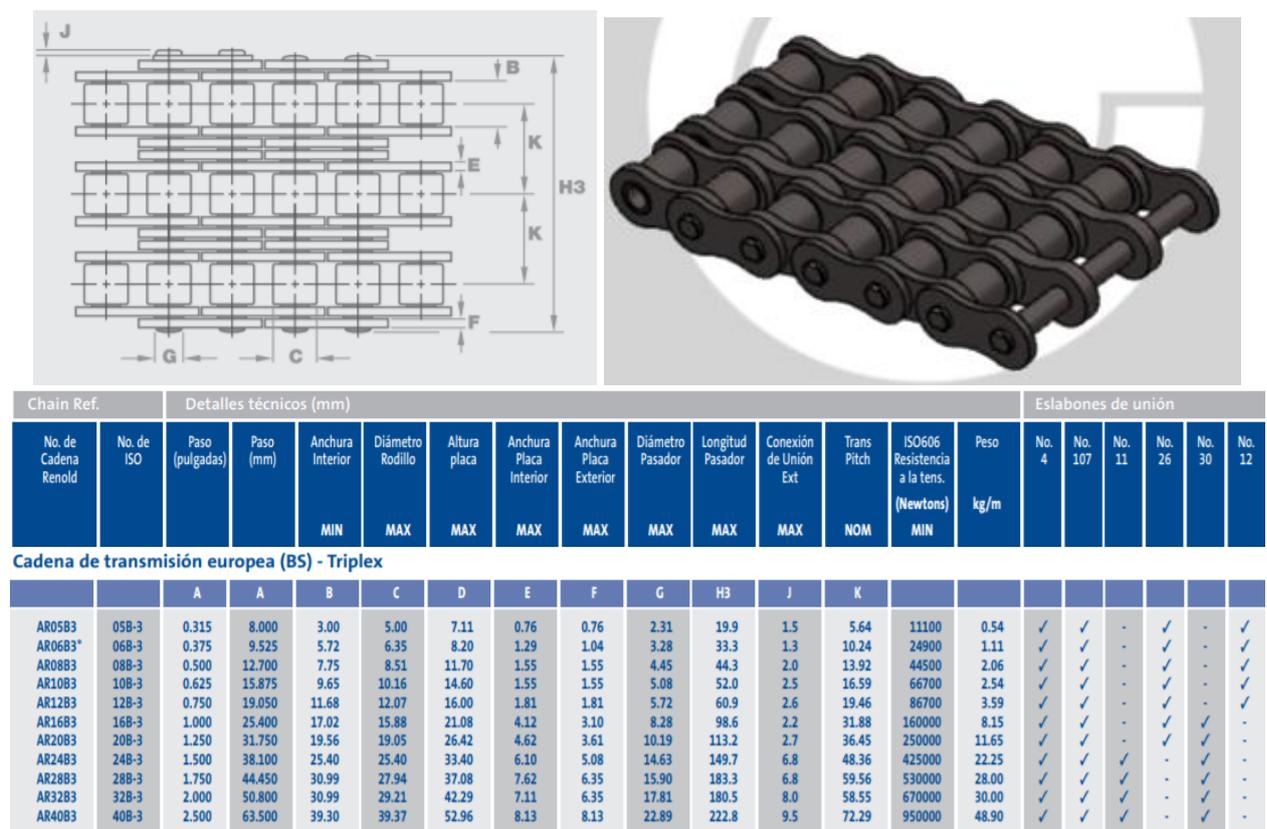


Figura 4. 43. Hoja de especificaciones de cadenas Renold justo a modelo de cadena en 2D (planta) y 3D

Con estos datos se puede calcular el coeficiente de seguridad que debe mayor de 12:

$$C = R / Fc + Fu \tag{4.16}$$

$$C = 950000 / 43000 + 36,1 = 22$$

Siendo R la carga de rotura [N], según la hoja de especificaciones de la cadena.

Se puede comprobar que el factor de seguridad es muy elevado, verificando la correcta elección de la cadena. Como punto final, se emplea el configurador de cadenas de Renold para verificar los cálculos:

RECOMMENDATIONS
64 B (ISO 606) Simplex
48 B (ISO 606) Duplex
40 B (ISO 606) Triplex

**Chain Details**

Input Power:	P = 37 kW	Pitch:	p = 63.5 mm
Input Speed:	n = 51 rpm	ISO Breaking Load:	Fb = 950000 N
Chain Linear Velocity:	v = 0.9 m/s	Bearing Pressure:	pr = 21.144 N/mm <sup>2</sup>
Torque:	T = 6928.431 Nm	Bearing Area:	f = 38.25 cm <sup>2</sup>
Static Force:	F = 42843.9 N	Weight:	q = 48.9 kg/m
Dynamic Force:	Fd = 80837.6 N	Chain Length:	l = 4064 mm
Centrifugal Force:	Ff = 36.47 N	Centre Distance:	a = 1207.02 mm
Total Force:	Fg = 80874 N	Number of Links:	X = 64
Chain Safety Factors:	static = 22.2 dynamic = 11.8		

**Chain Drive**

Sprocket	Driving (Z1)	Driven (Z2)	
Number of Teeth:	16	35	Ratio: i = 2.188
Pitch Circle Diameter:	325.49 mm	708.395 mm	
Loading Classification:	Slight Shocks	Heavy Shocks	

**Environment Conditions**

Environment Conditions:	Indoor, Normal
Service Conditions:	Inadequate lubrication (relative to lubrication)
Recommended Lubrication:	Drip Lubrication

40 B (ISO 606) Triplex

Serial Number: **AR40B3**

The working life of the chain is greater than 15000 hours.

After this time:  
The chain will reach 3% elongation.

Download result as PDF

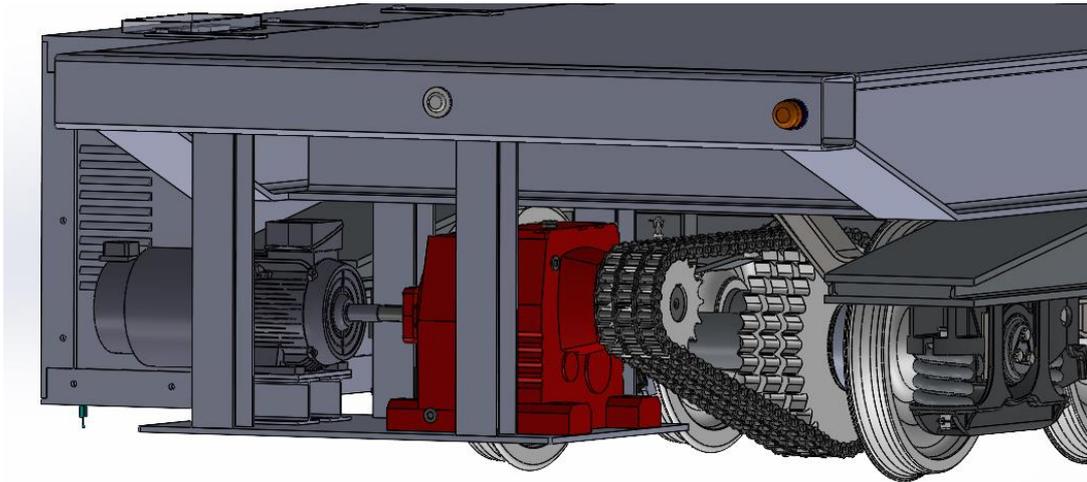
↓ Download

Figura 4. 44. Resultado del estudio de Renold

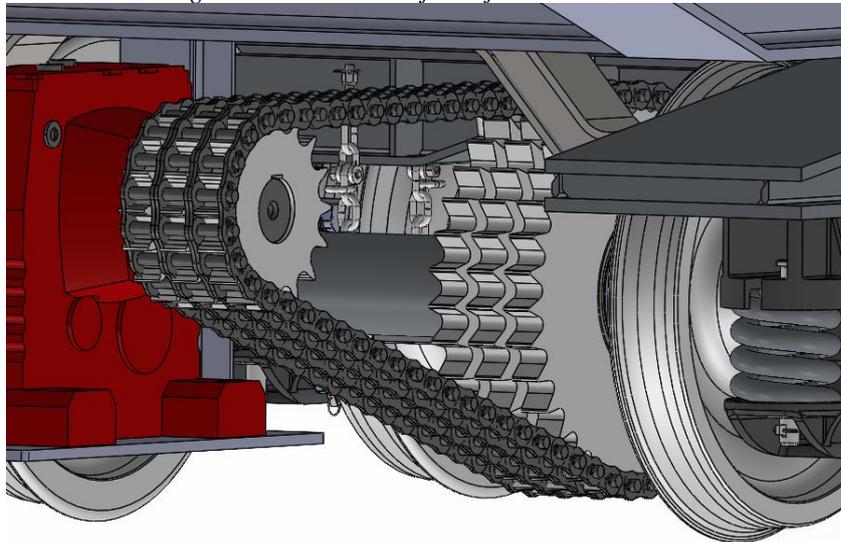
El resultado coincide con el obtenido. Sin embargo, se destaca que se podrían haber empleado también cadenas 64B-simplex o 48B-duplex, aunque esta elección se considera la más adecuada debido a que el diámetro de la rueda dentada de mayor tamaño es inferior a la de la rueda (840 mm de diámetro) del carro automático, con un diámetro primitivo de 708,39 mm. En los casos de la cadena 64B y 48B, estos diámetros hubieran sido de 1133.431 mm y 850.073 mm respectivamente, y mayores al diámetro de la rueda, interfiriendo en el ensamblaje y movimiento.

La propia empresa Renold, conociendo el diámetro primitivo de las ruedas dentadas, su tipo (triplex) y número de dientes, ofrece un diseño personalizado y adaptado a las necesidades del cliente, pudiendo incluir dichas ruedas dentadas dentro del eje motriz y de la reductora con chaveta.

Se finaliza incluyendo un montaje final en SolidWorks, brindando una visualización del ensamblaje del conjunto de transmisión por cadena.



*Figura 4. 45. Ensamblaje conjunto motriz en 3D*



*Figura 4. 46. Transmisión por cadena triple en 3D*

#### 4.3.7. ELEMENTOS DE SEGURIDAD MECÁNICOS

Para asegurar la fiabilidad del sistema se deben situar dos finales de vía comerciales con el fin de que en caso de que falle la electrónica o el sistema de frenos, se asegure un método que evite que el carro descarrile y pueda dañar a alguien.

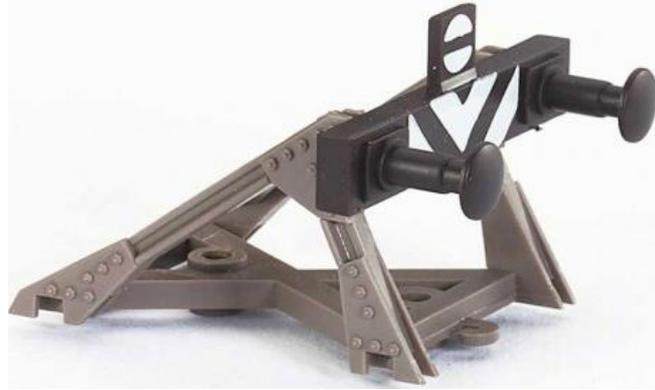


Figura 4. 47. Final de vía comercial

Para realizar el transporte de barras forjadas, se emplean dos caballetes o grapas metálicas de apoyo a ambos extremos. Este método se encuentra empíricamente probado por Reinosa F&C, ya que el flujo de transporte actual emplea dichos caballetes de madera que aseguran que la carga no ruede y pueda llegar a caer por uno de los extremos del carro, pudiendo dañar tanto el producto como el entorno y en el peor de los casos a personas.



Figura 4. 48. Diferentes métodos de asegurar la carga sobre carros de transporte

El elevado peso de las cargas permite situar los caballetes sobre la base sin necesidad de ser atornillados o sujetos, ya que la componente vertical debida al peso de la barra posada es muy elevada respecto al resto de fuerzas que se puedan generar durante el transporte, limitando su desplazamiento a lo largo y ancho de la plataforma, asegurando la carga.

#### **4.4. Electrónica del sistema**

A lo largo de este apartado, se explicarán los diferentes elementos electrónicos que conforman el sistema y se atenderá a cada uno de ellos mediante un apartado individual. Una de las principales problemáticas de este diseño ha sido lidiar con su elevada potencia. La potencia de este tipo de sistemas normalmente se emplea en redes domésticas o industriales y se acompañan de inversores y baterías solares. En este caso, tras tratar con diferentes empresas especializadas en redes eléctricas portables; en la industria ferroviaria y elementos electrónicos en general, Siemens ha sido el candidato seleccionado que mejor se adaptaba a las necesidades del proyecto, colaborando en el desarrollo de este mediante su amplia oferta de productos que abarcan un gran abanico de posibilidades y potencias.

Es importante destacar que al tratarse de un proyecto que no se va a acometer a corto plazo, se trabaja sobre un presupuesto y componentes orientativos en muchas ocasiones que serán totalmente definidos en caso de llevar a cabo el diseño. Este hecho limita el diseño a un prototipo sobre el papel.

En todo el conexionado que se explicará en los subapartados de cada componente, se deben atender a las secciones de cable, tipos de entradas y salidas y conexiones auxiliares que pueden requerirse indicadas en los manuales donde Siemens se encarga de incluir estos cableados dentro del presupuesto inicial. Normalmente, en montajes y proyectos de este calibre, es la propia empresa (Siemens) quien pone a su disposición operarios para realizar el montaje, definir el control del sistema y establecer la puesta a punto.

Durante los siguientes apartados se mostrarán todos los componentes, indicando características de interés, sus funciones justificando su empleo, así como indicaciones sobre el conexionado básico de cada componente antes de dar paso a las nociones de control.

##### **4.4.1. ESQUEMA ELÉCTRICO GENERAL**

Como punto inicial de partida, se muestra un esquemático básico del sistema. Este esquema es meramente informativo y visual. De hecho, los puntos de conexión del sistema entre elementos no coinciden con los reales, que serán atendidos en los apartados venideros.

El circuito electrónico general se divide en dos partes: un circuito de potencia, encargado de alimentar todo el sistema desde las baterías hasta el motor y otro de control, encargado de establecer la rutina de funcionamiento, monitorizar todos los componentes del circuito y controlar que el motor funciona (frecuencia, velocidad, filtrado de señal y regulación).

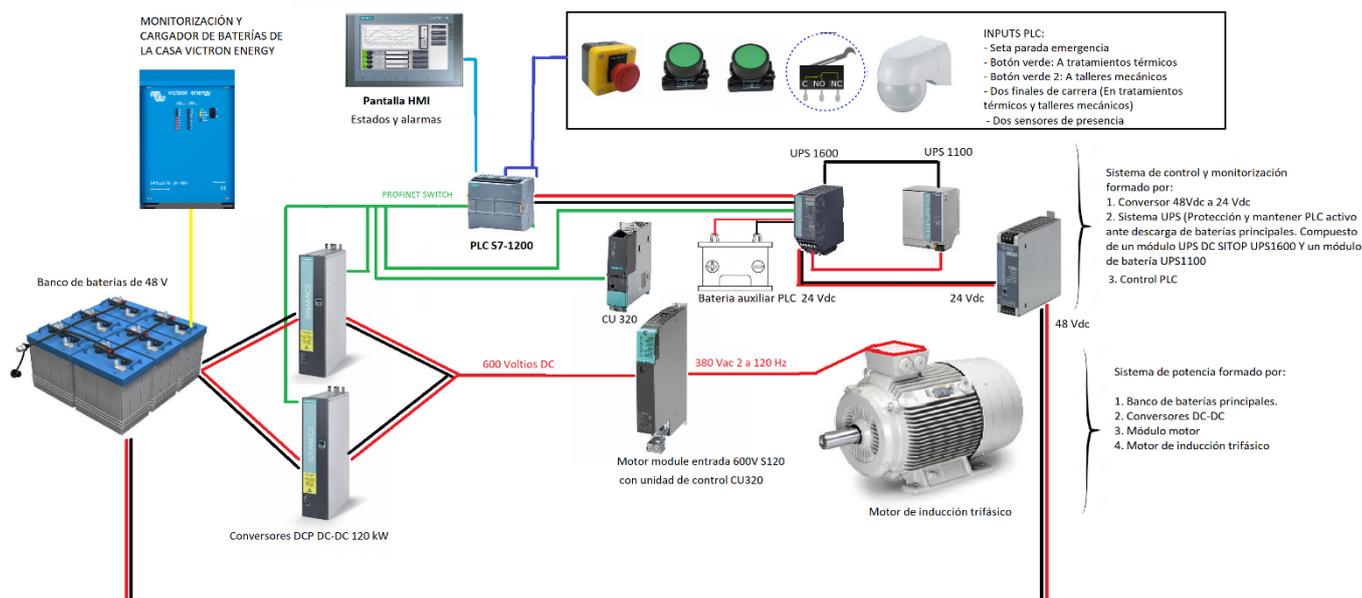


Figura 4. 49. Esquema general electrónico

Tabla 8. Componentes electrónicos de Siemens para este proyecto

Referencia	Circuito	Cantidad	Descripcion
	Potencia		<b>SISTEMA DCP</b>
6RP0010-1AA32-0AA0-Z G33		2	DCP 120 KW Convertidor DC/DC de 4 cuadrantes SINAMICS DCP 120kW, 200 A con 600 DC bidireccional
6SL3055-0AA00-2EB0		1	SINAMICS S120 MODULO PROFINET RJ45
3NB1128-4KK11		4	Fusibles 250A
3NB1128-4KK12		4	Fusibles 250A
3NW6004-4		10	3NW6004-4 Fusibles
3NC2304-0MK		4	3NC2304-0MK Portafusibles
No disponible		1	contactores precarga
	Control		<b>SISTEMA PLC</b>
6ES7214-1AF40-0XB0		1	PLC 1214CF
6AV2123-2DB03-0AX0		1	HMI KTP400 (Pantalla 4 pulgadas)
	Control		<b>SISTEMA BATERIA + 24VDC y Sistema UPS</b>
6EP3233-0TA00-0AY0		1	Fuente de 48V a 24VDC
6EP4131-0GB00-0AY0		1	Modulo bateria 24VDC
6EP4134-3AB00-2AY0		1	UPS control Bateria
	Control		<b>SISTEMA S120 - CONTROL</b>
6SL3040-1MA01-0AA0		1	Control Unit CU320-2 PN para motor
6SL3054-0FC30-1BA0		1	Basic
6SL3060-4AD00-0AA0		1	Signal cable; DRIVE-CLiQ cable 0,16 m
6SL3060-4AH00-0AA0		1	Signal cable; DRIVE-CLiQ cable [RJ45 IP20]; 0,26 m
	Potencia		<b>SISTEMA S120 - Motor Module</b>
6SL3120-1TE28-5AA		1	Módulo motor de 85A con entrada 600V
1LE1004-2AA52-2AA4-Z F70		1	Motor inducción 38'20 kw trifásico

Elementos ajenos a Siemens:

- Cargador de baterías con capacidad de monitorización VICTRON ENERGY SKYLLA 48V/50A para baterías individuales.
- Cargador IDOITWELL 48V/300A para el banco de baterías.
- Baterías de ion litio BSLBATT de 48V y 300Ah.

**4.4.2. ARMARIO ELECTRÓNICO**

Se ha tenido en cuenta la mejor distribución de los elementos, evitando largas tiradas de cable que pueden generar pérdidas y teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos y las distancias de seguridad de montaje. A tales afectos, se diseña un armario básico que asegura la sujeción y protección de la electrónica del sistema.

El método de sujeción para los diferentes elementos se basa en perfiles de aluminio agujereados a los que atornillar los puntos de acoplamiento de cada componente mediante tornillería y tuercas.

El modelo debe asegurar la estanquidad en su interior al trabajar en el exterior, así como la correcta ventilación de sus elementos para evitar problemas de calentamiento.

Para su diseño, se ha definido primero el layout interno de los componentes sobre la tapa trasera, para luego añadir los diferentes perfiles de sujeción sobre dicha cara y los soportes de las baterías. En base a esas medidas, se diseña el resto de las tapas que cierran el sistema.

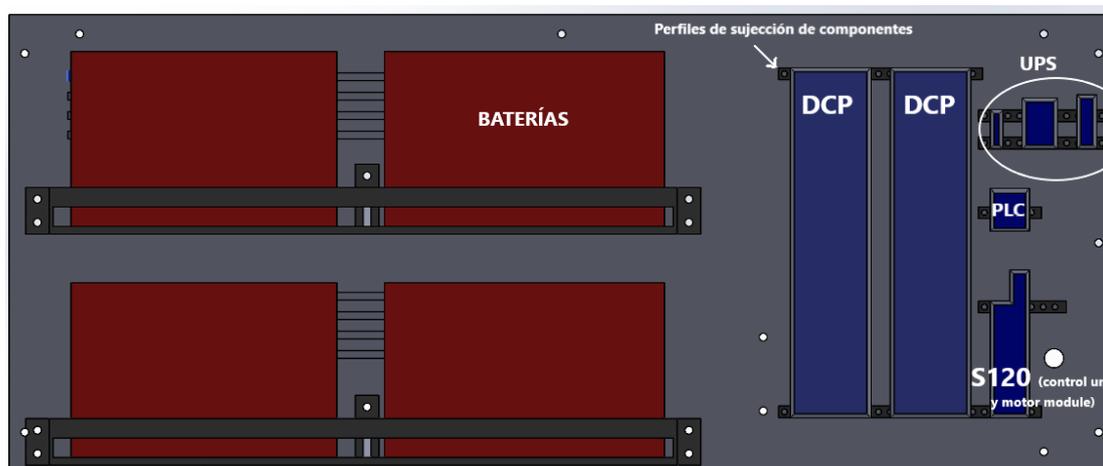


Figura 4. 50. Layout de componentes en el cuadro electrónico

Las baterías se atornillan sobre dos bandejas que se atornillan a la tapa trasera del cuadro electrónico. De esta forma, se restringe el movimiento de las baterías, limitando su deslizamiento sobre la bandeja. Como añadido de seguridad se incluye en dichas bandejas una barandilla.

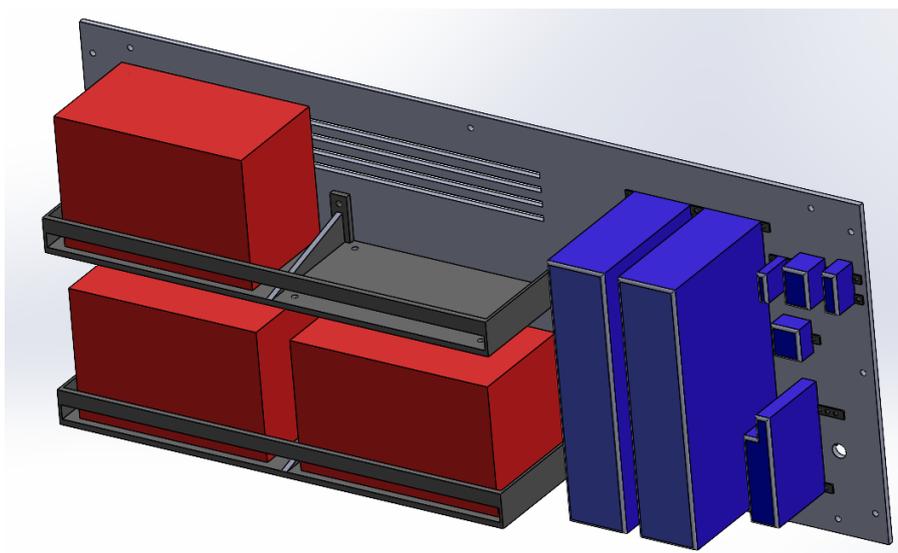


Figura 4. 51. Layout de componentes con bandejas para baterías (vista en 3D)

Una vez conocidas las medidas en base a los componentes internos se diseñan las tapas laterales, incluyendo en las mismas una solapa que rodea por detrás la tapa trasera, permitiendo atornillarlas juntas mediante tornillería M20. La tapa lateral que se encuentra al lado de los elementos electrónicos incluye una rejilla de ventilación. Del mismo modo, la propia tapa trasera incluye dos rejillas que no se encuentran abiertas totalmente al exterior, ya que se incorpora un tejadillo a cada ranura para asegurar la estanqueidad sin sacrificar la correcta ventilación de las baterías. Es importante destacar que las rejillas traseras están situadas de manera que no interceden con las zonas de unión entre el bogie y la base principal.

Respecto a la tapa lateral que cierra los extremos de las baterías se incluye una caja que contiene el cargador del sistema, hueca por debajo, permitiendo enchufar la caja a la luz (230 VAC). Finalmente, se incorpora un agujero por el que pasar el cableado desde las baterías hasta el cargador.

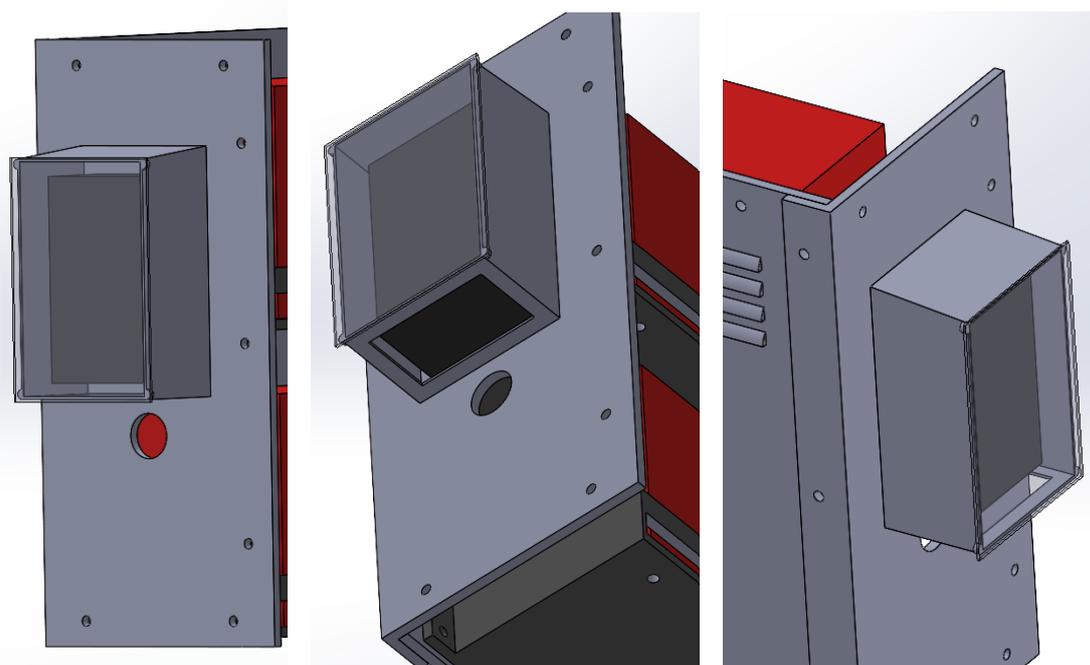


Figura 4. 52. Tapa lateral 1 (con cargador de baterías)

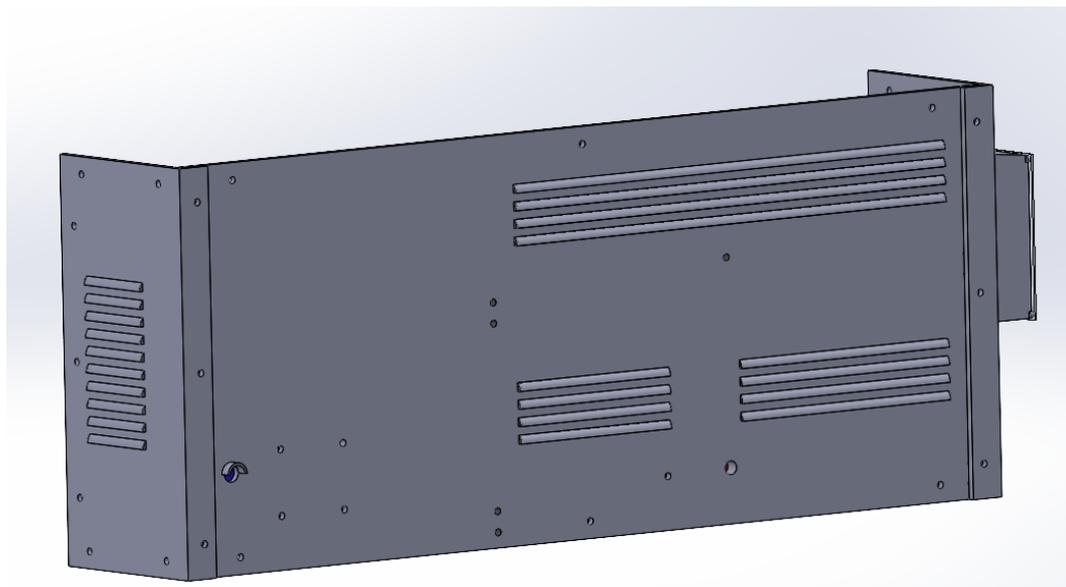


Figura 4. 53. Cuadro electrónico con tapa trasera y laterales visto desde atrás en 3D

En la figura anterior (figura 4.53) se puede observar un agujero de mayor tamaño en la parte izquierda inferior, con un tejadillo que permite que no penetre agua de lluvia. Por ese agujero pasarán los cables desde el sistema de control S120 al motor de inducción (entre otros cables como el de luces, sensores y finales de carrera).

La tapa inferior y superior se adaptan perfectamente a la geometría y salientes generados, fruto de la unión entre la tapa trasera y las laterales, evitando que penetre agua u otros elementos entre dichas uniones al tratarse de capas superpuestas. Además, la tapa superior presenta la zona de mando, protegida por una carcasa transparente que se levanta mecánicamente por bisagras y una serie de agujeros que servirán para acoplar el cuadro a la base, completando el ensamblaje de todo el sistema.

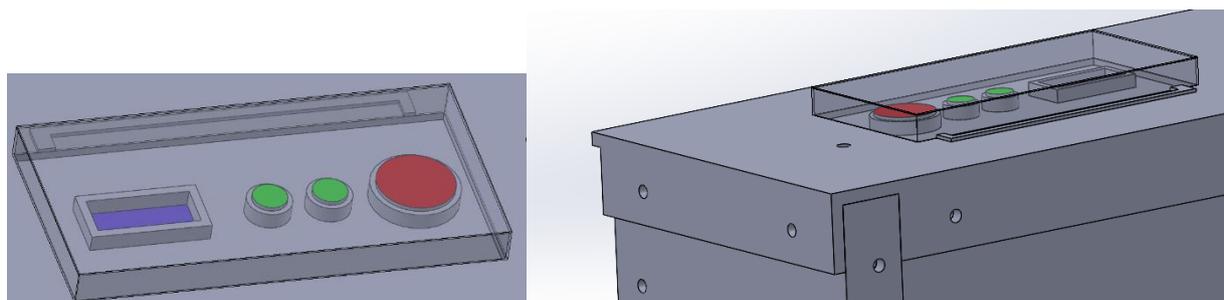
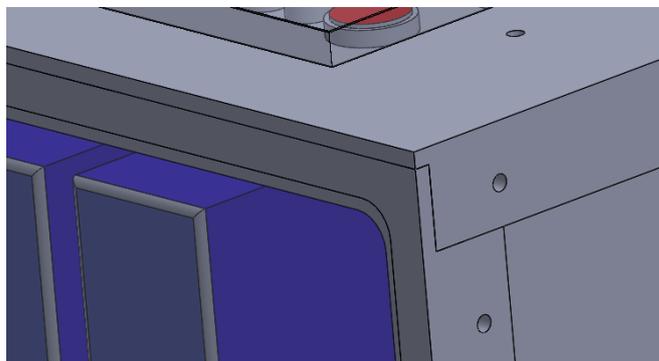
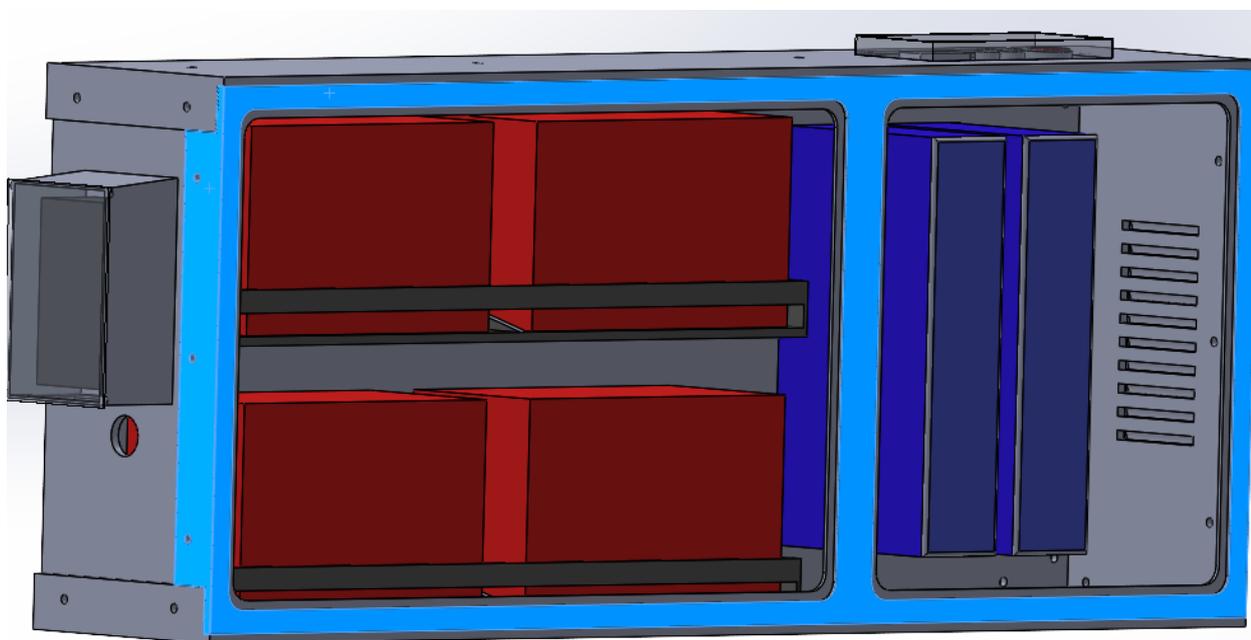


Figura 4. 54. Cajera de mando

Finalmente, se incorpora la tapa delantera cerrando las uniones. Como se puede observar (figura 4.55), la geometría de todas las caras y sus respectivas uniones han sido diseñadas para solaparse dos veces una respecto a otras, quedando unidas perfectamente y asegurando la impermeabilidad del sistema.



*Figura 4. 55. Puntos de unión de una de las esquinas del cuadro electrónico*



*Figura 4. 56. Cuadro electrónico, tapa delantera destacada en azul*

En su parte delantera se añaden dos puertas, donde una permite acceder a las cuatro baterías del sistema y la otra a la electrónica de este. Dichas puertas sujetas por sus bisagras se cierran perfectamente, apoyándose en su posición de cierre sobre un saliente que rodea la apertura del hueco. De este modo se asegura que la puerta no se pueda girar hacia dentro y la estanqueidad del producto.

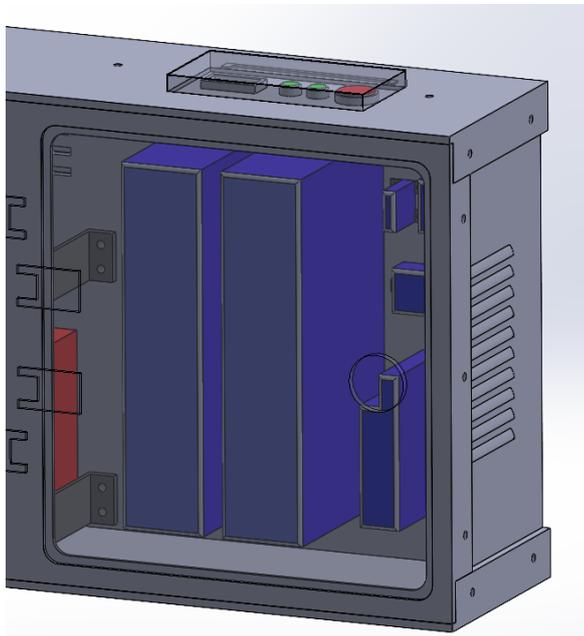


Figura 4. 57. Puerta (transparente) de la parte de los componentes

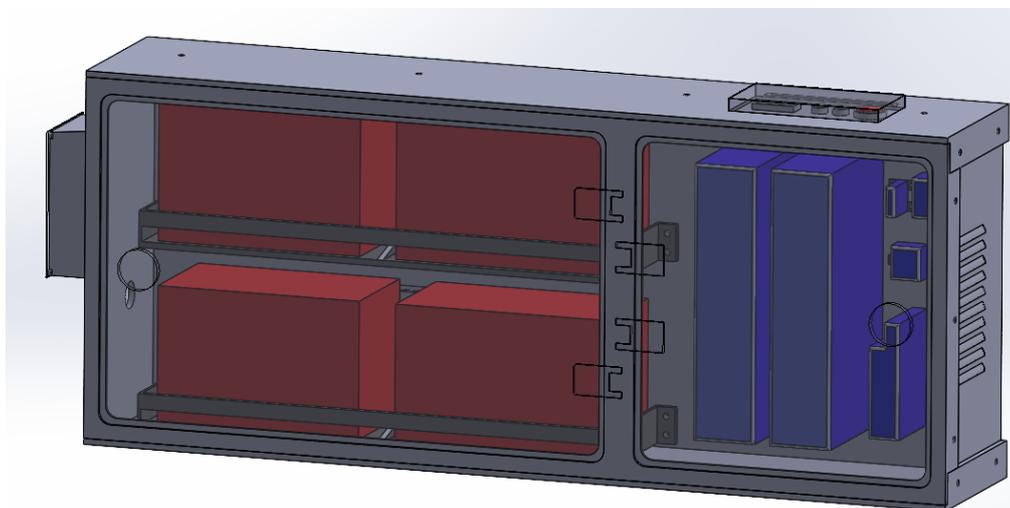


Figura 4. 58. Cuadro electrónico con puertas transparentes en 3D

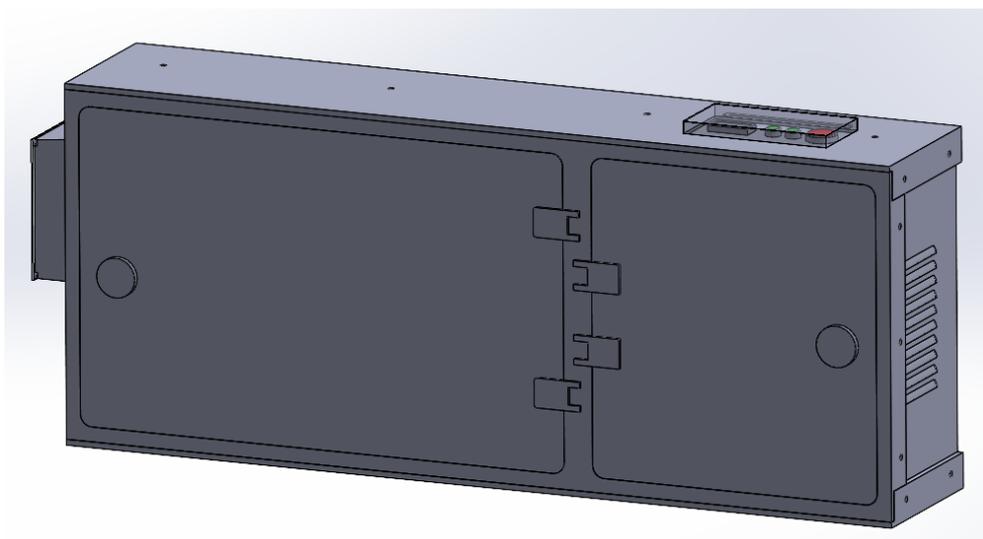


Figura 4. 59. Cuadro electrónico, vista en 3D real

Aprovechando que en todo el ensamblaje del cuadro electrónico se prescinde de uniones soldadas, es recomendable emplear un material que asegure la resistencia y que sea ligero. En este caso el aluminio presenta unas características muy aptas para este montaje debido a su elevada resistencia y ligereza.

Absolutamente toda la tornillería del cuadro electrónico es tornillería M20, exceptuando los perfiles de aluminio encargados de asegurar los componentes a la tapa trasera que, en consecuencia, deberá ser agujereada para acoplarlos mediante tornillería a determinar por el perfil comercial escogido en los puntos necesarios.

Respecto a su ensamblaje, se descarta situarlo en un extremo de la base, debido a que quedaría en voladizo y se deberían diseñar piezas auxiliares de sujeción relativamente complejas. Como resultado, se aprovechan las múltiples posibilidades de sujeción que ofrece el lateral del carro (bastidor principal y base longitudinal) y se posiciona en un lateral, cerca del punto donde se situará el motor para que la tirada de cable entre el motor y el sistema S120 sea lo más corta posible. Procediendo con el ensamblaje, se debe agujerear la base general del carro, con el fin de que se incorporen cuatro pletinas (nexo base-cuadro) de acero de 1 mm de espesor, atornilladas a los agujeros localizados en la tapa superior.

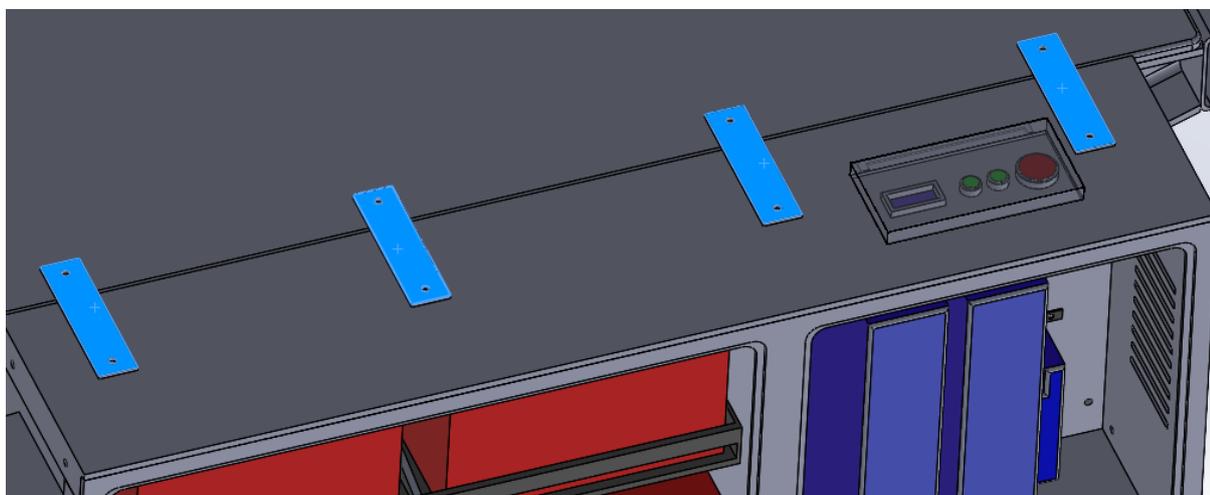


Figura 4. 60. Pletinas superiores para ensamblaje general

Sin embargo, esta unión no es suficiente. El bogie debe ser sometido nuevamente a una modificación. En este caso, se trata de dos pletinas de acero en forma de L y rigidizadas gracias a una aleta en su centro que son soldadas a la cara inferior del bastidor principal, construido también en acero. La cara paralela al cuadro electrónico de aluminio es atornillada a este gracias a cuatro tornillos.

Por último, se destaca que se ha tratado de acercar lo máximo posible el cuadro al centro del bogie, para no desviar excesivamente su centro de gravedad. En el ensamblaje final se percibe una descompensación de peso entre la parte del sistema motriz y el cuadro electrónico y el otro extremo que no soporta ningún elemento ajeno a la base principal o al bogie, a excepción del sistema de frenado manual. Obviamente, el peso de estos elementos no afecta gravemente al otro extremo, pero sí se recomienda distribuir la carga adecuadamente a lo largo del carro y no centrarla toda en los extremos, pudiendo hacer cabecear el carro durante el trayecto.

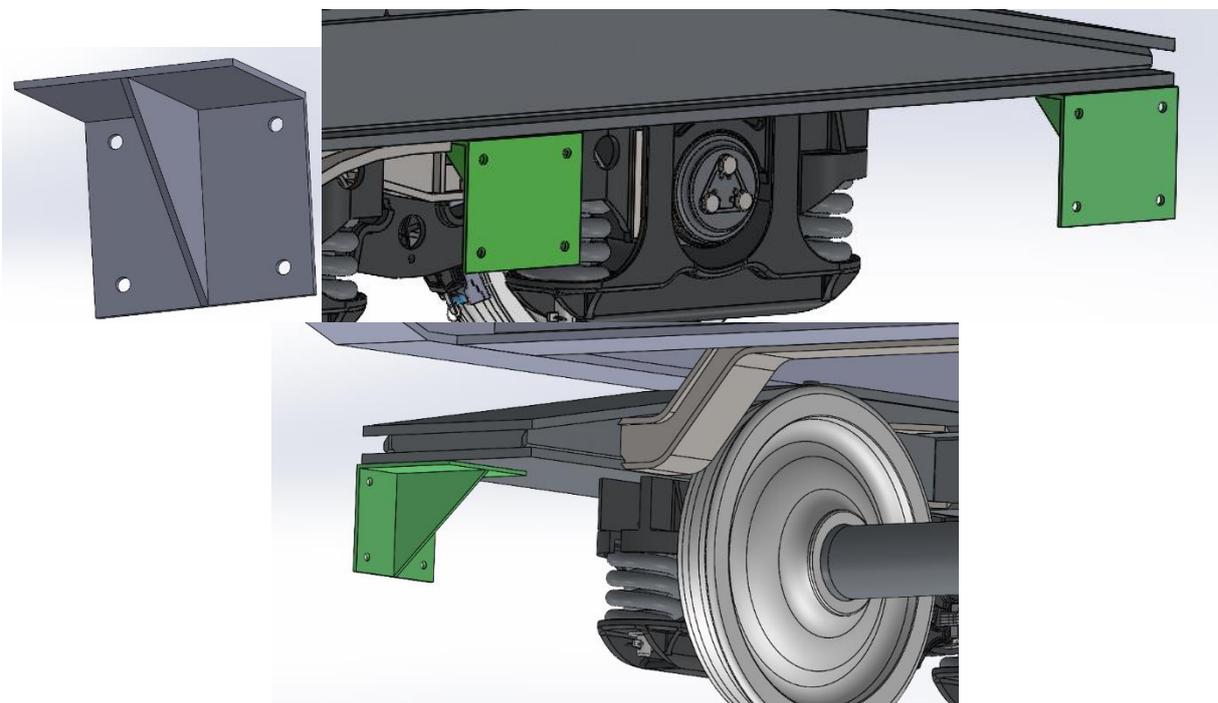


Figura 4. 61. Pletina para ensamblaje (izquierda superior); Pletinas soldadas al bastidor del bogie (derecha superior); pletinas soldadas, vista trasera 3D (inferior)

Posteriormente, se atornilla el cuadro electrónico a las diferentes pletinas, aunque se debe destacar que la pletina más interna debe dejar el tornillo inferior libre, para no interceptar una de las uniones internas del cuadro (la bandeja de la batería y su unión a la tapa trasera del cuadro). No obstante, el prescindir de ese tornillo no afectará a la sujeción.

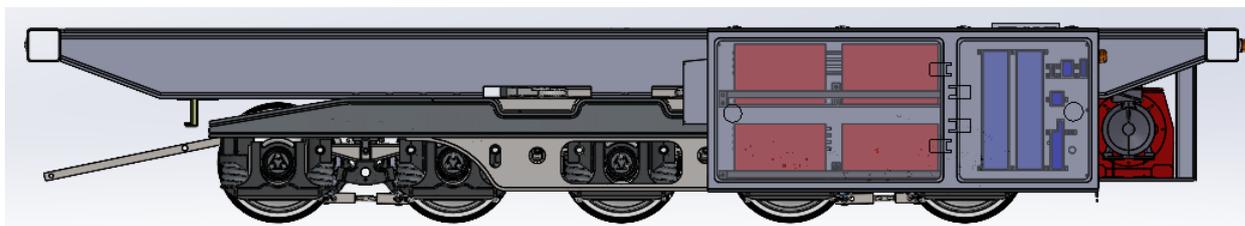


Figura 4. 62. Ensamblaje general, perfil

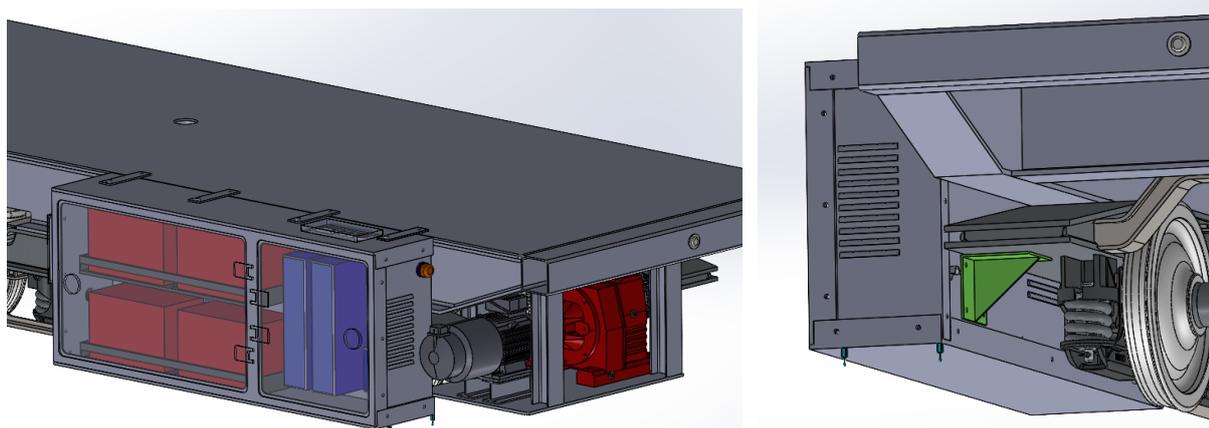


Figura 4. 63. Sucesión de imágenes del ensamblaje general del cuadro a la base y el bogie

Con el fin de asegurar que las uniones resistirán se realiza una simulación mediante Ansys Workbench, donde los puntos de contacto con el bogie o la base son considerados fixed support y los anclajes con el cuadro se indica que es una unión tipo bonded sin deslizamiento.

La deformación es del orden de  $10^{-6}$ . En esta simulación no se ha incluido ninguna fuerza debido a que el operario debe ser consciente de que dicha zona no está preparada para situar cargas sobre el cuadro. Sin embargo, si por error este hecho acontece, se implica una fuerza en la parte superior del orden de 150.000 N. Valor equivalente a fuerza la gravedad que sufre una barra forjada estándar.

La simulación indica que si se deseara adecuar la zona para cargar con piezas implicaría una construcción más robusta del sistema en acero de 20 mm de espesor. En aluminio, este valor puede reducirse hasta un espesor de 10 mm si no se emplea como área para cargar piezas, aunque por seguridad frente a posibles impactos se recomienda emplear un espesor de 20 mm también. Finalmente, se señala que sería recomendable, si se decide depositar peso sobre la cara superior del cuadro y emplear acero, soldar las uniones bogie+base al cuadro electrónico (aunque encarecería el desmontaje de este, la resistencia del sistema soportaría la carga de una barra forjada, donde en términos de dimensionado no se podrían situar más piezas) y eliminar la botonera de la cara superior y situarla en una cara lateral más próxima para evitar dañarla.

Para un primer prototipo, la proposición se reduce al modelo presentado, construido en aluminio con las uniones mediante tornillería.

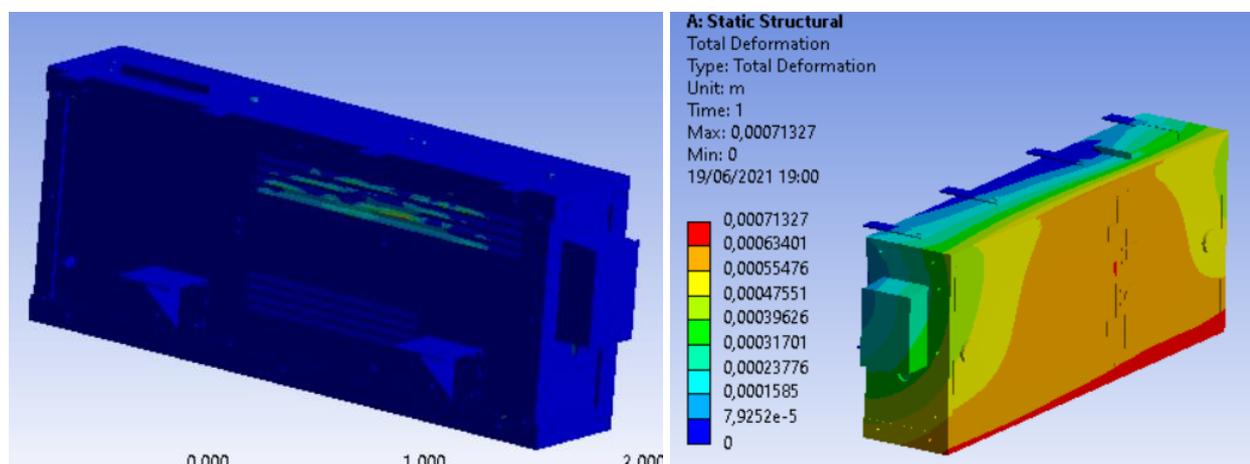


Figura 4. 64. Resultados de la simulación de cargas

### 4.4.3. BANCO DE BATERÍAS

La elección de las baterías comienza con un estudio estimado de consumos de los diferentes elementos que conforman el sistema.

Tabla 9. Consumo estimado del sistema

	Voltaje	Amperaje	Cantidad	W (Potencia)
SITOP PSU 3400	48	5	1	240
UPS 1100	24	1,2	1	28,8
UPS 1600	24	10	1	240
Motor module	24	85	1	2040
Control unit	24	1	1	24
PLC	24	12	1	288
Pantalla HMI KPT400	24	0,1	1	2,4
Botón marcha	24	2	2	96
Seta emergencia	24	2	1	48
Final de carrera	24	1	2	48
Sensores	24	1	2	48
Motor	688	65	1	44720
DCP	24	20	2	960
				Total 48783,2

La empresa Siemens obliga al empleo de batería de ion-litio en sus sistemas, escogiendo cuatro baterías conectadas en paralelo para aumentar su intensidad y como resultado obtener una mayor duración manteniendo su tensión a 48V. El modelo de las baterías que conforman el banco son cuatro baterías de 48V y 300Ah que al conectarse en paralelo con otra batería brindan un total de 57.600 Wh, vaticinando una autonomía de 1h 10 minutos para el carro y permitiendo un total de cinco viajes al día (estimando el tiempo de desplazamiento en 15 minutos en ida y vuelta), entrando dentro de los límites establecidos de producción, donde se realizan aproximadamente cinco viajes diarios de entre 5 y 10 barras por viaje.

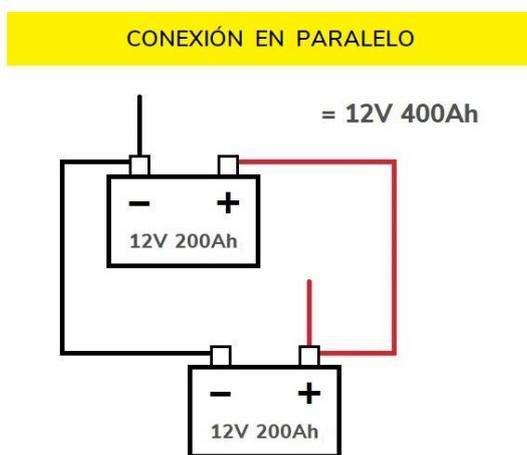


Figura 4. 65. Esquema de conexionado en paralelo de baterías

Entre las ventajas de este tipo de baterías se destaca:

- Elevada densidad de energía en términos de carga por unidad de peso y volumen.
- Ligereza (reducción del 80% frente a las de ácido).
- Elevada capacidad de descarga (pudiendo descargarse en 2 min si así se desea)
- Alta tensión por cada célula.
- Mínimo efecto memoria (reducción de la capacidad de las baterías debido a periodos de carga incompletos, donde cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo se producen unos cristales internos que causan una reacción química fruto del calentamiento de la batería. Este efecto se reduce realizando cargas completas)
- Larga duración antes de ser sustituida (mínimo 3000 ciclos)
- Simpleza en su monitoreo, basta con medir su tensión en reposo empleando un voltímetro.
- Muy baja tasa de auto-descarga, permitiendo tener el carro en stand-by, durante largos periodos de tiempo sin que esta se agote del todo en su encendido. Adaptándose de este modo a la variable producción.

Realizando un sondeo por el mercado actual de baterías, BSLBATT es uno de los principales exportadores de baterías a nivel mundial. Sus baterías de ion-litio son de  $\text{LiFePO}_4$ . Esta variante comparada con las baterías tradiciones de ion litio ( $\text{LiCoO}_2$ ) es significativamente más barata de producir, aligerando la carga económica del producto y ofreciendo características similares a las convencionales.



Figura 4. 66. Batería BSLBATT seleccionada

Dentro de las baterías de  $\text{LiFePO}_4$  exportadas por BSLBATT, están especializados comúnmente en su aplicación para carros de golf, vehículos de movilidad e-bike o vehículos de guiado automático (AGV) como es el caso de este sistema.

Su principal característica es su elevado rendimiento, empleándolo en el almacenamiento de energía y tracción, asegurando además una vida útil larga del producto y manteniendo un nivel de seguridad elevado.

El modelo en cuestión mantiene una potencia constante, incluyendo protección frente a sobrecargas al estar equipado internamente con un terminal M10. Incorpora un sistema de carga rápida y no requiere mantenimiento tal como el resto de las baterías de litio, convirtiéndolo en una opción idónea para ser aplicado en este carro.

## Diseño de carro automatizado para piezas de alto tonelaje y rediseño de línea de barras forjadas

Su estructura interna es duradera, garantizando su resistencia en condiciones climatológicas adversas, entornos de elevada humedad y una construcción que asegura su resistencia a golpes y vibraciones. Detalles para tener muy en cuenta debido a que el trayecto transcurre por terreno sujeto a golpes o impactos dentro del taller y se ve expuesto a condiciones climatológicas adversas (nieve o lluvia) habitualmente.

Sus características más destacables se enumeran a continuación:

- Permiten un reemplazo directo: tamaño del grupo como batería de plomo-ácido estándar.
- Están libres de mantenimiento.
- Instalación fácil.
- Arranque del motor y ciclo profundo.
- Vida 10 veces más larga en comparación con las baterías SLA.
- 60% más de energía.
- 100% de capacidad utilizable.
- 99% de eficiencia.
- 3000-5000 ciclos de vida.
- Permiten una conexión en serie o en paralelo.
- Tiempos de carga más rápidos.
- Cumple con ROHS ONU 38.3.
- Sistema de protección de batería integrado (BPS).

*Tabla 10. Hoja de especificaciones de la batería*

Tipo de Batería	Batería de iones de litio de 48v 300ah (LiFePo4)
Voltaje nominal	51.2V
Capacidad nominal	300Ah
Energía	15360WH
Dimensiones (L x W x H)	740mm x x 497mm 398mm
Peso	176Kg
Material de la Caja	ABS / caja de hierro
Certificaciones	CE / ISO / UN38.3 / MSDS
Eficiencia	99%
Auto-descarga	<1% por mes
Aplicación en serie y en paralelo	máx. 4 aplicaciones conectadas en serie o 4 en paralelo
Corriente de descarga máxima	250 A (4 s ± 1 s)
Corte de corriente de descarga BMS	390 A (5 s)
Rango de Temperatura de Operación	-20 ~ 60 °C
Voltaje al final de la descarga	57.6V
Tensión de trabajo	44.8-57.6V
Temperatura de descarga	-4 a 140 °F (-20 a 60 °C)
Temperatura carga	32 a 113 °F (0 a 45 °C)
Temperatura de almacenamiento	23 a 95 °F (-5 a 35 °C)
Ciclo de vida	> 3000 ciclos
Tasa de auto-descarga	Capacidad residual: ≤3% / mes; ≤15% / años
	Capacidad reversible: ≤1.5% / mes; ≤8% / años
Rango de temperatura y humedad de almacenamiento	Less than 1 month: -20°C~35°C, 45%RH~75%RH
	Less than 3 months: -10°C~35°C, 45%RH~75%RH
	Entorno de almacenamiento recomendado: 15 °C ~ 35 °C, 45% RH ~ 75% RH

#### 4.4.4. CARGADOR Y MONITORIZACIÓN DE BATERÍAS

El estado de las baterías debe ser monitorizado y comprobado en todo momento, asegurando un elemento que permita recargar las baterías una vez estas se encuentren vacías.

Conociendo el voltaje de entrada de 48V y realizando una investigación, la empresa Victron Energy es la empresa seleccionada con la que colaborar en este apartado de la electrónica del carro.

Entre sus cargadores, se escoge un modelo de 48V. Se comprueba, tal como indican los fabricantes de baterías, que el modelo en cuestión presenta una corriente de carga del 10% aproximadamente a la capacidad nominal en amperios de las baterías a cargar. El modelo de baterías es de 300 amperios hora, por lo tanto, el cargado debe suministrar una corriente de carga de unos 30 A.



Skylla TG 24 50

Figura 4. 67. Cargador marca VICTRON

El cargador Skylla TG, en su modelo de máximas prestaciones: 48/50 TG cumple los requerimientos necesarios. Sin embargo, solo permite cargar las baterías una a una. Otra opción recomendada se encuentra dentro del catálogo de cargadores de baterías IDOITWELL.



Figura 4. 68. Cargador marca IDOITWELL

IDOITWELL, en base a un cuestionario, se encarga de escoger el modelo adecuado:

El cargador de batería personalizado requiere la siguiente información:

1. Tipo de batería: ¿batería de plomo-ácido, batería de litio o batería lifepo4?: LiFePo4
2. Capacidad de la batería: 48V, 300 Ah (1200 Ah)
3. Voltaje de entrada de CA: 220 VAC monofásica o 380Vac trifásica.
4. Enchufe de entrada: Europeo Tipo E.
5. Voltaje de salida: Para baterías de LiFePo4, se recomienda tener un voltaje a la salida de 58,4V.
6. Corriente de salida: La corriente de salida para baterías de LiFePo4 es recomendable que sea un cuarto de la total, en este caso 300A.
7. Enchufe de salida: Conexión directa de cables.

El modelo ADY6117 trabaja a 48V y brinda un voltaje de carga de 300A. Presentando una eficiencia de 96%.

Este cargado inteligente incluye una pantalla LCD, indicando alarmas y un historial de hasta 1000 registros. Viene acompañado de un botón de paro de emergencia y un algoritmo inteligente de carga con elementos de seguridad internos que apuestan por aumentar la vida útil de las baterías.

Presenta una batería interna que apoya el sistema de gestión de carga, regulando esta mediante válvulas y si se desea se puede añadir un protocolo CAN de comunicación con el PLC para monitorizar el estado del sistema desde la CPU principal del carro automático.

El sistema de carga inteligente ha demostrado una elevada eficiencia, especializado en carga de vehículos eléctricos, montacargas, sistemas AGV (como es el caso), etc.

Internamente, y para suplir todas estas funciones, el sistema no se reduce únicamente a un cargador estándar, sino que incluye una unidad rectificadora de potencia, una unidad de monitoreo de carga y lógicamente un enchufe de carga (el sistema se mantiene encendido por defecto gracias a una batería auxiliar y las baterías a las que cargará cuando se encuentren descargadas). De esta forma se obtiene un proceso de carga totalmente automatizado y gestionado.

#### 4.4.5. CONEXIONADO CORRECTO DE BATERÍAS EN PARALELO

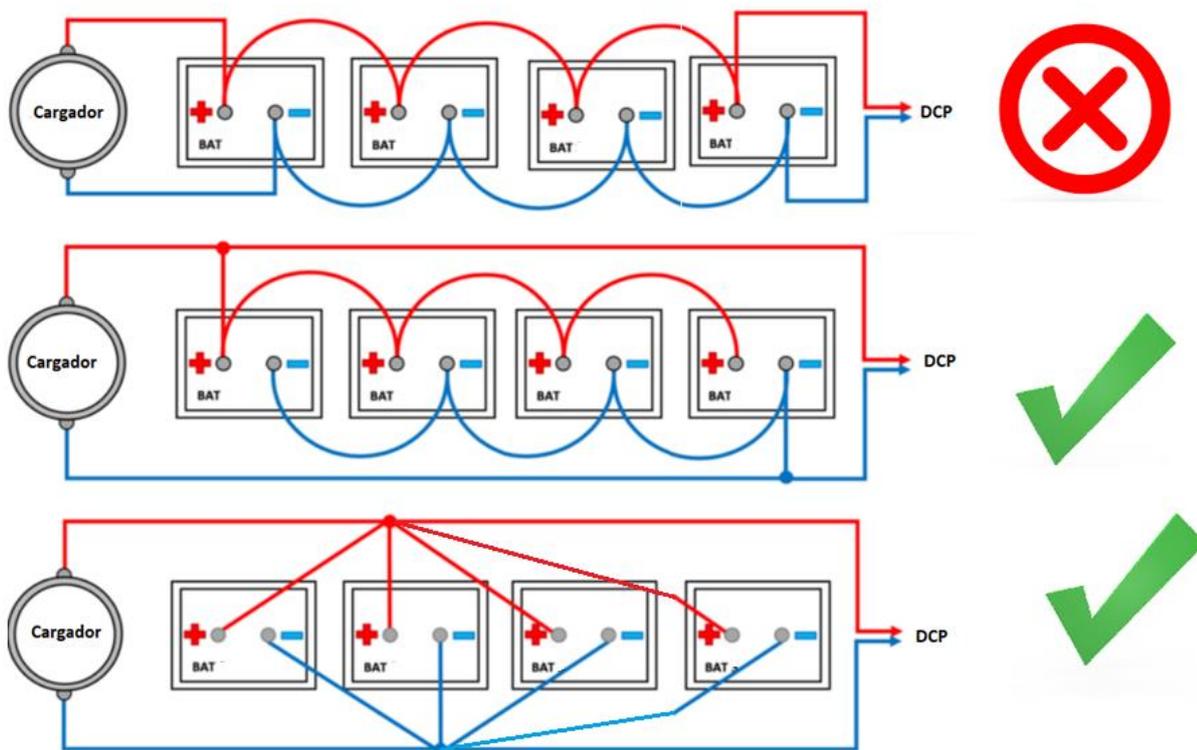


Figura 4. 69. Esquemático de los posibles métodos de conexionado de baterías en paralelo de manera eficaz

El conexionado entre baterías debe seguir la segunda o tercera forma de conexionado indicado en la figura 4.69.

En la primera casuística, teniendo en cuenta que cada cable genera una resistencia, tanto por su longitud como en sus terminales, la corriente llegará con mayor facilidad a la primera batería que a la última. Al conectar los sistemas DCP al final del conexionado la corriente de la última batería encontrará una menor resistencia que la primera resistencia, por lo que la última batería se descargará menos. Como consecuencia es probable que la última batería sea la primera en finalizar su ciclo de vida, ya que a la hora de la carga esta será la que menos corriente reciba y a la hora de la descarga será la que más corriente entrega.

Conectando el positivo a la primera batería y el negativo a la última (segunda casuística) se permite a la corriente recorrer el mismo camino entre el cargador y el primer consumible (DCP), eliminando esa disparidad de corriente en el circuito. Sin embargo, para un banco de cuatro baterías se generaría un leve diferencial de corriente en el ramal de la segunda y tercera batería.

Por último, la tercera casuística permite tener la misma corriente en todos los ramales, eliminado el error anterior y siendo la misma para cualquier batería, definiendo un sistema estable tanto en la carga como en la descarga aunque como consecuencia su conexionado es más complejo.

#### **4.4.6. DC/DC CONVERTER (DCP VERSION)**

Dentro de los convertidores DC-DC de Siemens se emplean dos modelos DCP convertidores DC-DC bidireccionales y escalables X4 de 120kW de potencia.

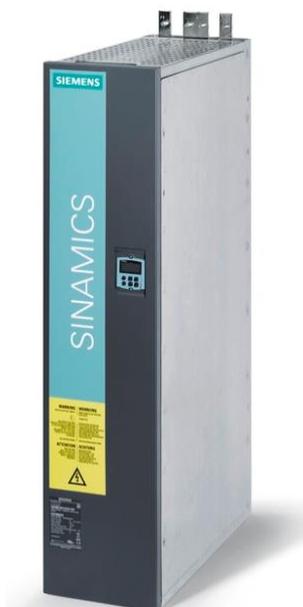
Su función es elevar la tensión de las baterías a 600V, tensión a la que funciona el módulo motor que permite controlar y alimentar el motor.

El DCP permite la integración de sistemas de almacenamiento de energía más grandes, como baterías y supercondensadores en múltiples aplicaciones para ser empleados en sistemas industriales. Este modelo en concreto presenta una capacidad de reducción/aumento en un solo dispositivo para la interconexión optimizada entre fuentes de corriente continua y los dispositivos de almacenamiento de energía y el enlace CC para el inversor motor y de alimentación.

Su eficiencia alcanza un rendimiento de 98,6%. Además, incorpora una unidad de control que permite un funcionamiento autónomo mediante PROFINET que será monitorizado por el PLC.

Se destaca también la incorporación de elementos de seguridad internos, permitiendo la reducción de picos que puedan dañar la circuitería, aunque se incluyen elementos de protección ajenos al DCP entre este y las baterías como fusibles y contactores de precarga. (estos elementos serán atendidos en el apartado destinado a los elementos de seguridad).

Lamentablemente, su grado de protección es bajo, siendo IP 00, lo que obliga a mantenerlo en un entorno protegido.



*Figura 4. 70. DCP 120 kW de Siemens*

En este proyecto se trabaja con una potencia aproximada de 40kW en ciertos puntos, como es el caso del motor escogido. Por lo tanto, puede resultar excesivo emplear dos DCP de 120kW. El motivo de escoger estos componentes sobredimensionados diverge en dos vertientes: la primera debido a que se requiere el empleo de baterías de 48V (recomendaciones de Siemens), y la segunda en que, de este modo, por pérdidas se asegura que a la salida de sendos DCP se asegure una potencia mínima de 40 kW.

Según especificaciones del fabricante, si se emplearan baterías de 96V o superiores, se podría estudiar el eliminar uno de ellos. Este factor se respalda en la experiencia en proyectos de características de alimentación similares que ya han sido acometidos por Siemens. Por poner un ejemplo, es el caso de un sistema de control de dos motores (figura 4.71) de un sistema destinado a otra empresa ajena con una potencia requerida incluso menor (25 kW).

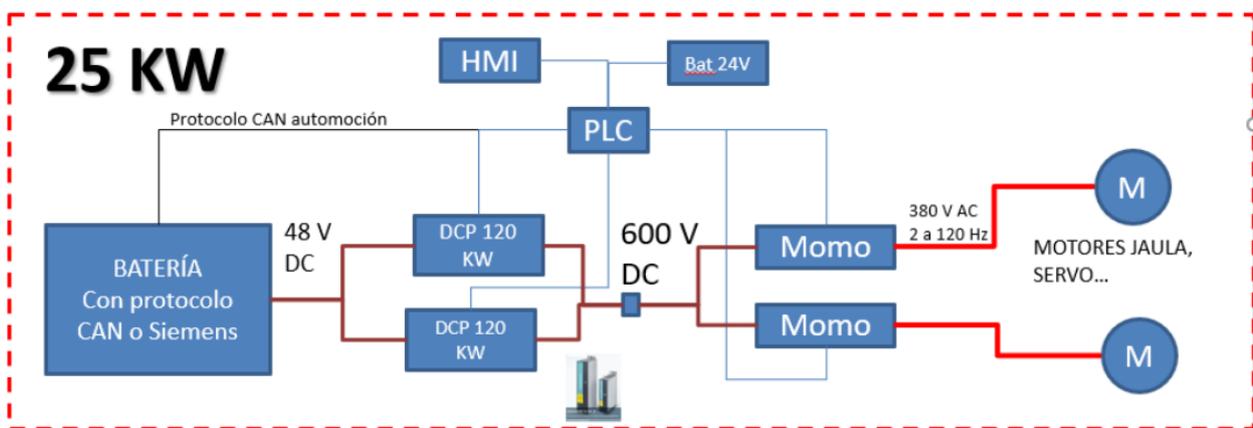


Figura 4. 71. Propuesta de Siemens para el control de dos motores de 25 kW en total

El sistema DCP va a permitir elevar la tensión de las baterías a 600V, siendo esta la tensión necesaria para alimentar el módulo motor.

Respecto a sus conexiones, se muestra el siguientes esquema:

- Puntos de alimentación: En el lado 1 (side 1) se conectan los dos cables de las baterías, mientras que el lado 2 (side 2) se conecta el módulo motor.



Figura 4. 72. Clavijas de alimentación destacas en rojo

- Elementos de protección: En los pines 3-4 y 7-8 se conectan contactores de precarga entre el DCP las baterías, así como en 5-6 y 9-10 contactores normales que conforman el circuito de precarga. El circuito incluye fusibles. De este modo, si acontece una sobreintensidad estos se fundirán, protegiendo al sistema.

- Terminal PB: X126 se conecta mediante un cable PROFINET al SWITCH donde convergen todos los cables PROFINET de los diferentes componentes a monitorizar y se conectan al PLC.

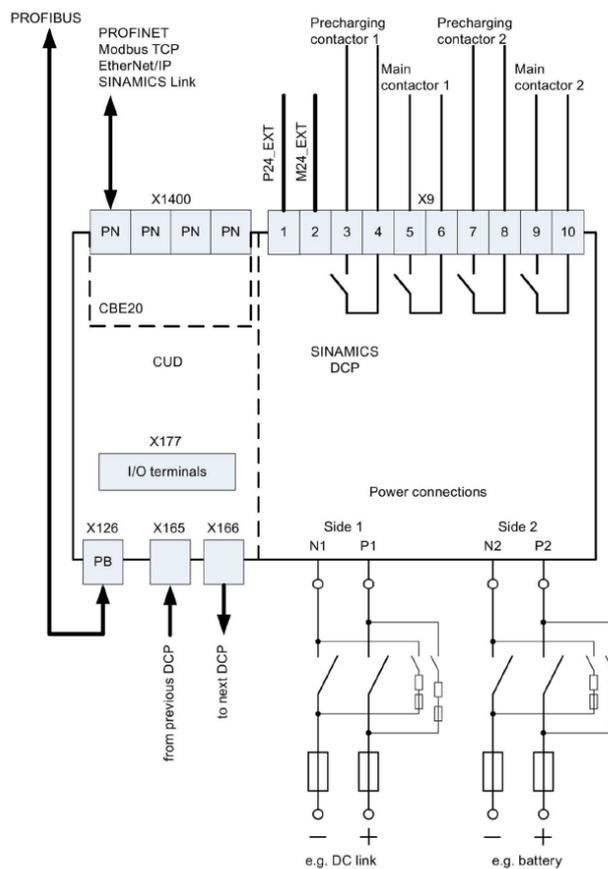


Figura 4. 73. Esquema de puntos de conexión del DC/DC-converter (DCP)

Para el conexionado del cable de PROFINET se debe abrir la tapa principal y conectarlo desde dentro:

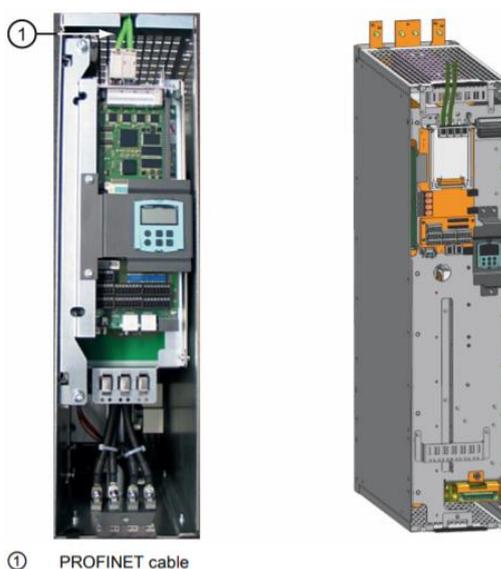


Figura 4. 74. Conexión del cable PROFINET

Del mismo modo, se debe quitar el panel superior para el conexionado de elementos de seguridad (fusibles y contactores de precarga) a través de sus diez entradas digitales. Dentro del manual del producto se incluyen las instrucciones de montaje/desmontaje de esta tapa (Apartado 6.15.1.6 del manual DCP sinamics)

#### 4.4.7. UNIDAD DE CONTROL Y MOTOR MODULE

La unidad de control y el motor module (o módulo motor) trabajan conjuntamente.

El módulo motor que funciona como un ondulator se encarga de dar la energía del circuito intermedio a disposición del motor conectado, con una tensión adecuada (600V de entrada en este caso, y 380 Vac trifásica de salida) y con una frecuencia variable controlable.

La unidad de control es un módulo de regulación central en el que se realizan las funciones de regulación y control del módulo motor en este caso.

La comunicación de la unidad de control con el módulo motor se realiza mediante la interfaz DRIVE-CLiQ interna del sistema.

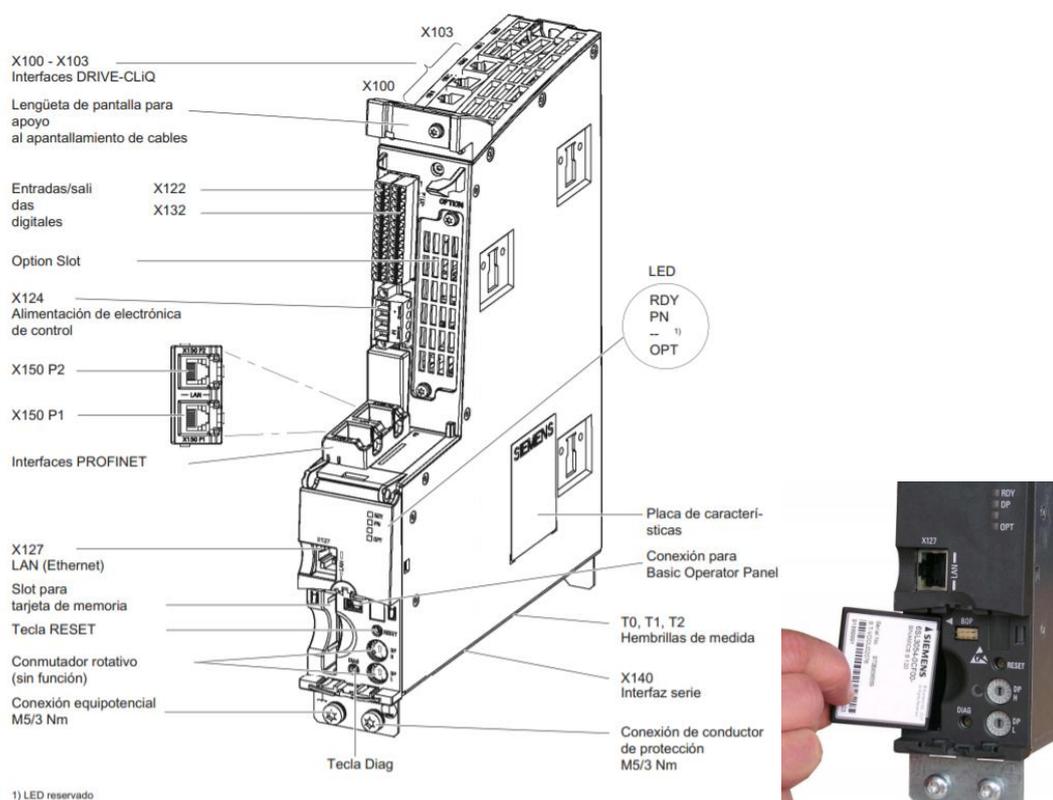


Figura 4. 75. Siemens S120

Se debe integrar una tarjeta de memoria que contiene el software y los parámetros.

Además, estos elementos vienen preparados para ser montados en conjunto:

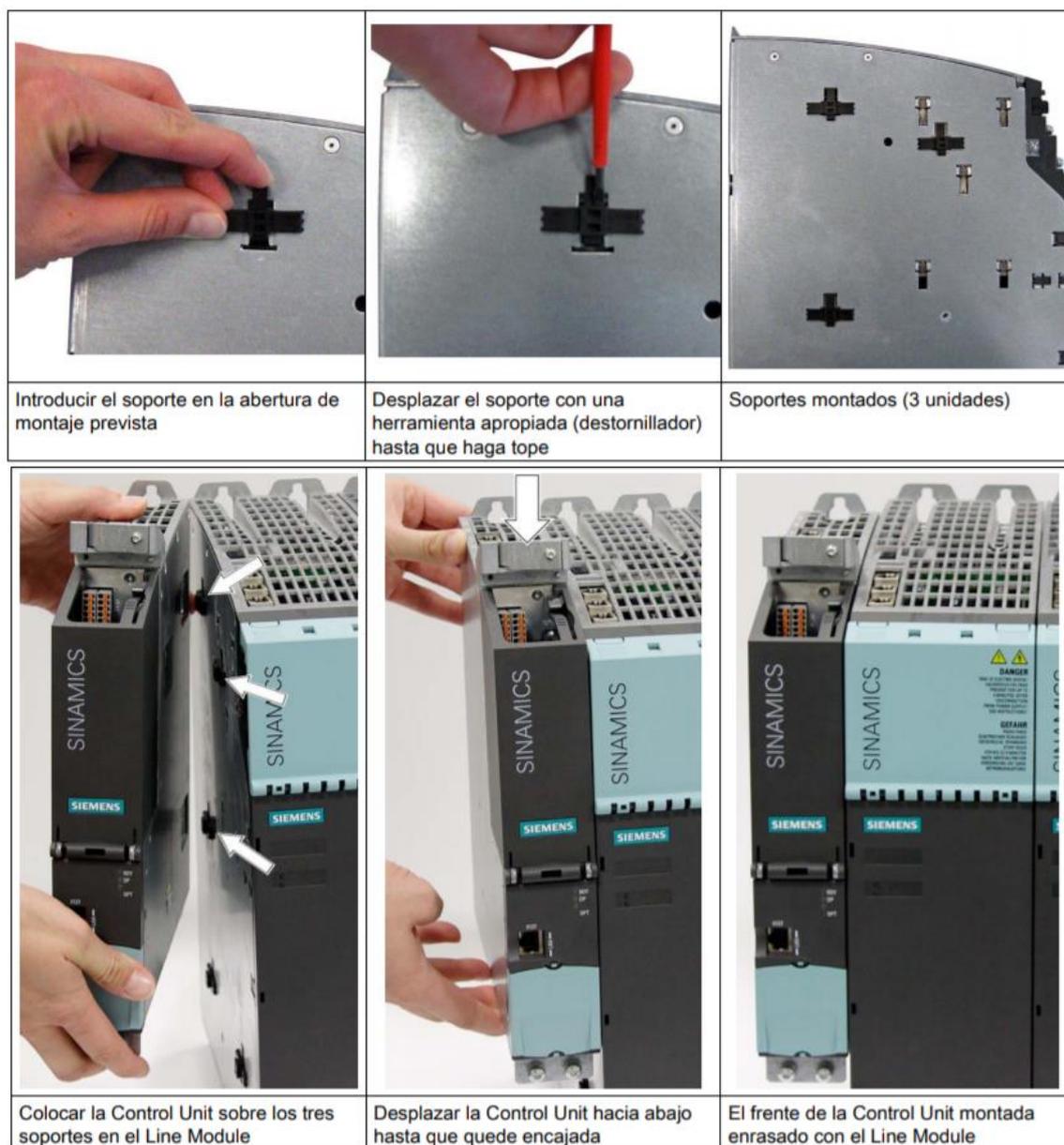


Figura 4. 76. Siemens S120 (motor module + control unit) ensamblaje

Conexión entre los elementos:

- La unidad de control y el módulo motor se conectan entre ellos mediante la interfaz DRIVE-CLiQ, estableciendo un protocolo de comunicación a tiempo real, simplificando la parametrización y depurando errores de programación. Se conecta a través de sus entradas superiores con un conector tipo hembra RJ45. Si el motor dispone de una unidad DRIVE-CLiQ, esta se conecta al módulo motor o a una unidad SMC. Sin embargo, en este caso esta conexión sirve para trabajar con los encoder del motor, por lo tanto, no se dispone esta conexión para este proyecto ya que ni siquiera se va a controlar la posición del motor por encoders, solo su sentido de giro, velocidad y cuando debe detenerse o ponerse en marcha.
- La entrada X150 P2 se conecta mediante PROFINET al PLC, permitiendo ser monitorizado y controlado desde el propio PLC.
- Se alimenta el sistema en los puntos requeridos mediante 24V externos, tomados del PLC o directamente desde el sistema UPS.

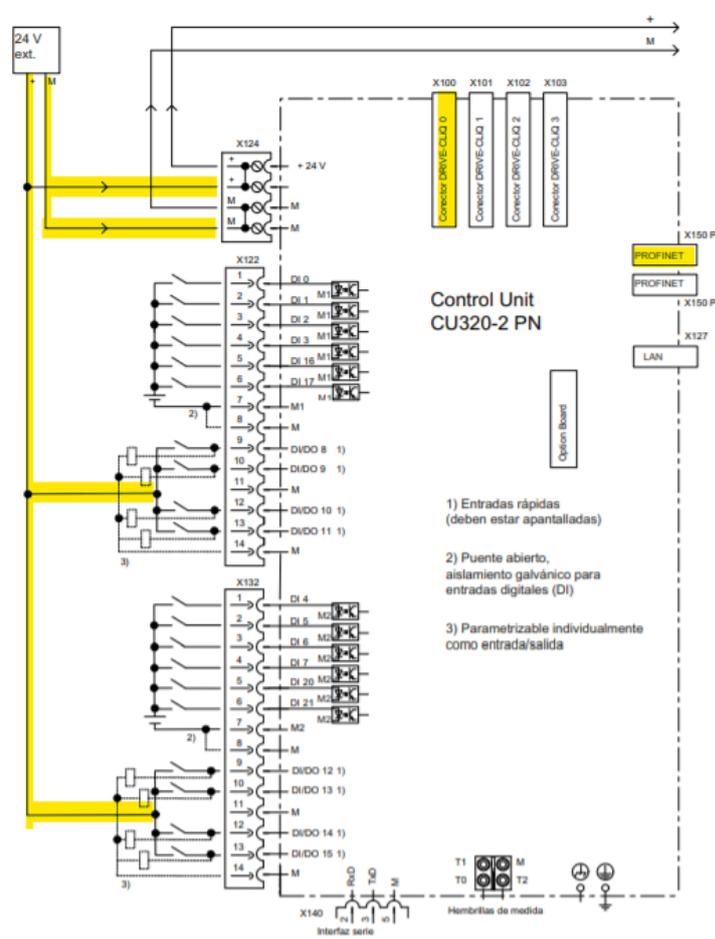


Figura 4. 77. Pines de la unidad de control (Destacado en amarillo puntos de alimentación y puntos de comunicación)

Respecto al módulo motor el conexionado es el siguiente:

- Se conecta la alimentación DC de 600V proveniente del DCP (DC link voltage).
- Se conecta el motor de inducción trifásico a las tres fases de salida del módulo motor (U,V,W).
- Se conecta el conector DRIVE-CLiQ entre el módulo motor (Drive-CLiQ socket 0 -X200) y la unidad de control (conector DRIVE-CLiQ 0 - X100) habilitando la interface y estableciendo la comunicación entre la unidad de control y el módulo motor.

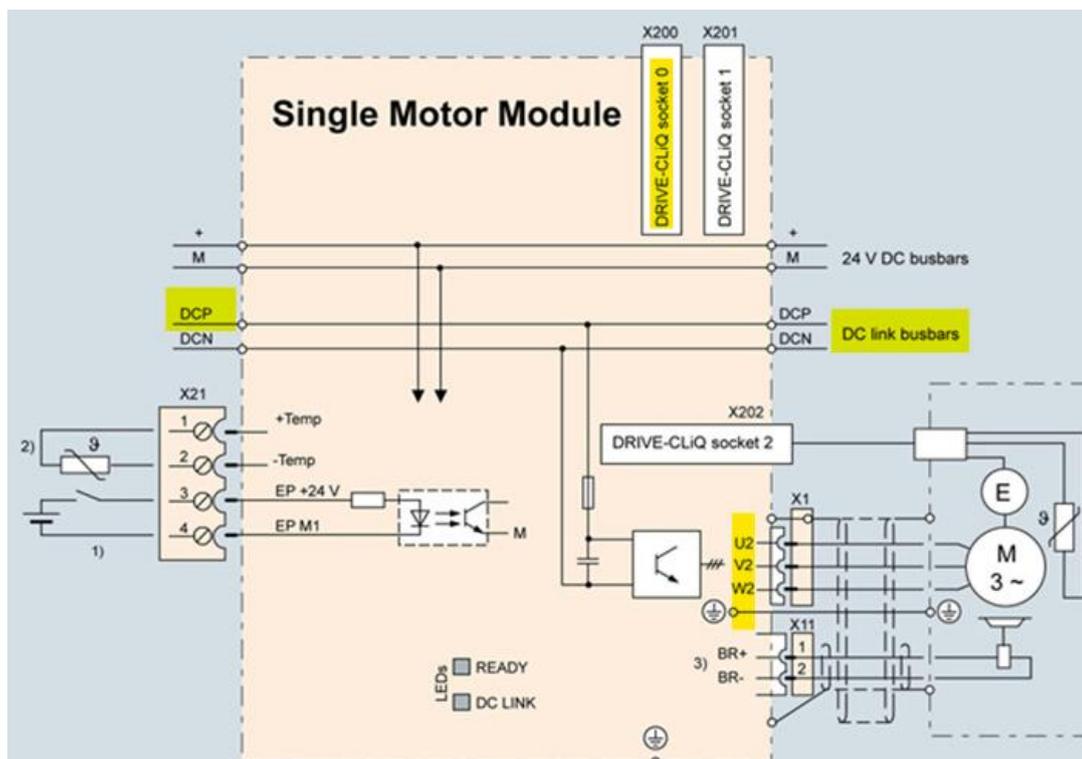


Figura 4. 78. Pines de modulo motor (Destacado en amarillo las conexiones requeridas)

#### 4.4.8. PLC S7-1200

El PLC S7-1200 actúa como el cerebro de todo el sistema de control, recibiendo señales, controlando y monitorizando los diferentes elementos mediante el bus de comunicaciones PROFINET. Gracias a su CPU interna permite automatizar el proceso estableciendo una rutina de funcionamiento en base a unas entradas y actuando en consecuencia con sus salidas.

Actualmente, las prestaciones de los autómatas programables son equivalentes a los ordenadores de sobremesa. La unidad S7-1200 permite adaptarse de forma flexible a las necesidades de automatización, siendo la opción óptima para un rango de rendimientos de nivel medio.

La CPU o unidad de procesamiento central (modelo 1214FC) se encarga de ejecutar el programa de usuario y de conectar el controlador a la red de otros componentes, proporcionando una conexión a dispositivos mediante PROFINET, para ser controlados y monitorizados desde el PLC. Además, el sistema Safety Integrated proporciona una conexión tipo PROFIsafe a prueba de fallas que puedan dañar el sistema.



Figura 4. 79. PLC S7-1200

Su conexionado se puede realizar de forma sencilla, presentando en su cara superior entradas y puntos de alimentación y en su cara inferior las salidas y el punto de conexión PROFINET.

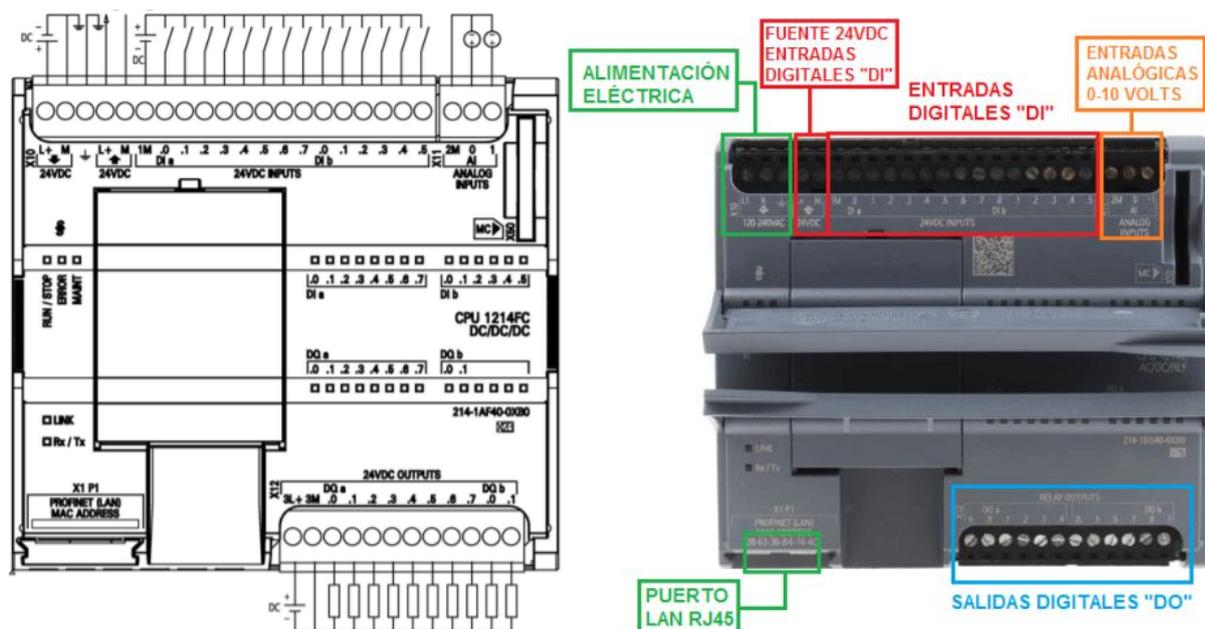


Figura 4. 80. Diferentes puntos de conexión del PLC

El PLC S71200 tiene una fuente interna de 24 voltios que permitirá conectar las entradas digitales del sistema, formada por tres botones (dos de marcha en dos sentidos diferentes de giro y uno de parada), dos finales de carrera y dos sensores. Dichas entradas, deben respetar las marcas de funcionamiento definidas en la programación, siendo:

- STOP: Entrada 0.0.
- A TMM: Entrada 0.1.
- A TT: Entrada 0.2.
- FC TT: Entrada 0.3.
- FC TM: Entrada 0.4.
- SENSOR 1: Entrada 0.5.
- SENSOR 2: Entrada 0.6

En su cara superior, a la izquierda, se encuentra la entrada de alimentación que será tomada del cable positivo y negativo del sistema UPS, entregando los 24 V necesarios para su funcionamiento.

El negativo o masa situado entre las entradas y la alimentación interna que brinda el PLC debe ser puenteado. El motivo de este puenteo se debe a que las entradas se activan a nivel alto, o dicho de otro modo, cuando devuelven un 1 lógico, generando un común negativo que devolverá un positivo (- con - es +). Además, las entradas pueden tener dos pines (alimentación 24V y conexión a la entrada: salida) o tres pines (alimentación 24V, masa y conexión a la entrada: salida). Dependiendo de los modelos deberá emplearse una conexión a masa o no, como ocurre con los sensores.

En el conexionado de botones y finales de carrera, basta con conectar la alimentación y su salida a la entrada correspondiente.

Los finales de carrera normalmente presentan tres puntos de conexión que son uno de alimentación y dos de control, devolviendo una salida. Uno de ellos, es cuando el final de carrera trabaja normalmente cerrado y el otro para cuando se quiere tratar con él normalmente abierto. En base a la programación desarrollada se debe emplear el pin normalmente cerrado y que cuando se active, corte el suministro en ese punto deteniendo el carro.

Respecto a los dos sensores, se debe conectar el positivo a M (normalmente este cable es azul), la alimentación positiva (normalmente este cable es marrón) y la salida del sensor a la entrada del PLC (normalmente este cable es negro).

Se destaca que todos los elementos deben trabajar con una tensión de 24V.

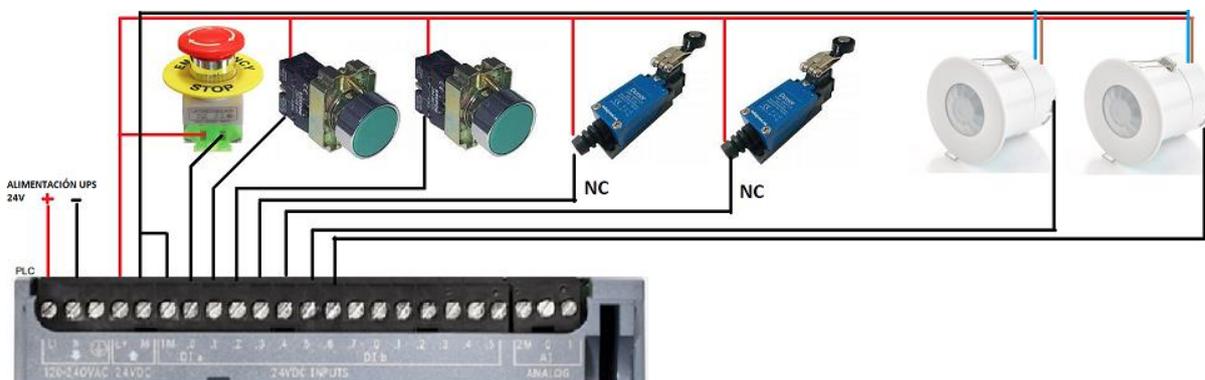


Figura 4. 81. Conexionado de entradas al PLC

Respecto a las salidas, estas pueden ser manipuladas internamente por el procesador, asociándolas mediante la programación a la unidad de control y actuando sobre el motor en consecuencia, o pueden ser instaladas físicamente mediante dos contactores, KM1 y KM2. El resto de salidas que se presentarán en el apartado de control sirven simplemente como salidas intermedias que no se reflejan en el funcionamiento real y se pueden considerar ficticias dentro de la rutina, donde el motor o se encontrará parado, o en marcha, bien sea en dirección a tratamientos térmicos o hacia talleres mecánicos.

Por último, se incluye una pantalla HMI para visualizar estados y monitorización del sistema a través del puerto habilitado para su conexión.

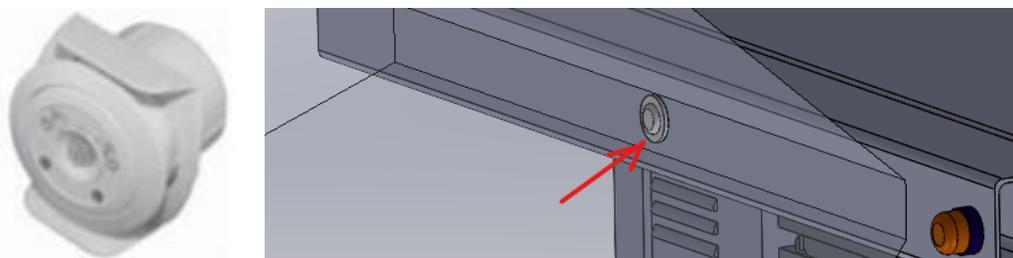
#### **4.4.9. ELEMENTOS DE SEGURIDAD ELECTRÓNICOS**

Los elementos de seguridad electrónicos permiten detener el carro cuando estos son activados con el fin de salvaguardar la seguridad de los componentes, la carga y especialmente la de los operarios que se encuentren en su trayectoria.

Enlazando con la explicación realizada en el apartado anterior, se destacan dos elementos:

- Sensores de presencia: Previamente ya se configuró el PLC para que estos fueran activados cuando devuelvan un 1 lógico, o, dicho de otro modo, cuando detecten una presencia.

El sensor seleccionado debe funcionar a 24V y por seguridad llegar a tener un rango de 5 metros (mayor a la distancia estimada de frenado). En este caso, el modelo escogido (marca EPV, con referencia PM/24V/5L MASTER No. 102045) genera una superficie rectangular que alcanza a esbozar un rectángulo de 7x9 metros en 5 metros de rango, cubriendo un área lo suficientemente extensa. Se destaca que estos sensores están preparados para funcionar en el exterior (IP44), pero protegidos, por ello se encajona dentro del cuadradillo: se sitúa en el extremo del carro, a través de un agujero en el centro del cuadradillo, quedando la electrónica protegida. Su cableado discurre por dentro del cuadradillo y debajo de las vigas (aunque por seguridad se emplearán cables preparados para trabajar en el exterior) hasta llegar al punto de alimentación en el PLC a través del agujero trasero. Por último, permite regular la luminosidad del entorno, permitiéndolo trabajar tanto de noche como de día e incluye un delay o tiempo entre detecciones de 10 seg, considerándose un tiempo adecuado entre una detección y otra.



*Figura 4. 82. Modelo del sensor (izquierda) y colocación en el carro (derecha)*

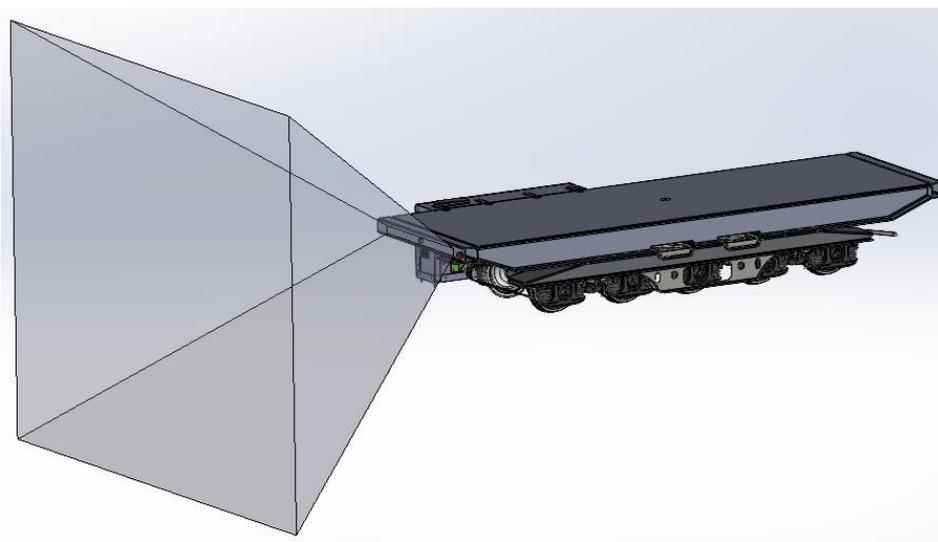


Figura 4. 83. Rango de detección

Respecto a su conexionado, se conecta tanto el pin de alimentación (pin 1), como el de tierra (pin 2), y por último motion B (pin 6), para que trabaje normalmente cerrado y corte el suministro mientras detecta a alguien. El pin A (número 4, normalmente abierto), el pin 5 (vacante) y el pin de esclavo (pin 3) para conectar múltiples sensores no se emplean en esta aplicación.

- Finales de carrera mecánicos: Previamente configurado como NC, permitirán cortar el suministro del carro cuando sea activado, deteniendo el carro. En este caso, el motor requiere de unos 5 metros de frenada desde que se envía la señal por parte del final de carrera. Por lo tanto, se debe situar un elemento mecánico que los accione por contacto al menos a 5 metros del final de vía en cada extremo. Se escoge un modelo estándar mecánico (marca Denor) que funciona a 24V y con un grado de protección que le permite trabajar en exteriores, en este caso de IP66 y resistente, con un cuerpo de aluminio.



Dentro del control es de suma importancia adaptar el circuito a las necesidades. En el caso de los sensores se debe configurar la rutina de manera que solo surta efecto el sensor situado en la trayectoria de movimiento, ya que es absurdo que el carro se detenga por detectar un objeto o persona que circula detrás de este (se atenderá en los apartados de control).

En el caso de los finales de carrera se configuran para que mientras uno sea accionado, el sistema se detenga mientras se encuentre pulsado. Para poder trabajar con esta lógica se debe incluir un elemento mecánico situado en el suelo que interceda con la trayectoria del final de carrera, manteniéndolo accionado y cortando el suministro desde el punto que se desee activar hasta el final de la vía (unos seis metros), para retornar a su posición gracias a un muelle interno una vez

libre dicho obstáculo en su regreso por el camino. De esta forma, se asegura que cuando se encuentre en un extremo y se indique al carro viajar al mismo extremo el sistema no tratará de hacerlo ya que el suministro en dicha dirección se encuentra cortado. Como añadido, solo puede cortar el suministro el final de carrera que se encuentre en la dirección indicada (por ejemplo, cuando va a tratamiento térmicos y se activa el final de carrera de talleres mecánicos no se detendrá el motor salvo que se trate del final de carrera de tratamientos térmicos).

Con el fin de no dañar el final de carrera, el obstáculo debe iniciar en cuesta para ir girando progresivamente el contactor mecánico que incorpora y que este pase a encontrarse abierto, cortando el suministro y por ende deteniendo el carro. Los finales de carrera se recomienda colocarlos debajo del cuadro electrónico y sacar sus cables por la misma apertura por la que se sacan los cables de alimentación del motor.

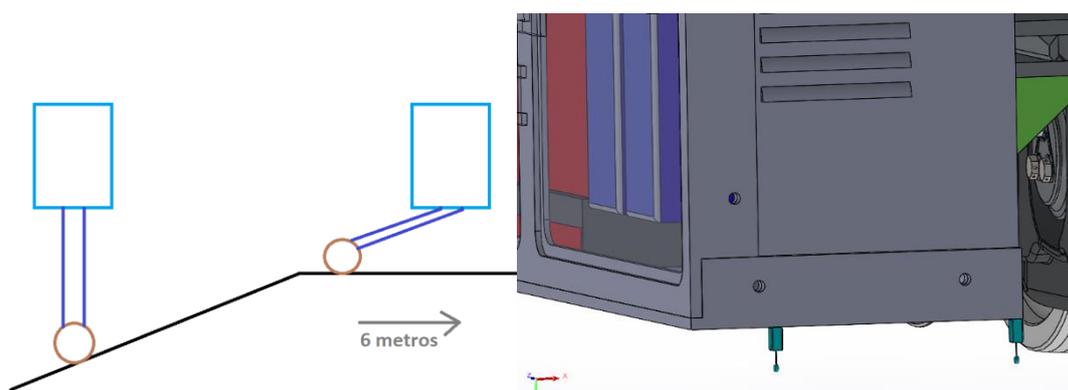


Figura 4. 84. Obstáculo activando el final de carrera (izquierda) y finales de carrera bajo el cuadro electrónico (derecha)

Otro elemento para añadir son luces rotativas que permitan a los operarios percatarse de la presencia del carro a lo largo de su recorrido. Estas toman su energía de la salida del convertidor de 24V a través del sistema UPS, estando prendidas siempre y cuando el sistema se encuentre encendido y permitiendo al carro trabajar también de noche. Este tipo de rotativos son conocidos como giro faros y se recomienda situar cuatro a cada esquina del carro. El cableado, se recomienda que discurra protegido debajo de las vigas y cubierto por la base, saliendo del mismo agujero del que salen los cables para el motor.

En la figura 4.85. se observa una propuesta de tirada de cable a través del cuadradillo hueco y que baja por la cara trasera del cuadro electrónico hasta entrar por el agujero trasero.

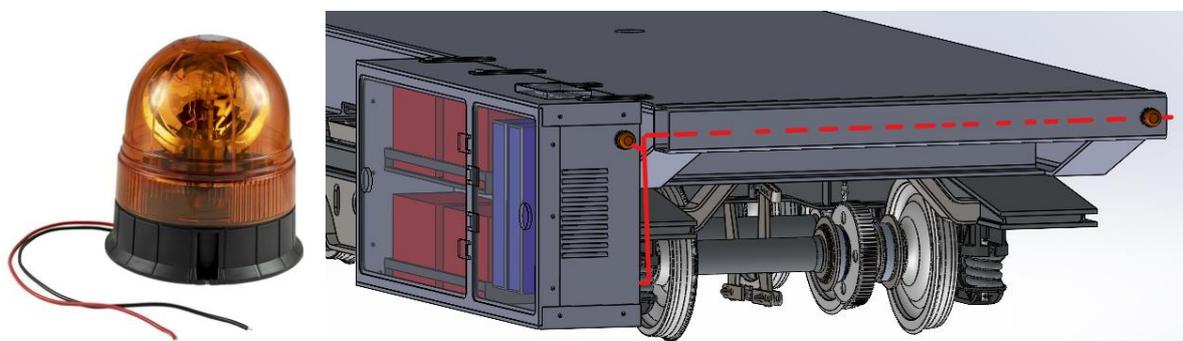


Figura 4. 85. girofaro (izquierda) y colocación en el carro con esquema de por donde discurrir el cableado

Es importante mencionar los elementos de seguridad electrónicos. Estos se encargan de proteger los diferentes componentes electrónicos del sistema y a las propias baterías de sobreintensidad o sobrecargas que puedan dañar su circuitería interna provocando una falla en el sistema.

Para este proyecto se van a emplear fusibles, con su respectivo portafusibles y contactores de precarga. Los fusibles van a evitar sobretensiones, ya que, si se sobrepasa la tensión del fusible este se funde, cortando el suministro en dicho punto. Estos fusibles se sitúan entre la batería y el sistema DCP, con una tensión de 250A (siendo la máxima tensión de pico que soporta un DCP).

Por último, aunque no sea de obligado cumplimiento, se incluye un sistema de precarga en los convertidores DC-DC. De este modo, antes de que el sistema haya arrancado por completo, este circuito se activa brevemente para cargar los condensadores del sistema del convertidor mediante una resistencia limitadora de corriente. Incluyendo esta circuitería se mejorará la respuesta dinámica del sistema, se dispondrá de sus interruptores internos frente a fallas de suministro y mejorará la eficiencia energética. Los diferentes componentes de este subcircuito de protección son suministrados por Siemens y por lo tanto vienen preconfigurados y calculados para funcionar en su convertidor DC-DC DCP 120 kW.

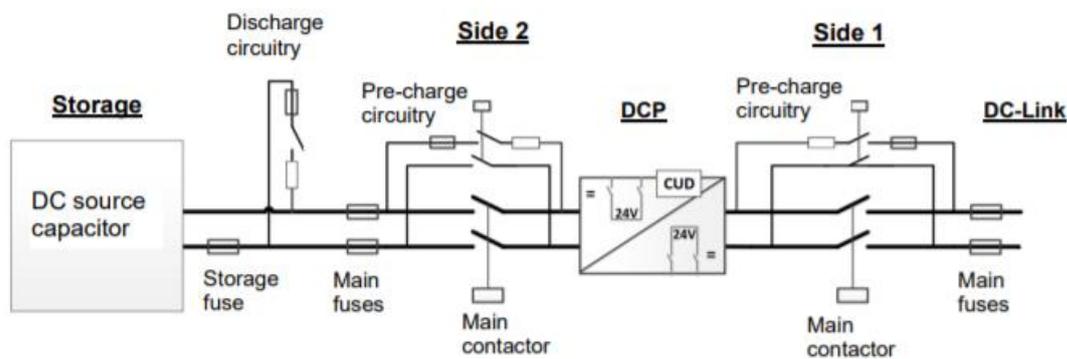


Figura 4. 86. Esquemático de conexionado con los elementos del circuito de precarga y los fusibles de protección

En la figura 4.86 se muestra el conexionado del sistema de protección entre las baterías y los convertidores. Como se indicó, los fusibles son de 250 voltios. Se deben emplear cuatro fusibles principales y dos auxiliares en el circuito de precarga a ambos lados del convertidor, ya que el sistema es bidireccional y dos en el circuito de descarga por cada DCP.

Se incluye además un interruptor de apagado/encendido (botón general del sistema) para desconectar todo el sistema y permitir ahorrar batería. Este sitúa entre las baterías y los fusibles.

#### 4.4.10. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE EMERGENCIA (UPS)

El circuito se divide en dos partes. Una parte destinada a la potencia (desde las baterías hasta el motor) y otra destinada al control (PLC-unidad de control).

El sistema de alimentación principal proviene del banco de baterías. Sin embargo, en caso de que estas fallen o se agoten, se debe asegurar un sistema ajeno que mantenga alimentado el circuito control, de modo que las alarmas que se muestran a través de la pantalla HMI y son monitorizadas por el PLC se mantengan en activo, funcionando.

A tal efecto, se incluye un sistema UPS que permite mantener en funcionamiento el sistema de control frente a interrupciones del sistema principal de alimentación.

El sistema de alimentación de emergencia consta de diferentes componentes:

Convertor de voltaje de 48V (tomado de las baterías) a 24V (tensión de funcionamiento del PLC de los componentes del sistema UPS)

El sistema UPS requiere la combinación de un módulo UPS DC SITOP1600, un módulo de baterías de emergencia UPS1100 y una fuente de alimentación principal, en este caso obtenida de las baterías principales mediante el convertor 48/24V. De este modo, se permite salvar de forma totalmente ininterrumpida cortes prologados de red. Además, el sistema garantiza una gestión inteligente de baterías, reconociendo automáticamente los acumuladores de energía UPS1100 y garantizando una carga óptima automáticamente (con un control de temperatura) cuando se restablece el suministro principal.



Figura 4. 87. Componentes del sistema UPS

Estos módulos de corriente continua son compactos y resistentes a sobrecargas, con el fin de suministrar la corriente extra de conexión necesaria para encender elementos de control si se apagan (en este caso nuestro PLC).

Su método de conexión con el PLC se realiza mediante PROFINET a través de los puertos habilitados para ello. Gracias a este bus de comunicación se puede indicar su configuración mediante bloques de función preconfigurados para programas de usuario de S7.

Tal como se muestra en el esquema adjunto de la figura 4.88, se observa que es recomendable incluir, a parte del sistema de suministro principal y los acumuladores de batería UPS1100, una fuente de 24V externa, en este caso dada por una batería ajena al sistema.

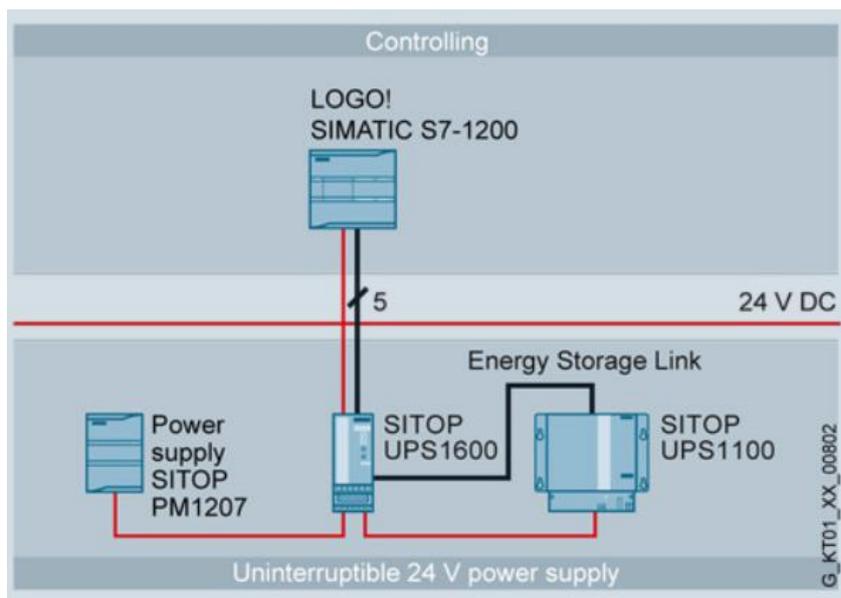


Figura 4. 88. Conexión entre elementos del sistema UPS (esquema)

Mediante su conexión con el PLC se disponen de avisos de estado transmitidos a este a través de salidas digitales aisladas galvánicamente. Entre otros beneficios del sistema se destaca:

- Respaldo de 24 V en un amplio rango de horas.
- Potentes módulos UPS DC de diseño estrecho que ocupa muy poco espacio.
- Gran capacidad de sobrecarga en modo de red y de respaldo.
- Posibilidad de arrancar desde el módulo de batería en modo autónomo.
- Configuración sencilla con detección automática de los módulos de batería.
- Alta seguridad y disponibilidad gracias a la vigilancia de la disponibilidad de servicio, del cable de alimentación de las baterías, del envejecimiento de las mismas y de su estado de carga.
- Carga gradual de la batería con control de temperatura interno.

El conexionado entre los componentes de este apartado son los siguientes:

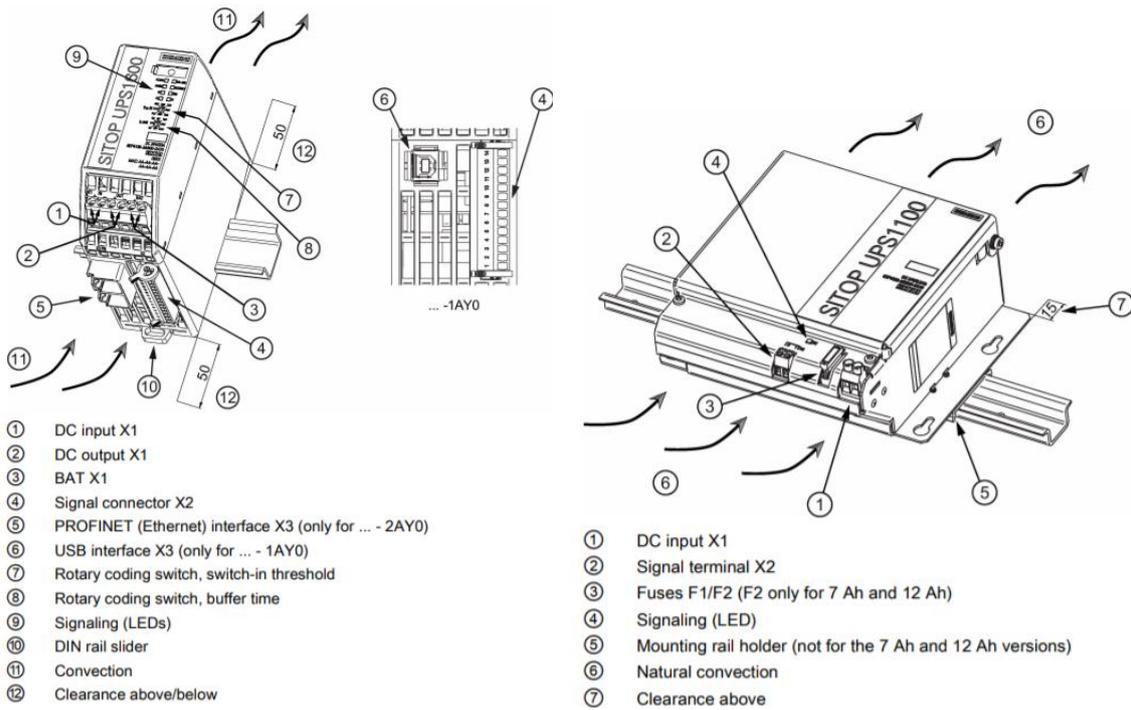


Figura 4. 89. Pines de los componentes del sistema UPS

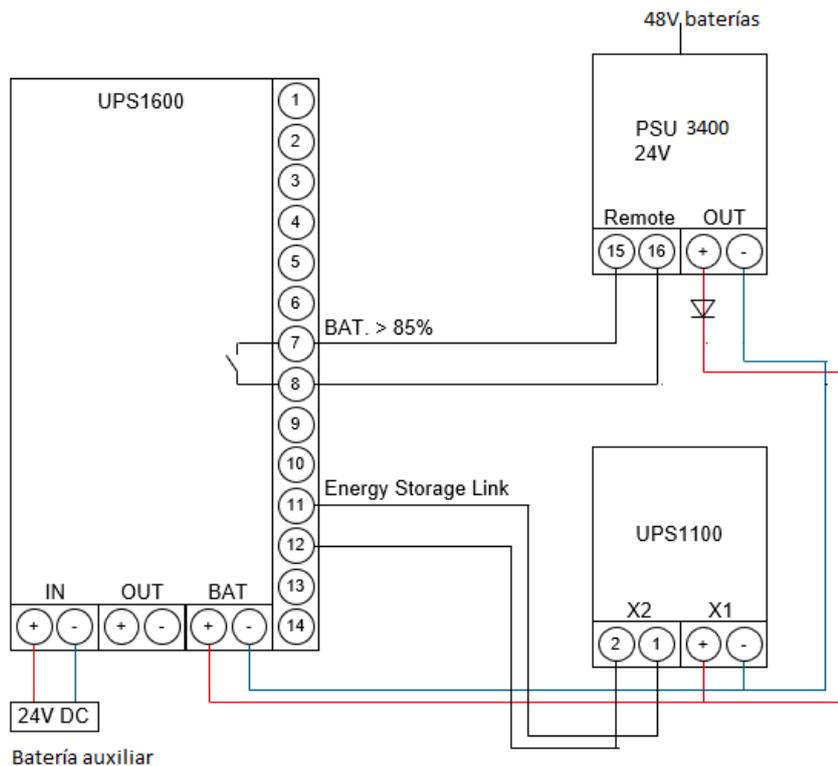


Figura 4. 90. Conexionado del sistema UPS

La carga se controla mediante el contacto de alarma de los pines 7 y 8. Si la carga es inferior al 85% la batería (UPS1100 o batería auxiliar) se carga a través del UPS1600 y el convertor 48V/24V PSU 3400.

El pin número 5 debe conectarse al SWITCH de PROFINET para monitorizar el sistema mientras que la salida OUT del componente UPS1600 se conecta a la alimentación de 24V del PLC.

#### **4.5. Control del sistema**

A lo largo de este apartado se atenderá la parte destinada al control del carro automático. El margen de actuación como diseñador se encuentra muy limitado en este apartado. Normalmente, la empresa o vendedor de sus productos que conforman la electrónica de los sistemas es la encargada de su conexionado y puesta a punto en base a los requerimientos del cliente.

En el caso de Siemens, este hecho se magnifica, al emplear elementos que requieren en su mayoría estudios y cursillos previos, impartidos por la propia empresa Siemens, para el manejo de sus componentes electrónicos, debido a su exclusividad y complejidad. Las configuraciones y puestas a punto requieren conocimientos muy específicos del campo y del componente en particular.

Como resultado, la parte de control se centra en la realización de simulaciones mediante la herramienta CadeSimu, el diseño de la interfaz para la pantalla HMI mediante TIA PORTAL y las configuraciones entre PLC y unidad de control (Control Unit CU-320) empleando PROFINET, así como la monitorización de otros elementos como el sistema de alimentación de emergencia UPS.

##### **4.5.1. RUTINA DE CONTROL**

La rutina de control no permite una metodología de trabajo completamente automatizada debido a los siguientes puntos:

1. El entorno es cambiante (hay personas, pueden pasar por su trayectoria otros vehículos, existe movimiento de material a través de su recorrido ajeno al sistema etc.)
2. Los tiempos de carga y descarga no son siempre los mismos.
3. El número de transportes varía diariamente en función de la producción.

Por este motivo, se decide implementar una rutina de desplazamiento que apueste por un sistema de desplazamiento automático, pero con una rutina de control definida manualmente por un operador de apoyo.

Se plantea la siguiente rutina:

##### **Caso general: desplazamiento de la carga de un punto a otro sin interrupciones**

El carro se puede encontrar en uno de los finales de vía (bien en la entrada a talleres mecánicos (N8) o bien en la entrada de tratamientos térmicos). Digamos que se encuentra en talleres mecánicos, donde su final de carrera se encuentra activo. La rutina de control sería:

Paso 1: Carga mediante grúas ajenas al carro el material sobre este.

Paso 2: Pulsar botón (botón manual o mediante la interface por pantalla HMI) “Ir a tratamientos térmicos”. (Si se pulsa sobre “Ir a talleres mecánicos” por seguridad no hará nada)

Resultado: El carro llegará a su destino, donde unos metros antes accionará un final de carrera (el de tratamientos térmicos en este caso) y este se detendrá en tal punto, estando calculada la distancia de frenado desde que activa el final de carrera hasta que se detiene completamente.

Si durante la marcha el operario pulsa cualquier otro botón de marcha (“Ir a talleres mecánicos” o “Ir a tratamiento térmicos”) el sistema lo ignorará. Primero se deberá detener el carro por seguridad.

**Casuística: desplazamiento de la carga de un punto a otro con interrupciones**

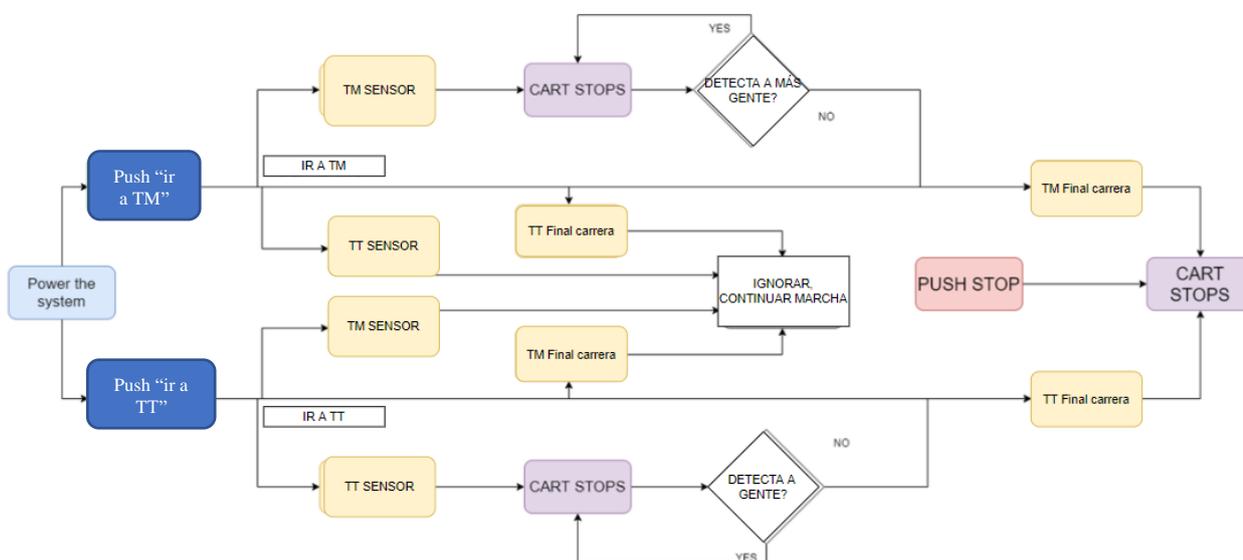
Si durante la marcha un operario acciona la seta de parada, el carro se detendrá hasta que se le dé a uno de los dos botones de marcha (“Ir a talleres mecánicos” o “Ir a tratamiento térmicos”)

Si durante la marcha se acciona un sensor de movimiento, ante la presencia de un objeto o persona que obstaculiza el camino (distancia de seguridad preestablecida para frenar a tiempo antes del impacto), el carro se detendrá y automáticamente reanudará la marcha hasta activar el final de carrera de su destino, una vez que el sensor deje de devolver uno (no detecte ninguna presencia en su trayectoria). Si el carro está parado, los sensores no trabajan.

Se debe destacar que hay dos sensores (uno en la trayectoria a talleres mecánicos y otro hacia tratamiento térmicos). Estos se encuentran únicamente habilitados cuando el carro se desplaza en la trayectoria que corresponde a cada sensor, por ejemplo, si el carro se desplaza hacia talleres mecánicos y se activa el sensor de trayectoria de tratamientos térmicos, el carro no se detendrá. Por el contrario, si activa el sensor de trayectoria de talleres mecánicos, si se detendrá. Ocurre lo mismo con los finales de carrera, donde si se dirige a talleres mecánicos y se activa el final de carrera de tratamientos térmicos el sistema lo ignorará.

**Casuística: desplazamiento de la carga de un punto a otro sin suficiente energía.**

Si se estima que la carga de baterías es demasiado baja, el sistema dará un indicativo y el banco de baterías deberá ser cargado a través de su cargador-monitorizador, que va sobre el carro, enchufándolo a la luz.



Flujograma 5. Rutina de control del carro

En base a todos estos factores, se desarrollan simulaciones mediante CadeSimu, desarrollando un circuito que contenga todos los componentes necesarios y rutinas de control, con el fin de verificar su correcto funcionamiento.

#### 4.5.2. SIMULACIÓN EN CADESIMU (VERSIÓN CIRCUITO ELÉCTRICO)

CadeSimu ofrece un entorno gráfico con diferentes elementos (pulsadores, contactores, elementos de seguridad, etc.) que permiten diseñar un circuito electrónico y simularlo. De este modo, se sientan las bases para establecer una correcta rutina de control a través de TIA PORTAL, programa encargado de cargar dicha rutina en el PLC, el cerebro del carro automático, para lograr el correcto funcionamiento del conjunto.

Se debe destacar que CadeSimu carece de baterías. Por lo tanto, se debe esbozar la simulación sobre una red trifásica con sus correspondientes componentes de seguridad. Como bien se ha indicado, el objetivo de estas simulaciones es obtener un circuito que verifique únicamente las rutinas de control impuestas que luego serán traspasadas a TIA PORTAL, asique no es de suma importancia el hecho de emplear una red trifásica en este apartado.

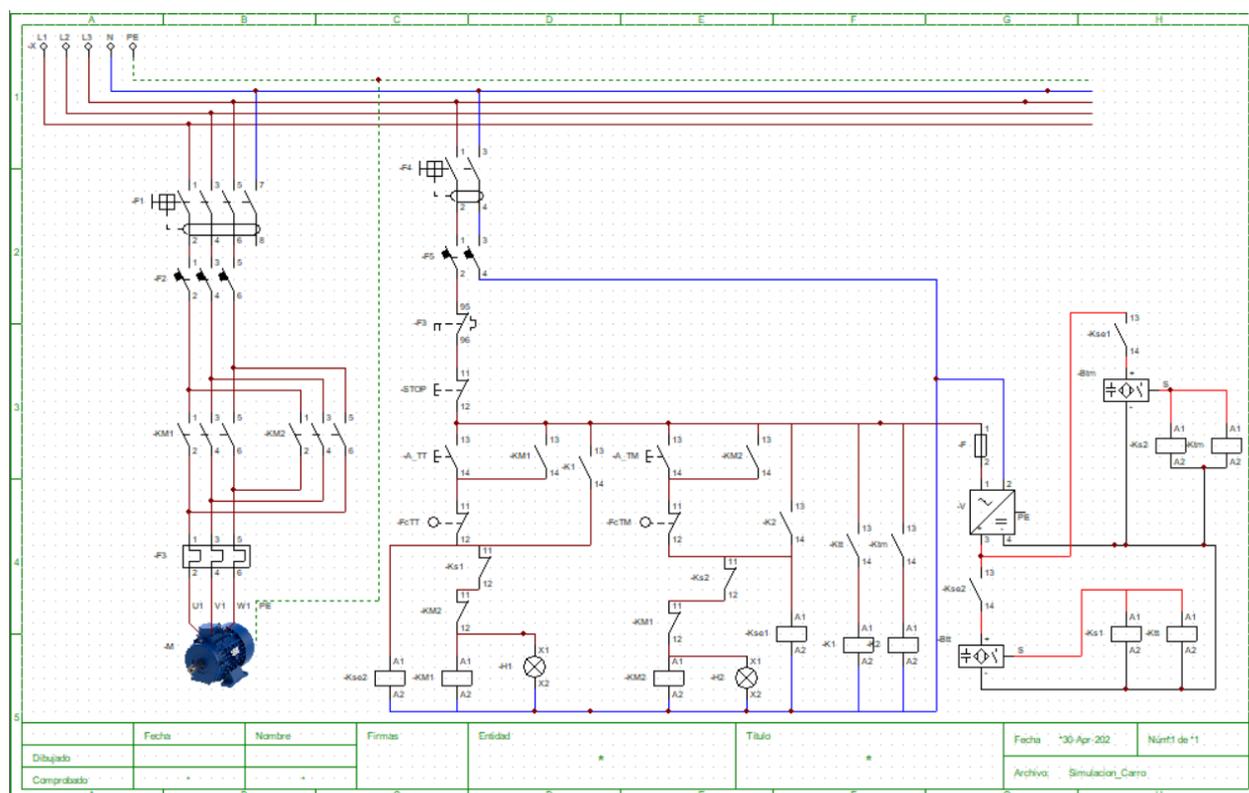


Figura 4. 91. CadeSimu: esquema de control con componentes (simulación)

El circuito se puede dividir en tres partes para ser explicado:

La primera parte corresponde a la del motor. Mediante un código de colores, se indican las siguientes divisiones:

- Morado: Motor asíncrono trifásico (modelo estándar) conectado a tres fases (U1-L1, U2-L2 y U3-L3).
- Azul: Elementos de seguridad (F1: Diferencial; F2: Automático; F3: Relé térmico).
- Verde: Switches activados por bobinas que activan el giro del motor en base a las fases (L1-L2-L3) a las que esté conectado (KM1 para giro a la derecha, con las fases 2 a L1, 4 a L2 y 6 a L3 y KM2 y para giro a la izquierda invirtiendo esas fases: 6 a L1, 4 a L2 y 2 a L3).

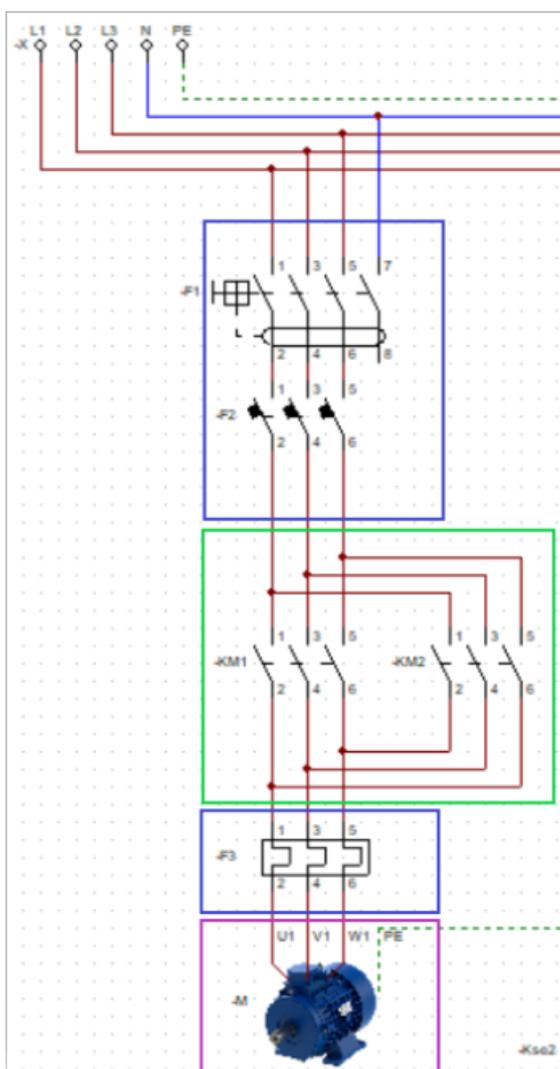


Figura 4. 92. Parte del motor con protecciones para una red trifásica

A continuación se presenta el circuito eléctrico principal. En este caso, se trata de dos circuitos paralelos, uno para ir en dirección a talleres mecánicos y otro para ir a dirección de tratamientos térmicos.

- Recuadrados en azul nuevamente se encuentran los elementos de seguridad.
- Se sitúa un pulsador de paro (seta de emergencia, rodeada en rojo) normalmente cerrado al principio de las dos líneas. Cuando este se activa, corta el suministro de sendas líneas durante un instante, para detener la alimentación y por ende detener el sistema. Este pulsador retorna automáticamente a su posición “normalmente cerrada” permitiendo al circuito alimentarse de nuevo a la espera de nuevas órdenes.
- Pulsadores de marcha: Al ser pulsados (normalmente abiertos) se cierran durante un instante, permitiendo activar la bobina que activa el funcionamiento del motor (KM1 con A\_TT o KM2 con A\_TM). Paralelamente, se sitúa un switch de la bobina correspondiente (este se cierra nada más pulsar el botón de dirección, para que cuando el pulsador retorne a su posición normalmente abierto exista otra vía de alimentación continua).
- Finales de carrera (rodeados en amarillo). Al activarse, cortan el suministro de su línea correspondiente en ese punto, deteniendo el motor.
- Contacto normalmente cerrado de seguridad (rodeado en marrón), se emplea al final de la línea para que si está activado KM1 no se active KM2 y viceversa.

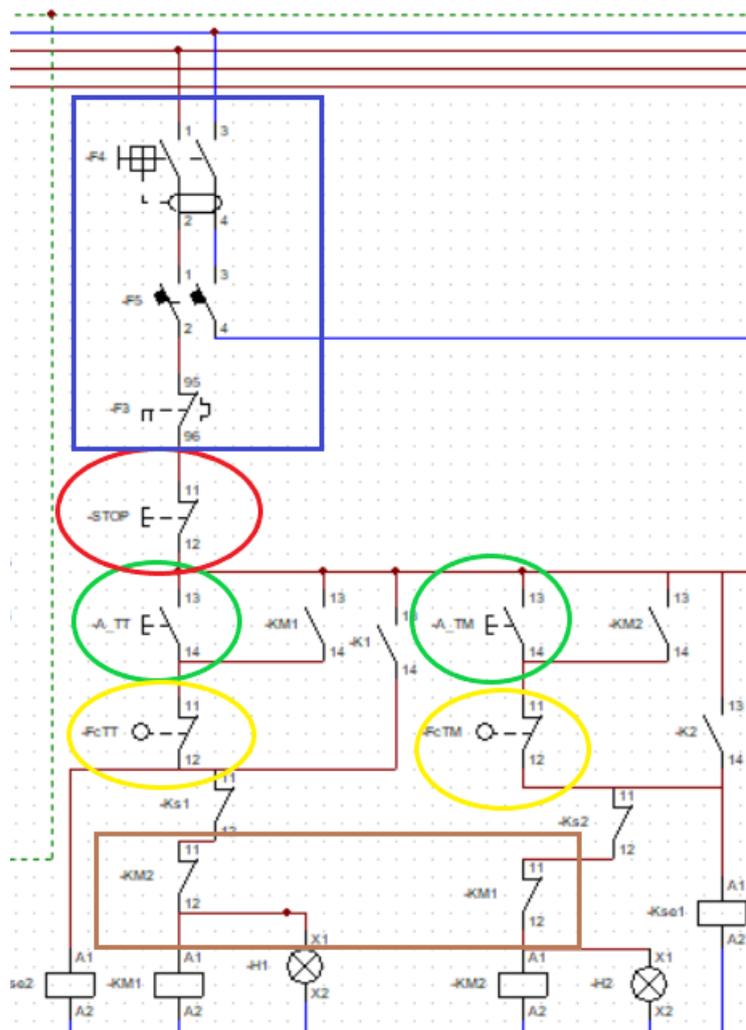


Figura 4. 93. Parte de control de la simulación

En paralelo, se dispone de unas luces H1 (KM1) y H2 (KM2) que se iluminan indicando la dirección de giro.

Se prosigue detallando el apartado de sensorización de seguridad, formado por dos sensores.

En este caso, el sistema de sensores (uno para cada dirección) emplea sensores capacitivos de 3 puntos. Estos sensores deben ser alimentados por una fuente de alimentación (que toma la energía de la red trifásica). Dicha fuente, además, viene previamente protegida por un fusible (en el diseño real esta fuente no será necesaria al tomar la tensión del sistema de alimentación de control UPS 24V)

Nuevamente, las líneas son paralelas, detallando una de ellas:

El interruptor Kse (recuadrado en naranja) se asegura de que los sensores solo funcionen cuando el sistema se encuentra en marcha y no en paro. Para que se entienda correctamente, si se eliminara esta parte del circuito, los sensores seguirían funcionando; pero en caso de estar parado y detectar a una persona y objeto este iniciaría la marcha automáticamente, de esta forma, solo detiene y reanuda la marcha del sistema cuando está en marcha y no en paro.

Cuando un sensor detecta a una persona u objeto en su trayectoria, se van activando una serie de bobinas que actúan sobre diferentes interruptores, cortando o activando el suministro.

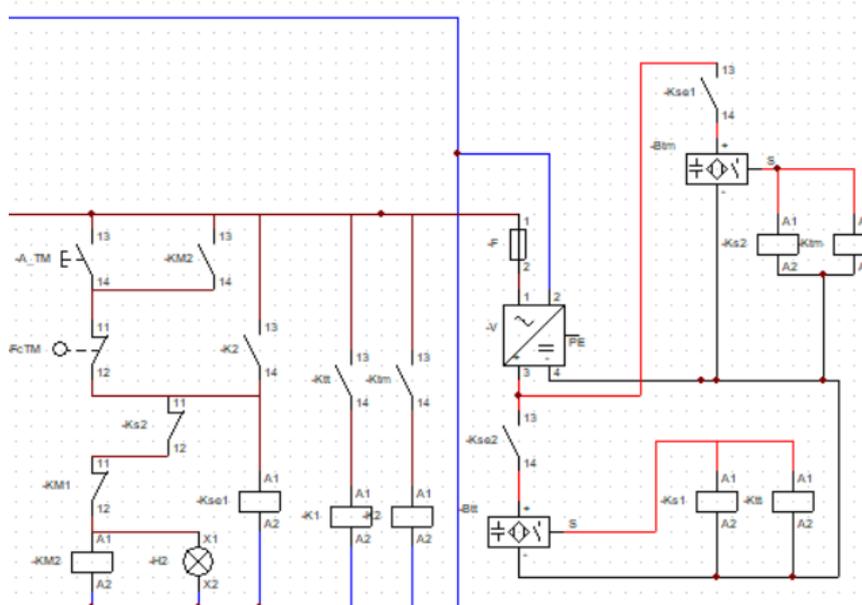


Figura 4. 94. Parte del circuito de seguridad (Sensores)

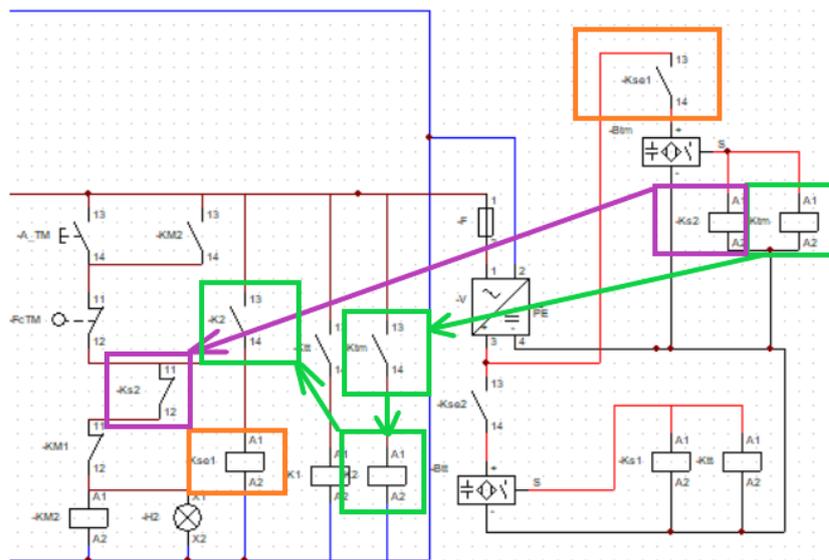


Figura 4. 95. Sucesión de acciones que ocurren al activarse un sensor

Finalmente se muestran una serie de figuras verificando el correcto funcionamiento de la simulación.

1. Cuando se cierran los interruptores de seguridad, el sistema está a la espera de órdenes, se observa además como la fuente de alimentación de los sensores está activa. Nótese que el sistema de sensores está alimentado pero no activo, ya que el motor se encuentra parado.

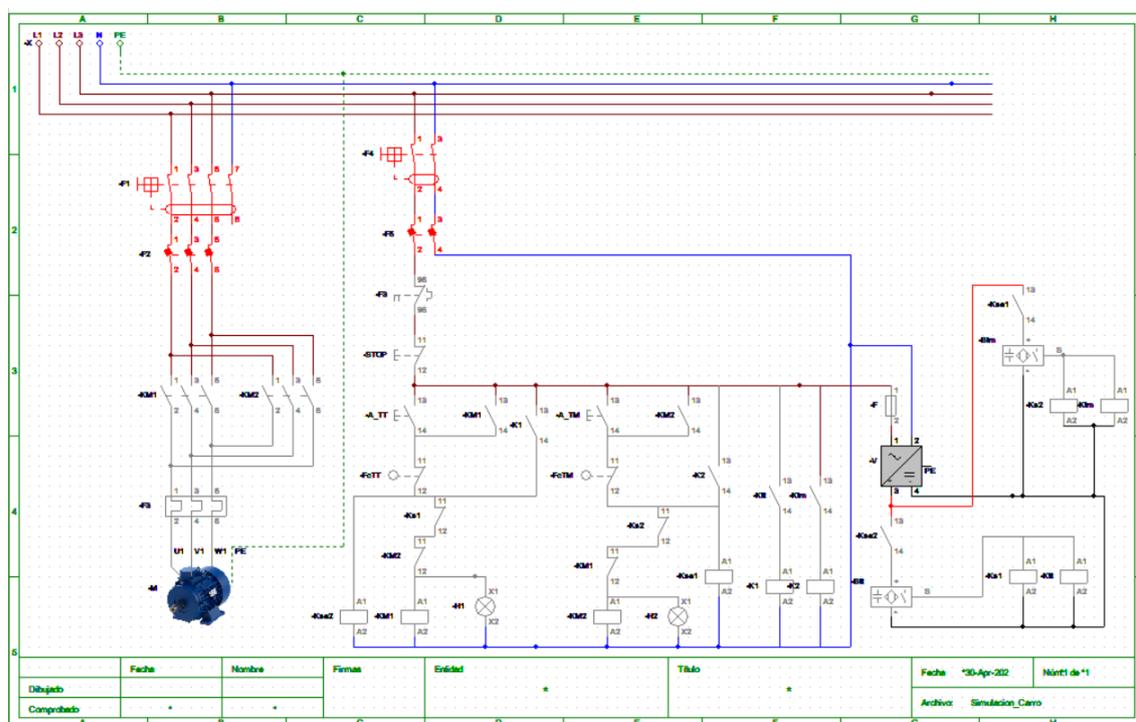


Figura 4. 96. Simulación (1)

- Se indica que se desplace a tratamientos térmicos (KM1) y así procede el sistema. Además, se habilita el interruptor que permite activar el sensor pertinente de paro por sensor (y posterior reanudación automática de la marcha). Nótese como el sensor de talleres mecánicos no está habilitado, puesto que no es el correspondiente a su trayectoria.

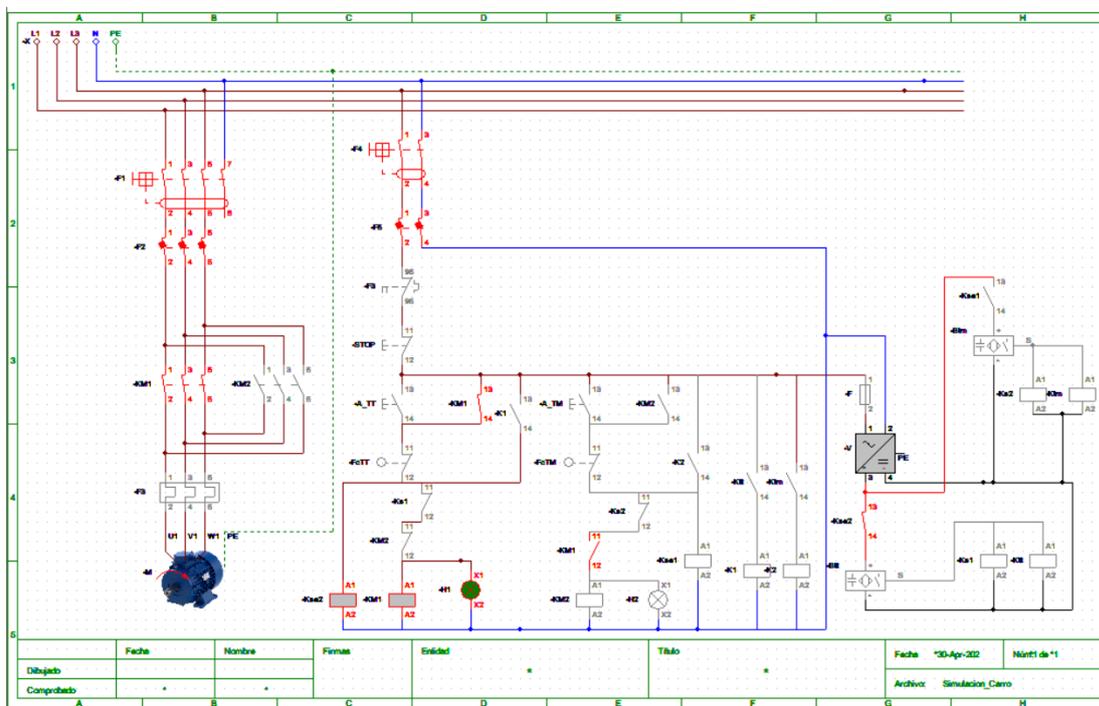


Figura 4. 97. Simulación (2)

- El sensor se activa, activando las bobinas y contactos pertinentes para que se detenga. Si se suelta, el sistema continuará la marcha.

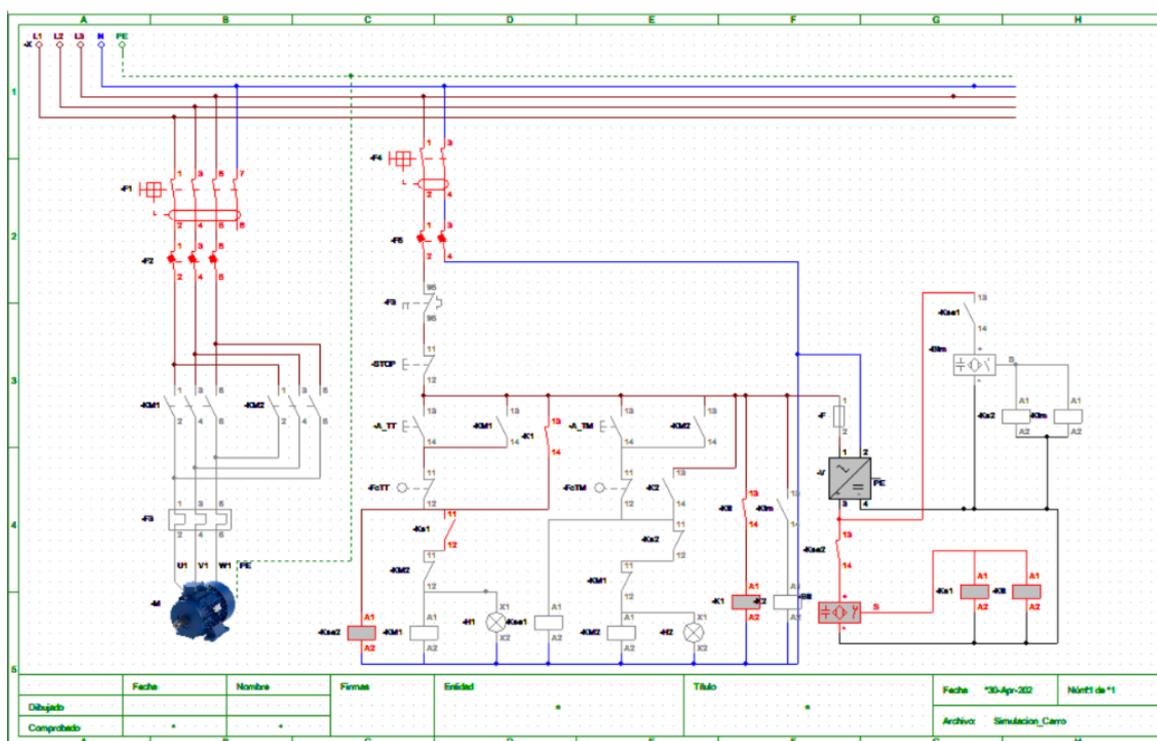


Figura 4. 98. Simulación (3)

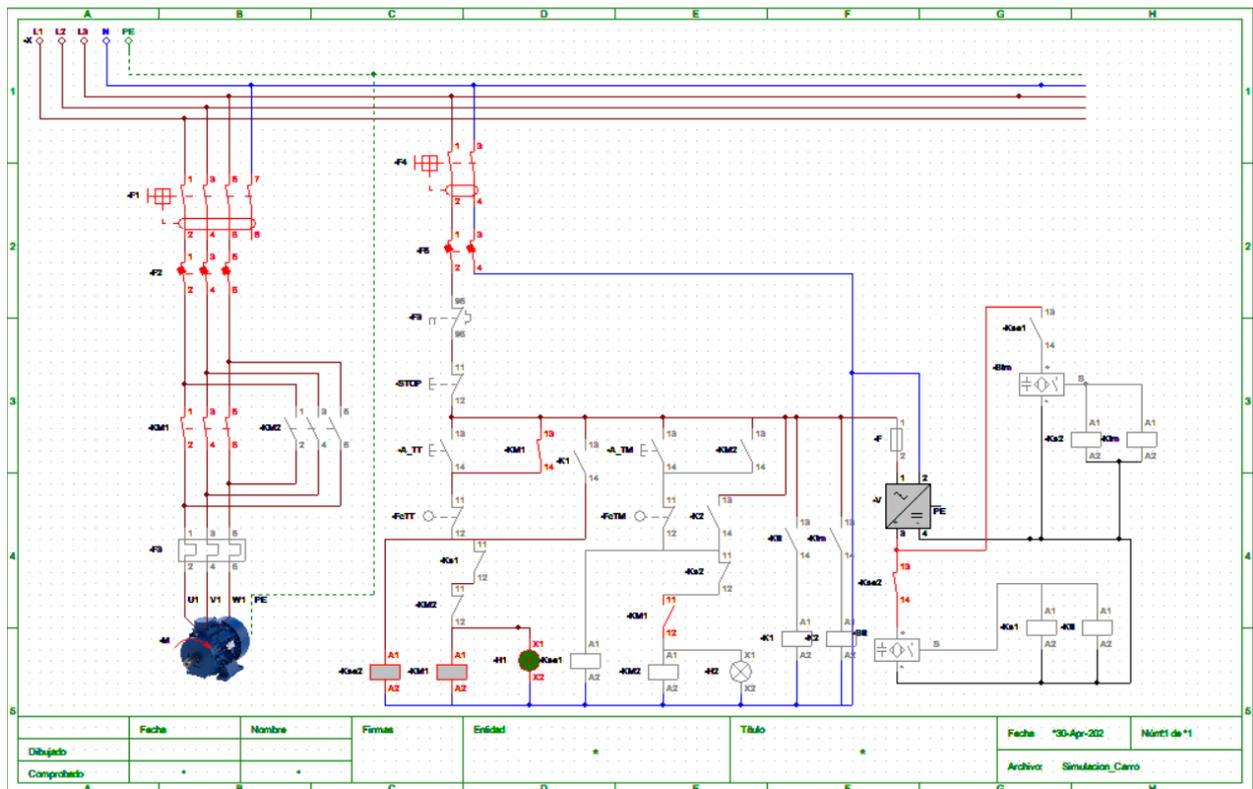


Figura 4. 99. Simulación (4)

- Si se activa el final de carrera correspondiente, en este ejemplo FcTT, el motor se detiene, ocurriendo lo mismo con el botón STOP y dejando al sistema a la espera de nuevas órdenes.

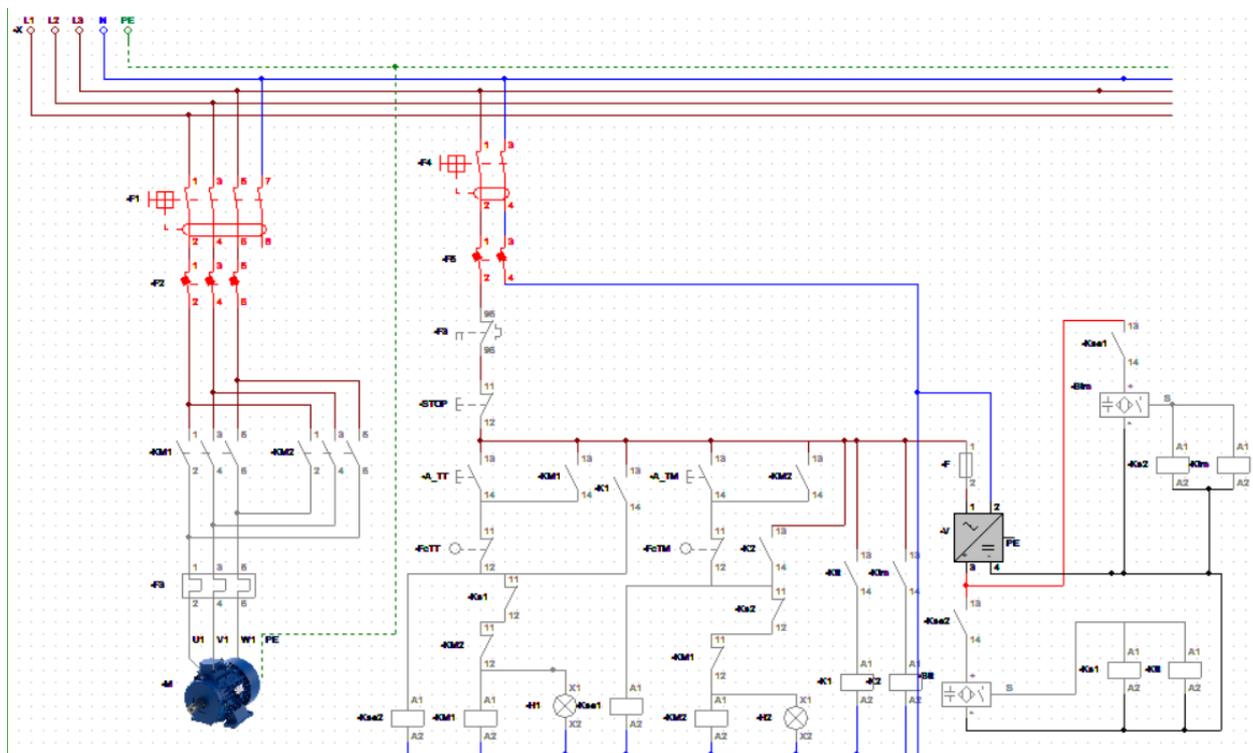


Figura 4. 100. Simulación (4)

El circuito está diseñado para que si se desplaza a tratamiento térmicos y se activa el final de carrera de talleres mecánicos, el sistema lo ignore, continuando la marcha. Lo mismo ocurre si se desea cambiar la dirección de giro durante la marcha. En caso de que se desee retornar el carro desde un punto aleatorio, este se debe detener primero mediante el botón STOP o bien porque ha llegado al destino.

#### 4.5.3. SIMULACIÓN EN CADESIMU (VERSIÓN PLC)

CadeSimu dispone del PLC escogido, S7-1200. Por lo tanto, se plantea el circuito visto en el apartado 4.5.2. pero configurado mediante una programación interna en cascada mediante un entorno gráfico (empleando contactores normalmente abiertos/cerrados y bobinas) e indicando en el PLC las diferentes entradas y salidas.

Se observa como en la entrada (parte superior del PLC) se encuentran los botones de marcha (A\_TT y A\_TM), paro (STOP), los dos finales de carrera (FcTT y FcTM) y los dos sensores de detección a tres hilos. El PLC en su parte izquierda es alimentado, donde en el siguiente pin se define su neutro.

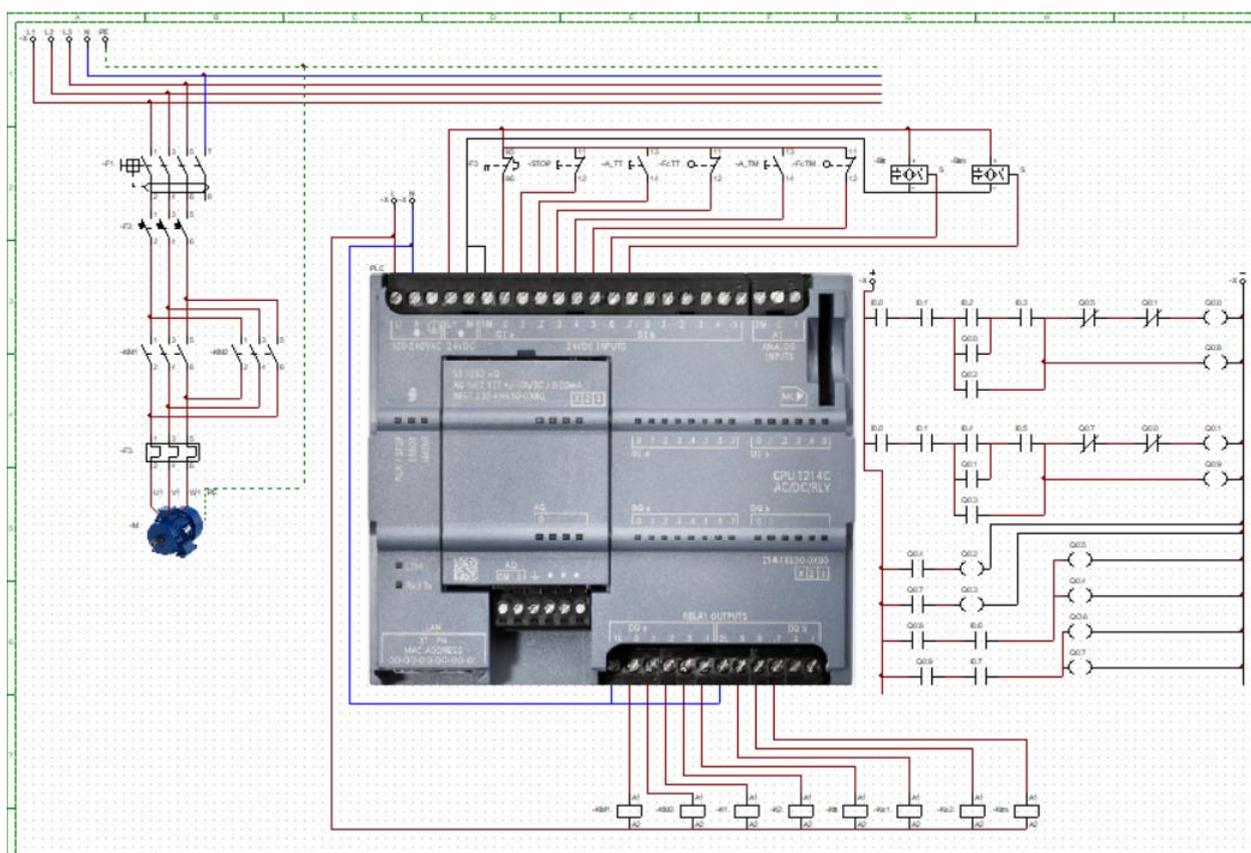


Figura 4. 101. Simulación en CadeSimu (PLC)

En este tipo de programación, la nomenclatura consiste en emplear la letra “I” para las entradas, de este modo:

- I0.0: Protector F3.
- I0.1: STOP.
- I0.2: MARCHA A\_TT (hacia tratamientos térmicos).
- I0.3: Final de carrera FcTT (tratamientos térmicos).
- I0.4: MARCHA A\_TM (hacia talleres mecánicos).
- I0.5: Final de carrera FcTM (talleres mecánicos).
- I0.6: Btt (sensor dirección tratamientos térmicos).
- I0.6: Btm (sensor dirección talleres mecánicos).

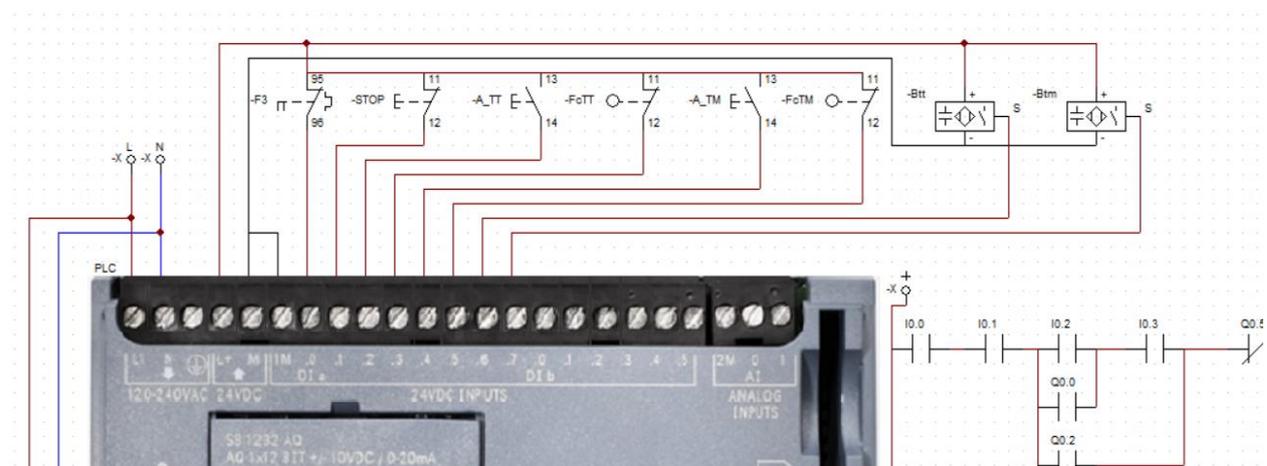


Figura 4. 102. Vista en detalle de las entradas (simulación PLC)

En las salidas (parte inferior del PLC) se han incluido las dos salidas reales (KM1 y KM2) y el resto de las auxiliares empleadas para detener o reanudar automáticamente la marcha mediante sensores. En este caso, para un conexionado real, no haría falta conectar las auxiliares, puesto que van dentro de la programación del PLC como nexos intermedios entre conectores (activándolos o desactivándolos para que circule corriente a través de ese punto del circuito). Sin embargo, en este caso se conectan para que al simular el sistema se pueda comprobar que funcionan correctamente. A tal efecto, las salidas se designan mediante la letra “Q” y la numeración pertinente:

- Q0.0: Bobina para girar a la derecha (A\_TT).
- Q0.1: Bobina para girar a la izquierda (A\_TM).
- Q0.2: Bobina auxiliar 1 (A\_TT).
- Q0.3: Bobina auxiliar 2 (A\_TT).
- Q0.4: Bobina sensor (A\_TT).
- Q0.5: Bobina auxiliar 1 (A\_TM).
- Q0.6: Bobina auxiliar 2 (A\_TM).
- Q0.7: Bobina sensor (A\_TM).

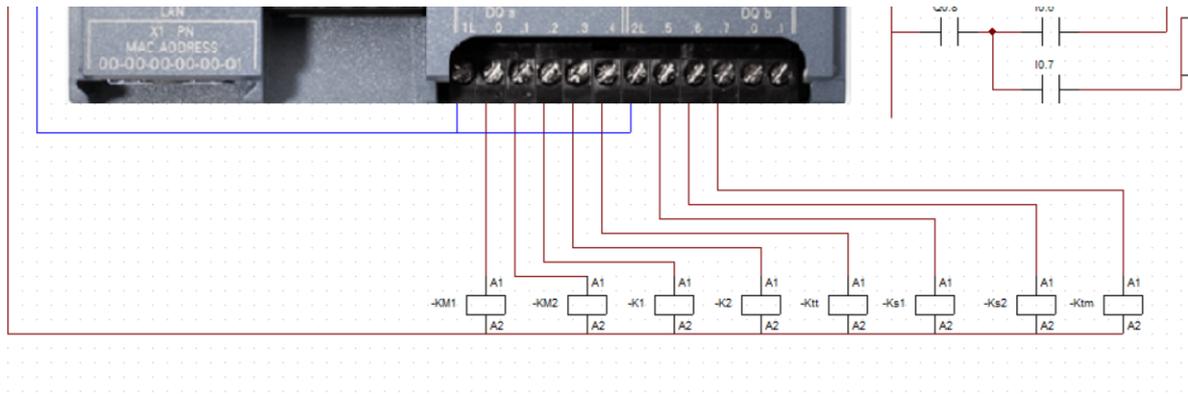


Figura 4. 103.Vista en detalle de las salidas (simulación PLC)

En el siguiente apartado (4.5.4.) se procederá con la explicación de esta misma programación mostrada en la figura 4.104 mediante TIA PORTAL, entrando más en detalle al ser el programa empleado para cargar toda la configuración y programación al sistema físico.

Siendo breve, en esta simulación la parte de la izquierda se alimenta a 24V y el otro extremo se conecta al negativo. Se observan tres símbolos distintos:

- Contacto normalmente abierto -| | - (no deja pasar la corriente a través de este mientras es desactivado)
- Contacto normalmente cerrado -|/| - (deja pasar corriente a través mientras no sea activado)
- Bobina (salida, se activa cuando la llega corriente) -( ) -

Además, dotando a un contactor con el mismo nombre que una bobina, este se activará automáticamente al hacerlo la bobina. Lo que se muestra en este circuito no deja de ser una simplificación, más ordenada, de la misma circuitería vista en el apartado 4.5.2.

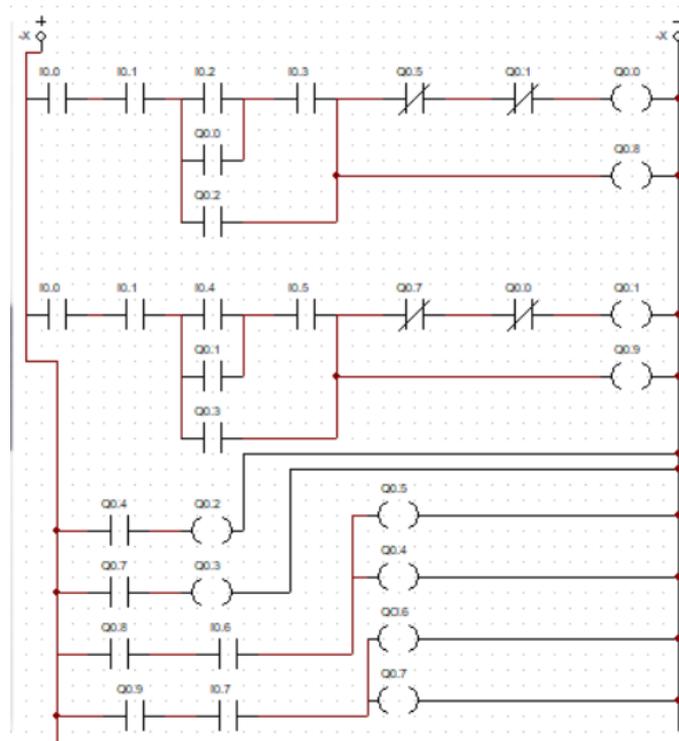


Figura 4. 104 Programación interna del PLC

Como es lógico, las entradas pueden ser manipuladas manualmente pulsando sobre ellas con el fin de verificar su correcto funcionamiento. En la primera imagen se observa el sistema parado, en stand-by. Posteriormente, se activa la entrada I0.4 (a talleres mecánicos), activándose la bobina Q0.1 (KM2) tal como se esperaba.

Por último, se activa el sensor de talleres mecánicos y se observa que se detiene el giro del motor.

En la simulación, cuando pasa intensidad a través de un cable este se encuentra iluminado en rojo. Respecto a los contactos, cuando se encuentran cerrados se rellenan de color azul.

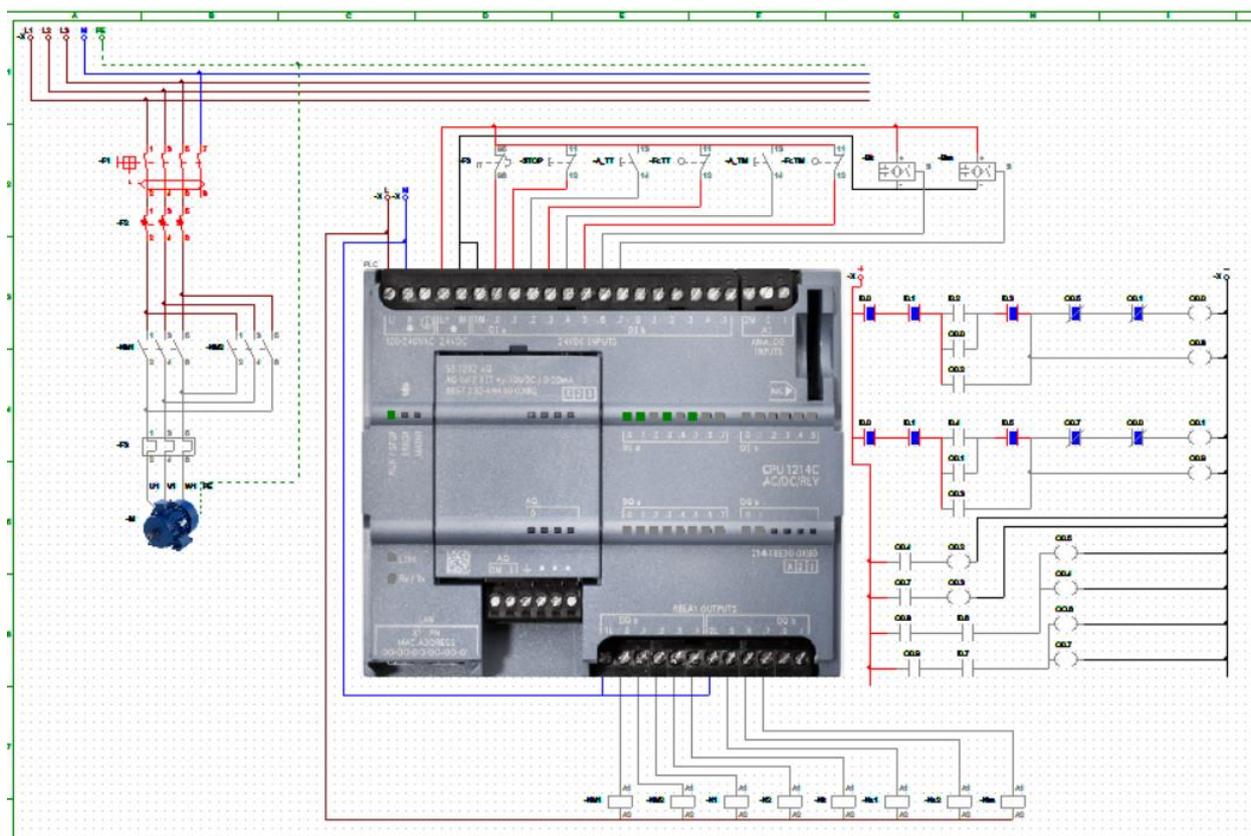


Figura 4. 105. Simulación PLC (1)

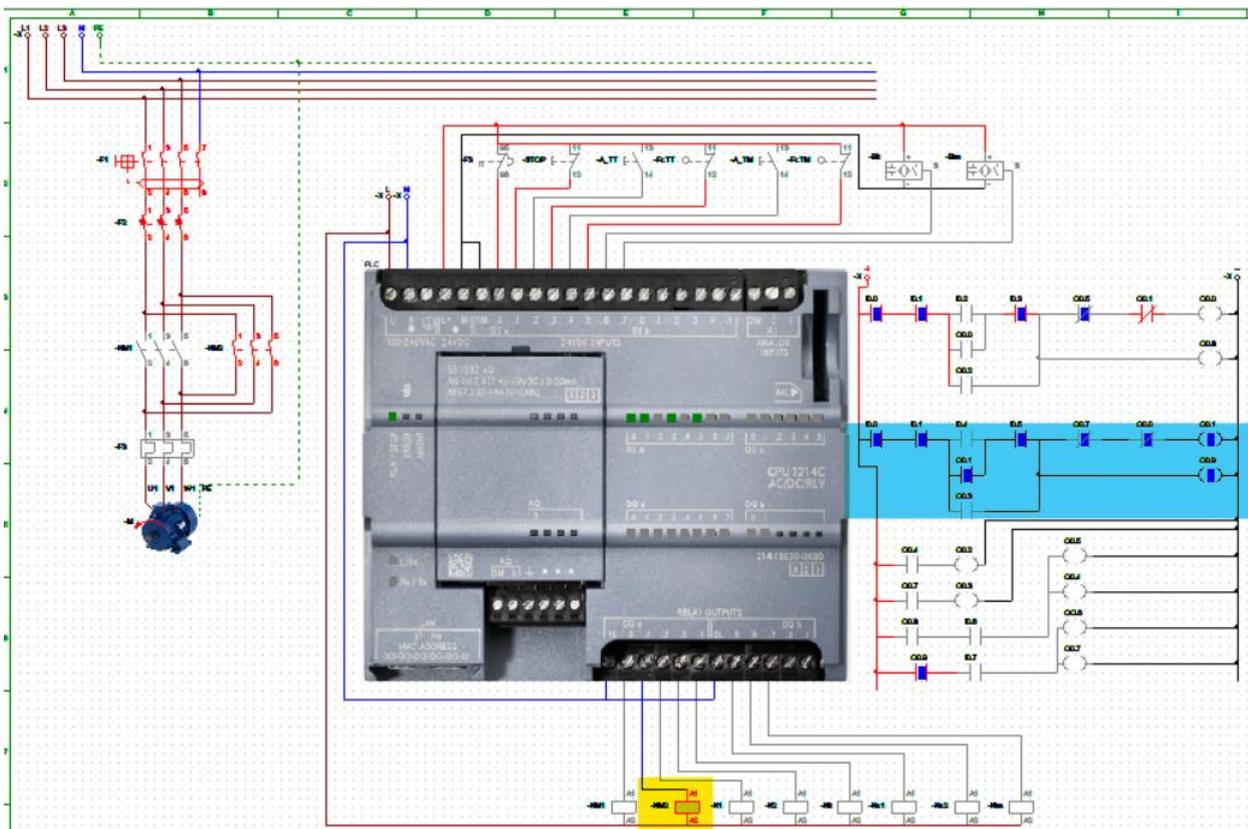


Figura 4. 106. Simulación PLC (2)

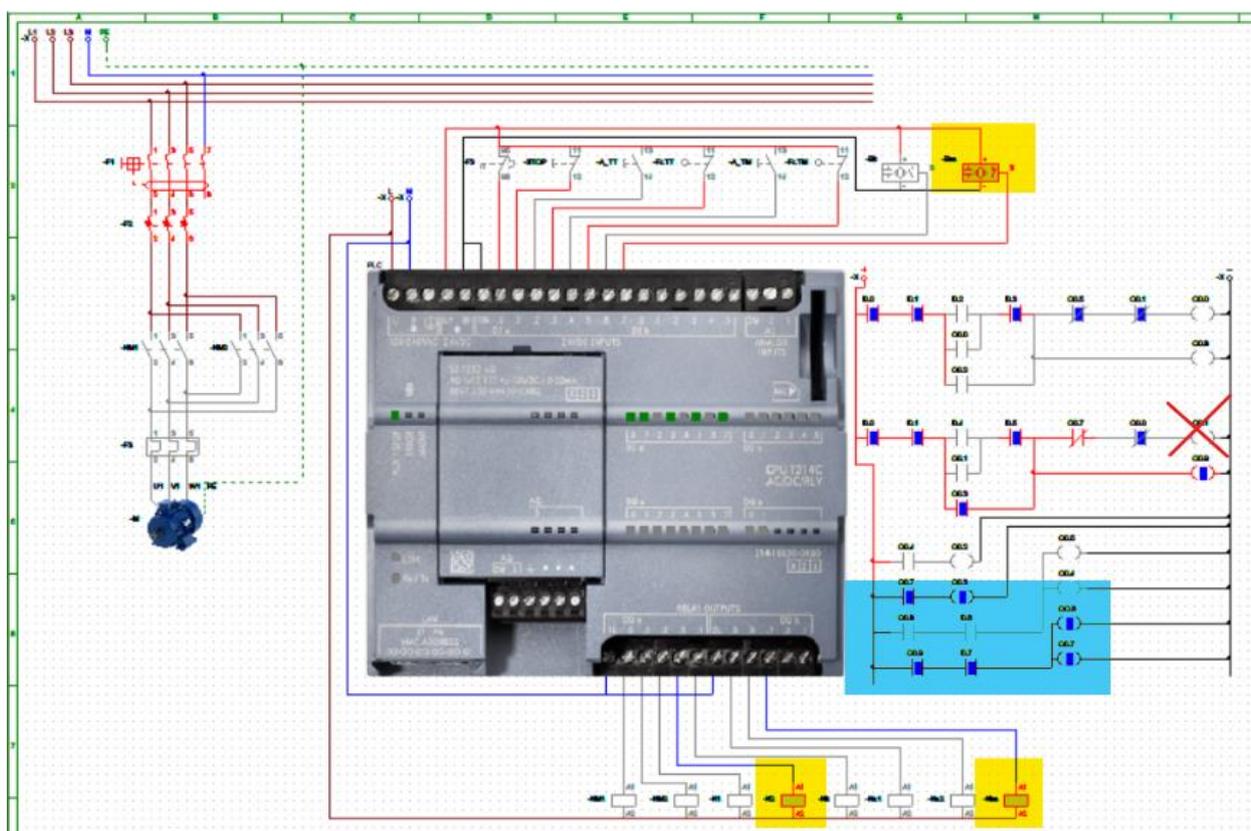


Figura 4. 107. Simulación PLC (3)

#### 4.5.4. CONFIGURACIÓN PLC-HMI, ALARMAS Y MONITORIZACIÓN EN TIA PORTAL

Una vez verificadas las simulaciones en CadeSimu estas se deben plasmar en TIA PORTAL y desarrollar una interface de usuario para monitorización y control del prototipo (como método secundario de control a la caja de botones que también se incorpora).

TIA PORTAL es un software que permite integrar componentes de Siemens en máquinas con el fin de controlar procedimientos y operaciones. Se trata de una aplicación modular, siendo posible añadir funcionalidades que se adapten a las necesidades del desarrollador.

Principalmente, es ideal para hardware que emplean PLCs como el S7-1200 o 1500. Entre sus múltiples recursos, se van a emplear dos:

- TIA Portal Openness. Crea códigos de programación utilizando generadores.
- PLCSIMAdvanced. Simula el funcionamiento de la comunicación y servidor web del PLC.

Tras realizar esta breve introducción, se crea un nuevo proyecto para controlar el carro automático para piezas de alto tonelaje.

Inicialmente se selecciona el PLC deseado dentro de la carpeta controladores. Particularmente, el PLC S7-1200 dispone de varias CPUs, donde la 1214FC es la escogida para este proyecto.

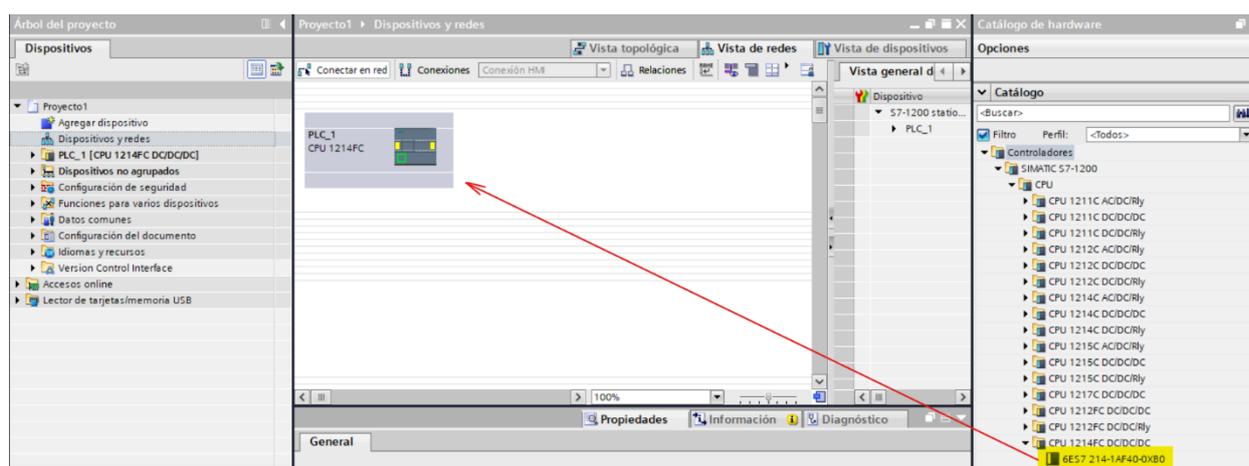


Figura 4. 108. Nuevo proyecto: incluir PLC S7-1200

A continuación, todas sus características se desplegarán en la pantalla de la izquierda.

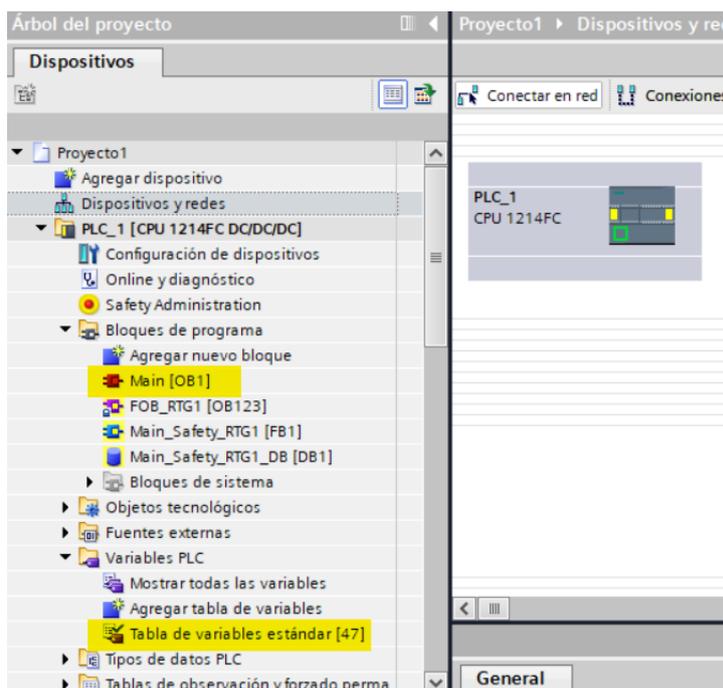


Figura 4. 109. Características

Personalmente solo interesa modificar la pestaña Main, donde se definirá la rutina de funcionamiento en el apartado “Bloques del programa” y la Tabla de variables estándar en el apartado “Variables PLC”, donde se definen las entradas y salidas previamente a definir la rutina.

En el apartado anterior (4.5.3) se definían las entradas como “I” y las salidas como “Q” seguidas de su numeración. Este hecho se mantiene igual dentro de TIA PORTAL, sin embargo, algunas entradas van a ser definidas como “marcas, M”, para que de esta forma ocupen un bit establecido dentro de la computadora interna del PLC y se pueda manipular esta variable internamente mediante la pantalla HMI, haciendo variar ese bit tal como si en la vida real se pulsara un botón.

Tabla de variables estándar								
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
1	STOP	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PARADA
2	A TMM	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MARCHA A TALLERES
3	A TT	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MARCHA A TRATAMIENTOS
4	FC TT	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	FINAL CARRERA TRATAMIENTOS
5	FC TM	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	FINAL CARRERA TALLERES
6	SENSOR 1	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SENSOR TRATAMIENTOS
7	SENSOR 2	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SENSOR TALLERES
8	KM1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MOTOR GIRO A TRATAMIENTOS
9	KM2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MOTOR GIRO A TALLERES
10	K1	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	K2	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	ktt	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	ktm	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	KS1	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	KS2	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Seguridad sensor	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Seguridad sensor 2	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 4. 110. Definición de todas las variables de entrada y salida en TIA PORTAL

Una vez definidas todas las variables, se procede con su programación mediante segmentos.

Para definir la rutina se han emplean un total de seis segmentos, lo que ocurre es que a nivel lógico solo se requiere explicar tres, puesto tres se dedican a realizar la marcha en una dirección y los otros tres en otra.

Comenzando con el segmento 1, dirección a tratamientos térmicos, se comienza con un contacto normalmente cerrado por el que siempre pasará corriente, salvo cuando se pulse STOP provocando que se abra el interruptor cortado el flujo y deteniendo el motor.

Seguido al botón de paro, se encuentran tres líneas paralelas:

- A TT es una entrada normalmente cerrada que tras ser accionado el botón permite el paso de corriente tras ella. Continuando esa línea se encuentra el final de carrera correspondiente a esa trayectoria, este final de carrera FC\_TT es normalmente cerrado, por lo tanto, si se activa, cortará el suministro en dicho punto. La línea continúa con KS1 (elemento de seguridad para el sensor que se explicará posteriormente) y KM2, que se encarga de evitar que si se activa la marcha inversa, esta no afecte a la marcha ya establecida.
- Paralelamente a A TT se encuentra KM1. Tras iniciarse la marcha en dicha dirección (salida Q0.0) la bobina KM1 que permite girar el motor en dirección a tratamientos se activa. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta línea se activa cuando se pulsa el botón A TT, que en un corto periodo de tiempo retorna a su posición inicial tras activar el motor, cortando el suministro desde esa línea. Situando KM1 como un contacto normalmente abierto (por el que pasa corriente tras ser accionado el botón A TT al iniciarse la marcha en esa dirección) se permite crear un segundo caudal, o línea por la que seguir alimentando el sistema de manera continua hasta que el carro se detenga cuando corresponda, bien sea por cortar el suministro por su final de carrera (se observa que ese contacto se encuentra antes, por lo tanto, si se corta la energía en el final de carrera, el carro se detendrá al no poder pasar más corriente), por el sensor o por el botón de STOP.
- La tercera línea paralela es un contactor que se explicará a continuación con los segmentos destinados a la sensorización del sistema. Sí se destaca, que después del final de carrera, existe una línea paralela que activa la salida de sensor de seguridad. De este modo, los sensores solo paran el motor y reanudan la marcha automáticamente cuando el carro está en marcha y no cuando está parado.

El segmento 2, es en esencia lo mismo, pero invirtiendo la marcha.

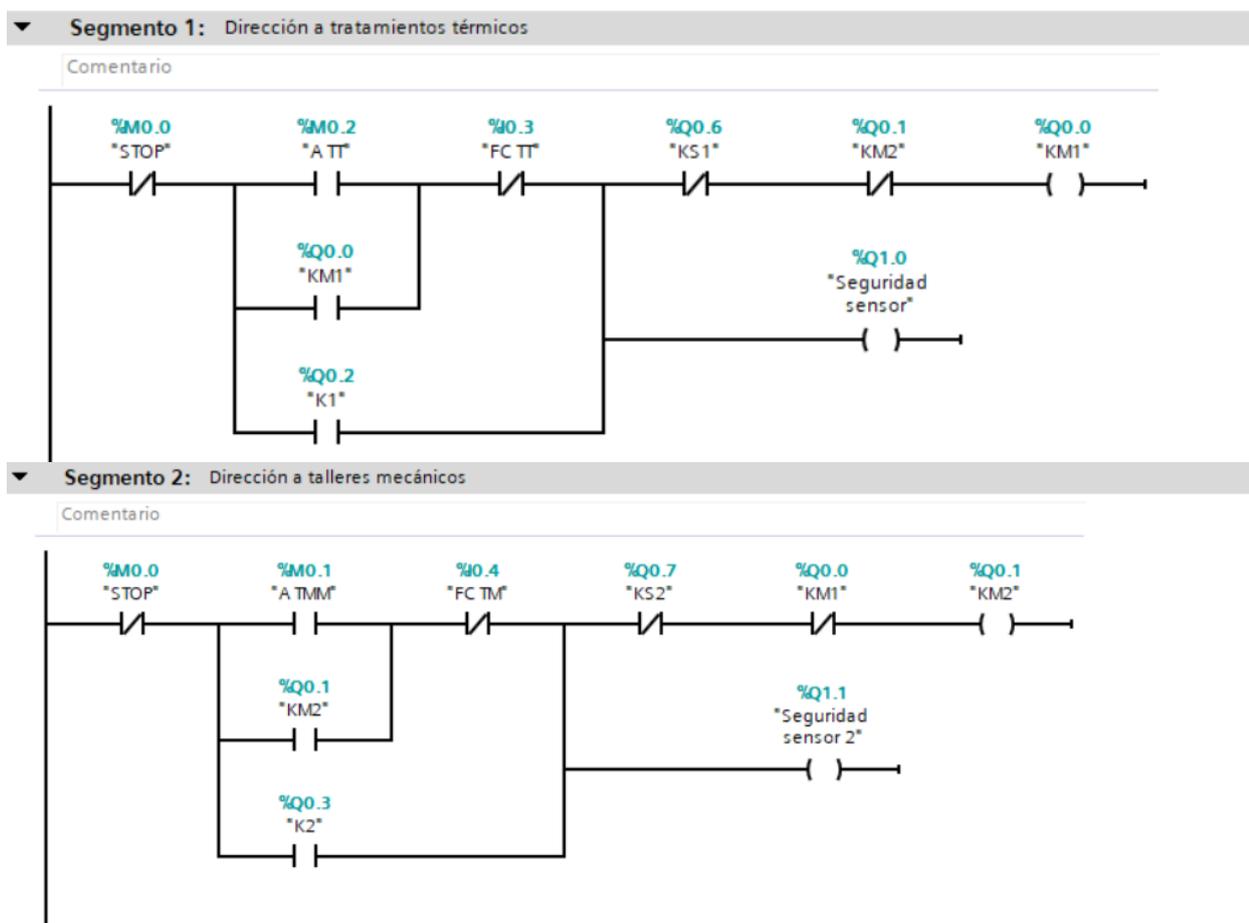


Figura 4. 111. Segmento de programación 1 y 2 en TIA PORTAL

Respecto a la sensorización, cuando se activa una marcha (KM1 o KM2), gracias a la línea paralela mencionada en el último párrafo anterior se activa la salida “seguridad sensor”. En los segmentos 5 y 6 se sitúa un contacto, normalmente abierto, que permite el paso de corriente a la entrada de los sensores (contacto normalmente abierto) permitiendo en ese instante (cuando el motor está en marcha) que estos funcionen devolviendo un 0, si no detectan a nadie (no pasa corriente al ser un contacto normalmente abierto), o un 1 si detectan una presencia, activando dos bobinas paralelas KS1/2 y ktt/tm.

Cuando se activa KS1/KS2 salta el contacto normalmente cerrado de los segmentos principales 1 y 2, abriéndolo y cortando el suministro directamente, deteniendo el motor. Al no existir una línea paralela de suministro, se asegura de que se detenga su giro.

A su vez, se activa la línea de suministro K1/2, asegurando una línea de suministro justo antes del corte, con el fin de que se reanude automáticamente la marcha. Sin embargo, esta línea viene apoyada por los segmentos 3 y 4, cuyo único cometido es insertar un retardo en la señal, con el fin de KS1/2 y K2/1 no cambien de estado a la vez, ya que se podría generar una falla en el sistema.

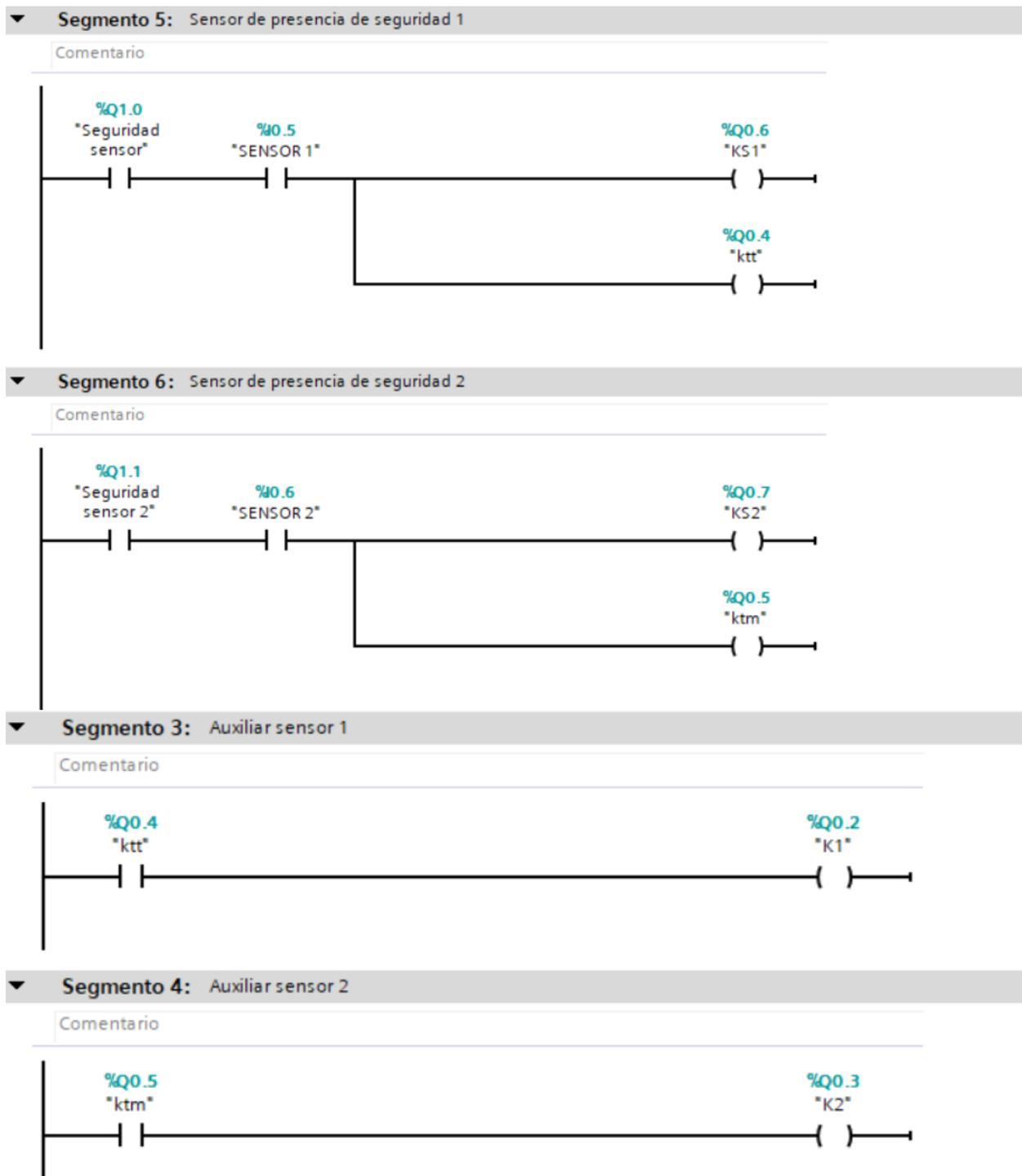


Figura 4. 112. Segmentos auxiliares de la programación (3-4-5-6)

Se puede comprobar que no se ha diseñado ni introducido una marca de arranque, volviendo a hacer hincapié en que el entorno de trabajo es sumamente cambiante y debe ser el operario quien inicie el sistema y dé una orden, sin un arranque predefinido. Por motivos de seguridad, una vez encendido el sistema el carro está programado para que se encuentre en stand-by, aguardando una orden del operador.

### Interface de control.

Se decide incorporar un dispositivo táctil para controlar el sistema desde una pantalla y poder observar también alarmas y estados.

Se apuesta por un diseño sobrio y sencillo, basado en dos pantallas: la pantalla de inicio y una pantalla secundaria de alarmas donde todos los sistemas auxiliares al control (DCP, UPS y variador de frecuencia) vuelcan información, una vez conectados y configurados, sobre su estado y errores (en caso de haber durante el funcionamiento del carro).

Inicialmente, se debe seleccionar el modelo escogido. En este caso, la pantalla es el modelo KTP400 Basic PN, una pantalla táctil de 4 pulgadas.

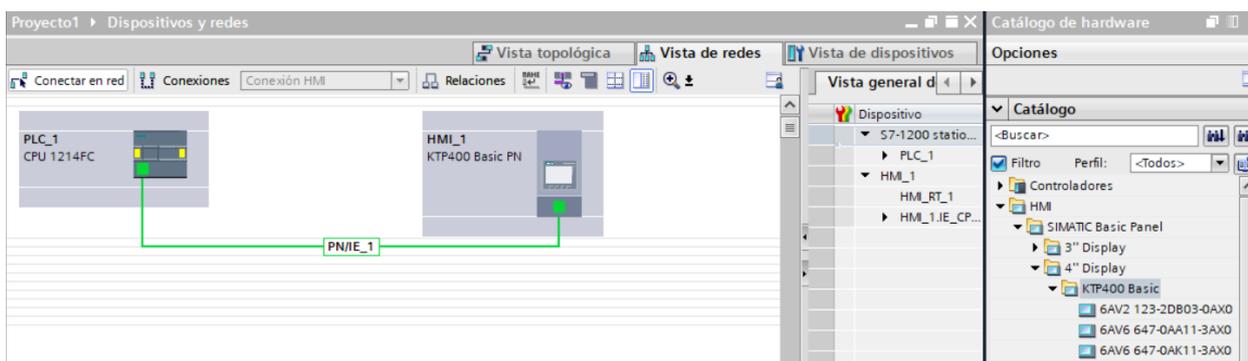


Figura 4. 113. Inclusión de pantalla HMI al proyecto en TIA PORTAL

Una vez conectada, esta se debe configurar: primero se indica el tipo de interfaz de conexión y el PLC a la que esta se conecta.

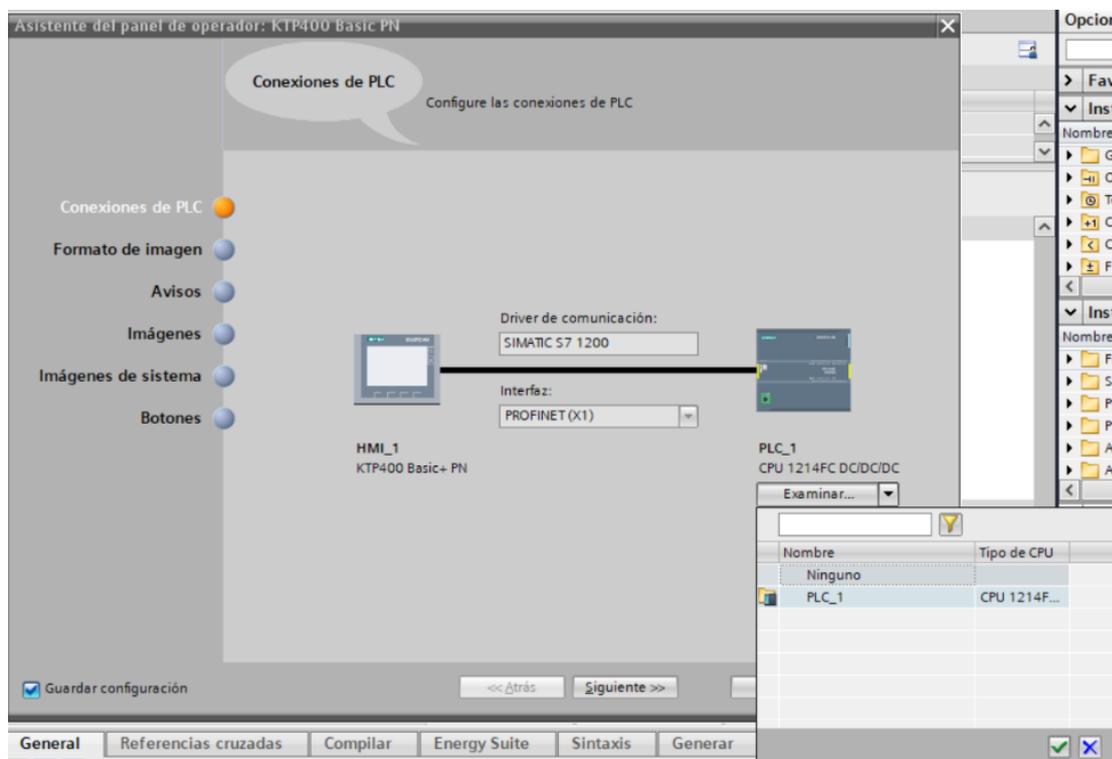


Figura 4. 114. Configuración de pantalla HMI con PLC

Se indican otras características, como indicar la fecha y hora o el color de fondo y logotipo de la empresa Siemens:

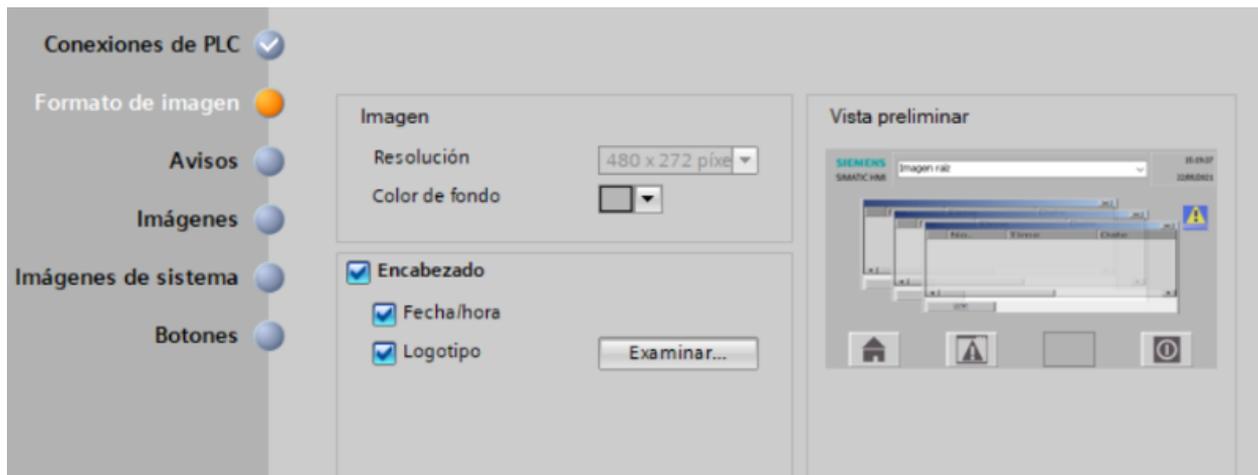


Figura 4. 115. Configuración básica del fondo de pantalla

Así como avisos pendientes; avisos no acusados o avisos de sistemas pendientes:

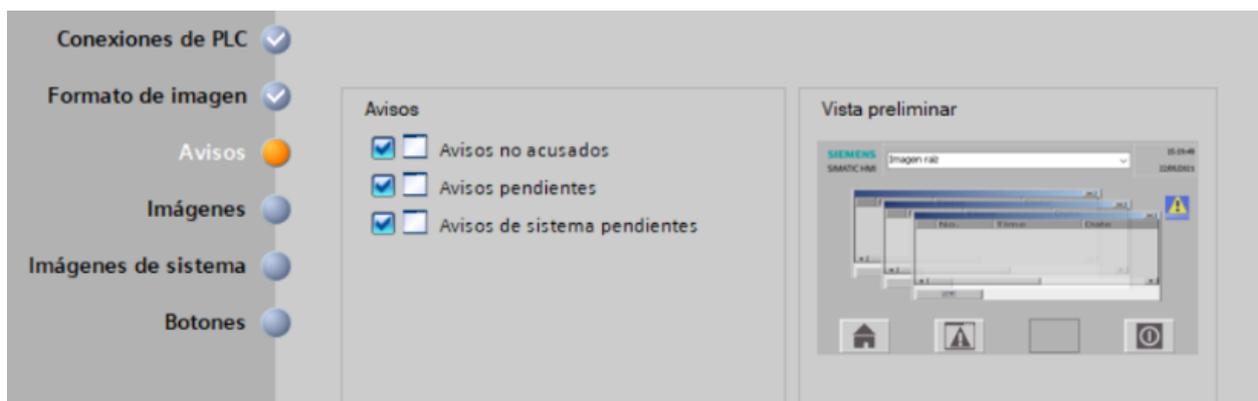


Figura 4. 116. Configuración para la inclusión de avisos

Una vez realizada una configuración con los elementos básicos, se procede a insertar los elementos que se desean ver dentro de la interfaz. Para ello, estos se arrastran sobre la pantalla principal.

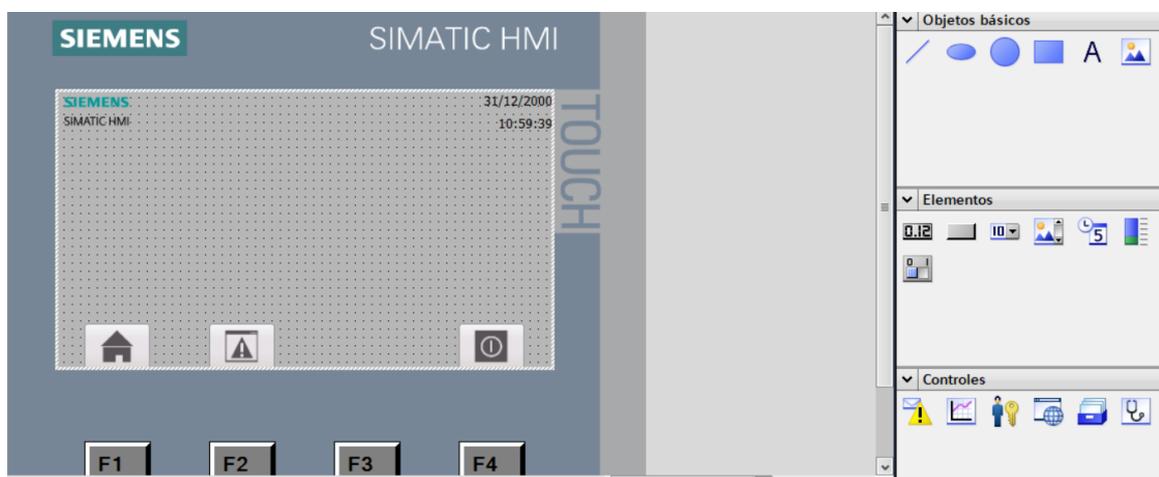


Figura 4. 117. Plantilla generada y editable de la pantalla HMI

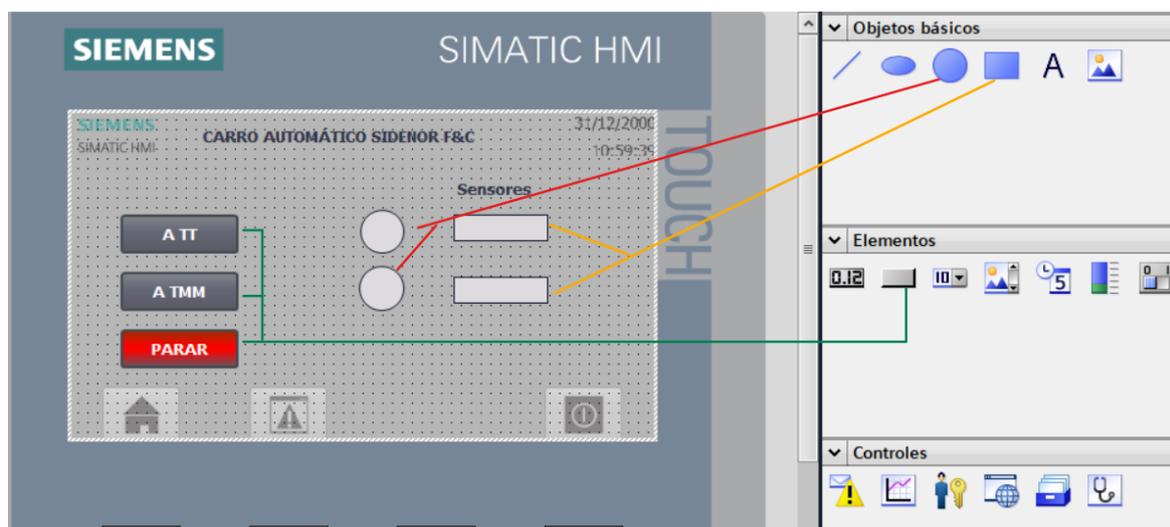


Figura 4. 118. Inclusión de botones, luces e información dentro de la pantalla

Por defecto, el operario aparece en la pantalla de inicio que consta de 3 botones: A TT (marcha a tratamientos termicos), A TMM (marcha a talleres mecánicos) y PARAR (Botón de parada de emergencia en color rojo).

Al lado de A TT hay un círculo en color gris. Cuando el carro se desplace a tratamientos térmicos, este círculo se iluminará en color verde, mientras se esté desplazando, apagándose cuando el motor se pare. Seguido, se encuentra un rectángulo que se corresponde con el sensor correspondiente a esa trayectoria de desplazamiento que parpadeará continuamente en negro-amarillo indicando que se está detectando una presencia.

Al lado de A TM hay un círculo en color gris. Cuando el carro se desplace a talleres mecánicos, este se iluminará en color azul, mientras se esté desplazando, apagándose cuando el motor se pare. Seguido, se encuentra un rectángulo que se corresponde con el sensor correspondiente a esa trayectoria de desplazamiento que parpadeará continuamente en negro-amarillo indicando que se está detectando una presencia.

Deben configurarse los diferentes elementos para que funcionen correctamente. Dentro de esta interface, se configuran tres de ellos:

- Luces de marcha y de sensores.

Dentro de su configuración se desea insertar una animación de tipo apariencia. Primero, se selecciona la variable que va a desatar dicha animación de apariencia. En el ejemplo mostrado en la figura 4.119 se hace alusión a la configuración del círculo luminoso para el botón de marcha de “ir a tratamientos térmicos” (bobina KM1), que cuando se active se pondrá en verde hasta que el motor se pare por la seta de emergencia, por un sensor o porque ha llegado a su destino.

Posteriormente, se indica rango 1. En esa misma fila se selecciona el color con el que se va a iluminar (color de fondo) y el color del borde. Por último, se indica si se desea que la luz parpadee cada segundo (como en el caso de los rectángulos luminosos de los sensores).

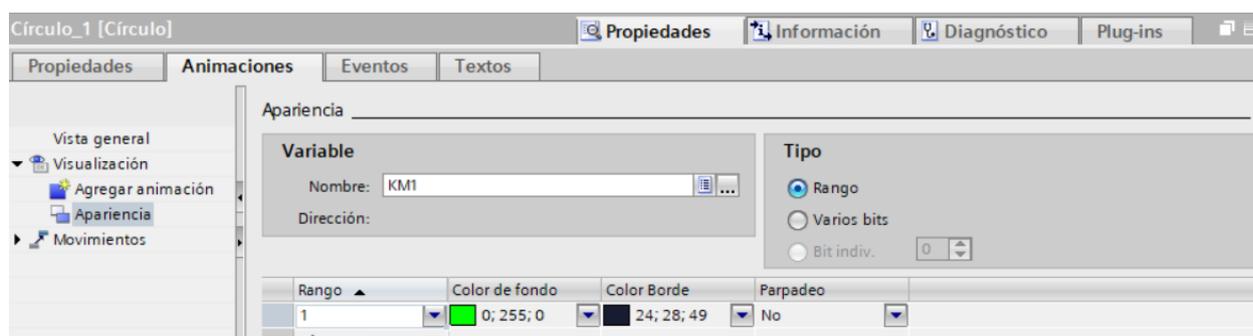


Figura 4. 119. Configuración de luces en la pantalla

- Botones de marcha (A\_TT y A\_TM).

Para simularlos como pulsadores (botones que retornan a su posición normal tras ser activados), en este caso se desea desatar un evento, pero se deben dar dos eventos, uno de activación de bit (deja pasar la corriente mientras este pulsado) y otro de desactivación de bit (cuando retorna tras ser pulsado a su posición inicial ya ha encendido el sistema y retorna a su posición inicial, evitando su enclavamiento y permitiendo volver a pulsar el botón). Las variables a manipular por estos botones son entradas “I”, pero realmente, estas deben ser definidas como marcas “M” que ocupen un espacio de la memoria del PLC para que puedan ser activadas o desactivadas mediante la interface.

En este caso, se debe indicar la variable de entrada y salida que son A\_TT o A\_TM para sendos botones de marcha.

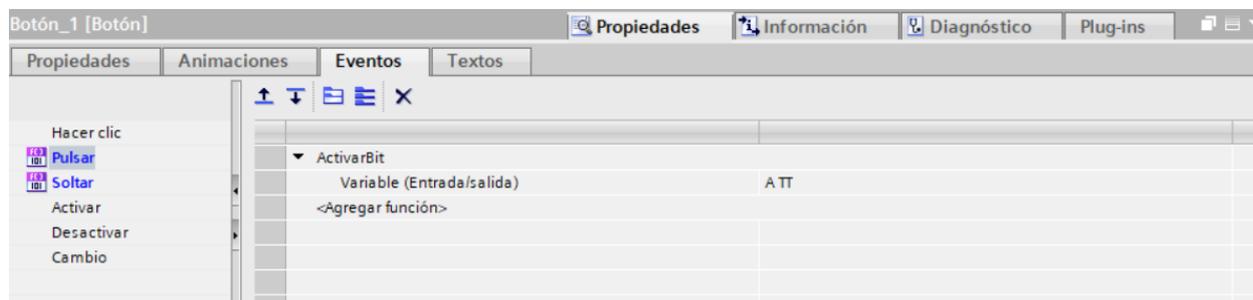


Figura 4. 120. Configuración de botones en la pantalla

- Seta de emergencia de parada.

Igualmente, se emplea un evento, sin embargo, en este caso para simular una seta de emergencia (y no un pulsador) se emplean las funciones “activar” (pone el bit a 1 cuando se pulsa) y “desactivar” (desactiva ese bit a 1, para que cuando vuelva a ser pulsado, pueda volver a activarse y no se quede enclavado). Cuando el botón se activa hace saltar el interruptor interno de su circuito, provocando que se corte todo el suministro a partir de ese punto, parando el motor y deteniendo el desplazamiento de este.

En este caso la variable de entrada es la de parada STOP.

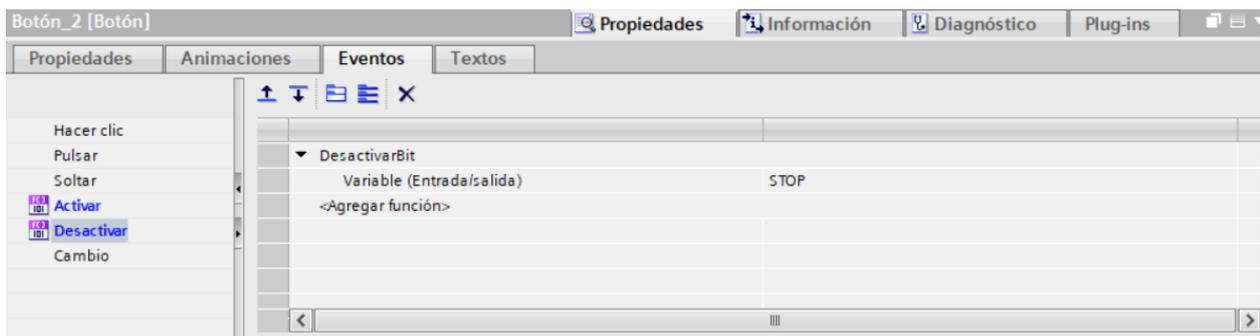


Figura 4. 121. Configuración botón de STOP en la pantalla

Si se pulsa sobre la señal de “Alarmas e info” aparecerá una tabla emergente con todos los avisos de los sistemas conectados, indicando el número de aviso, la fecha y hora a la que se ha producido y el tipo de aviso.

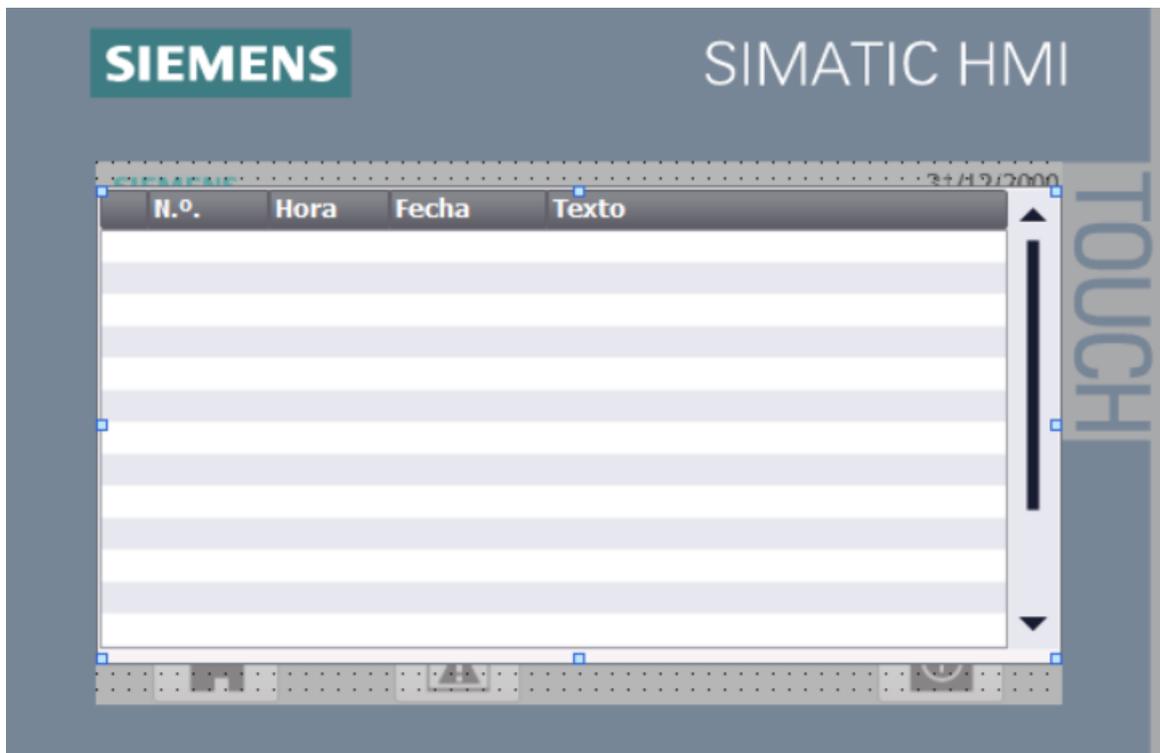


Figura 4. 122. Ventana secundaria de alarmas

Por último, si se pulsa sobre el botón de apagar durante la simulación, la ventana emergente de la pantalla desaparecerá. En el caso del modelo real esta se apagará.

Simulación de funcionamiento:

Mediante el simulador de TIA PORTAL (SIMPLC) se permite verificar el correcto funcionamiento de la programación establecida.

Para iniciar la simulación se debe configurar el dispositivo. Pulsando en la pantalla “Main”, dentro del PLC, se despliega la siguiente pantalla (Figura 4.123.) donde se debe iniciar la búsqueda del PLC y cargarlo en este.

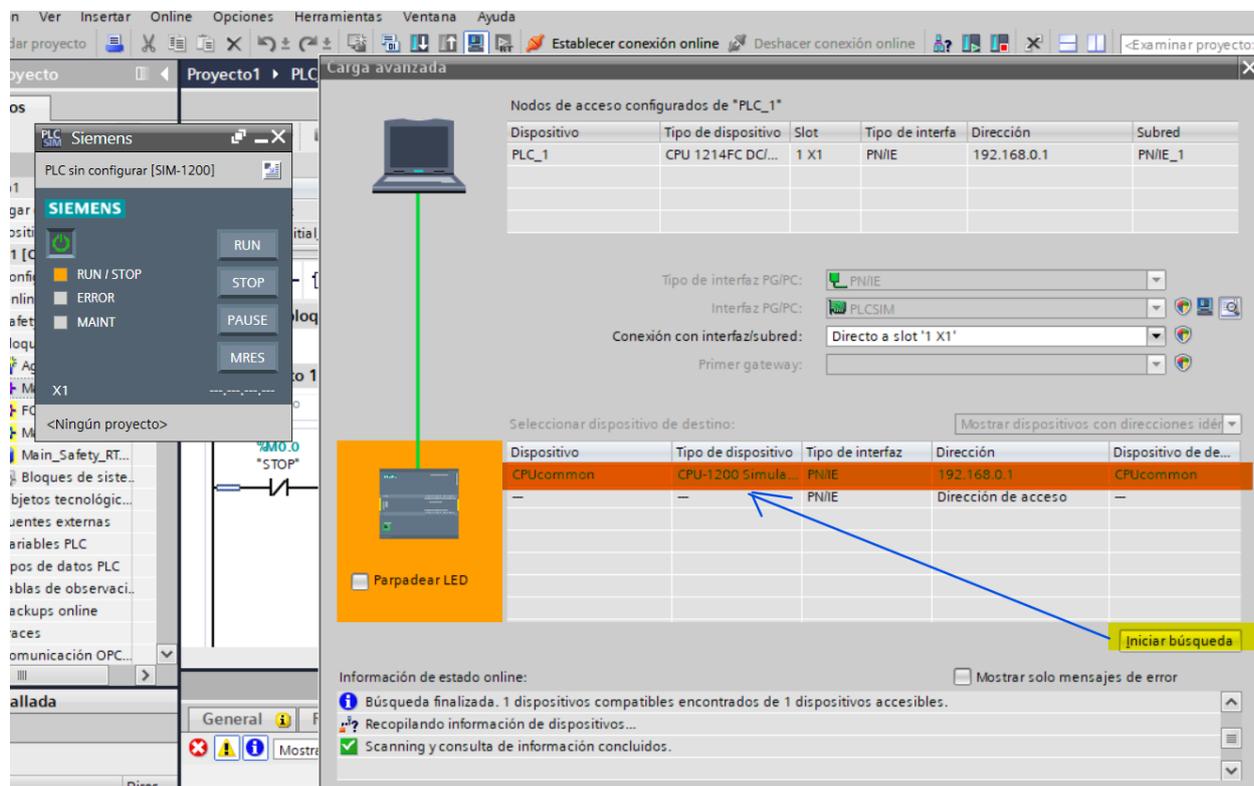


Figura 4. 123. Conexión ordenador-PLC para simulación a tiempo real en TIA PORTAL

El programa compilará, verificando que se encuentra exento de errores (figura 4.124).

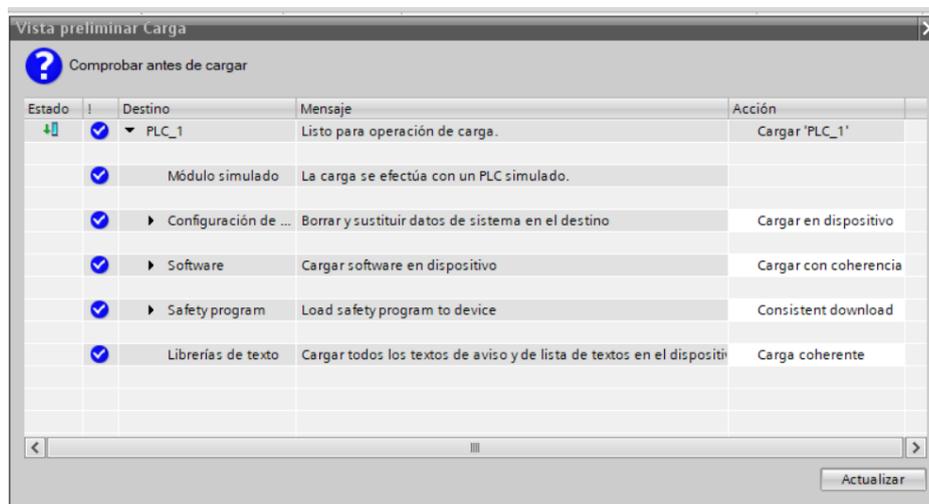


Figura 4. 124. Compilación

Del mismo modo, se debe acceder al dispositivo HMI donde se encuentra la interface y simularla siguiendo los mismos pasos. Si ha sido compilada correctamente se abrirá como una ventana emergente.

Por último, la pantalla solo permite variar las marcas, por lo tanto, si se desea modificar las entradas se debe acceder a través del simulador, donde debe ser ampliado y generarse la simulación, incluyendo la tabla de variables:

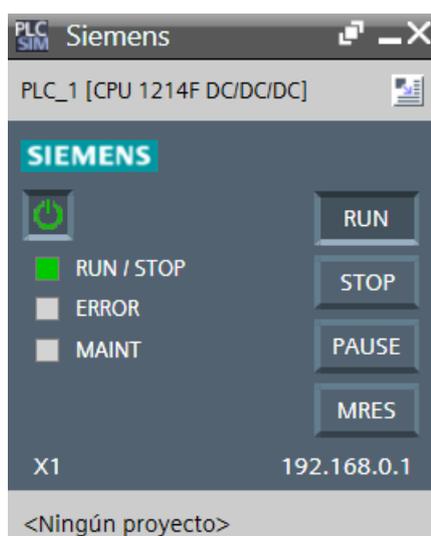


Figura 4. 125. PLC virtual en funcionamiento

Se debe verificar que se encuentra en modo RUN para simular. Ampliando el PLC virtual se abre una nueva pantalla con pestañas donde se crea un proyecto de simulación que se encargará de sincronizar el programa con las otras dos ventanas abiertas (ventana del proyecto principal con el programa Main y ventana emergente de control interface). Dentro de la ventana de simulación, se cargan las variables del sistema.

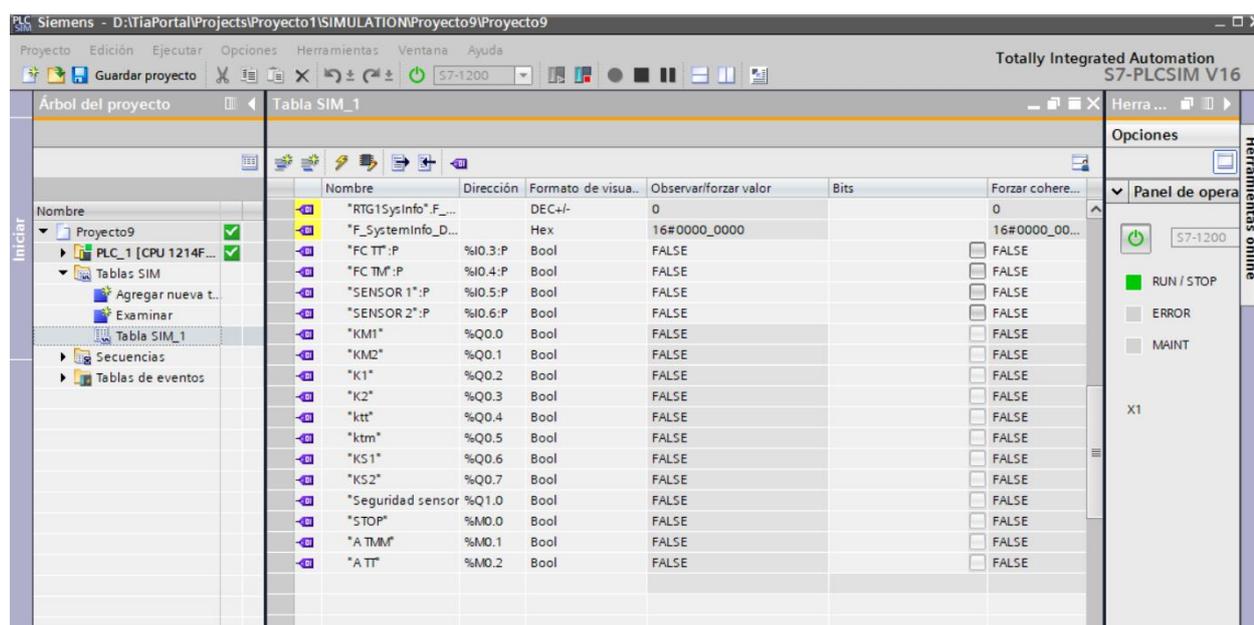


Figura 4. 126. Carga de variables para la simulación

Se comprueba que no hay errores antes de proceder con la simulación. En este caso, es un tanto tedioso realizarla ya que se deben observar tres pantallas simultáneamente, por lo tanto se colocan estratégicamente y se trabaja sobre el segmento 1 (dirección a tratamientos térmicos):

1. Inicialmente no hay salidas activadas, el sistema está a la espera de órdenes.

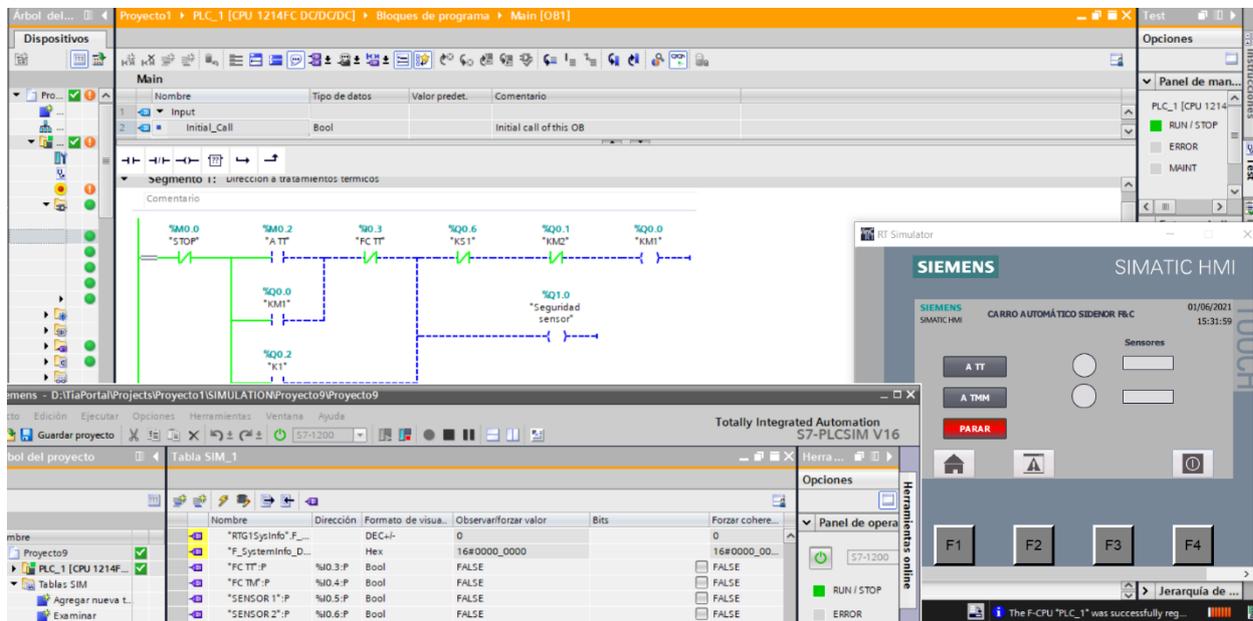


Figura 4. 127. Simulación en TIA PORTAL, test 1

2. Se pulsa el botón en la interface A TT. Se observa como se activa KM1 y su vez se activa el indicativo luminoso en la interface. Los sensores se encuentran a la espera de detectar un objeto.

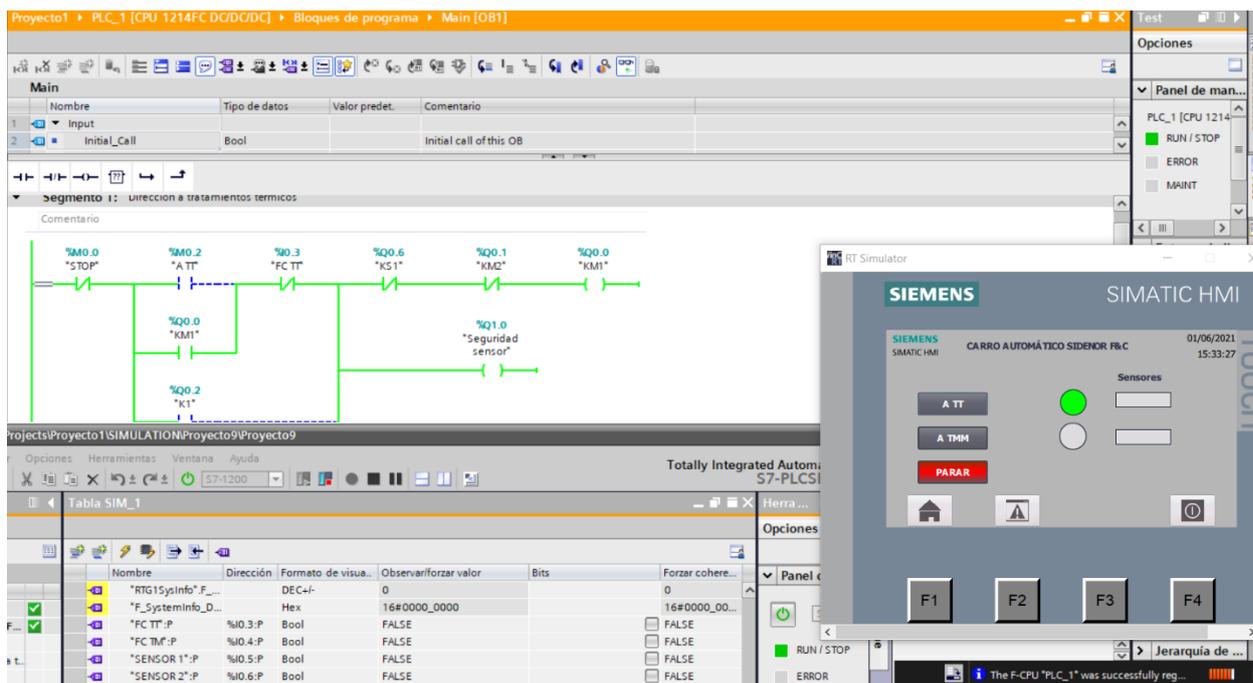


Figura 4. 128. Simulación en TIA PORTAL, test 2

3. “Por casualidad” se activa el sensor en la dirección opuesta. Se comprueba como comienza a parpadear en la interface, sin embargo, el motor no se detiene puesto que circula en la dirección opuesta del sensor.

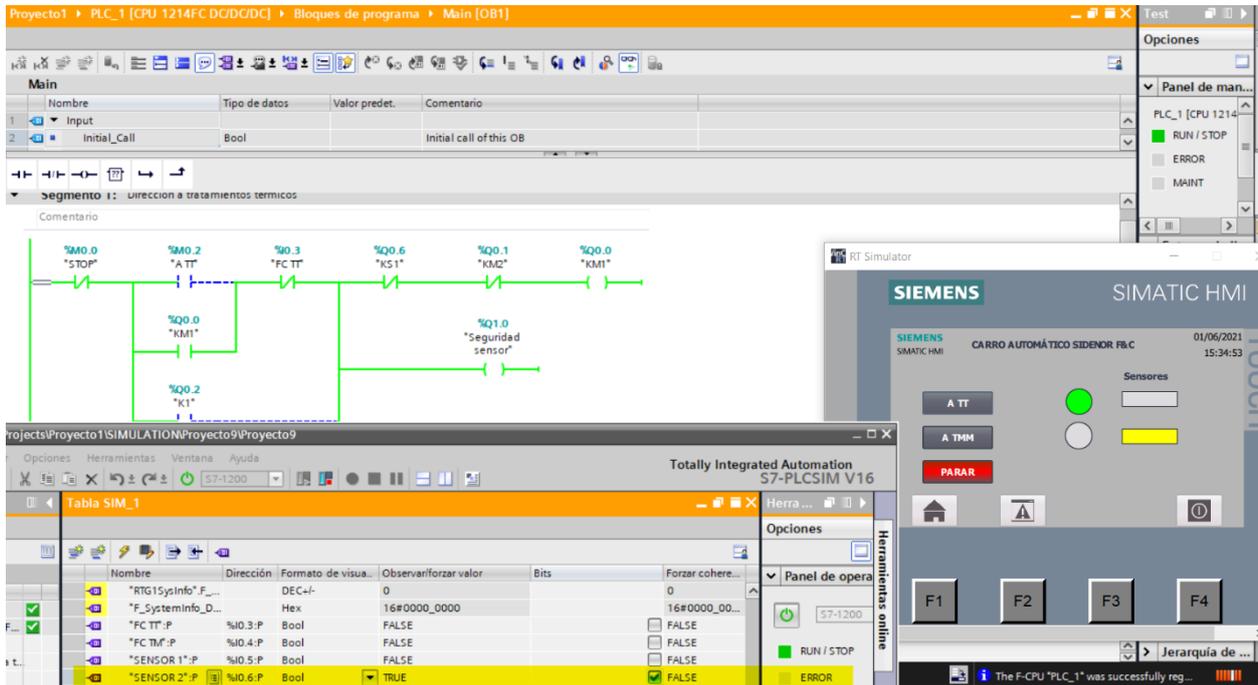


Figura 4. 129. Simulación en TIA PORTAL, test 3

4. Se activa el sensor en la dirección a tratamientos térmicos, en esta ocasión sí se detiene.

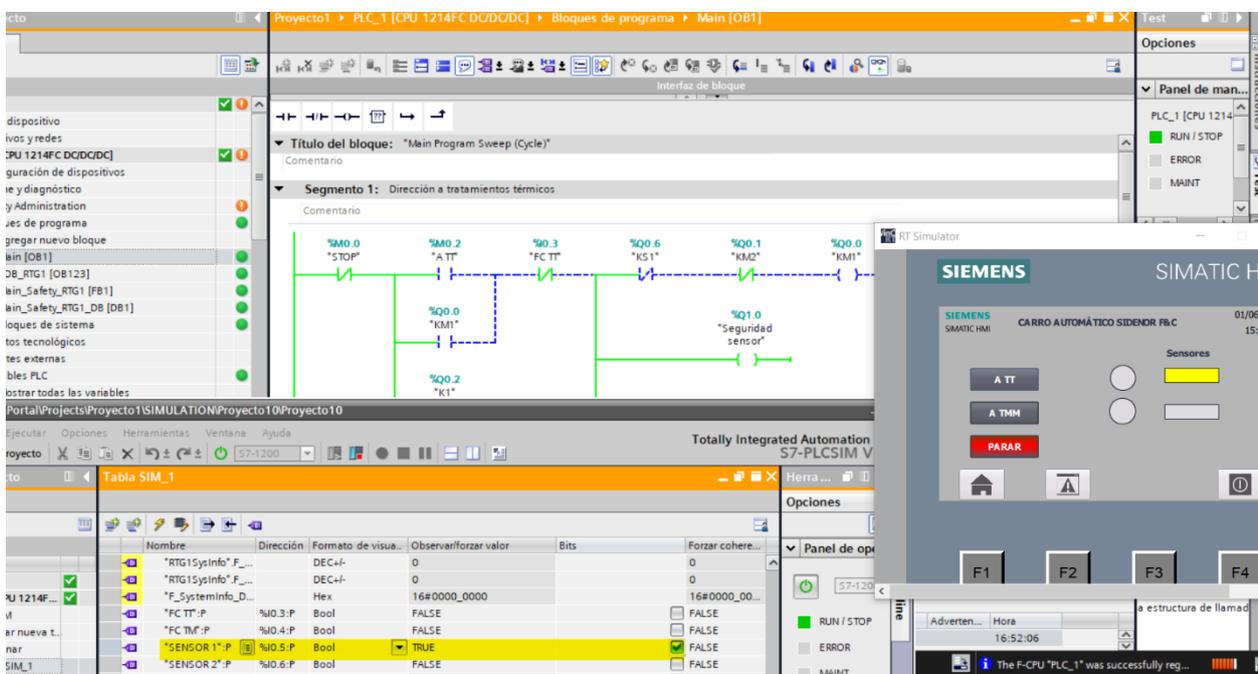


Figura 4. 130. Simulación en TIA PORTAL, test 4

Para la dirección de talleres mecánicos funciona del mismo modo: una vez que se pulsa el botón A\_TMM mediante la interface se activa el luminoso azul. Además, si se activa el sensor correspondiente este comienza a parpadear en la interface y detiene el motor hasta que no se devuelve un “1”, o, dicho de otro modo, no detecta a nadie y reanuda la marcha automáticamente. Si no es el correspondiente (trayectoria opuesta), la interface indica que está detectando una presencia, pero no se detiene:

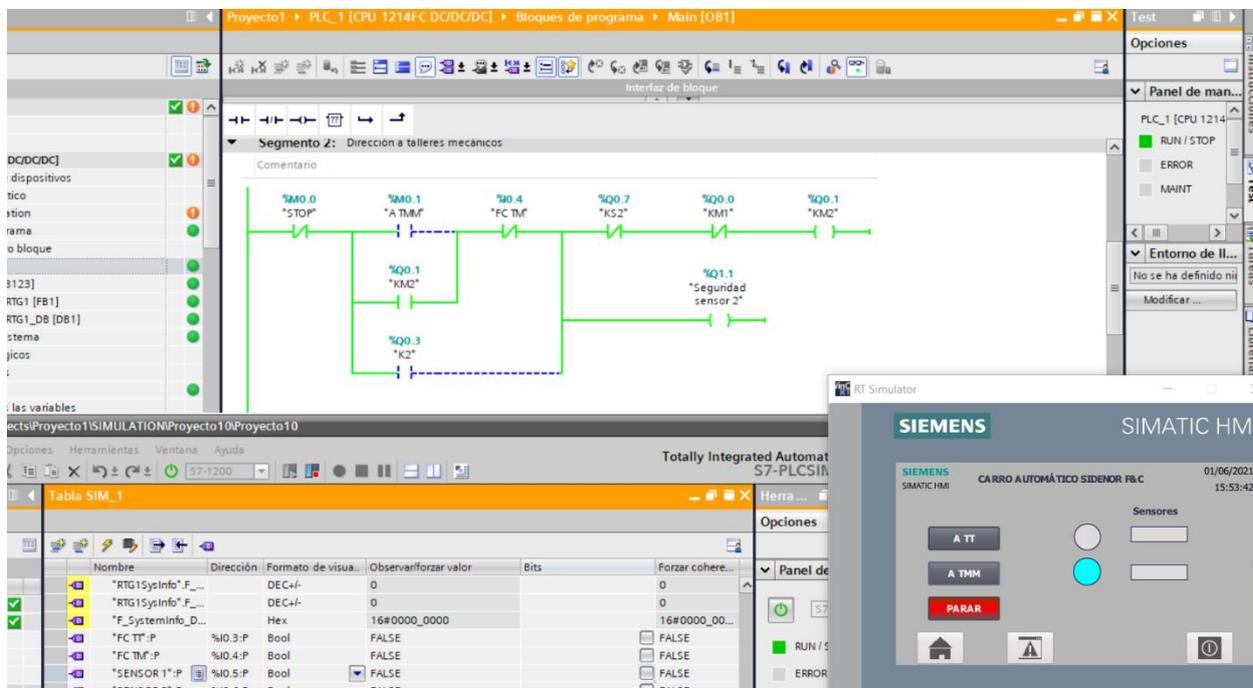


Figura 4. 131. Simulación a talleres mecánicos 1 en TIA PORTAL

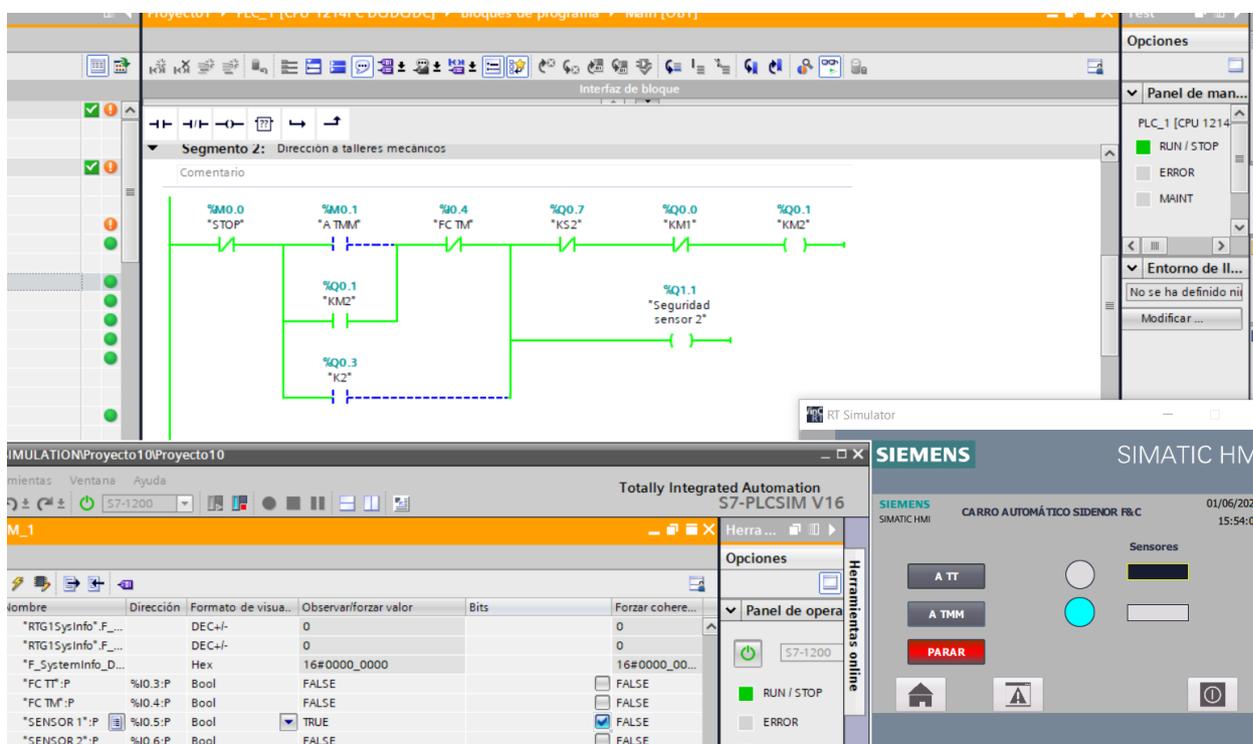


Figura 4. 132. Simulación a talleres mecánicos 2 en TIA PORTAL

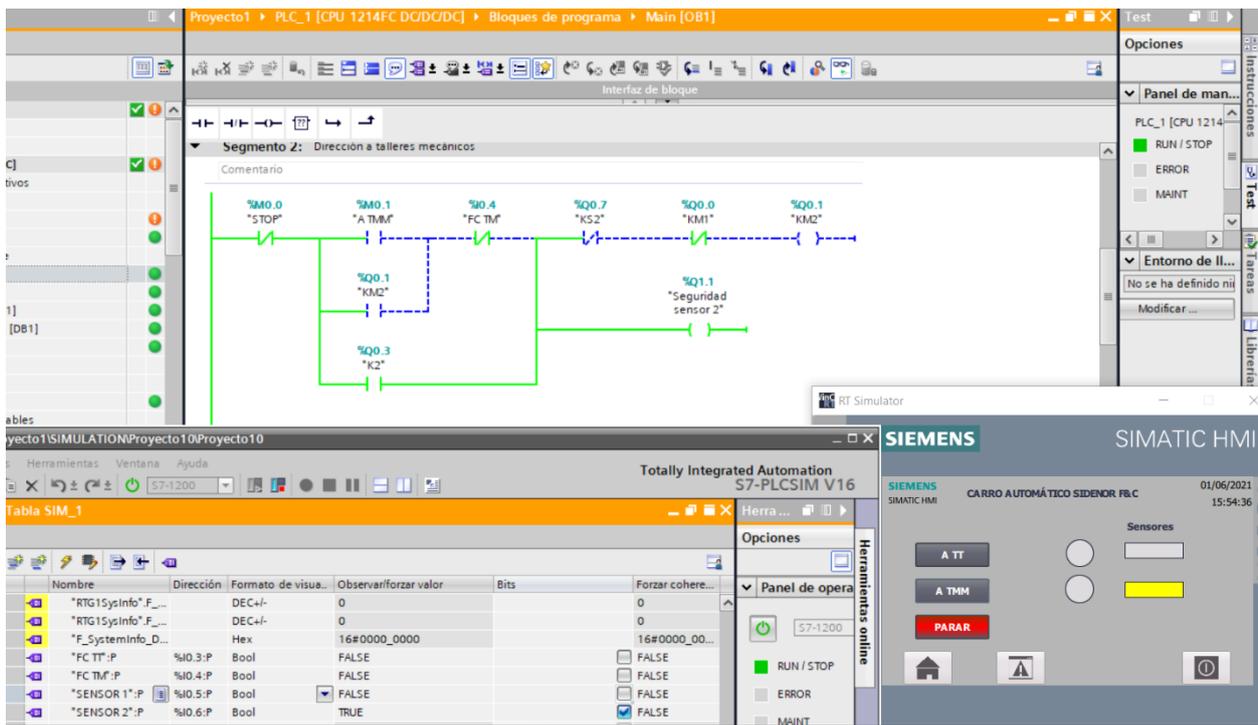


Figura 4. 133. Simulación a talleres mecánicos 3 en TIA PORTAL

Se comprueba que el funcionamiento es exactamente el mismo que el que se presentó en las simulaciones mediante CadeSimu. Sin embargo, en esta ocasión solo se pueden manipular las entradas desde la simulación y los botones desde la interface.

Una vez verificado el funcionamiento del sistema, se procede al conexionado de otros elementos de monitorización y control.

#### 4.5.5. CONFIGURACIÓN PLC-UPS EN TIA PORTAL

Para la correcta monitorización de alarmas, el sistema UPS debe registrar su actividad en pantalla. En este caso, a través de la interface diseñada para tal efecto. Para ello, mediante TIA PORTAL se configura el sistema junto al PLC mediante PROFINET.

Retomando el conjunto de dispositivos que se explicaron en el apartado 4.5.4, en esta ocasión se añade el sistema UPS pertinente. Este tipo de dispositivos se encuentran dentro de “Sistema de alimentación y distribución de corriente” → Fuentes de alimentación → SITOP UPS 1600”.

El modelo escogido es el 6EP4134.

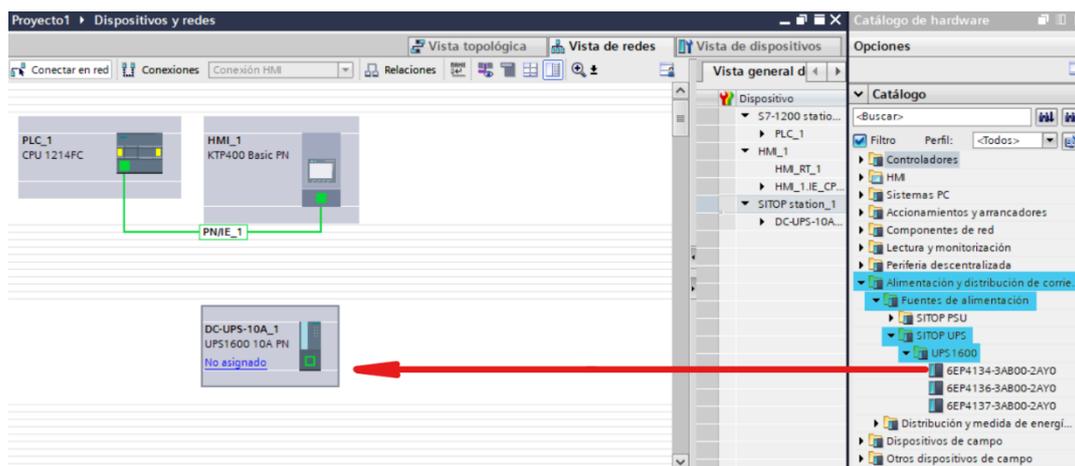


Figura 4. 134. Inclusión del sistema UPS en el sistema general

Mediante PROFINET, se conectan sus terminales de comunicación. Actualmente, ya se dispone de dos conexiones PROFINET compuestas por la pantalla HMI y el sistema UPS. Para solventar este factor, se emplea un puerto multi-PROFINET de cuatro entradas y una salida conectada al PLC en el modelo real.

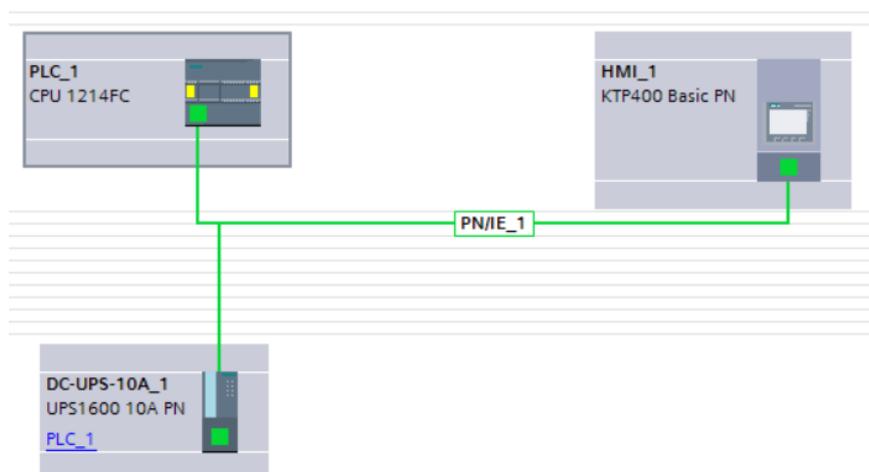


Figura 4. 135. Conexión PROFINET virtual entre elementos

Una vez que el dispositivo se encuentra conectado al PLC se procede a la configuración de este.

### Configuración del dispositivo:

Se selecciona el acumulador de baterías seleccionado, en este caso el SITOP UPS 1100 a 1,2 Ah y el número de módulos, para este proyecto se emplea un único acumulador de baterías. El programa detecta automáticamente que se desea utilizar un acumulador de baterías, aunque también permite emplear una batería de terceros, como en este caso, una batería auxiliar estándar de 24V.

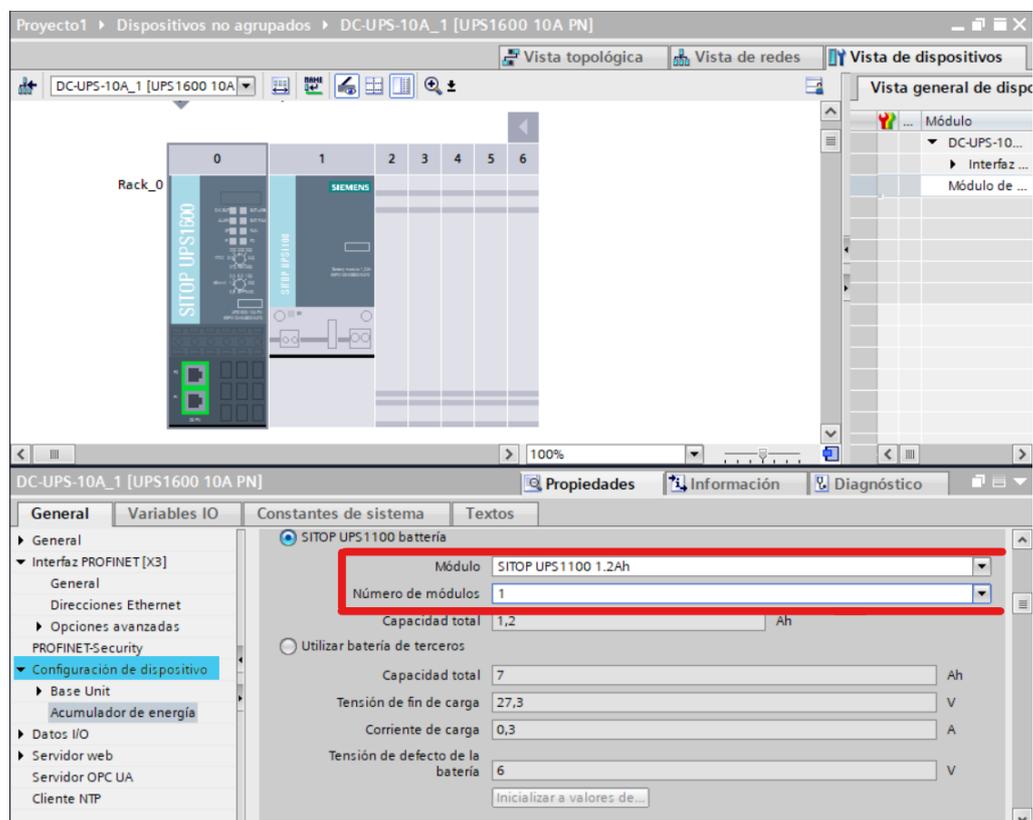


Figura 4. 136. Selección del módulo dentro de la configuración del sistema UPS en TIA PORTAL

Dentro de la configuración más avanzada, en Base Unit, se pueden seleccionar las características de respaldo. Para este proyecto es recomendable permitir el máximo tiempo de respaldo entregado por las baterías. Además, se considera innecesario reiniciar el sistema una vez finalizado su respaldo. Este tipo de reinicio es más apto para instalaciones eléctricas domésticas o dentro de una empresa.

El motivo de desactivar el reseteo automático no es otro que evitar que ocurra un corte repentino de la red principal (justo a pocos segundos de haber acabado un respaldo) donde la unidad UPS se encuentre reiniciándose, deshabilitando la alimentación del sistema de control momentáneamente. Esta casuística puede darse, aunque las probabilidades son muy bajas. Por ejemplo, si el sistema principal (circuito de potencia) está descargado y el operario enchufa su sistema de carga y al segundo lo desenchufa se puede llegar a generar un corte de suministro general.

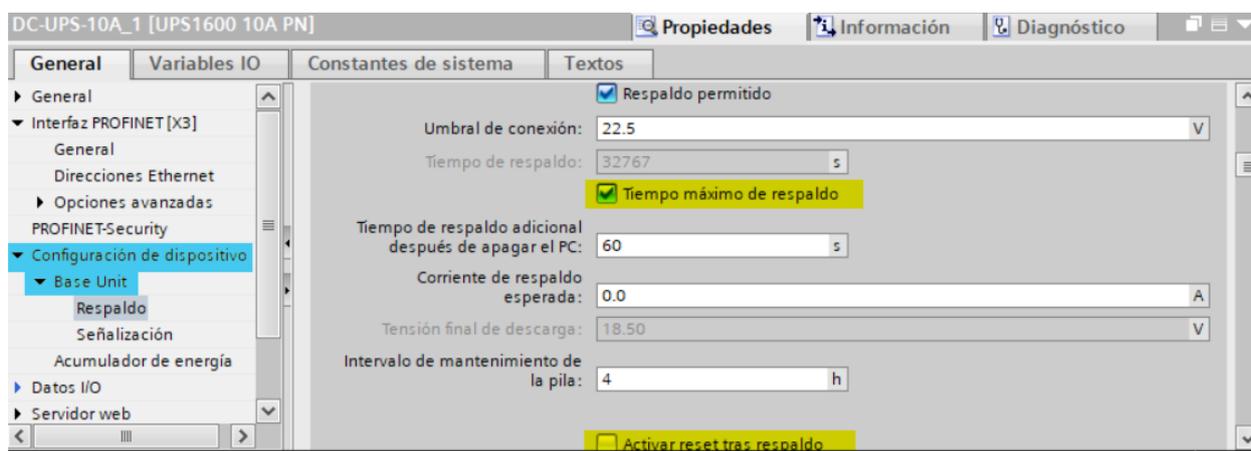


Figura 4. 137. Configuración avanzada del sistema UPS

Configuración de la conexión PROFINET:

Dentro de la configuración de Direcciones Ethernet, “Interfaz PROFINET (X3)” debe estar registrada la IP correcta.

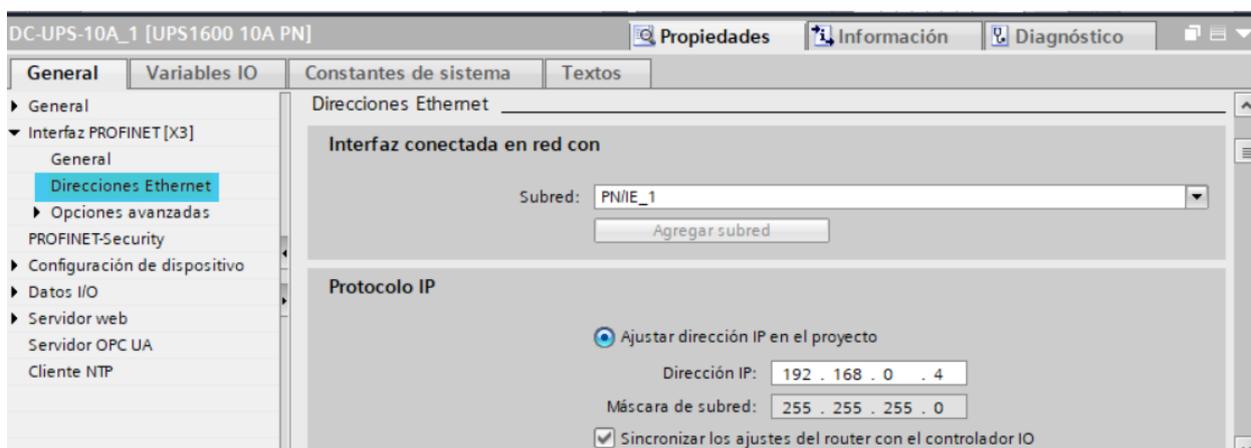


Figura 4. 138. Configuración de PROFINET en el sistema UPS

Con esta configuración se observará toda la información del sistema en la pantalla de alarmas (disponibilidad, tiempo de funcionamiento, cuando ha sido activado/desactivado el sistema etc.)

#### 4.5.6. CONFIGURACIÓN PLC-CONTROL UNIT EN TIA PORTAL

La parte encargada de controlar el motor está formada por el cerebro del sistema, en este caso el PLC S7-1200, acompañado del bloque de control motor. Dicho subsistema se divide en la parte de control (Control unit CU-320 PN) y la parte de potencia S120 (Motor module). La configuración es similar a la del resto de elementos, donde se debe escoger la unidad de control deseada y conectarla mediante PROFINET al PLC para posteriormente proceder con su configuración.

Nuevamente, se introduce el objeto dentro de la pantalla “dispositivos”. En este caso, se trata de la unidad de control CU320-2 PN para un módulo motor S120.

Posteriormente, haciendo “clic” en el dispositivo se añade el módulo motor. Para esta propuesta, se emplea únicamente un único módulo.

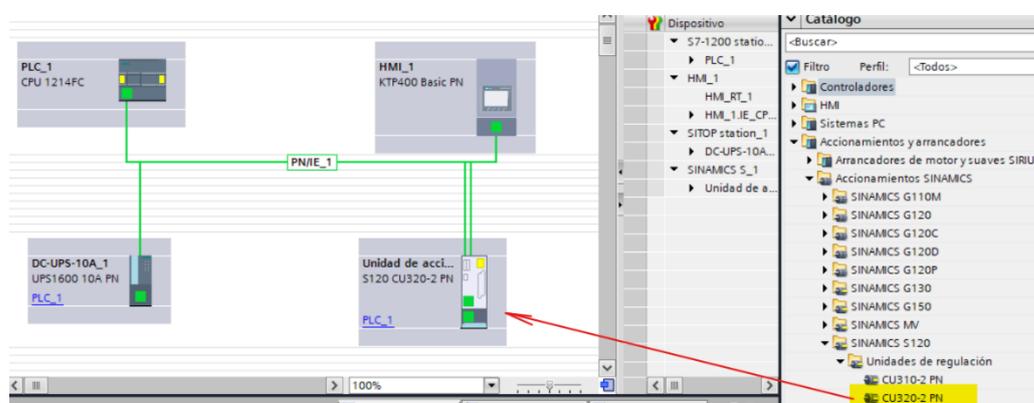


Figura 4. 139. Inclusión de la unidad de control en el sistema mediante TIA PORTAL

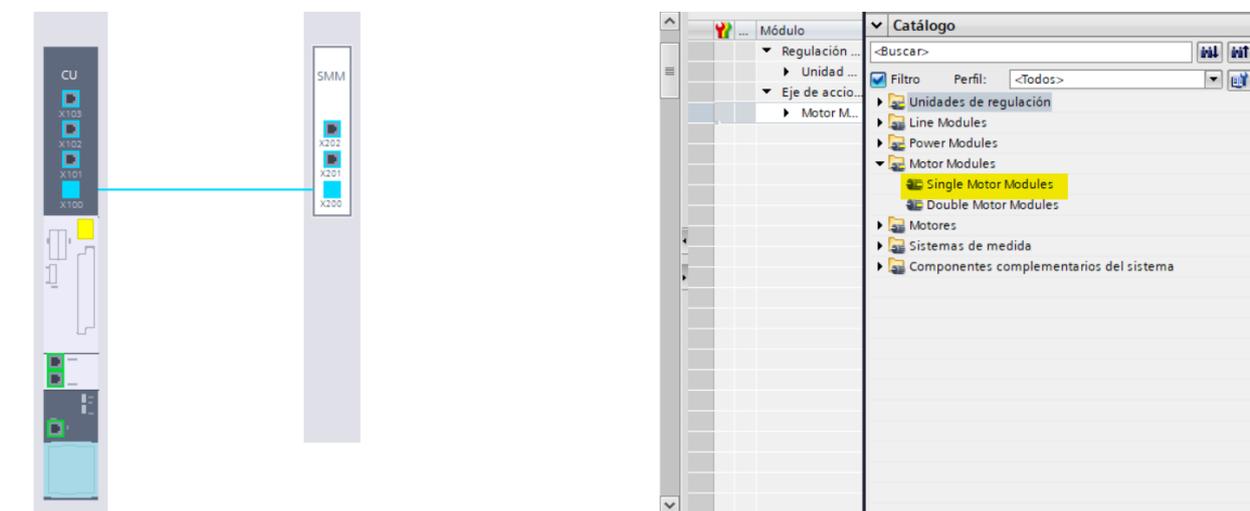


Figura 4. 140. Inclusión del módulo motor

El módulo motor debe ser configurado. Normalmente estos dispositivos vienen acompañados de un módulo de alimentación “power modules” (cambia de red trifásica de entrada a monofásica para la entrada a la unidad de control). En esta ocasión se prescinde de esa alimentación ya que el sistema toma la energía de las baterías principales y ya viene en una sola fase.

Entre sus principales características se debe indicar el módulo motor en cuestión. Este modelo se escoge para un motor 37kW (modelo 6SL3120-1TE28-5AA de 85 A). Como último añadido, es de suma importancia indicar que estos módulos vienen preconfigurados para trabajar con servomotores y encoders. Para este proyecto se ha escogido un motor asíncrono de la gama LE1. Por este motivo, el tipo de objeto de accionamiento debe ser de tipo universal (VECTOR) y no SERVO, como viene por defecto.

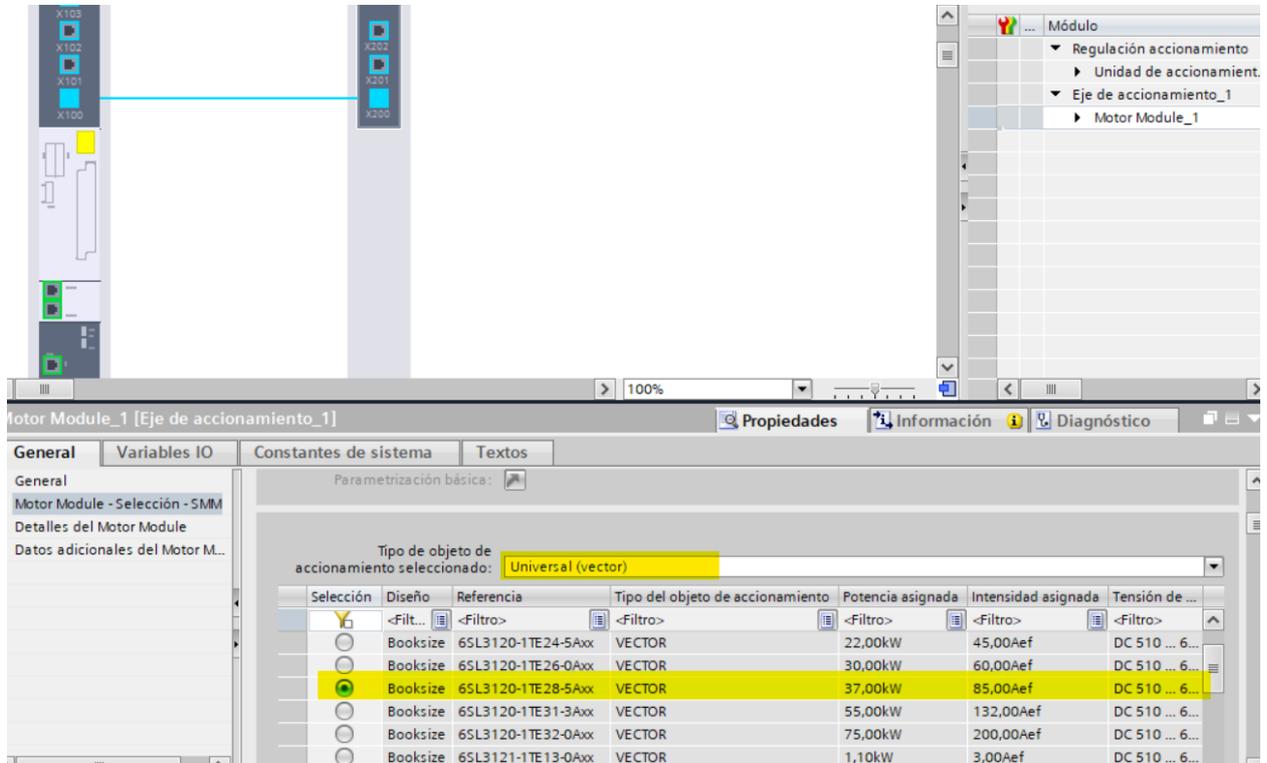


Figura 4. 141. Selección del motor module dentro de la configuración del sistema

Una vez introducido el motor dentro del módulo motor se selecciona el modelo en cuestión. Lamentablemente, el motor escogido pertenece a la nueva generación de motores Siemens 1004, mientras que la versión empleada de TIA PORTAL incluye hasta la gama 1003. Por lo tanto, para la propuesta de control, se escoge un modelo similar de la gama LE1 que cumpla con una potencia aproximada de 37 kW y una velocidad de giro de 2955 rpm (alcanzado velocidades superiores).

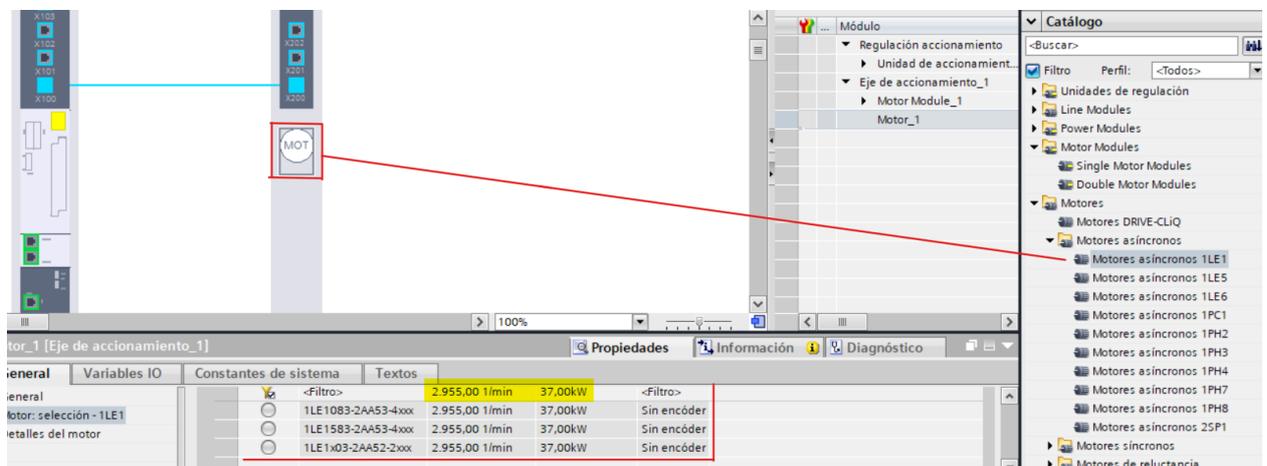


Figura 4. 142. Selección del motor con características similares

Con las siguientes limitaciones se selecciona el motor 1LE 1083-2AA53 -4xxx, ya que presenta unas características similares al modelo real. Dentro de detalles del motor, se pueden observar más características (figura 4.143).

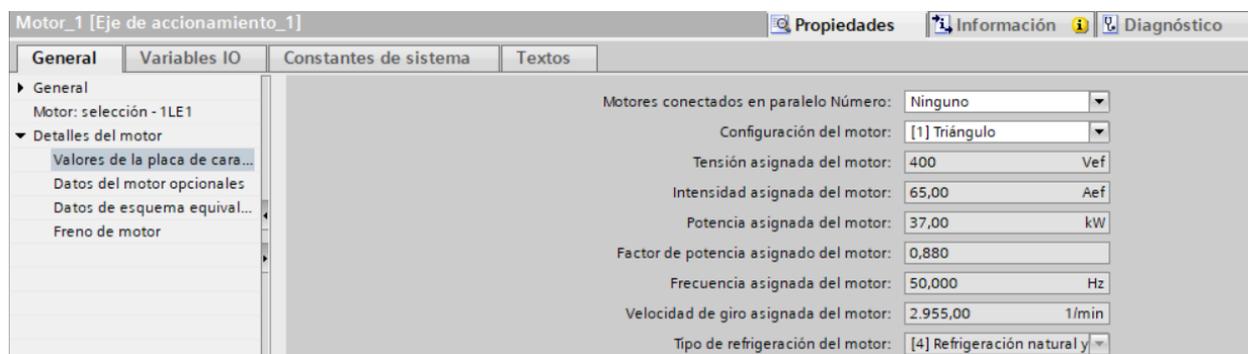


Figura 4. 143. Características del motor seleccionado

Frente al modelo real seleccionado dentro de su catálogo:

Tabla 11. Características del motor real

Order designation	1LE1004-2AA52-2AA4
Mounting of external fan	F70
<b>Motor / catalog data in relation to line operation</b>	
Rated power	37,00 kW
Rated torque	120,00 Nm
Rated current	64,00 A
Rated speed	2955,00 rpm
Rated voltage	400 V
Number of poles	2
Winding systems	1
Housing material	Aluminum
Version	IE4
Efficiency	0,948
Power factor cos phi at 50 Hz	0,88
Motor protection	No additional winding protection

Finalmente, se deben definir ciertos parámetros de control. Normalmente, el producto se acondiciona a los requerimientos del cliente durante su instalación, sin embargo, se considera interesante señalar diversos puntos que ofrece TIA PORTAL. Esta configuración se puede realizar de forma paralela mediante el programa Siemens STARTER.

En este tipo de controladores, normalmente se emplean servomotores, no en vano, realmente el programa identifica que se trabaja con un motor universal (VECTOR) y no con un servo, pero trata a este como un servo, ofreciendo las mismas opciones de configuración.

Dentro de la parametrización básica, y las limitaciones por no tratarse de un servo motor se pueden asignar dentro de una parametrización las siguientes características:

- Módulos de función: se desea una regulación de par/velocidad.
- Se desea una regulación de velocidad, pero sin encoder. Mediante un lazo de realimentación.

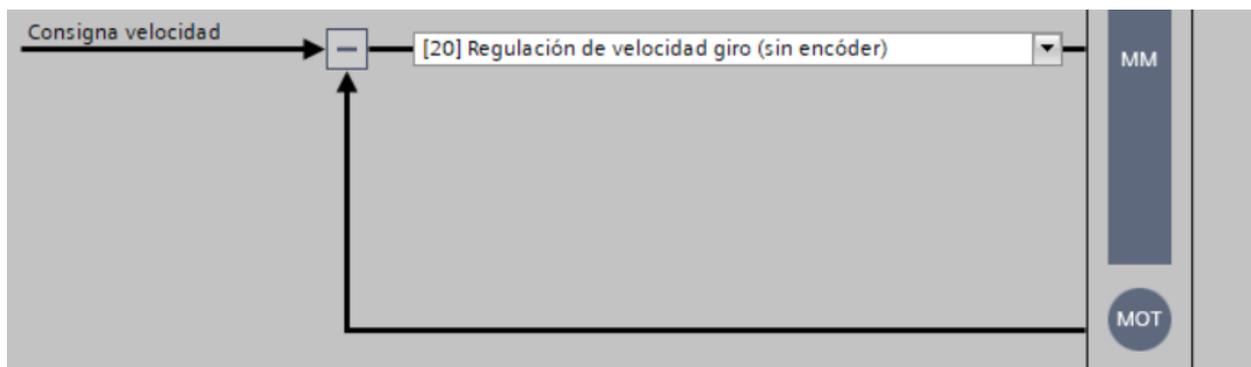


Figura 4. 144. La regulación se realiza por la velocidad de giro, sin encoder

- Limitaciones del motor para no excederlas. La limitación mínima es 0 (motor parado) y la máxima permite al motor entregar su máximo de rpm (3410 rpm)

Número	Texto de parámetro	Valor	Unidad
p1080[0]	Veloc. giro mín.	0,000	1/min
p1120[0]	Tiempo de aceleración	20,000	s
p1121[0]	Tiempo de deceleración	17,000	s
p1135[0]	Tiempo de deceleración (DES3)	3,000	s
p210	Tensión de conexión de equipos	600	V

Número	Texto de parámetro	Valor	Unidad
p1082[0]	Velocidad máx.	3.500,000	1/min
p640[0]	Límite intensidad	97,50	Aef

Figura 4. 145. Limitaciones de tiempos y velocidad en base a los estudios realizados

- No se incluye ninguna variación de velocidad mediante consignas, ya que este tipo de sistemas se ajusta a una velocidad única, aunque si se desea una, se debe introducir en la siguiente pantalla, indicando el código de bits y la velocidad en rpm deseada (figura 4.146).

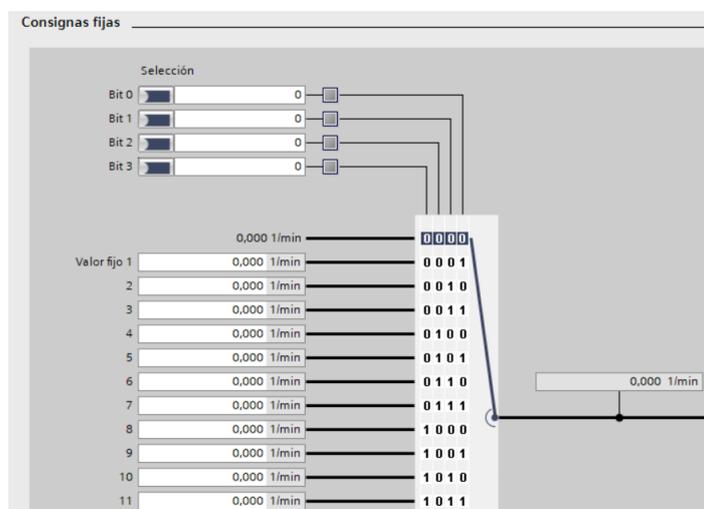


Figura 4. 146. Posibilidad de incluir cambios en la velocidad

- Se inactiva el re arranque automático del motor, ya que este debe esperar las órdenes del operario.
- Se limita la velocidad de salida a 3500 rpm, dejando un amplio margen de rpm por si en un futuro se deciden varían las características del sistema y sin superar el límite del motor establecido en 3500 rpm. Según el estudio desarrollado, el motor deberá girar hasta alcanzar 3410 rpm para alcanzar una velocidad de 1 m/s gracias al regulador a nivel interno y empleando la doble reductora se alcanzará la velocidad deseada.

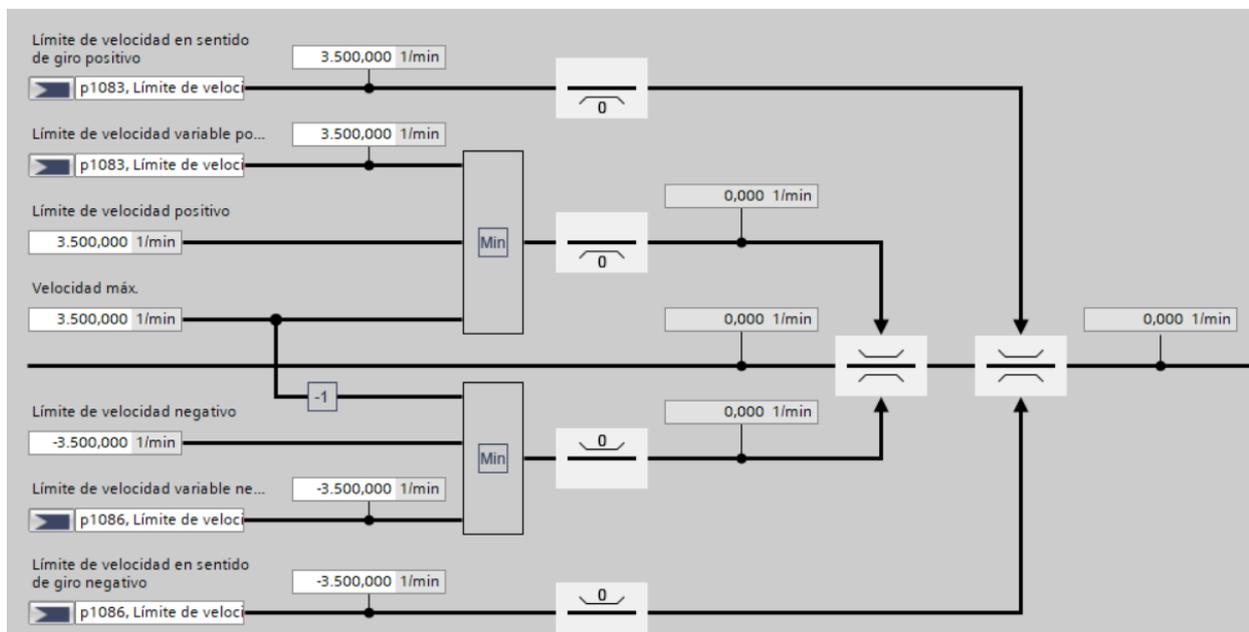


Figura 4. 147. Limitaciones de velocidad máximas en ambos sentidos de giro

- Se automatiza el filtro de consigna de velocidad, junto a los valores de este, una vez definida la rampa del modelo según las especificaciones devueltas por la herramienta “Motor sizer” (de Siemens) son 20 segundos de aceleración y 20 de desaceleración.

Se indica un peso del 50% para el empleo de un control anticipativo de aceleración, habiendo activado previamente la opción “Modelo de aceleración” en la parte superior de la figura 4.148.

Posteriormente se pulsa sobre “Consigna de velocidad” (parte inferior derecha de la figura 4.148.), donde el propio programa permite observar el PID generado automáticamente.

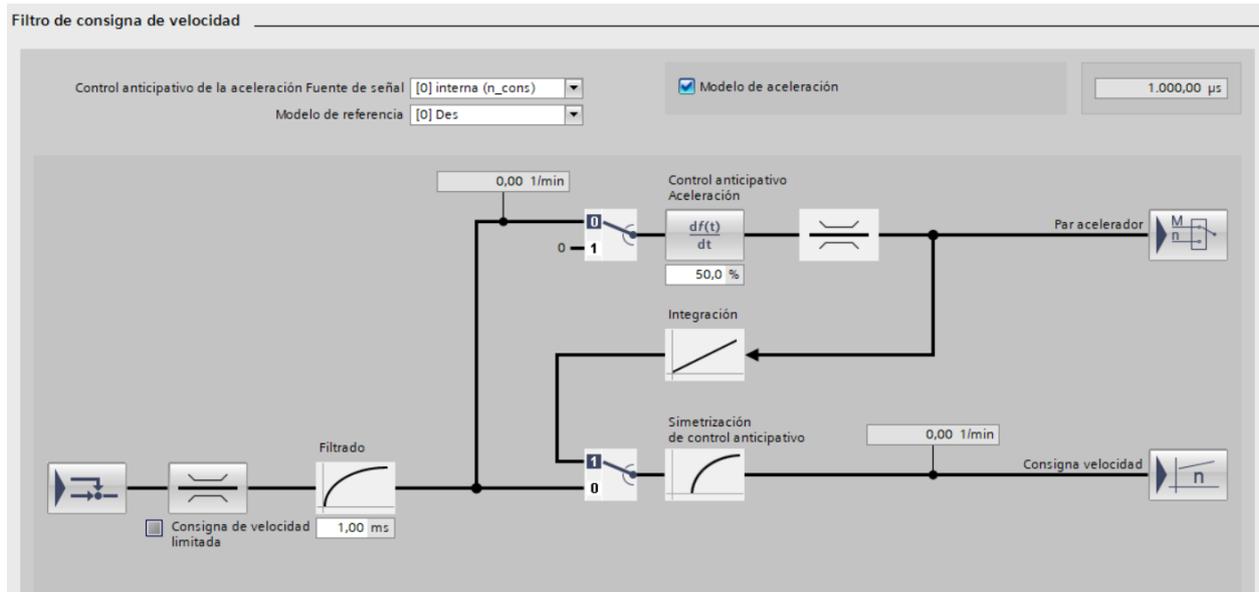


Figura 4. 148. Filtro para la consigna de velocidad

En este caso, el sistema considera oportuno introducir un sistema de regulación PI, aplicando la acción integral durante el proceso de aceleración y una ganancia proporcional de 0,3. El empleo de este filtro es lógico, donde la constante proporcional permitirá converger a la velocidad establecida en un tiempo ligeramente más rápido, mientras que la acción integral eliminará el error estacionario completamente a costa de reducir la estabilidad (sobreoscilaciones). El programa no considera necesaria la inclusión de un control PID. El control derivativo ayudaría a aumentaría la lentitud de la respuesta para converger a la velocidad establecida, sin influir en el error. Sin embargo, con la información dada y conociendo la rampa del sistema (20 seg de aceleración hasta alcanzar la velocidad consigna) no considera oportuno emplear la acción derivativa. Además, se considera que con un tiempo de aceleración tan amplio y a una velocidad tan baja, las sobreoscilaciones del sistema serán bajas.

En este caso, mediante el coeficiente proporcional  $K_p$  y el tiempo de acción integral  $T_n$ , se identifica el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. La acción proporcional permite al sistema reaccionar inmediatamente a cualquier error de regulación, mientras que la acción integral solventará dicho error del todo, tardando un poco más en actuar.  $T_n$  representa el tiempo que transcurre desde que la acción integral genera la misma amplitud de corrección que aparece inicialmente, causa de la acción proporcional.

Ajustando  $K_p$  y  $T_n$  ( $K_i=1/T_n$ ) se puede reducir la sobremodulación de la velocidad regulada a costa de la dinámica de regulación, incorporando un lazo rápido que no presenta errores en regulación permanente.

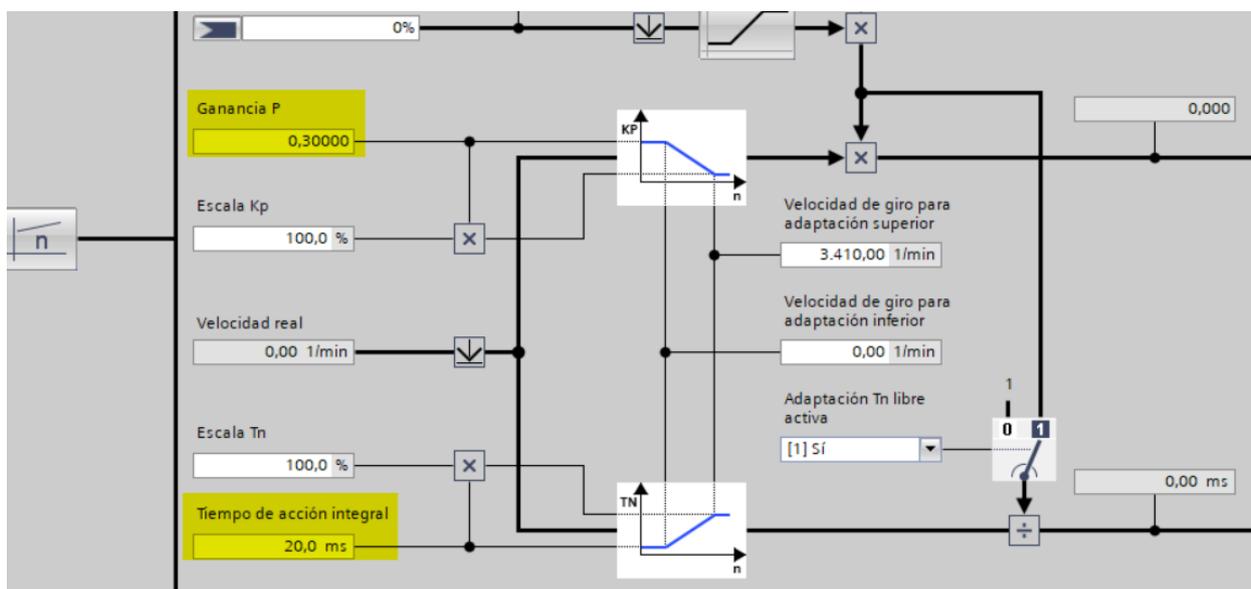
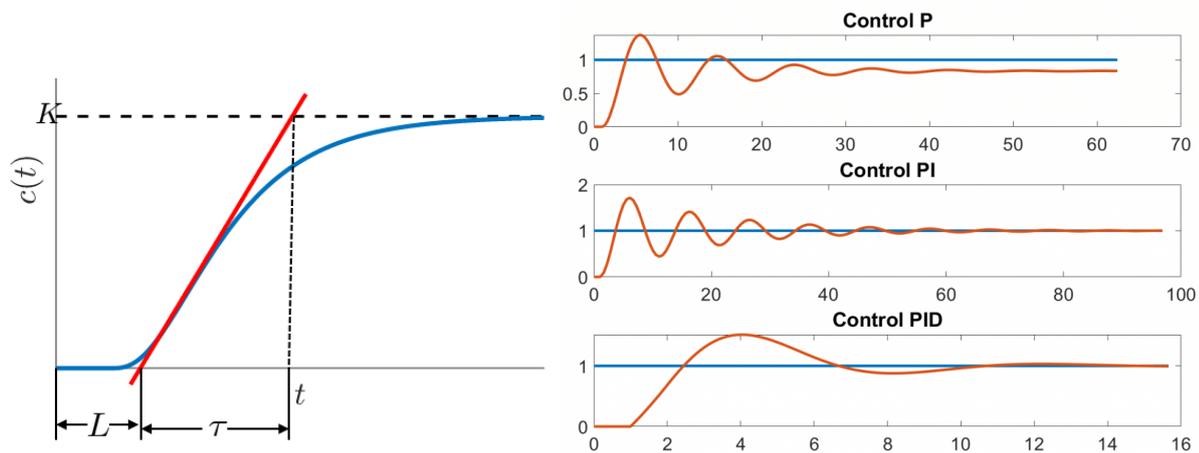


Figura 4. 149. Control PI del sistema (inferior) y regulación PID (superior)

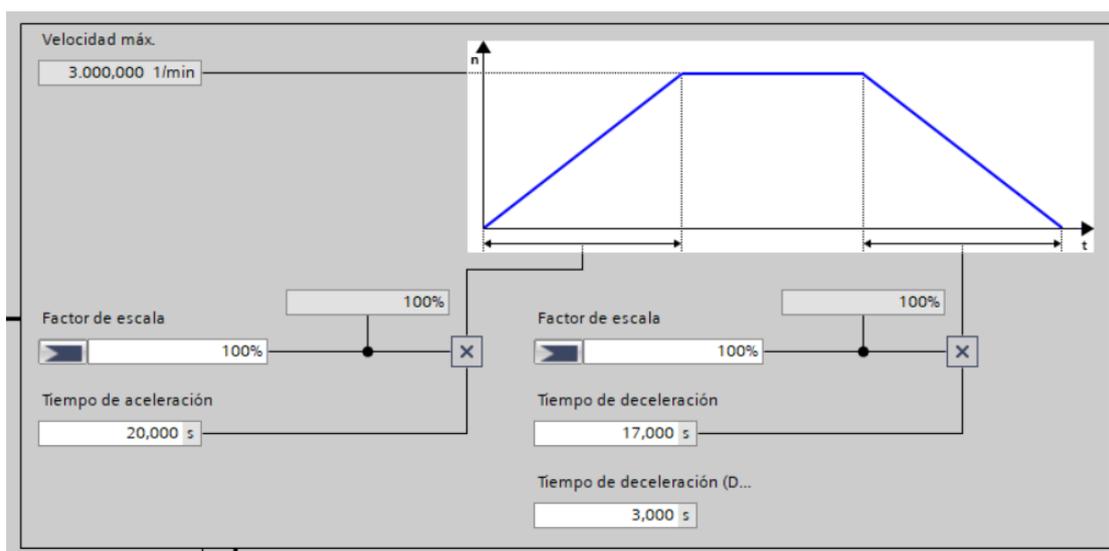


Figura 4. 150. Rampa del sistema

En esta ocasión, se ha trabajado sobre la velocidad del sistema, aunque se permite del mismo modo regular las consignas de intensidad o par. Se debe señalar que la regulación está basada en la información de la que dispone el programa, sin embargo, el regulador deberá ser programado en un entorno real, montando el sistema en su totalidad y comprobar si alcanza la eficiencia deseada, lo que incluye acometer una configuración más profunda de todos los elementos que escapa a los objetivos principales de este proyecto.

Tras todo lo expuesto en este apartado, se recuerda que la configuración de la unidad de control es meramente orientativa al no disponer del mismo motor que el seleccionado dentro de la base de datos de la versión empleada de TIA PORTAL.

Se finaliza este apartado indicando nuevamente que, en condiciones normales, y habiendo sentado las bases del control, es la empresa de Siemens quien en proyectos de este calibre trabaja junto al cliente, atendiendo a sus necesidades y configurando e instalando los diferentes elementos de control cuando se acomete el proyecto.

### 4.5.7. CONFIGURACIÓN DCP

La configuración del convertidor DC-DC (DCP 120kW) se realiza mediante el programa Siemens STARTER.

Los pasos de interés a seguir son los siguientes:

1. Se crea un nuevo proyecto, agrupando las unidades offline.
2. Como punto de acceso se selecciona STEP7 con un punto de acceso mediante PROFIBUS.
3. Se añade el componente que se desea configurar (DCP-Advanced CUD) y se inserta.

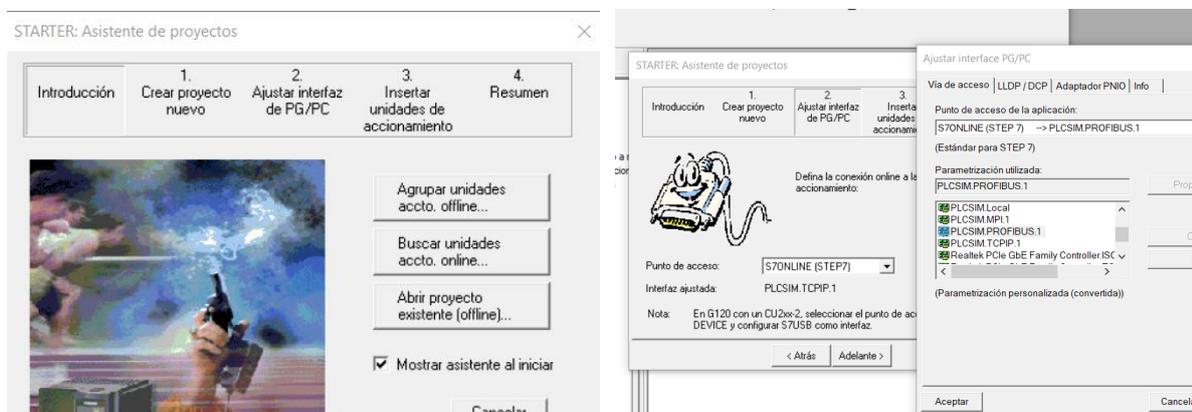


Figura 4. 151. Configuración DCP 1

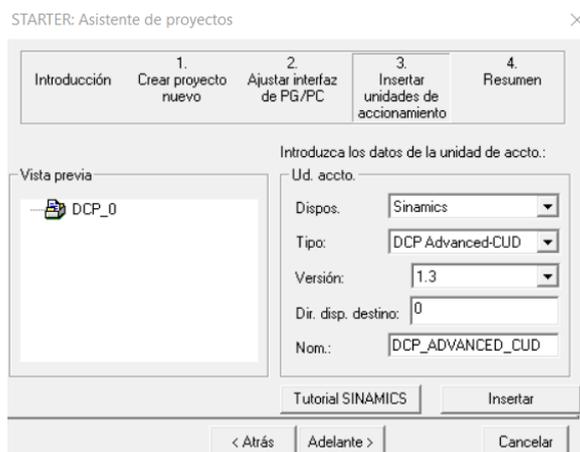


Figura 4. 152. Configuración DCP 2

4. Dentro del proyecto, se configura el dispositivo DCP indicando las opciones que se deseen. En la siguiente sucesión de imágenes se muestran los puntos de mayor interés:

- 4.1. Indicar que se emplea un módulo opcional, para habilitar el bus de comunicaciones DCP con el PLC mediante PROFINET.
- 4.2. Indicar el modelo (600V a 200A).
- 4.3. Indicar los limitadores de voltaje que se deseen (Se dejan por defecto) y la altura a la que trabajará el componente (820m).

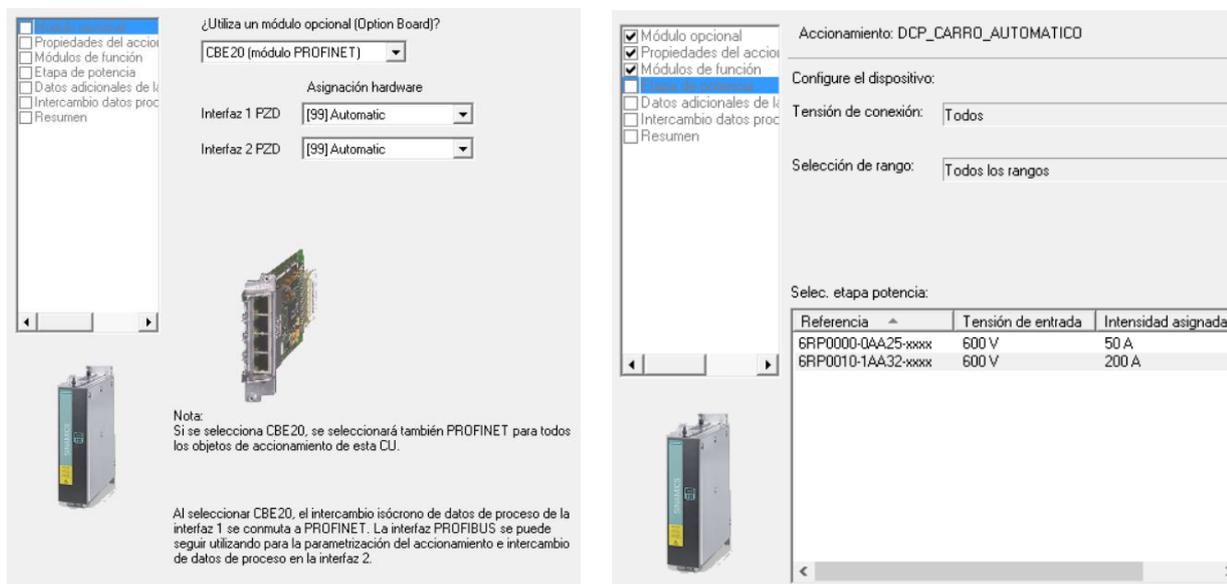


Figura 4. 153. Configuración DCP 3

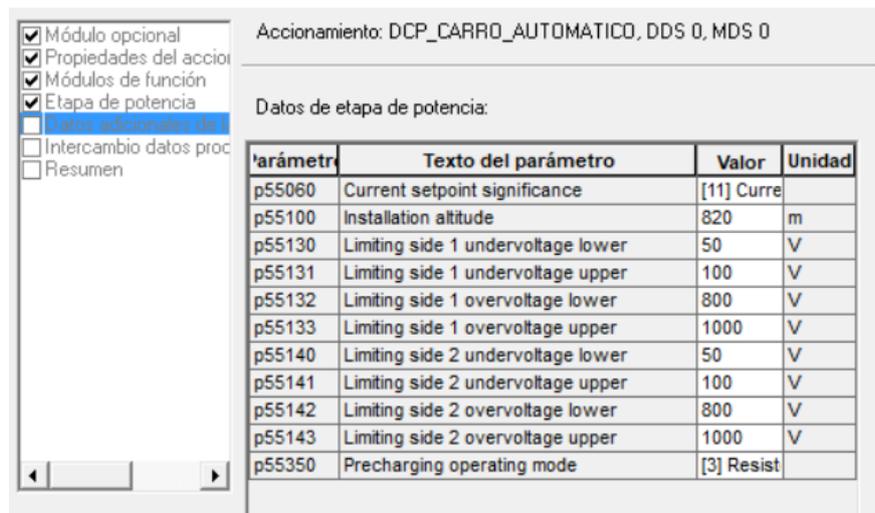


Figura 4. 154. Configuración DCP 4

- Esta información se carga en la memoria del producto (dicho proceso se muestra en el manual del componente, sin embargo, al no disponer de este físicamente, la configuración se limita a los pasos presentados).

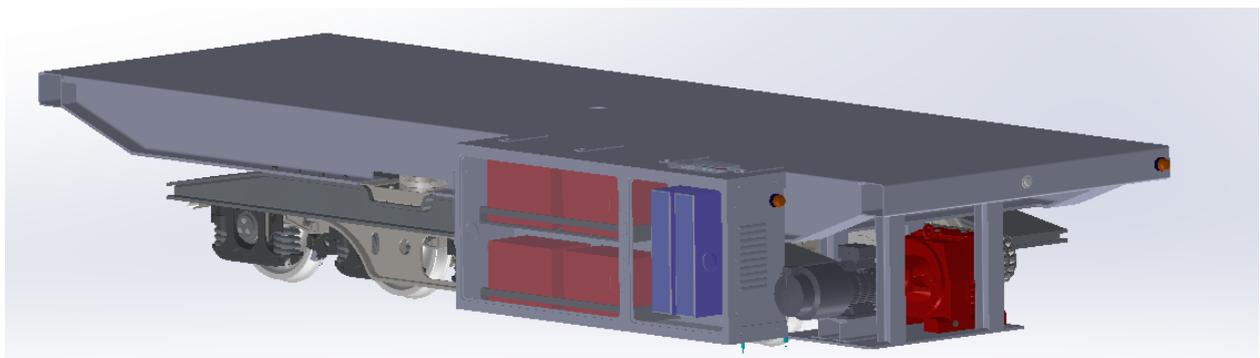
#### **4.5.8. CONCLUSIÓN RESPECTO AL CONTROL**

La capacidad del proyecto en términos de control respecto a un modelo real lo sitúa en la escala de prototipo, estableciendo las bases de su rutina, monitorización de sistemas, configuración básica de diferentes elementos, subsistemas y desarrollo de interfaces de control. Sin embargo, en caso de acometer el proyecto, se deberá volver a contactar con la empresa Siemens con el fin de cerrar completamente las características de configuración, especialmente de la unidad de control y programar la totalidad del conjunto en su entorno real de trabajo.

En este caso, al no disponer de los componentes electrónicos del sistema físicamente, el proyecto ha quedado mermado a simulaciones y a la configuración virtual de componentes.

#### **4.6. Modelo final en SolidWoks**

Se finaliza mostrando una sucesión de imágenes del carro en SolidWorks en 3D desde diferentes puntos de vista en 3D:



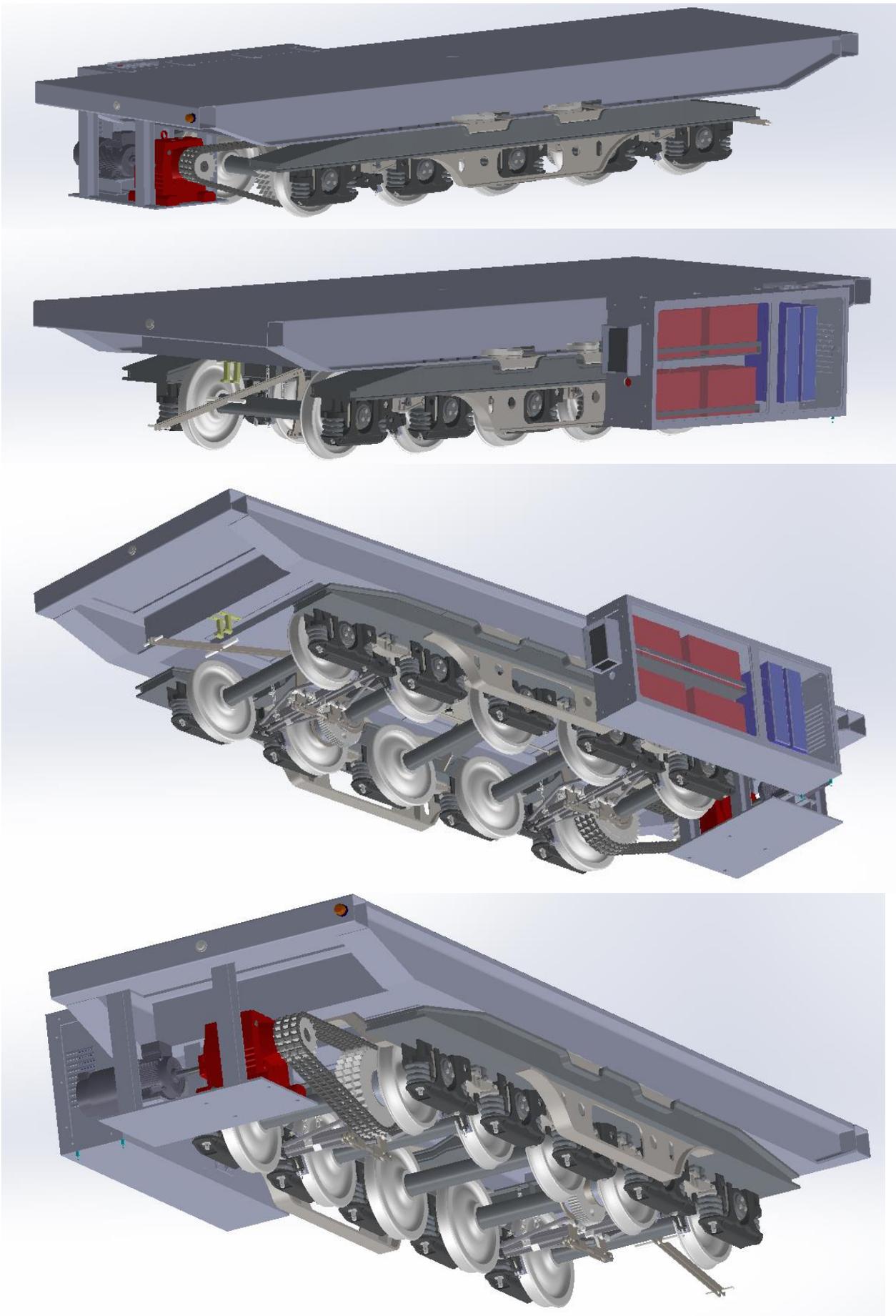


Figura 4. 155. Sucesión de imágenes en 3D renderizadas del montaje final

## 5. VALORACIÓN ECONÓMICA

No se considera oportuno realizar un presupuesto general debido a que en muchos casos los precios de los productos no han sido perfectamente definidos ni negociados. También se destaca que no se puede realizar un cálculo estimado de la amortización, al no disponer de información sensible de la empresa (gastos generados anualmente en transporte) que permita establecer una comparativa. Al haberse realizado estas propuestas dentro de Reinos F&C, en caso de ser aprobadas, sería el Departamento de Compras quien impulsaría esta parte del proyecto.

El objetivo de este apartado es dar unas nociones básicas de precios y disponer de una valoración económica inicial.

Esta valoración se desglosa en tres proyectos:

1. Proyecto general: rediseño y optimización de la línea de forjado comercial.
2. Subproyecto del sistema de medición por láser.
3. Subproyecto del carro automático para piezas de alto tonelaje.

El tiempo destinado para los tres proyectos abarca un total de cinco de meses de trabajo, 5 días semanales en una jornada laboral completa de 8 horas diarias. En Cantabria el precio para un ingeniero es de 19,41 euros por hora, haciendo un total de 12.616 euros.

*Tabla 12. Sistema láser (versión electrónica), tabla de precios.*

Producto	Precio en euros
Láser Lica	239
Bancada	Reciclada y reacondicionada del parque de chatarra.
Sistema de elevación electrónico (husillo + guía)	150
Viradores	140.000 euros el par completo.
Sistema de guiado Hepcomotion sobre bancada	1.785,84
Sistema de guiado automático BROMATIC	2.311,40
Arduino UNO	20
Arduino MEGA	35
Motor paso a paso NEMA 23	43,44
Componentes electrónicos (botones, finales de carrera, cables etc.)	5
Pie del soporte	Inestimable
Fabricación del soporte láser	Inestimable

Coste total estimado del proyecto del láser en componentes: 144.589,68 (IVA incluido)

Tabla 13. Carro automático, tabla de precios.

Producto	Precio en Euros
Bogie	30.000
Electrónica del sistema (Siemens)	24.000
2 Finales de carrera	30
Sensores EPV	120,80
Baterías (pack de cuatro)	No presupuestado
Cargado de baterías IDOITWELL	1.600
Motor	2.300
Reductor	6.900
Perfil HEA 500	270 euros/metro + modificaciones
Perfil IPE 300	60,94 euros/metro
Planchas de acero para bandeja motor y base	12 x 2, 44 mm a precio de 10.000
Fabricación de la base	Inestimable
Fabricación del cuadro electrónico	Inestimable
Ensamblaje de todos los componentes	Inestimable

Coste total estimado del proyecto del carro en componentes: 91.569,6 euros (IVA incluido), sin incluir costes en fabricación, modificaciones requeridas, gastos de transporte de piezas, etc.

Se incluye un desglose más amplio de los precios que han sido indicados por diferentes empresas en los anexos (Anexo V).

## 6. PROPUESTAS DE MEJORA

A lo largo de este apartado se destacan diferentes propuestas de mejora para todos los subproyectos que han sido explicados a lo largo de los diferentes apartados:

### Proyecto general de optimización

- El estudio para la renovación de la maquinaria del laboratorio es preciso y claro, cediendo el estudio al equipo gestor de Reinoso F&C y al departamento de compras que deberán tomar una decisión respecto a los datos recabados y las diferentes opciones de compra que se les ha ofrecido.
- El estudio para implementación de trepanado es conclusivo en términos de estimaciones temporales, sin embargo, queda sujeto a mejora en el ámbito económico donde se han realizado únicamente estimaciones, ofreciendo referencias y no valores reales debido a la ausencia de experimentos. No obstante, establece un marco adecuado para continuar con la implementación del método en la producción.

### Diseño de un prototipo de sistema de medición de la rectitud por barras láser

- Se ha comprobado la fiabilidad del método, habiendo probado y valorado un gran número de ideas y metodologías que han desembocado en un método que no queda sujeto a mejora al haberse demostrado su eficacia.
- Al tratarse de un prototipo, no se han destinado muchos recursos al desarrollo de la electrónica y se ha presentado una ingeniería básica. Las limitaciones de tiempo han obligado a centrar el proyecto en el diseño mecánico y la verificación del método. Se considera que se puede prescindir de las placas Arduino e implementar un sistema más robusto y profesional para su control. Esta parte se seguirá desarrollando y mejorando tras la presentación de este documento, donde se podrá entrar en ingeniería de detalle.
- Se debería realizar un estudio a largo plazo para comprobar cuantas iteraciones y puntos de estudio se requieren por barra para verificar su rectitud, permitiendo reducir el tiempo de proceso al operario. Este estudio debe plantearse en una muestra mínima de 50 barras, en un horizonte de 3 meses de pruebas.
- El diseño mecánico presentado ha sido optimizado a lo largo de diferentes iteraciones, valorando propuestas tanto de diseño como comerciales. Se considera que el diseño de piezas puede quedar sujeto a optimizaciones de material y reducción del tamaño.

Diseño de un carro automático para piezas de alto tonelaje

Este proyecto queda sujeto a una serie de propuestas de mejora.

En términos mecánicos se destaca:

- Mejora de la palanca de freno manual. Se considera que la manipulación del sistema es poco ergonómica para el operario y se debería estudiar un método de accionamiento más eficiente.

En términos electrónicos se destaca:

- Se considera que el tiempo de frenado del sistema es demasiado elevado (aunque adecuado para este primer prototipo). Por lo tanto, se debe continuar trabajando con Siemens en este aspecto. Según indicativos de la empresa, si se deseara frenar en un tiempo menor a 20 segundos se debe aumentar la talla del motor, lo que quizás implica el empleo de componentes electrónicos de mayor potencia (Que no afectarían al conexionado ni sus funciones) como puede ser el caso del módulo motor o la unidad de control.

En términos de control se destaca:

- Continuar el proyecto y la relación con la empresa Siemens con el fin de que se defina una rutina de control real y que no quede reducida a simulaciones.
- Trabajar con los operarios de Siemens y emplear herramientas más avanzadas con el fin de verificar un control de regulación funcional (PI o PID) y que trabaje en concordancia con la velocidad deseada, adaptado perfectamente a las necesidades del sistema y no reduciendo la propuesta a la dada por el programa TIA PORTAL, ya que en la misma se obvian datos de sumo interés para un correcto desempeño del regulador, como pesos reales del sistema, inercias, etc.
- Incluir un sistema de retorno automático a un punto de carga (situados en los finales de vía) cuando el nivel de las baterías sea demasiado bajo.
- Incluir un control remoto.
- Automatización del freno manual.
- Automatización de un sistema de frenado más eficaz, que permita trabajar en conjunto el motor y los frenos del bogie, reduciendo la potencia del conjunto moto-reductor al recaer anteriormente toda la frenada en el moto-reductor.

En términos generales se destaca que el hecho de no disponer de la normativa vigente sobre carretillos, maquinaria pesada y sistemas AGV ha obligado a diseñar un prototipo. Si se continuara este proyecto hacia una ingeniería de mayor detalle y desarrollo de un modelo real para su montaje y puesta en funcionamiento se deberían adaptar dichas características a la normativa de seguridad vigente. No obstante, se debe señalar que la velocidad de desplazamiento y distancias de frenado entran dentro de un rango que se considera óptimo para su funcionamiento en fábrica.

## **7. CONCLUSIONES**

Las conclusiones nuevamente se dividen en los tres proyectos presentados.

El proyecto principal (rediseño de la línea de forjado comercial) ha sido un éxito, encontrándose la nueva línea operativa desde abril de 2021.

En cuanto a sus subproyectos, se ha demostrado que económicamente y en términos de tiempo de proceso es más eficiente adquirir un centro de mecanizado para el laboratorio que seguir la metodología de producción actual y adaptar un área de tratamientos térmicos a la extracción de muestras por trepanado (quedando esta parte sujeta a un posterior proyecto).

Por último, la rampa de laboratorio ha sido validada como un sistema óptimo para desarrollar su función de forma eficiente.

Entrando dentro de los dos subproyectos mecatrónicos, las pruebas mediante el prototipo láser han demostrado la eficacia del método, alcanzando, en el caso de la versión mecánica, errores de entre 0 y 2 mm, que entran dentro del rango de incertidumbre de los elementos empleados de medición. Como resultado, se ha desarrollado un modelo electrónico más robusto, exacto y funcional, ofreciendo un control mediante elementos electrónicos baratos y sencillos. En caso de continuar esta rama de investigación se debería presentar un modelo con una electrónica más robusta y apta para su funcionamiento en fábrica que ha quedado fuera de los límites de este proyecto. Esta información queda a disposición de Reinosa F&C.

Finalmente, en lo referente al carro y a nivel mecánico, se aseguran las dos premisas principales: la resistencia a 130 toneladas de carga (algo mermada debido al peso de la electrónica, la base y el conjunto motriz, dejándolo en una carga máxima en piezas de 115 toneladas por seguridad) y estanqueidad de los elementos que no deben ser expuestos a las inclemencias climatológicas.

La electrónica del sistema, para una primera versión es adecuada y funcional, adaptándose a los requerimientos (potencia de hasta 37 kW y funcionamiento por baterías). Se han indicado características que se consideran de interés y sus conexiones, justificando el empleo de los diferentes productos dentro del carro automático. El sistema incluye todos los elementos de seguridad que se consideran necesarios (sensores, finales de carrera e indicativos luminosos).

La rutina de control ha sido definida claramente y verificada mediante simulaciones. Sin embargo, se considera que la programación y puesta a punto de diferentes componentes de Siemens han escapado a los límites de este proyecto, pero que son de suma importancia para que el sistema funcione correctamente. Tal como indicó Siemens, estas puestas en marcha y el control (con su correspondiente verificación) lo realizan sus propios operarios a solicitud del demandante en el caso de acometerse el proyecto. Por lo tanto, tampoco se considera de suma importancia destinar excesivos recursos e interiorizar en esta vertiente.

Se concluye este proyecto aplicando los niveles de madurez tecnológica (Technological Readiness Level, TRL) con el fin de conocer la facilidad de la implementación de los proyectos en el entorno industrial.

Se puede dictaminar que, en base a la siguiente escala, el proyecto del láser ha alcanzado una madurez técnica de TRL 7. En el caso del prototipo diseñado (versión mecánica) y un nivel TRL 3, donde se comienza a desarrollar y probar el prototipo electrónico.

En el caso del carro automático, cumpliéndose el objetivo impuesto, se ha realizado una propuesta sobre el papel, aunque las dimensiones de este proyecto no permiten validar el diseño físicamente mediante un prototipo (comienzo de escala TRL 3), reduciendo todo el proyecto a una validación mecánica, electrónica y de control mediante pruebas y simulaciones. Por lo tanto, se puede afirmar que se ha alcanzado un nivel de madurez TRL 2, donde en este nivel normalmente se encuentran envueltos en el proyecto los centros de I+D y las Universidades, como es el caso.

## BIBLIOGRAFÍA

*Para el desarrollo de este proyecto se han aplicado los conocimientos adquiridos durante el Máster en Ingeniería Mecatrónica, impartido en el Campus de Gijón, España (Universidad de Oviedo) durante los cursos 2019/20 y 2020/21.*

Este proyecto ha sido a su vez sustentado por planos e información interna de Reinosa Forgings & Castings:

- [1] Webs del grupo Sidenor y Reinosa F&C respectivamente: <https://www.sidenor.com/es/> y <http://rfcsteel.com/>. Consultado en Abril de 2021.
- [2] Martínez García, Sergio (2021). *Estudio para la renovación de maquinaria en el laboratorio de Reinosa F&C. Reinosa Forgings & Castings*. Realizado y consultado en Junio de 2021.
- [3] Martínez García, Sergio (2021). *Estudio referencia (económico y tiempo de proceso) para la obtención de muestras por trepanado frente al corte de barretas en Reinosa F&C. Reinosa Forgings & Castings*. Realizado y consultado en Junio de 2021
- [4] Martínez García, Sergio (2021). *Estudio comparativo (producción y tiempo de proceso) para la obtención de muestras por trepanado frente al corte de barretas en Reinosa F&C. Reinosa Forgings & Castings*. Realizado y consultado en Junio de 2021
- [5] Jose Manuel del Barrio González y Enrique García Mendieta, *Metalurgia del acero*, 2ª edición Junio 2007.

Entre otros documentos se destaca:

- [6] López Pita, Andrés (2010). *Infraestructuras ferroviarias*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica. p. 448. [ISBN 9788498804355](https://doi.org/10.1080/9788498804355). Consultado el 30 de marzo de 2021.
- [7] M. A. Laughton, D. J. Warne (ed), *Electrical Engineer's Reference book, 16th edition*, Newnes, 2003 Chapter 16 Programmable Controller.
- [8] Hermenegildo Rodríguez Galbarro, Ingeniero Industrial: Responsable Editor de la Web: <https://ingemecanica.com/>, Tutorial 127: Transmisión por cadenas. Consultado 15/6/2021
- [9] La inmensa utilidad de un cálculo con ANSYS correctamente idealizado (V de V), recuperado de <https://ingenieriasamat.es/blog/utilidad-calculos-ansys-v/>. Consultado 12/6/2021.
- [10] Siemens, *Documentación didáctica SCE / Módulo TIA Portal 052-300, edición 05/2017 | Digital Factory, DF FA*, recuperado de <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1500/sce-052-300-pid-control-s7-1500-r1703-es.pdf>. Consultado el 26/5/2021
- [11] TAUSEEF SIDDIQUI, Diploma In Computer Engineering, *Stepper motor speed & direction control using Arduino and Potentiometer*, recuperado de <https://stauseef123.blogspot.com/2019/01/stepper-motor-speed-direction-control.html>. Consultado el 7/5/2021
- [12] «[The TRL scale as a Research & Innovation Policy Tool](#)». Archivado desde [el original](#) el 23 de noviembre de 2018. Consultado el 1/7/2021.

Páginas web oficiales de Software empleado:

- [13] SOLIDWORKS, <https://www.solidworks.com/es> Consultado en Abril de 2021.
- [14] TIA PORTAL, <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html> .Consultado en Mayo de 2021.
- [15] ANSYS WORKBENCH, <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student> .Consultado en Mayo de 2021.
- [16] CADESIMU, <https://cade-simu.com/> . Consultado en Mayo de 2021.
- [17] ARDUINO IDE, <https://www.arduino.cc/en/software/> . Consultado en Abril de 2021.

Páginas web oficiales de productos empleados:

- [18] HEPCOMOTION, <https://www.hepcomotion.com/es/> Consultado en Abril de 2021.
- [19] RENOLD, <https://www.renold.com/> Consultado en Junio de 2021.
- [20] SIEMENS, <https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?regionUrl=/es&language=es> Consultado en Mayo de 2021.
- [21] JIANGSU RAILTECO EQUIPMENT CO, <https://www.railteco.com/> . Consultado en Marzo de 2021.
- [22] VICTRON ENERGY, <https://www.victronenergy.com/es/> Consultado en Mayo de 2021.
- [23] ARDUINO, <https://www.arduino.cc/> Consultado en Marzo de 2021.
- [24] SEW-EURODRIVE, <https://www.sew-eurodrive.es/inicio.html> . Consultado en Junio de 2021.
- [25] FLENDER, <https://www.flender.com/> . Consultado en Junio de 2021.
- [26] GRUPOLEGRAND, <https://www.grupolegrand.es/> Consultado en Mayo de 2021.
- [27] LITHIUM-BATTERY-FACTORY, [https://www.lithium-battery-factory.com/.](https://www.lithium-battery-factory.com/) Consultado en Junio de 2021.
- [28] EPV, <https://www.epvelectronics.com/> Consultado en Mayo de 2021.

Nota: No se incluyen páginas de los productos que no disponen de web oficial.

Nota 2: Desde la página de Siemens [20] ingresando en la página y accediendo a su buscador se pueden incluir las referencias de todos los productos con el fin de obtener guías, recursos, especificaciones y manuales de dichos productos.